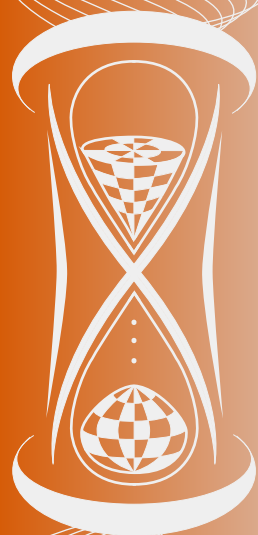


ISSN 2222-8772

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
СТРУКТУРЫ
И
МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**Том 28, №2
2013**



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО»**

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
СТРУКТУРЫ
И
МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Том 28, № 2

Омск
2013

Математические структуры и моделирование. — Омск : Омский государственный университет, 2013. — Т. 28, № 2. — 122 с.

ISSN 2222-8772 (print)

ISSN 2222-8799 (online)

Редакционная коллегия

Н. Ф. Богаченко	канд. физ.-мат. наук, доцент, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
В. Я. Волков	доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой начертательной геометрии, инженерной и машинной графики, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)
А. Г. Гринь	доктор физ.-мат. наук, профессор, кафедра кибернетики, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
С. И. Горлов	доктор физ.-мат. наук, профессор, Нижневартровский государственный гуманитарный университет
А. К. Гуц	доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой кибернетики, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
А. Н. Кабанов	канд. физ.-мат. наук, кафедра кибернетики, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
П. А. Корчагин	доктор техн. наук, профессор, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)
Д. Н. Лавров	главный редактор, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. компьютерных технологий и сетей, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
A. A. Fedorenko	Ph.D., Researcher (CR1) at the French National Centre of Scientific Research (CNRS) Laboratoire de Physique de l'ENS-Lyon, France
V. Kreinovich	Ph.D., Professor, Computer Science Department, University of Texas at El Paso, Texas, USA

Адрес научной редакции

Россия, 644053, Омск-53, ул. Грозненская, 11
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
факультет компьютерных наук
E-mail: lavrov@omsu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

В журнале публикуются статьи, в которых излагаются результаты исследований по фундаментальной и прикладной математике, теоретической физике и размышления, касающиеся окружающей нас природы и общества.

Публикуются также статьи по информационным технологиям, компьютерным наукам, защите информации, философии и истории математики.

Объекты исследования должны быть представлены в форме некоторых математических структур и моделей.

Журнал является реферируемым. Рефераты статей публикуются в «Реферативном журнале» и в журналах «Zentralblatt für Mathematik» (Германия) и «Mathematical Reviews» (США).

Электронная версия журнала представлена в сети Интернет по адресам:

<http://msm.univer.omsk.su>
<http://msm.omsu.ru>

Журнал издаётся на коммерческие средства факультета компьютерных наук Омского государственного университета.

Электронная почта редактора:

lavrov@omsu.ru

Подробную информацию можно найти на Web-серверах:

<http://msm.univer.omsk.su>
<http://msm.omsu.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальная математика и физика

- А.К. Гуц. *Созидание мира с машиной времени* ... 5
- О. Kosheleva, V. Kreinovich. *Stochastic Causality Is Inconsistent with the Lorentz Group* 15
- V. Kreinovich, O. Kosheleva. *Is Lagrangian Formalism Adequately Describing Energy Conservation?* 21
- A.G. Aksoy, Z. Glassman, O. Kosheleva, V. Kreinovich. *From Urysohn's Universal Metric Space to a Universal Space-Time* 28
- F. Zapata. *How to Define Distance in Terms of Kinematic Metric and/or Other Physical Quantities* 35

Прикладная математика и моделирование

- А.К. Гуц, Л.А. Володченкова. *Защита леса как стратегическая игра* 43
- О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров, С.Ю. Лаврова. *Математическая модель обнаружения точки беспроводного доступа по измерениям мощности излучения разнесёнными наблюдателями* 49

Компьютерные науки

- А.В. Альтергот, О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров. *Формат данных на основе XML-разметки для обмена биометрическими образцами* 60
- А.Г. Дружинин. *Обзор программ «Электронная карта пациента»* 68
- Е.А. Илюшечкин, И.С. Молодых. *Оптимизация веб-интерфейса на стороне клиента для работы с табличными данными* 80

Продолжение на следующей странице

Наши публикации



Информационная безопасность

Д.М. Бречка. *Разработка программного продукта для анализа безопасности доступа к файлам в операционных системах Windows 7..88*

А.Г. Казанцева. *Идентификация человека по походке с использованием носимых сенсоров. Обзор исследований.....103*

Страничка памяти

Сергей Сергеевич Ефимов. 1956-2013 112

СОЗИДАНИЕ МИРА С МАШИНОЙ ВРЕМЕНИ

А.К. Гуц

Исследуется вопрос о логических свойствах описания мира, в котором возможна работа машины времени. Предлагается рассматривать логические противоречия как противоречия между неосознаваемым приоритетом мира и подчинённости ему логических схем рассудка.

Автором в [1] математически обосновывается идея, что окружающий нас реальный Мир не является независимым от Человечества, не появился до Человечества, а создается, творится множеством индивидуальных сознаний (разумов). В этой статье предлагается схема сотворения мира, допускающего функционирование машины времени, с помощью которой совершается возвращение в Прошлое.

Сложность проблемы в том, что мир с машиной времени логически противоречив с точки зрения рассудка. Происходит это в силу того, что Мир создается посредством сознания, творческого акта, *осознаваемого* нами как процесс, т.е. как конструкция, предстающая перед рассудком поэтапно, последовательно, т.е. *во времени*, а *логическое описание* процесса — акт, убивающий динамику. Он фиксируется нами, нашим рассудком в терминах математики, все структуры которой статичны. При привлечении математики к описанию физического явления, процесса, называемого актом формализации, происходит обезвреживание. Модель явления, т.е. того, что предстаёт перед нами во времени¹, лишена времени.

Самый факт описания превращает динамический объект в статическую модель... В процессе структурного описания объект не только упрощается, но и доорганизуется, становится более жёстко организованным, чем на самом деле (Лотман, [3]).

Copyright © 2013 А.К. Гуц

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

E-mail: guts@omsu.ru

¹Время (по Канту) — априорная форма чувства внутреннего (внутреннего созерцания). Математика, конструируя свой предмет, опирается либо на чистое созерцание пространства (геометрия), либо на чистое созерцание времени (арифметика) [14, с. 324]. Натуральный ряд, как потенциальная бесконечность, предполагает счёт, т.е. течение времени, но сам по себе, как *чистое* созерцание, как актуальная бесконечность, мёртв, т.е. находится вне времени. Точнее, счёт осуществляется *во времени*, однако в таком случае время, о котором идёт речь, не есть обычное *эмпирическое время* [2, с. 177]. Поэтому в текстах математики и арифметики, в частности, время не течёт.

1. Декогеренция и макроскопическая локализация

Внешний Мир видится и воспринимается нами, как состоящий из камней, скалистых гор, деревьев, лесов, — то есть вещей твёрдых, существующих десятки, сотни и тысячи лет, но постепенно разрушающих под воздействием некоей непостижимой сущности, называемой временем. Все это *Классический мир*, достаточно хорошо описываемый классической физикой. Вещь в таком мире либо есть, т.е. вещественна, материальна, либо её нет, т.е. она лишь мыслится, идеальна.

Но есть другая физика — *квантовая*. Она, как уверяют нас физики, более точно описывает Внешний мир. И в этом никто не сомневается. Однако эта физика, описывая, например, каменный шар, предлагает нам формальную формулу для состояния, имея в виду местонахождение его центра в бесчисленном числе вариантов:

$$\sum_{x \in \mathbb{R}^3} c_x |x\rangle, \quad (1)$$

где $|x\rangle$ альтернативные состояния шара с центром в точке x . Все они образуют ортонормированный базис в гильбертовом пространстве.

Формула (1) даёт квантовое состояние шара, носящее название *когерентной суперпозиции*. Она говорит, что шар, в принципе, может находиться в любой точке пространства. Когерентная суперпозиция — это суперпозиция состояний, которые не могут быть реализованы одновременно с классической точки зрения. Важно отметить, что суперпозиция — это не смесь двух классических состояний (немного одного, немного другого), это нелокальное состояние, в котором каменного шара, как локального элемента классического мира, нет, не существует.

Но мы почему-то видим шар только в одной точке? Классическая физика, здравый смысл, рассудок подсказывают нам, что каменный шар не может находиться одновременно в двух разных точках пространства. Так почему же квантовая физика предлагает нам не один, а сразу множество несовместимых вариантов?

Для того чтобы согласовать классический взгляд на состояние шара и квантовый, привлекают дополнительное к постулатам квантовой физики пояснение. Пояснение это называют интерпретацией квантовой механики.

Самым распространённым среди физиков пояснением является копенгагенская интерпретация, которая гласит, что квантовый объект, взаимодействуя с Внешним классическим миром, из всех возможных положений занимает только одно, т.е. в нашем случае:

$$\sum_{x \in \mathbb{R}^3} c_x |x\rangle \xrightarrow[\text{Внешняя среда}]{\Downarrow} |x_0\rangle \text{ с вероятностью } |c_{x_0}|^2. \quad (2)$$

Таким образом, происходит разрушение суперпозиции (суммы) когерентных состояний, т.е. происходит *декогеренция* квантового состояния шара, и он предстаёт перед нами в классическом образе, строго в определённом месте x_0 .

Декогеренция — это физический процесс, который сопровождается потерей когерентности квантовых суперпозиций в результате взаимодействия системы с окружением. В частности, это происходит при измерении.

1.1. Материализация квантовых объектов

В результате декогеренции происходит «проявление», материализация тел из пустоты, из небытия, из нелокального квантового источника. В ходе этого процесса материализации появляются плотные локальные объекты окружающего мира, в том числе различные классические поля, например, электромагнитное или гравитационное [4].

Таким образом, декогеренция отвечает в определённой мере на вопрос, следует ли из квантовой механики тот факт, что окружающий нас Внешний мир является «классическим». Более того, она показывает, как это происходит.

Возможны иные интерпретации квантовой механики, самой известной из которых является интерпретация Хью Эверетта. Согласно ей каждое из когерентных состояний шара наблюдается в своём собственном внешнем мире. Эти миры параллельны, т.е. существуют независимо друг от друга, и они ветвятся на новые внешние миры всякий раз, когда возможны альтернативные когерентные состояния, составляющие когерентную суперпозицию, т.е. неклассическое, *квантовое* состояние системы, а в нашем случае каменного шара.

Появление «плотного тела» у квантового объекта называют его *макроскопической локализацией*. Мы назвали это материализацией квантового объекта.

1.2. Разрушение сцепленности подсистем

При декогеренции уменьшается квантовая сцепленность (запутанность) — распадается полное единство и исчезает гармония, которая существовала в максимально сцепленном состоянии.

Поясним сказанное. Напомним, что состояние

$$|\psi\rangle = \sum_{i_1=1}^{\infty} \dots \sum_{i_p=1}^{\infty} \gamma_{i_1 \dots i_p} (|e_{i_1}^1\rangle \otimes \dots \otimes |e_{i_p}^p\rangle), \quad (3)$$

где $e_{i_k}^j \in \mathcal{H}_k$, $\mathcal{H}_k$ ($i = k, \dots, p$) — гильбертово пространство состояний k -й подсистемы изучаемой системы называют *сцепленным*, если

$$|\psi\rangle \neq |x_1\rangle \otimes \dots \otimes |x_p\rangle,$$

где $|x_k\rangle \in \mathcal{H}_k$.

Однако когерентная суперпозиция вида (2) при декогеренции переходит в состояние

$$|e_{i_1}^1\rangle \otimes \dots \otimes |e_{i_p}^p\rangle$$

с вероятностью $|\gamma_{i_1 \dots i_p}|^2$, которое не является уже сцепленным.

В результате декогеренции подсистемы, теряя сцепленность, «начинают обособливаться, отделяться друг от друга, вплоть до полной независимости (сепарабельности). При этом происходит их локализация — у каждой подсистемы появляются отдельная, видимая форма и “плотное тело”» (Доронин, [4]).

1.3. Подавление интерференции

Квантовый объект «шар» может пребывать в разных когерентных состояниях:

$$|\psi\rangle = \sum_{x \in \mathbb{R}^3} c_x |x\rangle \quad \text{и} \quad |\phi\rangle = \sum_{x \in \mathbb{R}^3} w_x |x\rangle,$$

где собственные векторы $|x\rangle$ образуют ортонормированный базис, т.е. $\langle x|x'\rangle = 1$, если $x = x'$, и $\langle x|x'\rangle = 0$, если $x \neq x'$.

Вероятность перехода от $|\psi\rangle$ к $|\phi\rangle$ равна

$$\begin{aligned} |\langle\psi|\phi\rangle|^2 &= \left| \left\langle \sum_{x \in \mathbb{R}^3} c_x |x\rangle \left| \sum_{x' \in \mathbb{R}^3} w_{x'} |x'\rangle \right. \right\rangle \right|^2 = \left| \sum_{x, x' \in \mathbb{R}^3} c_x \bar{w}_{x'} \langle x|x'\rangle \right|^2 = \\ &= \left| \sum_{x \in \mathbb{R}^3} c_x \bar{w}_x \right|^2 = \sum_{x \in \mathbb{R}^3} c_x \bar{w}_x \sum_{x \in \mathbb{R}^3} \bar{c}_x w_x = \sum_{x \in \mathbb{R}^3} |c_x|^2 |w_x|^2 + \sum_{x, x' (x \neq x')} c_x \bar{c}_{x'} \bar{w}_x w_{x'}. \end{aligned}$$

Вторая сумма — это интерференция между альтернативами $|x\rangle$ и $|x'\rangle$, посредством которой они взаимодействуют.

Теория декогеренции занимается изучением (спонтанных) взаимодействий между системой и окружающей её средой (окружением), которое приводит к подавлению квантовой интерференции. При декогеренции за счёт измерения состояния $|x_0\rangle$ или иного взаимодействия с Внешней средой интерференционный член, как видно из формулы (2), исчезает.

2. Материализация мыслей

Могут ли мысли людей о том, что в окружающем их пространстве появляется, скажем, каменный шар, действительно привести к тому, что из ничего вдруг материализуется реально каменный твёрдый большой шар?

Попытаемся показать, что столь странный, нелепый вопрос действительно имеет положительное решение.

Естественно, что следует обратиться к квантовой механике, которая включает в себя довольно скудную по возможностям классическую механику, и как выяснилось во второй половине XX века, может давать крайне неожиданные для обыденной точки зрения предсказания.

Мысль человека i — это квантовая «частица»², описываемая вектором $|\mu_i\rangle$, лежащим в абстрактном гильбертовом пространстве $\mathcal{H}$ и являющаяся частицей

²Частицу в классической механике видят как маленький шарик и приписывают ей координату x и импульс $\mathbf{p}$. Импульс ассоциирован со скоростью v частицы. Скорость характеризует

окружения внешней среды макроскопического объекта B , скажем, каменного шара. Состояние шара с центром масс в пространственной точке x — это вектор $|x\rangle$.

Ясно, что шар как квантовый объект может иметь разную пространственную локализацию, т.е. находиться в разном месте. Поэтому его состояние должно описываться в виде

$$\sum_{x \in \mathbb{R}^3} c_x |x\rangle, \quad (4)$$

а точнее с помощью матрицы плотности $\hat{\rho}$ квантовой системы $\mathcal{H}_i \times \mathcal{H}_B$, где $\mathcal{H}_i$ — гильбертово пространство состояний мыслей субъекта i , а где $\mathcal{H}_B$ — гильбертово пространство состояний шара B . Удобно использовать [5], так называемую редуцированную матрицу плотности $\hat{\rho}_B(x, x', t)$.

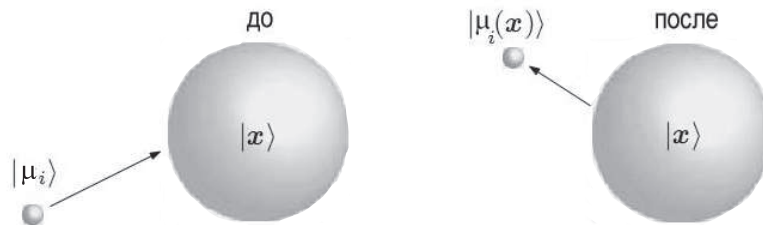


Рис. 1. Мысль о шаре удачна или неудачна (рис. из [5])

Желание субъекта i увидеть шар с центром в точке x реализованной — это трата психической энергии субъекта, означающее изменение, коррекцию мысли, помечаемую как успешную или неуспешную. Иначе говоря, имеющую изменённое состояние $|\mu_i(x)\rangle$ (см. рис. 1). Процесс попытки субъекта i материализации шара B — это оператор $|x\rangle \otimes |\mu_i\rangle \rightarrow S(|x\rangle \otimes |\mu_i\rangle) = |x\rangle \otimes |\mu_i(x)\rangle$ ($|x\rangle$ — собственный вектор).

Субъект i' , если и имеет такое же желание материализовать шар, все-таки, как следует допустить, видит шар с центром в точке x' ($x' \neq x$).

Мысли-желания большого числа субъектов создают **внешнюю среду** для квантового объекта «шар», которая способствует макроскопической локализации квантового объекта «шар» посредством декогеренции [5].

Процесс декогеренции когерентной суперпозиции (4) заключается в том, что все субъекты должны увидеть шар в конкретной точке x , а на языке матрицы плотности это происходит в том случае, когда $\hat{\rho}_B(x, x', t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$. Это и означает пространственную локализацию (материализацию) квантового объекта «шар». Шар появляется, материализуется как «плотное тело».

качество (быстрое или медленное) перемещения в пространстве. В квантовой механике частица — это нечто абстрактное, поэтому, почему бы ей не быть мыслью, а вместо координаты и импульса имеют дело с эрмитовыми операторами $\hat{x}$ и $\hat{p} = i\hbar\nabla$, действующими на векторы пространства $\mathcal{H}$. Операторы, особенно дифференциальный оператор $\hat{p}$, отнюдь не вызывают ассоциацию места и соответственно перемещения в физическом пространстве, и в силу этого мы вправе допустить, что мысль может находиться в собственном состоянии и иметь собственные значения операторов и импульса, характеризуя соответственно направленность мысли на конкретное место, т.е. мысль локализуется, и *мёртвую силу* (по Лейбницу) её воплощения.

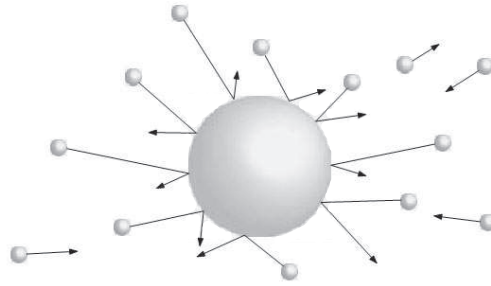


Рис. 2. Мысли о шаре множества субъектов создают среду (рис. из [5])

При ряде допущений³ для локализации шара с радиусом a получена формула [5]:

$$\hat{\rho}_B(x, x', t) = \hat{\rho}_B(x, x', 0) e^{-\Lambda |x-x'|^2 t},$$

где

$$\Lambda \approx 10^{20} \frac{1}{\text{см}^2 \text{с}} \left(\frac{a}{\text{см}} \right)^6 \left(\frac{T}{K} \right)^9.$$

Отсюда получаем, что шар радиуса 1 м *макроскопически локализуется* или *материализуется* за 10^{-50} сек.

3. Нефизические макроскопические квантовые эффекты

Вычислительная машина обладает особым функциональным свойством: в неё закладывается программа, реализующая квантовый алгоритм. Это свойство является *нефизическим* в том смысле, что оно может быть определено при помощи терминов, не содержащих ссылок на физическое или химическое строение компьютера.

Мозг может действовать по определённой программе, компьютер может действовать по определённой программе, и функциональная организация мозга и компьютера может быть полностью одинаковой, несмотря на то что материал, из которого они состоят, целиком и полностью различен (Патнэм, [7, с.108]).

Мозг, по современным воззрениям Пенроуза и Хамероффа, – это квантовая система [8]. Мысль, идея, фантазия, появляющаяся в мозгу, есть результат макроскопического процесса, описываемого квантовомеханически (и не допускающего точного измерения), и в силу этого представляет собой квантовое состояние в мозгу индивида (субъекта). Субъект — это всего лишь подсистема системы, называемой Миром, Реальностью, Вселенной. С состоянием этой

³Эти допущения в книге [5] относятся к рассматриваемой сугубо материальной физической среде, а не к среде квантовых частиц-мыслей, т.е. к ментальному полю. Но фактически оперируют не с конкретной средой, а с ее математическим описанием. А формулы, как известно, одни и те же и при описании физического поля, и при описании ментального поля. См. примеры в [6], где показано, как уравнение бресселятора может описывать не только химическую реакцию, но и диссидентство, а формулы физической кинетики способны описывать зарождение дружин по наведению общественного порядка и т.д.

подсистемы соотносятся другие подсистемы-субъекты и особая подсистема, которая носит название *Природа*.

4. Сознание и машина времени

Если допустить возможность построения машины времени, позволяя человеку возвращаться в прошлые эпохи, то реальной становится ситуация, когда путешественник может убить свою бабушку до того, как она родит его отца или мать. Но в таком случае становится невозможным существование путешественника, поскольку он не будет рожден. Столь противоречивая ситуация носит название *парадокс бабушки*.

Классическая наука базируется на логике, где действует закон Аристотеля о непротиворечии: утверждение и его отрицание вместе не встречаются. Парадокс бабушки несовместим с данным законом Аристотеля. Действительно, возвращение убийцы бабушки в своё Настоящее невозможно, поскольку там он не был рождён. Но принцип свободы действия, свободы воли, дающий право на возвращение в свою эпоху и являющийся неотъемлемым принципом управления машиной времени, предоставляет убийце возможность вернуться туда, где его не должно быть.

На парадокс бабушки указывают всегда, когда заходит речь о создании машины времени. Считается, что этот парадокс неразрешим, и в силу этого построение машины времени невозможно. Однако общая теория относительности (ОТО), воспринимаемая как теория абсолютного пространства-времени, вполне допускает возврат в прошлое, поскольку машина времени в ОТО — это замкнутая времениподобная кривая, которая часто присутствует в решениях уравнений Эйнштейна [9].

Почему мы не можем преодолеть парадокс бабушки, который останавливает нас своей неразрешимостью, противореча реальному Миру, частью которого мы являемся?

Да потому, что люди, т.е мы, живём в конкретной исторической эпохе. В ней нет машины времени. Логика этой эпохи, окружающего нас мира, созданного множеством индивидуальных сознаний, соответствует этому миру и не допускает разрешения парадокса бабушки. Люди не задумывались о том, что им для комфортной жизни нужна машина времени. Если бы она была им нужна, то наш Мир скорректировался бы, изменился соответствующим образом.

Новый мир с машиной времени позволяет путешественнику в прошлое убить свою бабушку до того, как бабушка родит его родителя, и при этом оставаться существующим.

Но как остаться существующим, если тебя не родил нерожденный родитель?

Ответ: убитая бабушка должна жить. Просто бабушка, как и любой из людей существует в множестве вариантов. Убитая бабушка мертва в одном конкретном варианте мира-вселенной, в одной исторической эпохе, но остаётся в других, параллельных вариантах мирах-вселенных. Будущее — результат их квантовой интерференции. Поэтому оставшихся живых бабушек достаточно для рождения путешественника во времени. Точнее, множества вариантов путешественника во времени.

5. Историческая эпоха, где противоречия — это норма

Для нас очевидным является правило, согласно которому «противоречащие одно другому утверждения не могут быть истинными относительно одного и того же предмета в одно и то же время и в одном и том же смысле». Но, как отмечает логик Минто, это само собой разумеющееся для нас логическое положение совсем не было таковым в эпоху античности. В платоновском диалоге «Эвтидем» описано, как два брата побеждают в споре своих оппонентов, утверждая, что ответ «нет» не исключает ответа «да». «Разве почтенное не есть всегда почтенное, а низкое — низкое? — спрашивает их Сократ. «Это как мне нравится», — отвечает Дионисодор» [10, с.32].

6. Биология и машина времени

Мир, в котором работает машина времени, противоречив. Противоречие, о котором идёт речь, — это парадокс бабушки.

С точки зрения классической двужанной логики, избегающей противоречий, парадокс бабушки безупречен, с ним невозможно справиться, если не допустить, что историческая эпоха, в которой машина времени — это обыденный инструмент перемещений, полна того, что нами воспринимается как нечто невозможное, т.е. является чудом.

Вряд ли можно признать чудом Мир, в котором парадокс бабушки разрешается за счёт того, что внук не может встретиться с бабушкой, и тем самым, бабушка остаётся жить. Этот мир, конечно, наполнен чудесами, поскольку бабушка будет чудесным образом избегать кирпичей с крыши, мин, расставленных на её пути, спастись при подрыве плотин, при которых потоки воды смывают город и т.д. Все это чудеса, сформулированные как принципы *самонепротиворечивости*, покушаются на более сильный принцип свободы воли человека, и поэтому вряд ли приемлемы.

Можно ли создать мир, полный противоречий?

«Бог мог бы создать мир, в котором противоречия были бы совмещены, но «мы не должны пытаться это понять, потому что наша натура не такова, чтобы мы могли это понимать» (Мамардашвили, «Картезианские размышления», [11, с.89]).

«Если реальность представляется только посредством чистого рассудка (*realitas noumenon*), то нелегко противоречие между реальностями, т.е. такое отношение, при котором они, будучи связаны в одном субъекте, уничтожали бы следствия друг друга». «Реальности в явлении (*realitas phaenomenon*) могут противоречить друг другу и, будучи соединены в одном субъекте, одна реальность может полностью или отчасти уничтожать следствия другой» (Кант, «Критика чистого разума», [12, с. 317])

Иначе говоря, Внешний мир явлений вполне может быть противоречив, не заботясь о том, что это трудно понять рассудком, оперирующим понятиями, для которых закон непротиворечия обязателен.

Человек, раз он создан по образу и подобию божему, следовательно, также может создать мир, в котором противоречия совмещены чудесным образом, но при этом необходимая чудесность должна потакать нашей натуре, чтобы мы сумели понять то, что создадим.

Понимаемое чудо в парадоксе бабушки — это неизбежное воскрешение бабушки в случае, если её убивает её потомок, т.е. существо с тем же набором генов. Нечудесное воскрешение — это саморегенерация повреждённых органов. Факт вполне биологически понимаемый.

Однако саморегенерация сожжённого тела бабушки явно похожа на чудесное воскрешение. Но так ли это?

Для нас жителей нашей исторической эпохи тело человека — это прежде всего вещественное образование, формируемое по программе, заложенной в генетическом коде. Сам же генетический код для нас — вещественная молекула. Но программа, прописанная в этой молекуле отнюдь не вещественное образование.

Поэтому в исторической эпохе с машиной времени убитая бабушка вернётся... и не вернётся. Вспомним, как этот факт описан Лемом в «Солярисе»:

– Вернётся такая же, как в начале... первого визита. Попросту не будет ничего знать, точнее, будет себя вести так, будто всего, что ты сделал, чтобы от неё избавиться, никогда не было. Если не вынудит её к этому ситуация, не будет агрессивной.

– Какая ситуация?

– Это зависит от обстоятельств...

Рассудок не справляется с предъявленной ситуацией повседневности чудес. Рассудок — это составляющая разума, обеспечивающая способность рассуждения, способность составлять суждения (по Канту), связно и по возможности чётко, *логично* строить высказывания. Но рассудок не создаёт нового знания, а лишь систематизирует уже существующее. Поэтому, чтобы смириться с нелогичностью мира с машиной времени⁴, следует переступить через ограниченность логических схем рассудка, и открыть путь новому знанию.

Непередаваемой целое ритма... боится рассудка (Андрей Белый, [13]).

Рассудок, согласно Канту, имеет дело с априорными, т.е. независимыми от опыта, *доопытными* категориями, которые суть «формы мышления», или являющимися чисто умозрительными. Рассудок, описывая явление, которое предстаёт перед нами в развитии, во времени, подгоняет его под априорную вневременную умозрительную логическую схему.

⁴Одна из категорий (понятий) рассудка — это понятия причины и следствия. Машина времени нарушает причинность.

«Схематизм нашего рассудка в отношении явлений и их чистой формы есть скрытое в глубине человеческой души искусство, настоящие приёмы которого нам вряд ли когда-либо удастся угадать у природы и раскрыть» (Кант). Когда мы имеем дело с явлением, предметом, оперируем с ними, то мы используем их схемы в том, разумеется, случае, если так или иначе знаем, что с ними делать, чего от них ожидать.

«Согласно Канту, к предметам вне нас мы, люди, обращаемся не иначе, как с помощью каких-либо предметно-объектных образований нашего сознания. Между первыми и вторыми нет и не может быть тождества. Но единство между ними существует». Это единство осуществляется посредством (деятельности) рассудка.

Мы можем познать только то, что сами создали, — такова формула теории познания Канта [14, с. 327]. Если разум людей создаст мир с машиной времени, то мы сможем его понять и принять. Противоречивость этого мира будет соответствовать схемам рассудка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуц А.К. Физика реальности. Омск : Изд-во КАН, 2012. 424 с.
2. Асмус В.Ф. Иммануил Кант. М. : Наука, 1973.
3. Лотман Ю.М. Динамическая модель семиотической системы // Труды по знаковым системам. Т. 10. Тарту, 1978. С. 18–33.
4. Доронин С.И. Квантовая магия [Электронный текст]. URL: http://www.sir35.ru/kvant_magia/book/cont.html (дата обращения 20.10.2013).
5. Schlosshauer M. Decoherence and the quantum-to-classical transition. Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, 2007.
6. Гуц А.К., Фролова Ю.В. Математические методы в социологии. Изд. 2. М. : Издательство ЛКИ, 2010. 216 с.
7. Патнэм Х. Разум, истина и история. М. : Праксис, 2002. 296 с.
8. Пенроуз Р. Тени разума. В поисках науки о сознании. Ч. II. Москва/Ижевск : Ин-т компьютерных исследований, 2005. 352 с.
9. Гуц А.К. Элементы теории времени. М. : Издательство ЛКИ, 2011.
10. Минто В. Дедуктивная и индуктивная логика. Минск : Харвест, 2002. 252 с.
11. Мамардашвили М. Картезианские размышления. М. : Культура, 1993.
12. Кант И. Критика чистого разума / Сочинения в шести томах. Т. 3. М. : Мысль, 1964.
13. Белый А. О ритмическом жесте // Труды по знаковым системам. Т. 12. Тарту, 1981. С. 132–139.
14. Гайденко П. История новоевропейской философии в ее связи с наукой. М. : ПЕР СЭ; СПб. : Университетская книга, 2000. 456 с.

STOCHASTIC CAUSALITY IS INCONSISTENT WITH THE LORENTZ GROUP

O. Kosheleva, V. Kreinovich

According to modern physics, all physical processes are described by quantum theory. In particular, due to quantum fluctuations, even in the empty space, the causal relation is, in general, slightly different from the usual Minkowski one. Since quantum effects are probabilistic, to properly represent the corresponding stochastic causality, we need to describe, for every two events e and e' , the probability $p(e, e')$ that e can causally influence e' . Surprisingly, it turns out that such a probability functions cannot be Lorentz-invariant. In other words, once we take into account quantum effects in causality, Lorentz-invariance is violated – similarly to the fact that it is violated if we take into account the presence of matter and start considering cosmological solutions.

1. Introduction

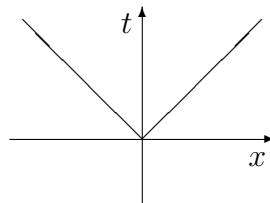
Deterministic causality in Special Relativity: a brief reminder. In the Minkowski space-time of Special Relativity, causality is deterministic: an event $e = (t, x)$ can causally influence an event $e' = (t', x')$ if and only if $t \leq t'$, and a process with velocity not exceeding the speed of light c starting at e can reach e' , i.e., if and only if

$$t' - t \geq \frac{d(x, x')}{c}, \quad (1)$$

where

$$d(x, x') \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{(x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + (x_3 - x'_3)^2} \quad (2)$$

denotes the Euclidean distance between the spatial points $x = (x_1, x_2, x_3)$ and $x' = (x'_1, x'_2, x'_3)$. Geometrically, this causality relation is described by the usual future cone:



Deterministic causality implies Lorentz group. Special Relativity theory has many symmetries: namely, all physical phenomena (including the phenomenon of causality) remain the same if we simply perform a shift, a spatial rotation, and/or a Lorentz transformation

$$t' = \frac{t - \frac{v \cdot x_1}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad x'_1 = \frac{x_1 - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad x'_2 = x_2; \quad x'_3 = x_3. \quad (3)$$

It is known that, vice versa, the deterministic causality relation (1) *implies* Lorentz group, in the sense that every bijection $\mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$ which preserves this causality relation is a composition of shifts, spatial rotations, scaling $x \rightarrow \lambda \cdot x$, and a transformation from the Lorentz group; see, e.g., [1, 2, 5].

Deterministic causality beyond Special relativity. According to modern physics, the presence of matter changes the geometry of space-time; see, e.g., [4]. The resulting space-time is described by a *metric tensor* field $g^{ij}(x)$. This tensor field defines the following local causality relation: an event with 4-coordinates $e = (x_0, x_1, x_2, x_3)$ (where x_0 is time) can causally influence an event

$$e + de = (x_0 + dx_0, x_1 + dx_1, x_2 + dx_2, x_3 + dx_3)$$

if and only if

$$dx_0 \geq 0 \text{ and } \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 g^{ij} \cdot dx_i \cdot dx_j \geq 0. \quad (4)$$

The space-time of Special relativity corresponds to the constant diagonal metric tensor $g^{ij} = \text{diag}(c^2, -1, -1, -1)$.

Need for stochastic causality. According to modern physics, the real world is described by quantum theories; see, e.g., [2]. In quantum physics, there are always quantum fluctuations. In particular, even in the absence of matter, there are always quantum fluctuations of the metric tensor g^{ij} . As a result of these fluctuations, the values of $g^{ij}(x)$ are slightly different from their Special Relativity values $g^{ij} = \text{diag}(c^2, -1, -1, -1)$. The resulting future cone may be slightly different from the original future cone (1):

- it may be that some events e' which are slightly outside the original future cone (1) can actually be influenced by the event e ;
- it may also happen that some events e' on the border of the original future cone (1) cannot be influenced by the event e .

For example, if at some point x the value $g^{00}(x)$ is slightly larger than c^2 while other values $g^{ij}(x)$ remain the same, this means that we can have processes which are slightly faster than the original value of the speed of light, and thus some

previously causally inaccessible events will be covered. Such microscopic local “violations” of causality are a known feature of quantum field theories [2, 4]; it should be mentioned that they do not lead to any violations of observed macroscopic causality.

Quantum fluctuations are random. As a result, we cannot tell beforehand which events can influence each other and which cannot. Instead, we can only talk about the *probability* $p(e, e')$ that an event e can influence an event e' .

Reasonable expectations. In the deterministic (non-quantum) case, to describe causality relation of Special Relativity, it is sufficient to write down the formula (1). Once we take into account the quantum-induced stochastic nature of causality, we need to describe a function $p(e, e')$. We are still discussing the space-time of Special Relativity, so it is reasonable to require that the corresponding function $p(e, e')$ does not change under Lorentz transformations.

What are other reasonable properties of the function $p(e, e')$? The probabilities $p(e, e')$ describe the results of quantum fluctuations. From the macroscopic viewpoint, quantum fluctuations are extremely small. We therefore expect that they only change causality relation in the very narrow vicinity of the border of the future cone, i.e., of the set of all the events (t', x') for which $t' = t + \frac{d(x, x')}{c}$. In other words:

- for events e' inside the future cone which are sufficiently far away from the border, we should have $p(e, e') \approx 1$;
- for events e' outside the future cone which are sufficiently far away from the border, we should have $p(e, e') \approx 0$;
- and only for the events in the narrow vicinity of the border, we should have values $p(e, e')$ which continually change from 0 to 1.

For a point e' on the original border of the future cone, it seems to be equally probable that the randomly perturbed causality cone will be perturbed towards the inside — in which case e can no longer influence e' — or it will be perturbed outside, in which case e can still casually influence e' . In other words, for such events e' , we expect $p(e, e') \approx 0.5$.

On the other hand, if we take a symmetric point $e'' = e - (e' - e)$, we end up with a point $e'' = (t'', x'')$ on the *past* cone of e , for which $t'' = t - \frac{d(x, x'')}{c}$. This point e'' is far way from the border of the future cone, so we expect $p(e, e'') \approx 0$.

Since $p(e, e') \approx 0.5$ and $p(e, e'') \approx 0$, we conclude that for these three events e , e' , and e'' , we get $p(e, e') \gg p(e, e'')$. This should be true when e' (and hence e'') is sufficiently far away from e , i.e., this should be true for at least some triples of events.

What we show in this paper. In this paper, we prove, somewhat unexpectedly, that no such Lorentz-invariant function $p(e, e')$ is possible.

2. Main Result

Definition 1. By stochastic causality, we mean a continuous function $p : \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^4 \rightarrow [0, 1]$ for which, for some point e' on the border of the future cone of e , we have $p(e, e') > p(e, e'')$, where $e'' = e - (e' - e)$ is the symmetric point on the border of the past cone of e .

Definition 2. We say that a stochastic causality function is Lorentz-invariant if $p(Te, Te') = p(e, e')$ for each Lorentz transformation T and for all possible events e and e' .

Proposition. Stochastic causality cannot be Lorentz-invariant.

Comment. For readers' convenience, the proof of this result is placed in a separate section.

Discussion. What is the physical meaning of our result? This result shows that once we take into account *quantum effects* in causality, Lorentz-invariance is violated.

Lorentz-invariance is definitely violated when we take *matter* into account, since then instead of the flat Minkowski space-time, we have a cosmological space-time, and cosmological space-times are not Lorentz-invariant, they usually have a fixed temporal axis. We show that a similar phenomenon occurs even in the absence of matter, when we only take into account quantum fluctuations.

3. Proof of the Main Result

By definition of stochastic causality, there exist events e and e' for which e' is located on the border of the (Minkowski-based) future cone of e and for which $p(e, e') > p(e, e'')$, where $e'' \stackrel{\text{def}}{=} e - (e' - e)$.

For convenience, let us start with any coordinate system on the Minkowski space. Then, let us shift the starting point to the point e . In the new coordinates, the event e has coordinates $(0, 0, 0, 0)$. Let $t \stackrel{\text{def}}{=} e'_0 - e_0 > 0$ denote the time coordinate of the difference $e' - e$; then, in the new coordinate system, the x_0 -component of the event e' is equal to $e'_0 = t$.

Finally, let us rotate the spatial axes in such a way that x_1 -axis goes in the direction of the spatial component of the difference $e' - e$. Then, we will have $e'_2 = e'_3 = 0$. Since the point e' is located on the border of the future cone of $e = 0 = (0, 0, 0, 0)$, we conclude that $e'_1 = c \cdot t$. Thus, $e' = (t, c \cdot t, 0, 0)$. Therefore, for the symmetric point $e'' = e - (e' - e)$, we get $e'' = (-t, c \cdot t, 0, 0)$.

We have $p(e, e') > p(e, e'')$, i.e.,

$$p(0, (t, c \cdot t, 0, 0)) > p(0, (-t, c \cdot t, 0, 0)). \quad (5)$$

Since the function $p(e, e')$ is continuous, for sufficiently small $\varepsilon > 0$, we have a similar inequality for ε -close points:

$$p(0, (t \cdot (1 - \varepsilon), c \cdot t, 0, 0)) > p(0, (-t \cdot (1 - \varepsilon), c \cdot t, 0, 0)). \quad (6)$$

We will show that this inequality is inconsistent with Lorentz-invariance; specifically, we will show that there exists a Lorentz transformation T that keeps the point $e = 0$ invariant and transforms $e' = (t \cdot (1 - \varepsilon), c \cdot t, 0, 0)$ into $e'' = (-t \cdot (1 - \varepsilon), c \cdot t, 0, 0)$. Thus, Lorentz-invariance would imply that

$$p(e, e') = p(0, (t \cdot (1 - \varepsilon), c \cdot t, 0, 0)) = p(0, (-t \cdot (1 - \varepsilon), c \cdot t, 0, 0)) = p(e, e''), \quad (7)$$

which contradicts to the inequality (6).

To find the proper Lorentz transformation (3), we should have

$$e''_0 = \frac{e'_0 - \frac{v \cdot e'_1}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8)$$

and

$$e''_1 = \frac{e'_1 - v \cdot e'_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (9)$$

Substituting $e''_0 = -t \cdot (1 - \varepsilon)$, $e'_0 = t \cdot (1 - \varepsilon)$ and $e'_1 = c \cdot t$ into the formula (8) and multiplying both sides by the denominator, we get

$$-t \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = t \cdot (1 - \varepsilon) - \frac{v}{c} \cdot t. \quad (10)$$

Dividing both sides of this formula (10) by t and denoting $u \stackrel{\text{def}}{=} \frac{v}{c}$, we get

$$-(1 - \varepsilon) \cdot \sqrt{1 - u^2} = (1 - \varepsilon) - u. \quad (11)$$

Squaring both sides, we get

$$(1 - \varepsilon)^2 \cdot (1 - u^2) = (1 - \varepsilon)^2 + u^2 - 2u \cdot (1 - \varepsilon). \quad (12)$$

The left-hand side of (12) can be represented as $(1 - \varepsilon)^2 - u^2 \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot u^2$. Cancelling terms $(1 - \varepsilon)^2$ in both sides, we get

$$-(1 - \varepsilon)^2 \cdot u^2 = u^2 - 2u \cdot (1 - \varepsilon). \quad (13)$$

Moving terms depending on u^2 to the right-hand side and all the other terms to the left-hand side, we get

$$2u \cdot (1 - \varepsilon) = [1 + (1 - \varepsilon)^2] \cdot u^2. \quad (14)$$

Dividing both sides by u , we now get

$$u = \frac{2 \cdot (1 - \varepsilon)}{1 + (1 - \varepsilon)^2}. \quad (15)$$

One can show that for the corresponding velocity $v = u \cdot c$, the equality (9) is also satisfied. Indeed, substituting $e_1'' = c \cdot t$, $e_0' = t \cdot (1 - \varepsilon)$ and $e_1' = c \cdot t$ into the formula (9) and multiplying both sides by the denominator, we get

$$c \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = c \cdot t - v \cdot t \cdot (1 - \varepsilon). \quad (16)$$

Dividing both sides of (16) by $c \cdot t$ and using the notation $u = \frac{v}{c}$, we get

$$\sqrt{1 - u^2} = 1 - u \cdot (1 - \varepsilon). \quad (17)$$

Squaring both sides of (17), we get

$$1 - u^2 = 1 + u^2 \cdot (1 - \varepsilon)^2 - 2 \cdot u \cdot (1 - \varepsilon). \quad (18)$$

Subtracting 1 from both sides of this equality (18), moving terms depending on u^2 to the right-hand side and all the other terms to the left-hand side, we get the same formula (14) that was used to find u . Thus, for the value u described by the formula (15), both formulas (8) and (9) are satisfied. The proposition is proven.

Acknowledgments. This work was supported in part by the National Science Foundation grants HRD-0734825 and HRD-1242122 (Cyber-ShARE Center of Excellence) and DUE-0926721, by Grants 1 T36 GM078000-01 and 1R43TR000173-01 from the National Institutes of Health, and by a grant N62909-12-1-7039 from the Office of Naval Research.

REFERENCES

1. Alexandrov A.D. On Lorentz transformations // Uspekhi Math. Nauk 1950, V. 5, No. 1, P. 187 (in Russian).
2. Alexandrov A.D., and Ovchinnikova V.V. Remarks on the foundations of Special Relativity // Leningrad University Vestnik 1953, No. 11, P. 94-110 (in Russian).
3. Feynman R., Leighton R., and Sands M. The Feynman lectures on physics, Boston, Massachusetts : Addison Wesley, 2005.
4. Misner C.W., Thorne K.S., and Wheeler J.A. Gravitation, W. H. Freeman : New York, 1973.
5. Zeeman E.C. Causality implies the Lorentz group // Journal of Mathematical Physics 1964, V. 5, No. 4, P. 490-493.

IS LANGRANGIAN FORMALISM ADEQUATELY DESCRIBING ENERGY CONSERVATION?

V. Kreinovich, O. Kosheleva

In most physical theories, total energy is conserved. For example, when the kinetic energy of a particle decreases, the potential energy increases accordingly. For some physical systems, energy is not conserved. For example, if we consider a particle moving with friction, the energy of the particle itself is not conserved: it is transformed into thermal energy of the surrounding medium. For simple systems, energy is easy to define. For more complex physical systems, such a definition is not easy. To describe energy of generic systems, physicists came up with a general notion of energy based on the Lagrangian formalism — a minimal-action representation of physical theories which is now ubiquitous. For many physical theories, this notion leads to physically meaningful definitions of energy. In this paper, we show that there are also examples when the Lagrangian-motivated notion of energy is not physically meaningful at all — e.g., according to this definition, all dynamical systems are energy-conserving.

1. Energy Conservation: Physical Meaning and Lagrangian-Based Description

Energy conservation: physical meaning. Some physical systems are *conservative* in the sense that their total energy is preserved. For example, the dynamics of a particle in a potential field $V(x) = V(x_1, x_2, x_3)$ is described, in Newtonian mechanics, by Newton's equations

$$m \cdot \ddot{x}_i = -\frac{\partial V}{\partial x_i}, \quad (1)$$

where $\dot{x}_i$, as usual, denotes time derivative. For this particle, the overall energy

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \sum_{i=1}^3 (\dot{x}_i)^2 + V(x) \quad (2)$$

is conserved: when the kinetic energy $\frac{1}{2} \cdot m \cdot \sum_{i=1}^3 (\dot{x}_i)^2$ decreases, the potential energy $V(x)$ increases appropriately, and vice versa.

When energy is not conserved: physical meaning. A classical example of a physical system for which energy is not conserved is a system with friction. Its simplest case is when we do not even have any potential field, i.e., when the dynamical equations have the form

$$m \cdot \ddot{x}_i = -k \cdot \dot{x}_i, \quad (3)$$

for some friction coefficient k . This equation can be further simplified into

$$\ddot{x}_i = -k_0 \cdot \dot{x}_i, \quad (3a)$$

for $k_0 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{k}{m}$. A system that follows this equation slows down, its velocity (and hence, its kinetic energy) exponentially decreases with time — without being transferred into any other type of energy.

From the physical viewpoint, this non-conservation of energy means that the system described by the equation (3a) is not closed: the energy lost in this system is captured by other objects. For friction, it is very clear where this energy goes: it gets transformed into the thermal energy, i.e., into kinetic energy of individual molecules in the surrounding medium.

Need to go beyond simple examples. For simple particles, energy is easy to define and easy to analyze. However, for more complex physical systems, especially when fields are involved, it is not easy to find an appropriate expression for energy.

A general Lagrangian approach to energy conservation. Newton's physics was originally formulated in terms of differential equations. It turns out that most physical theories can be equivalently described in terms of the *minimal action* principle: the actual dynamics of particles and fields is the one that minimizes a special physical quantity called *action* S . For particles, action has the form $S = \int L(x(t), \dot{x}(t)) dt$, where the function $L(x(t), \dot{x}(t))$ is known as the *Lagrangian*. For example, for the Newtonian particle in a potential field $V(x)$, the Lagrangian has the form

$$L = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \sum_{i=1}^3 (\dot{x}_i)^2 - V(x). \quad (4)$$

For fields $f(x)$, ..., the action S has a similar form $S = \int L(f(x), \dots, f_{,i}(x), \dots) dx$, where $f_{,i}$ denotes the corresponding partial derivative $f_{,i} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial f}{\partial x_i}$.

The Lagrange formulation of physical theories is currently ubiquitous. One of the main reasons for this ubiquity is that, according to modern physics, the correct picture of the physical world comes from quantum mechanics. It is not easy to find a quantum analogue of a physical theory based on its system of differential equations, but when a physical theory is given in Lagrangian terms, its quantization is much more straightforward: in the Feynman's integration-over-trajectories formulation, the amplitude $\psi_{A,B}$ of a transition from a state A to the state B is proportional to the "sum" (integral) of the expression $\exp\left(i \cdot \frac{S}{\hbar}\right)$ over all trajectories leading from A to B , and the probability to observe the transition into different states B is proportional to the squared absolute value of this amplitude $|\psi_{A,B}|^2$; see, e.g., [2, 2].

Once we know the Lagrangian, we can use Euler-Lagrange equations to derive the corresponding differential equations. For particles, these equations take the form

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}_i} \right) = 0. \quad (5)$$

One can easily check that for the Newtonian Lagrangian (4), we get exactly Newton's equations (1). For fields, the equations take the form

$$\frac{\partial L}{\partial f} - \sum_i \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial L}{\partial f_{,i}} \right) = 0. \quad (6)$$

In the Lagrange approach, the energy of a particle is formally defined as

$$E_L \stackrel{\text{def}}{=} \sum_i \dot{x}_i \cdot \frac{\partial L}{\partial \dot{x}_i} - L. \quad (7)$$

One can check that for the Newtonian Lagrangian (4), we get the standard expression (2) for energy. A similar expression defines energy for a field theory [2, 2]:

$$E_L = \sum_f \sum_i f_{,i} \cdot \frac{\partial L}{\partial f_{,i}} - L. \quad (8)$$

What we do in this paper. The Lagrangian approach has been very successful in describing physical energy of different particle and field systems. What we show, however, is that in some simple cases, the Lagrangian formalism does not adequately convey the physical meaning of energy conservation.

2. A Simple Example When the Physical Meaning of Energy Conservation Differs from the Lagrangian-Based Energy

Description of the simple example. Let us consider the simplest possible example of a physical system in which, from the physical viewpoint, energy is

not conserved: a 1-D particle with friction, whose dynamics is described by the equation

$$\ddot{x}(t) = -k_0 \cdot \dot{x}(t). \quad (9)$$

What we will do. In this section, we will show that this system can be described by a Lagrangian and thus, for this system, energy (as defined in the Lagrangian formalism) is well conserved. This will show that — at least on this example — the Lagrangian formalism does not adequately convey the physical meaning of energy conservation.

In the next section, we show that this inadequacy is not a freaky property of this particular simple system: generic dynamical systems describing a 1-D particle can be described by an appropriate Lagrangian.

Towards finding an appropriate Lagrangian. The classical Newtonian Lagrangian (4) is a sum of two terms: a term depending only on $\dot{x}_i$ and a term depending only on x_i . Let us look for a similar type Lagrangian for describing the equation (9), i.e., let us look for a Lagrangian of the type

$$L = a(\dot{x}) + b(x), \quad (10)$$

for some functions $a(\dot{x})$ and $b(x)$. For this Lagrangian, Euler-Lagrange equations (5) lead to

$$b'(x) - \frac{d}{dt}a'(\dot{x}) = 0, \quad (11)$$

where $b'(x)$ and $a'(\dot{x})$, as usual, indicated derivatives of the corresponding functions. By applying the chain rule to the formula (11), we get

$$b'(x) - a''(\dot{x}) \cdot \ddot{x} = 0. \quad (12)$$

We want to find a Lagrangian that leads to differential equation (9). For this Lagrangian, the formula (12) will be true when we substitute the expression (9) for the acceleration $\ddot{x}$. As a result, we get the following formula

$$b'(x) + k_0 \cdot a''(\dot{x}) \cdot \dot{x} = 0, \quad (13)$$

i.e., equivalently,

$$k_0 \cdot a''(\dot{x}) \cdot \dot{x} = -b'(x) \quad (14)$$

for all possible values x and $\dot{x}$.

The left-hand side of the formula (14) does not depend on $\dot{x}$, and its right-hand side does not depend on x . Since these two sides are equal, this means that this expression cannot depend neither on x nor on $\dot{x}$ and is, therefore, a constant. Let us denote this constant by C . Then, from the condition that the right-hand side is equal to this constant, we conclude that $b'(x) = -C$, hence $b(x) = -C \cdot x + C_0$. The constant term C_0 in the Lagrangian does not affect the corresponding equations (5) and can thus be safely ignored. So, we have $b(x) = -C \cdot x$.

Similarly, from the condition that the left-hand side of the formula (14) is equal to the constant C , we conclude that

$$k_0 \cdot a''(y) \cdot y = C, \quad (15)$$

where, for simplicity, we denoted $y \stackrel{\text{def}}{=} \dot{x}$. From (15), we conclude that

$$a''(y) = \frac{C}{k_0 \cdot y}. \quad (16)$$

Integrating over y , we get

$$a'(y) = \frac{C}{k_0} \cdot \ln(y) + C_0, \quad (17)$$

and, integrating once again, that

$$a(y) = \frac{C}{k_0} \cdot y \cdot \ln(y) + C_0 \cdot y + C_1. \quad (18)$$

Ignoring the constant C_1 and taking into account that $L(x, \dot{x}) = a(\dot{x}) + b(x)$ and that $b(x) = -C \cdot x$, we get the following expression for the desired Lagrangian:

Resulting Lagrangian. The system (9) can be described by the Lagrangian

$$L(x, \dot{x}) = \frac{C}{k_0} \cdot \dot{x} \cdot \ln(\dot{x}) + C_0 \cdot \dot{x} - C \cdot x. \quad (19)$$

Comment. One can easily check that for this Lagrangian, Euler-Lagrange equations (5) indeed lead to the equations (9).

Resulting expression for conserved “energy”. Here,

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = \frac{C}{k_0} \cdot (\ln(\dot{x}) + 1) + C_0.$$

Thus, applying the usual formula (7) to the Lagrangian (19), we get the expression

$$E_L = \dot{x} \cdot \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - L = \frac{C}{k_0} \cdot \dot{x} + C \cdot x. \quad (20)$$

One can easily check that this “energy” is indeed conserved. Indeed, here

$$\frac{dE_L}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{C}{k_0} \cdot \dot{x} + C \cdot x \right) = \frac{C}{k_0} \cdot \ddot{x} + C \cdot \dot{x}. \quad (21)$$

Substituting the expression $\ddot{x} = -k_0 \cdot \dot{x}$ into this formula, we indeed get $\frac{dE_L}{dt} = 0$.

3. From the Simplest Example to a General Dynamical System

What we do in this section. One may think that the weird conclusion — that for a friction particle, energy is well-defined and conserved — is caused by the fact that we have selected a very simple dynamical system (1). Alas, this is not the case. Let us show that a similar Lagrangian reformulation is possible for a generic dynamical system

$$\ddot{x}_i = f_i(x_1, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n), \quad i = 1, \dots, n. \quad (22)$$

A simple multi-D case. Let us start with a multi-D analog of a system with friction, in which the differential equations have the form

$$\ddot{x}_i(t) = -k_0 \cdot \dot{x}_i(t). \quad (23)$$

This system can be described, e.g., by a Lagrangian

$$L = \sum_i \frac{1}{k_0} \cdot \dot{x}_i \cdot \ln(\dot{x}_i) - \sum_i x_i. \quad (24)$$

General case. In the general case, differential equations (5) take the form

$$L_{,x_i} - \frac{d}{dt} L_{,\dot{x}_i} = 0, \quad (25)$$

where $L_{,z}$ denotes partial derivative. By using the chain rule to differentiate the expression $L_{,\dot{x}_i}(x_j, \dot{x}_j)$, we get

$$L_{,x_i} - \sum_j L_{,\dot{x}_i x_j} \cdot \dot{x}_j - \sum_j L_{,\dot{x}_i \dot{x}_j} \cdot \ddot{x}_j. \quad (26)$$

Substituting $\ddot{x}_i = f_i$ into this formula and using notations $y_i = \dot{x}_i$, we get

$$L_{,x_i} - \sum_j L_{,y_i x_j} \cdot y_j - \sum_j L_{,y_i y_j} \cdot f_j(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n). \quad (27)$$

Our objective is to define a function $L(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n)$ of $2n$ variables for which the second-order partial differential equation (27) holds.

Let us show how we can construct such a function. Let us take, e.g., $L(x_1, \dots, x_n, 0, \dots, 0) = 0$ when all the derivatives y_i are equal to 0. Then, we extend it to the case when $y_1 \neq 0$ and $y_2 = \dots = y_n = 0$. With respect to y_1 , (27) becomes a simple second order equation

$$\frac{\partial^2 L}{\partial y_1^2} \cdot f_1 + \frac{\partial^2 L}{\partial y_1 \partial \dots} \cdot \dots + \dots,$$

from which one can explicitly obtain such an extension — e.g., by Euler-style step-by-step integration. Then, we can extend this function along y_2 , etc. At the end, we get a function defined for all possible values of x_i and y_j .

Acknowledgments. This work was supported in part by the National Science Foundation grants HRD-0734825 and HRD-1242122 (Cyber-ShARE Center of Excellence) and DUE-0926721, by Grants 1 T36 GM078000-01 and 1R43TR000173-01 from the National Institutes of Health, and by a grant N62909-12-1-7039 from the Office of Naval Research.

REFERENCES

1. Feynman R., Leighton R., and Sands M. The Feynman lectures on physics, Boston, Massachusetts : Addison Wesley, 2005.
2. Landau L.D. and Lifschitz, E.M. The Classical Theory of Fields, The Classical Theory of Fields, Oxford, UK : Butterworth-Heinemann, 1980.

FROM URYSOHN'S UNIVERSAL METRIC SPACE TO A UNIVERSAL SPACE-TIME

A.G. Aksoy, Z. Glassman, O. Kosheleva, V. Kreinovich

A known Urysohn's result shows that there exists a *universal* metric space, i.e., a metric space into every other (separable) metric space can be isomorphically embedded. Moreover, this universal metric space can be selected to be *ultra-homogeneous* — every isomorphism of its two finite subsets can be extended to the isomorphism of the whole space.

Starting with Einstein's theories of Special and General relativity, space-times are described by a different type of structure — a set (of events) equipped with the proper time $\tau(a, b)$ between points a and b ; such spaces are known as *space-times with kinematic metric*, or *k-space-times*. In this paper, we show that Urysohn's result can be extended to k-space-times — namely, that there exists an ultra-homogeneous universal k-space-time.

1. Formulation of the Problem

Urysohn's universal metric space. In one of his latest papers [16], P. Urysohn showed that there exists a *universal* metric space U into which every separable metric space can be isometrically embedded; see, e.g., [1, 9, 10, 14]. The Urysohn's space is known to be *ultra-homogeneous* in the sense that every isomorphism between its two finite subspaces can be extended to an *auto-isometry*, i.e., an isometric 1-1 mapping of the space U onto itself.

Possible physical interpretation of Urysohn's universal metric space. From the physical viewpoint, Urysohn's universal set can be viewed as a universal *space* — a space that includes all other metric spaces as its subsets.

Need to consider space-times, not metric spaces. In Newton's physics, spatial distance $d(a, b)$ was a well-defined physical notion. Relativity theory has shown, however, that spatial distance is not absolute, it depends on the coordinate

system; to properly describe the physical world, we thus need to consider *space-times* (sets of events), not just spaces; see, e.g., [2, 2, 5].

Proper time: a natural space-time analog of a metric. In relativity theory, the only “absolute” (invariant) analog of metric distance is the *proper time* $\tau(a, b)$ between two events a and b .

In relativity theory, the observed time interval depends on the person’s motion: in general, the faster you travel, the shorter the observed time interval, so that for objects moving close to the speed of light, time practically stands still; this is the main idea behind the well-known “twins paradox”. Thus, if an event a causally precedes event b , it is always possible to get from a to b by spending as little proper time as possible: it is sufficient to travel with a speed close to the speed of light, and then travel back with the same speed.

The longest possible proper time is when we are immobile (or when we move with constant direction in the same velocity); any acceleration decreases the amount of proper time. Thus, a physically meaningful proper time $\tau(a, b)$ can be defined as the longest possible proper time for all trajectories leading from the event a to the event b . When a is not causally preceding b , we can set $\tau(a, b) = 0$.

Comment. The fact that we consider the *longest* possible proper time make this notion different from (kind of dual to) the usual spatial metric $d(a, b)$ which can be defined as the length of the *shortest* possible path connecting spatial points a and b .

Properties of proper time. Clearly, we can get from any event a to itself in 0 time, so $\tau(a, a) = 0$.

If an event a casually precedes b , and b causally precedes c , then some trajectories going from a to c pass through b but not necessarily all of them. The largest proper time of trajectories going from a to c via b is composed of the largest time $\tau(a, b)$ of going from a to b and the largest time $\tau(b, c)$ of going from b to c , and is thus equal to $\tau(a, b) + \tau(b, c)$. The largest proper time $\tau(a, c)$ among *all* possible trajectories leading from a to c is larger than or equal to the largest possible time $\tau(a, b) + \tau(b, c)$ among those trajectories which pass through b .

In terms of the largest proper time $\tau(a, b)$, we can conclude that a precedes b if $\tau(a, b) > 0$ — because otherwise, if a does not causally precedes b , we take $\tau(a, b) = 0$. Thus, we conclude that if $\tau(a, b) > 0$ and $\tau(b, c) > 0$, then

$$\tau(a, c) \geq \tau(a, b) + \tau(b, c) \quad (1)$$

Proper time vs. distance. For distance $d(a, b)$, a similar logic based on its definition as the *shortest* path leads to the triangle inequality $d(a, c) \leq d(a, b) + d(b, c)$ — since the length $d(a, c)$ of the shortest path from a to c is smaller than or equal to the shortest length $d(a, b) + d(b, c)$ of all the paths that go through b .

Because of this connection, the above inequality (1) is called an *anti-triangle inequality*. Because of its origin in kinematics (a physical description of how

particles and physical bodies move), the function $\tau(a, b)$ is known as a *kinematic (k-)metric*; see, e.g., [1, 3, 5].

So, we arrive at the following definition.

Definition 1. *Let X be a set. By a kinematic (k-)metric of X , we mean a function $\tau : X \times X \rightarrow \mathbb{R}$ for which $\tau(a, b) \geq 0$ for all a and b , $\tau(a, a) = 0$, and the following property is satisfied:*

$$\text{if } \tau(a, b) > 0 \text{ and } \tau(b, c) > 0, \text{ then } \tau(a, c) \geq \tau(a, b) + \tau(b, c), \quad (2)$$

The pair (X, τ) is called a *k-space-time*.

Discussion. The usual metric $d(a, b)$ is symmetric: $d(a, b) = d(b, a)$. In contrast, a k-metric is highly asymmetric: one can easily prove, by contradiction, that if $\tau(a, b) > 0$ then $\tau(b, a) = 0$. Indeed, if we had $\tau(b, a) > 0$, then due to the anti-triangle inequality, we would have

$$0 = \tau(a, a) \geq \tau(a, b) + \tau(b, a) > 0,$$

a contradiction.

A natural question. Since k-space-times are natural models of space-times, a natural question is: is there a *universal* k-space-time, i.e., a k-space-time into which every other k-space-time can be isometrically embedded?

In this paper, we prove that such a universal k-space-time is indeed possible. To formulate our precise result, however, we need to make one physics-related comment.

A physics-related comment. From the mathematical viewpoint, a space-time has *infinitely many* possible events. For example, in Newton's physics or in relativistic physics, we can have events corresponding to infinitely many moments of time and infinitely many spatial points.

In practice, however, at any given moment of time, we have only made *finitely many* observations; in other words, we only have finitely many observed events. This number can be huge, and by performing additional observations and measurements, we can make it even larger — but we will always have finitely many events. Thus, from the operationalist physical viewpoint, it is sufficient to make sure that every *finite* k-space-time can be embedded.

In the metric case, we can make the same restriction and then tend to the limit, since the metric $d(a, b)$ naturally induces the notion of convergence. There is no such automatic convergence for kinematic metric, so we will restrict ourselves to finite k-space-times.

2. Main Result

Definition 2. Let (X, τ) and (X', τ') be k -space-times. A 1-1 mapping $f : X \rightarrow X'$ is called an *isometric embedding* if for every $x, y \in X$, we have $\tau(x, y) = \tau'(f(x), f(y))$. When f is a bijection, we say that the k -metric space-times are *isometric*.

Definition 3. A k -space-time U is called *universal* if every finite k -space-time can be isometrically embedded into U .

Definition 4. Let (X, τ) be a k -space-time, and $S, S' \subset X$. A bijection $f : S \rightarrow S'$ is called an *isometry* if for every two points $x, y \in S$, we have $\tau(x, y) = \tau'(f(x), f(y))$. When $S = S' = X$, an isomorphic embedding is called an *auto-isometry*.

Definition 5. A k -space-time (X, τ) is called *ultra-homogeneous* if every isometry between its finite subsets S and S' can be extended to an auto-isometry of X .

Theorem.

- There exists a universal ultra-homogeneous kinematic metric space.
- Every two universal ultra-homogeneous kinematic metric spaces are isometric to each other.

Comments.

- In other words, modulo isometry, there is a unique universal ultra-homogeneous kinematic metric space.
- In [4, 12], it is shown that a universal ultra-homogeneous space-time model exists if we only model causality relation. In this paper, we extend this universality result to the case when we also consider proper time (i.e., k -metric).

Proof. To prove our result, we will use the Fraïssé limit theory; see, e.g., [7, 8, 11]. In our description, we will only need a relational part of this theory. In this part, we start with a set I which either coincides with the set of all positive integers, or has the form $I = \{1, \dots, n\}$ for some n . A *signature* L is then defined as a mapping which assigns, to each integer $i \in I$, a symbol R_i and a positive integer n_i called *arity*. By an L -structure $\mathbf{A}$, we mean a tuple consisting of a non-empty set A and a sequence of n_i -ary relations $R_i^{\mathbf{A}} \subseteq A^{n_i}$. An injection $f : A \rightarrow B$ is called an *embedding* between structures $\mathbf{A}$ and $\mathbf{B}$ if for every i and for all possible values $a_1, \dots, a_{n_i}$, we have $R_i^{\mathbf{A}}(a_1, \dots, a_{n_i}) \Leftrightarrow R_i^{\mathbf{B}}(f(a_1), \dots, f(a_{n_i}))$. The existence of an embedding is denoted by $\mathbf{A} \leq \mathbf{B}$.

An embedding is called an *isomorphism* if it is a bijection. The existence of an isomorphism is denoted by $\mathbf{A} \cong \mathbf{B}$.

A class $\mathcal{K}$ of finite L -structures is called *hereditary* if $\mathbf{A} \leq \mathbf{B}$ and $\mathbf{B} \in \mathcal{K}$ imply $\mathbf{A} \in \mathcal{K}$. It is said to satisfy the *joint embedding property* if for every two structures $\mathbf{A} \in \mathcal{K}$ and $\mathbf{B} \in \mathcal{K}$, there exist a $\mathbf{C} \in \mathcal{K}$ for which $\mathbf{A} \leq \mathbf{C}$ and $\mathbf{B} \leq \mathbf{C}$. The class is said to satisfy the *amalgamation property* if for every three structures $\mathbf{A} \in \mathcal{K}$, $\mathbf{B} \in \mathcal{K}$, and $\mathbf{C} \in \mathcal{K}$, and for every two embeddings $f : \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}$ and $g : \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{C}$, there exists a structure $\mathbf{D} \in \mathcal{K}$ and embeddings $r : \mathbf{B} \rightarrow \mathbf{D}$ and $s : \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{D}$ for which $r \circ f = s \circ g$. A countable class $\mathcal{K}$ is called a *Fraïssé class* if it is hereditary, satisfies joint embedding and amalgamation properties, and contains structures with arbitrary large number of elements. Fraïssé has proven that for every Fraïssé class $\mathcal{K}$, there exists a countable ultrahomogeneous structure into which each structure from the class $\mathcal{K}$ can be isomorphically embedded, and that such a structure is unique up to an isomorphism; this universal structure is known as the *Fraïssé limit* of the class $\mathcal{K}$.

We want to use this result to prove our theorem. The main difference between Fraïssé's formulation and our problem is that Fraïssé considers sets with relations, while we are interested in sets with a real-valued function $\tau(a, b)$. So, to reduce our problem to Fraïssé's, we need to describe the real-valued function in terms of relations. We can do it by considering, for each positive rational number $q = \frac{m}{n}$, a binary relation $R_q(a, b) \Leftrightarrow \left(\tau(a, b) \geq \frac{m}{n} \right)$. Since there are countably many rational numbers, we are thus introducing countably many relations.

For every a and b , if we know the truth values of all the relations $R_q(a, b)$, this means that we know the set of all rational numbers $q \leq \tau(a, b)$. From this set, the real number $\tau(a, b)$ can be determined as the supremum of this set. Thus, if $R_q(a, b) \Leftrightarrow R_q(f(a), f(b))$ for all q , this means that the corresponding sets of rational numbers coincide and therefore, $\tau(a, b) = \tau(f(a), f(b))$. So, for the above-defined signature (set of relations), isomorphism means isometry of the corresponding k -space-times, embedding means isometric embedding, etc.

Thus, to apply the Fraïssé result to our case, it is sufficient to prove that the class $\mathcal{K}$ of all finite k -space-times is hereditary, has joint embedding and amalgamation properties, and has structures (k -space-times) with arbitrarily large number of elements.

Hereditary property follows directly from the definition of a k -space-time; as k -spaces-times with arbitrarily large number of elements, we can take, e.g., finite subsets of the usual Minkowski space-time — or, even simpler, sets $\{1, \dots, N\}$ with $\tau(x, y) = \max(y - x, 0)$.

The joint embedding property is also easy to prove: for each pair of structures $\mathbf{A} = (A, \tau_A)$ and $\mathbf{B} = (B, \tau_B)$, as the desired structure $\mathbf{C}$, we can simply take the union C of two disjoint sets A and B , with the following k -metric:

- for $a, a' \in A$, we take $\tau(a, a') = \tau_A(a, a')$;
- for $b, b' \in B$, we take $\tau(b, b') = \tau_B(b, b')$; and

- for $a \in A$ and $b \in B$, we take $\tau(a, b) = 0$.

To complete the proof, let us prove the amalgamation property. Let us assume that two embeddings: $f : \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}$ and $g : \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{C}$, for some structures $\mathbf{A} = (A, \tau_A)$, $\mathbf{B} = (B, \tau_B)$, and $\mathbf{C} = (C, \tau_C)$. Without losing generality, we can safely assume that A , B , and C are disjoint sets — otherwise we would simply take disjoint copies of A , B , and C . Then, to get D , we do the following:

- We take the union $B \cup C$.
- On this union, we have an equivalence relation: two points x, x' are equivalent if there exists an $a \in A$ such that $x = f(a)$ and $x' = g(a)$.

One can easily check that this is indeed an equivalent relation, in which each equivalence class consists of either one element or of two elements $\{f(a), g(a)\}$ for some $a \in A$. A factor-set of $B \cup C$ over this equivalence relation is our set D .

The subset of D formed by elements of the type $f(a)$ is isomorphic (thus isometric) to A . Trivial embeddings $r(b) \stackrel{\text{def}}{=} b$ and $s(c) \stackrel{\text{def}}{=} c$ are isomorphic embeddings of B and C into this set D . (In topology, what we do to get D is called “gluing”: we take B and C , and glue them together by the part isomorphic to A .)

The k -metric τ on this set D is then defined as follows:

- for $b, b' \in B$, we take $\tau(b, b') = \tau_B(b, b')$; for $c, c' \in C$, we take $\tau(c, c') = \tau_C(c, c')$;
- for values $b \in B - C$ and $c \in C - B$, we define

$$\tau(b, c) = \max_{a \in A} (\tau_B(b, a) + \tau_C(a, c));$$

- for values $b \in C - B$ and $c \in B - C$, we define

$$\tau(b, c) = \max_{a \in A} (\tau_C(b, a) + \tau_B(a, c)).$$

One can check that thus defined function satisfies the anti-triangle property (2). The statement is proven, and so is our main result.

Acknowledgments

This work was supported in part by the National Science Foundation grants HRD-0734825 and HRD-1242122 (Cyber-ShARE Center of Excellence) and DUE-0926721, by Grants 1 T36 GM078000-01 and 1R43TR000173-01 from the National Institutes of Health, and by grant N62909-12-1-7039 from the Office of Naval Research.

REFERENCES

1. Aksoy A.G., Ibragimov Z. The Uryshon universal space and hyperconvexity. 2013. URL: <http://arxiv.org/abs/1309.7381>
2. Beem J.K., Ehrlich P.E., Easley K.L. Global Lorentzian Geometry, New York : Marcel Dekker, 1996.
3. Busemann H. Timelike spaces, Warszawa : PWN, 1967.
4. Droste M. Universal homogeneous causal sets // Kopperman R., Panangaden P., Smyth M., Spreen D., and Webster J. (eds.) Computational Structures for Modelling Space, Time and Causality, Dagstuhl Seminar Proceedings, Internationales Begegnungs- und Forschungszentrum (IBFI), Schloss Dagstuhl, Germany, 2006, seminar 06341.
5. Ehrlich P.E. A personal perspective on Global Lorentzian Geometry // Frauendiener J., Giulini J.W., and Perlick V. (Eds.) Analytical and Numerical approaches to Mathematical Relativity, Springer Lecture Notes in Physics, 2006, V. 692.
6. Feynman R., Leighton R., and Sands M. The Feynman lectures on physics, Boston, Massachusetts : Addison Wesley, 2005.
7. Fraïssé R. Sur l'extension aux relations de quelques propriétés des ordres // Ann. Sci. École Norm. Sup. 1954, V. 71, P. 363-388.
8. Fraïssé R. Sur quelques classifications des systèmes de relations // Publ. Sci. Univ. Algeria Sér. A, 1954, V. 1, P. 35-182.
9. Gromov M. Metric Structures for Riemannian and Non-Riemannian Spaces, Basel: Birkhauser, 1998.
10. Hubička J. and Nešetřil J. A finite presentation of the rational Urysohn space // Topology and its Applications 2008, V. 155, N. 14, P. 1483-1492.
11. Kechris A.S., Pestov V.G., and Todorcevic S. Fraïssé limits, Ramsey theory, and topological dynamics of automorphism groups // Geometric and Functional Analysis 2005, V. 15, N. 1, P. 106-189.
12. Kreinovich V. and Kosheleva O. Computational Complexity of Determining Which Statements about Causality Hold in Different Space-Time Models // Theoretical Computer Science, 2008, V. 405, No. 1-2, P. 50-63.
13. Kronheimer E.H. and Penrose R. On the structure of causal spaces // Proc. Cambr. Phil. Soc. 1967, V. 63, No. 2, P. 481-501.
14. Melleray J. Some geometric and dynamical properties of the Urysohn space // Topology and its Applications 2008, V. 155, No. 14, P. 1531-1560.
15. Pimenov R.I. Kinematic spaces: Mathematical Theory of Space-Time. New York : Consultants Bureau, 1970.
16. Urysohn P. Sur un espace métrique universel // Bulletin des Sciences Mathématiques 1927, V. 51, P. 43-64 and 74-90.

HOW TO DEFINE DISTANCE IN TERMS OF KINEMATIC METRIC AND/OR OTHER PHYSICAL QUANTITIES

F. Zapata

It is desirable to have a metric $d(a, b)$ which describes the closeness between space-time events. In Newtonian space, we can use Euclidean metric to describe the closeness of different spatial points. In relativistic physics, spatial distance is not invariant, it changes when we go from the original reference frame to another one which moves in relation to the original one. The only invariant characteristic is the proper time — known as kinematic metric. Can we use kinematic metric to define the desired distance $d(a, b)$ between space-time events? In this paper, we show that for the full space-time of special relativity, it is not possible to define a metric $d(a, b)$ in terms of the kinematic metric; however, if we limit ourselves to a compact (bounded) part of space-time, such a definition becomes possible. We also show that, more generally, for compact parts of space-time, we can define metric in terms of any number of physical fields.

1. Introduction

Distance is relative. Different measuring instruments ranging from rulers to laser-based super-accurate devices measure distance between two spatial points. By using these measuring instruments, for every two spatial points x and y , we can determine the distance $d(x, y)$ between these two points. This measured distance satisfies the usual properties $d(x, x) = 0$, $d(x, y) > 0$ when $x \neq y$, $d(x, y) = d(y, x)$, and the triangle inequality $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$. In mathematics, a function $d(x, y)$ which satisfies these properties is called a *distance function*.

In Newtonian physics, distance between the two points had an absolute physical meaning. However, relativity theory showed that distance is not absolute: a measured distance between the two points depends, e.g., on whether we measure this distance by the original instrument or by another instrument which is moving with respect to the original one; see, e.g., [2, 4].

Is there an absolute distance function? The usual physical distance is not absolute, it depends on the coordinate system. A natural question is: can we define an alternative continuous distance function which will be absolute? In other words, can we use coordinate-independent physical quantities to define a continuous coordinate-independent distance function?

What we do in this paper. We show that in some cases — e.g., for the full empty space-time — such a continuous coordinate-independent distance function is not possible. On the other hand, if we limit ourselves to a part of space-time which is compact, then such a continuous distance function is possible. We also show that, more generally, for compact parts of space-time, we can define metric in terms of any number of physical fields.

2. Case of Full Empty Space-Time

Empty space-time: what is observable. Let us first consider the case of an empty space-time. In Newtonian space, the distance $d(a, b)$ can be defined as a shortest path between the two spatial points a and b . In an empty space-time, we do not have a direct way of measuring distance, we can also measure time. For every two events a and b , if a causally precedes b (we will denote this by $a \leq b$), we can measure proper time of different particles which start at a and end at b . In contrast to the Newtonian space, where the positive shortest distance corresponds to the straight line connecting a and b , in relativistic physics, we can always get from a to b in zero proper time: by sending a photon which is reflected so that it reaches a point b . In relativistic physics, the proper time is the *longest* along the straight line connecting a and b . If another particle travels with a certain speed in relation to the straight-line particle, then, according to the known feature of relativity theory, the time on that other particle slows down, so the overall travel time will be shorter than on the original straight-line particle.

We can therefore define a natural analogue of metric $\tau(a, b)$ as the longest proper time of a particle that travels from a to b . This function $\tau(a, b)$ is known as *kinematic metric*; see, e.g., [1, 3–5].

For the usual metric, the shortest path from x to z cannot be longer than the path from x to y , and then from y to z ; thus, we have the usual triangle inequality $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$. For the kinematic metric, the longest time between a and c cannot be shorter than time of going from a to b and then from b to c . Thus, when $a \leq b \leq c$, we have $\tau(a, c) \geq \tau(a, b) + \tau(b, c)$; this inequality is known as the *anti-triangle inequality*.

For the case when a cannot causally influence b , the kinematic metric is usually defined as $\tau(a, b) = 0$.

The question. In this case, the question is: if we only know the kinematic metric $\tau(a, b)$, can we define a new function $d(a, b)$ in terms of the kinematic metric?

It is impossible to define a distance function in terms of kinematic metric: a proof. Let us show that in the empty Minkowski space-time of Special Relativity, where the kinematic metric takes the form

$$\tau((t, x), (s, y)) = \sqrt{(s - t)^2 - \rho^2(x, y)} \text{ if } s - t \geq d(x, y), \quad (1)$$

where $\rho(x, y) \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_i - y_i)^2}$ is the usual metric in a 3-D Euclidean space, it is not possible to define a distance function in terms of $\tau(a, b)$.

Indeed, the kinematic metric $\tau(a, b)$ of special relativity is known to be invariant with respect to Lorentz transformations, transformations that describe a transition to a coordinate system associated with a moving body. Thus, if we could have a metric function $d(a, b)$ which is described in terms of the kinematic metric $\tau(a, b)$, then this distance function $d(a, b)$ would also be Lorentz-invariant. Let us prove that this is impossible, i.e., that there is no Lorentz-invariant distance function.

We will prove this by contradiction. Let us assume that such a distance function $d(a, b)$ exists. Let us pick some point $a = (t, x)$ in Minkowski space-time and let us pick a real number $\varepsilon > 0$. Since $d(a, a) = 0$ and the function $d(a, b)$ is continuous, there exists a neighborhood U of the point a for which $d(a, b) \leq \varepsilon$ for all $b \in U$. This neighborhood included points from the future light cone

$$L_a^+ = \{(s, y) : s - t = \rho(x, y)\}.$$

Thus, for some points $b \in L_a^+$, we have $d(a, b) \leq \varepsilon$.

It is known that every two points from $L_a^+ - \{a\}$ can be transformed into each other by an appropriate Lorentz transformation. Since $d(a, b) \leq \varepsilon$ for some

$$b \in L_a^+ - \{a\}$$

and the distance function $d(a, b)$ is Lorentz-invariant, we can therefore conclude that $0 \leq d(a, b) \leq \varepsilon$ for all the points $b \in L_a^+$. This inequality $0 \leq d(a, b) \leq \varepsilon$ holds for all $\varepsilon > 0$, thus $d(a, b) = 0$ — which contradicts to the fact that for distance functions, we should have $d(a, b) > 0$ when $a \neq b$.

3. Case of a Compact Part of Space-Time

Formulation of the problem. Instead of the whole space-time, let us now consider a separable compact part of space-time, with a continuous kinematic metric $\tau(a, b)$.

Need to consider physically meaningful space-time models. Of course, we cannot define a distance function in terms of $\tau(a, b)$ if there exist two points a and b which cannot be distinguished by the kinematic metric, i.e., for which $\tau(a, c) = \tau(b, c)$ and $\tau(c, a) = \tau(c, b)$ for all c . In this case, such points a and b , while mathematically different, cannot be distinguished by any physical properties and are, therefore, identical from the physical viewpoint. It is therefore reasonable

to consider space-time models which are, in this sense, *physically meaningful*, i.e., for which, for every $a \neq b$, there exists a point c for which either $\tau(a, c) \neq \tau(b, c)$ or $\tau(c, a) \neq \tau(c, b)$.

We also assume that the kinematic metric $\tau(a, b)$ is continuous with respect to some original (non-physical) metric $d_0(a, b)$.

Comment. For example, in a 4-D space time with points $a = (a_0, a_1, a_2, a_3)$, we can use a coordinate-dependent distance function $d_0(a, b) = \sqrt{\sum_{i=0}^3 (a_i - b_i)^2}$.

Result. It turns out that for physically meaningful compact space-time models, we can define a distance function in terms of kinematic metric $\tau(a, b)$: namely, we can take

$$d(a, b) \stackrel{\text{def}}{=} \sup_c \max(|\tau(a, c) - \tau(b, c)|, |\tau(c, a) - \tau(c, b)|). \quad (2)$$

Let us prove that this formula indeed defines a continuous metric, and that the topology generated by this metric $d(a, b)$ is equivalent to the topology generated by the original metric $d_0(a, b)$.

Proof. Let us first check that the function defined by the formula (2) is indeed a distance function.

Proving that $d(a, a) = 0$. For $a = b$, we have

$$|\tau(a, c) - \tau(b, c)| = |\tau(a, c) - \tau(a, c)| = 0$$

and

$$|\tau(c, a) - \tau(c, b)| = |\tau(c, a) - \tau(c, a)| = 0,$$

so we have

$$\max(|\tau(a, c) - \tau(b, c)|, |\tau(c, a) - \tau(c, b)|) = 0$$

and thus, $d(a, a) = 0$.

Proving that $d(a, b) = 0$ implies $a = b$. Since the kinematic metric is assumed to be physically meaningful, for each pair $a \neq b$, there exists a c for which either $|\tau(a, c) - \tau(b, c)| > 0$ or $|\tau(c, a) - \tau(c, b)| > 0$. In both cases, $\max(|\tau(a, c) - \tau(b, c)|, |\tau(c, a) - \tau(c, b)|) > 0$, and that, the supremum $d(a, b)$ of all such values is also positive. Also, from the definition (2), it follows that $d(a, b) = d(b, a)$ for all a and b .

Proving the triangle inequality. Let us prove that the expression (2) satisfies the triangle inequality, i.e., that $d(a, a') \leq d(a, b) + d(b, a')$ for all a, b , and a' . The value $d(a, a')$ is the largest of all possible values $|\tau(a, c) - \tau(a', c)|$ and $|\tau(c, a) - \tau(c, a')|$. Thus, to prove that $d(a, a')$ does not exceed the sum $d(a, b) + d(b, a')$, it is sufficient to prove that each of these values $|\tau(a, c) - \tau(a', c)|$ and $|\tau(c, a) - \tau(c, a')|$ does not exceed the sum $d(a, b) + d(b, a')$. Indeed, for all real numbers A, B , and A' , we have $|A - A'| \leq |A - B| + |B - A'|$; this is a 1-D case of the triangle inequality. In particular, for $A = \tau(a, c)$, $B = \tau(b, c)$, and $A' = \tau(a', c)$, we get

$$|\tau(a, c) - \tau(a', c)| \leq |\tau(a, c) - \tau(b, c)| + |\tau(b, c) - \tau(a', c)|.$$

Here, by definition of $d(a, b)$ and $d(a', b)$, we have $|\tau(a, c) - \tau(b, c)| \leq d(a, b)$ and $|\tau(a', c) - \tau(b, c)| \leq d(a', b)$, thus we conclude that

$$|\tau(a, c) - \tau(a', c)| \leq d(a, b) + d(b, a').$$

Similarly, we can prove that

$$|\tau(c, a) - \tau(c, a')| \leq d(a, b) + d(b, a')$$

for all c . This proves the triangular inequality. So, we have proved that the expression (2) defines a distance function.

Proving continuity. Let us show that the distance function $d(a, b)$ is continuous with respect to the original metric $d_0(a, b)$.

We know that the kinematic metric $\tau(a, b)$ is continuous. It is known that a continuous function on a compact set is always uniformly continuous with the respect to the original (non-physical coordinate-dependent) distance function d_0 , i.e., for every $\varepsilon > 0$ there exists $\delta(\varepsilon) > 0$ such that if $d_0(a, a') \leq \delta(\varepsilon)$ and $d_0(b, b') \leq \delta(\varepsilon)$ then $|\tau(a, b) - \tau(a', b')| \leq \varepsilon$. Let us show that if $d_0(a, a') \leq \delta_0 \stackrel{\text{def}}{=} \delta\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)$ and $d_0(b, b') \leq \delta_0$ then $|d(a, b) - d(a', b')| \leq \varepsilon$; this will prove that the function $d(a, b)$ is indeed continuous.

It is sufficient to prove that $d(a, b) \leq d(a', b') + \varepsilon$; in this case, we can similarly prove that $d(a', b') \leq d(a, b) + \varepsilon$ and thus, that $|d(a, b) - d(a', b')| \leq \varepsilon$. By definition (2), $d(a, b)$ is the supremum of the values

$$\max(|\tau(a, c) - \tau(b, c)|, |\tau(c, a) - \tau(c, b)|)$$

corresponding to different points c . Thus, to prove that $d(a, b) \leq d(a', b') + \varepsilon$, it is sufficient to prove that all these values are smaller than or equal to $d(a', b') + \varepsilon$, i.e., that

$$\max(|\tau(a, c) - \tau(b, c)|, |\tau(c, a) - \tau(c, b)|) \leq d(a', b') + \varepsilon$$

for all c .

The largest of the two numbers $|\tau(a, c) - \tau(b, c)|$ and $|\tau(c, a) - \tau(c, b)|$ is smaller than or equal to a certain bound if and only if both numbers do not exceed this bound. Thus, it is sufficient to prove that for every c , we have $|\tau(a, c) - \tau(b, c)| \leq$

$d(a', b') + \varepsilon$ and $|\tau(c, a) - \tau(c, b)| \leq d(a', b') + \varepsilon$. Without losing generality, we will prove the first inequality; the second one is proven similarly.

From $d_0(a, a') \leq \delta_0 = \delta\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)$ and $d(c, c') = 0$ for $c' = c$, we conclude that $|\tau(a, c) - \tau(a', c)| \leq \frac{\varepsilon}{2}$. Similarly, from $d_0(b, b') \leq \delta_0$, we conclude that

$$|\tau(b, c) - \tau(b', c)| \leq \frac{\varepsilon}{2}.$$

Thus, we have

$$\begin{aligned} |(\tau(a, c) - \tau(b, c)) - (\tau(a', c) - \tau(b', c))| &= |(\tau(a, c) - \tau(a', c)) - (\tau(b, c) - \tau(b', c))| \leq \\ &|\tau(a, c) - \tau(a', c)| + |\tau(b, c) - \tau(b', c)| \leq \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon}{2} = \varepsilon. \end{aligned}$$

Hence,

$$|\tau(a, c) - \tau(b, c)| \leq |\tau(a', c) - \tau(b', c)| + \varepsilon.$$

By definition,

$$|\tau(a', c) - \tau(b', c)| \leq \sup_c \max(|\tau(a', c) - \tau(b', c)|, |\tau(c, a') - \tau(c, b')|) = d(a', b').$$

Thus, we indeed conclude that $|\tau(a', c) - \tau(b', c)| \leq d(a', b') + \varepsilon$. The inequality is proven and so, the metric $d(a, b)$ is indeed continuous with respect to the original metric $d_0(a, b)$.

Proving the equivalence of topologies generated by metrics $d_0(a, b)$ and $d(a, b)$. On a compact set, continuity of the metric $d(a, b)$ implies its uniform continuity. Thus, for every $\varepsilon > 0$, there exists a $\delta > 0$ for which $d_0(a, b) \leq \delta$ implies $d(a, b) \leq \varepsilon$. This implies that when $d_0(a_n, b_n) \rightarrow 0$, we also have $d(a_n, b_n) \rightarrow 0$.

To prove that the metrics $d_0(a, b)$ and $d(a, b)$ generate the same topology, it is sufficient to prove that, vice versa, for every $\varepsilon > 0$, there exists a $\delta > 0$ for which $d(a, b) \leq \delta$ implies that $d_0(a, b) \leq \varepsilon$. We will prove this by contradiction. Suppose the above statement is not true. This means that there exists an $\varepsilon > 0$ for which, for every $\delta > 0$, there exist points a and b for which $d(a, b) \leq \delta$ and $d_0(a, b) > \varepsilon$. In particular, for each natural number n , we can take $\delta = 2^{-n}$ and conclude that there exist points a_n and b_n for which $d(a_n, b_n) \leq 2^{-n}$ and $d_0(a_n, b_n) > \varepsilon$.

On a separable compact set, every sequence has a convergent subsequence. Without losing generality, let us assume that the sequences a_n and b_n themselves converge (in the sense of the original metric $d_0(a, b)$), i.e., that $a_n \rightarrow A$ and $b_n \rightarrow B$ for some limit points A and B . Since both the original metric $d_0(a, b)$ and the new metric $d(a, b)$ are continuous in the original topology, we conclude that $d(A, B) = \lim_n d(a_n, b_n) = 0$ and that $d_0(A, B) \geq \varepsilon > 0$. Since $d_0(A, B) > 0$, this means that $A \neq B$. Since we assumed that the space-time is physically meaningful, this means that there exists a point C for which either $\tau(A, C) \neq \tau(B, C)$ or $\tau(C, A) \neq \tau(C, B)$. In both cases, we have $\max|\tau(A, C) - \tau(B, C)|, |\tau(C, A) - \tau(C, B)| > 0$ and thus,

$$d(A, B) = \sup_c \max|\tau(A, c) - \tau(B, c)|, |\tau(c, A) - \tau(c, B)| \geq$$

$$\max |\tau(A, C) - \tau(B, C)|, |\tau(C, A) - \tau(C, B)| > 0,$$

which contradicts to $d(A, B) = 0$.

This contradiction proves that the above statement is true, i.e., $d_0(a, b)$ is continuous with respect to $d(a, b)$ and thus, the metrics $d_0(a, b)$ and $d(a, b)$ indeed generate the same topology.

4. General Case of Physical Fields Over a Compact Part of Space-Time

Description of the general case. Let us assume that we have a separable compact space-time A . On this space-time, we can have physical fields $f_1(a), \dots, f_n(a)$, i.e., functions which assign a real number to each space-time point a (a vector-valued or a tensor-valued field can be viewed as a tuple consisting of the component fields). We may also have functions $g_1(a_1, \dots, a_{n_1}), \dots, g_m(a_1, \dots, a_{n_m})$ that assign numbers to *tuples* of space-time points — just like kinematic metric assigns a number $\tau(a, b)$ to each pair of space-time points a and b .

Similarly to the case of kinematic metric, we assume that the fields are physically meaningful, in the sense that for every two space-time points a and b , we have either $f_i(a) \neq f_i(b)$ for some i , or we have $g_j(a_1, \dots, a_{k-1}, a, a_{k+1}, \dots, a_{n_j}) - g_j(a_1, \dots, a_{k-1}, b, a_{k+1}, \dots, a_{n_j})$ for some j and k and for some points $a_1, \dots, a_{k-1}, a_{k+1}, \dots, a_{n_j}$. We also assume that all these functions $f_i(a)$ and $g_j(a_1, \dots, a_{n_j})$ are continuous with respect to some original metric $d_0(a, b)$.

How to define metric in this case. Similarly to the case of kinematic metric, we can define the metric $d(a, b)$ as follows:

$$d(a, b) = \max(d_{f_1}(a, b), \dots, d_{f_n}(a, b), d_{g_1}(a, b), \dots, d_{g_m}(a, b)), \quad (3)$$

where

$$d_{f_i}(a, b) \stackrel{\text{def}}{=} |f_i(a) - f_i(b)| \text{ and}$$

$$d_{g_j}(a, b) = \sup_{k, a_1, \dots, a_{k-1}, a_{k+1}, \dots, a_{n_j}} \Delta_{jk}(a, b, a_1, \dots, a_{k-1}, a_{k+1}, \dots, a_{n_j}),$$

where

$$\Delta_{jk}(a, b, a_1, \dots, a_{k-1}, a_{k+1}, \dots, a_{n_j}) \stackrel{\text{def}}{=}$$

$$|g_j(a_1, \dots, a_{k-1}, a, a_{k+1}, \dots, a_{n_j}) - g_j(a_1, \dots, a_{k-1}, b, a_{k+1}, \dots, a_{n_j})|.$$

Similarly to the previous section, we can prove that this formula defines a continuous metric, and that the topology generated by this metric $d(a, b)$ is equivalent to the topology generated by the original metric $d_0(a, b)$.

REFERENCES

1. Busemann H. Timelike Spaces, Warszawa:PWN, 1967.
2. Feynman R., Leighton R., and Sands M. The Feynman lectures on physics, Boston, Massachusetts : Addison Wesley, 2005.
3. Kronheimer E.H., and Penrose R. On the structure of causal spaces // Proc. Cambr. Phil. Soc. 1967, V. 63, No. 2, P. 481-501.
4. Misner C.W., Thorne K.S., and Wheeler J.A. Gravitation, New York : W.H. Freeman, 1973.
5. Pimenov R.I. Kinematic Spaces: Mathematical Theory of Space-Time, New York : Consultants Bureau, 1970.

ЗАЩИТА ЛЕСА КАК СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ИГРА

А.К. Гуц, Л.А. Володченкова

Предлагается планирование мероприятий по защите леса рассматривать как стратегическую игру с «природой» в рамках математической теории игр.

Защита лесных насаждений является важной задачей лесных управлений регионов. Любое лесозащитное мероприятие требует финансовых вложений, и, естественно, соответствующие денежные инвестиции должны быть эффективно потрачены.

Лесозащитные мероприятия — это обширный перечень работ, которые должны быть проведены в определённые периоды времени года работниками региональных Лесных управлений в соответствии с разработанными и утверждёнными Лесными планами.

Природа может приносить неожиданные сюрпризы, которые сводят на нет некоторые проведённые лесозащитные мероприятия, что следует рассматривать как напрасно потраченные деньги, т.е. следует рассматривать как убытки, понесённые лесным управлением региона.

Если взглянуть на отношения Природы и Лесного управления с точки зрения теории игр, то убытки лесного управления — это выигрыш игрока, именуемого «природа». Сама игра с «природой» проходит в условиях неопределённости, т.е. отсутствия полной информации о стратегиях игрока «природа» [1].

В игре «природы» и Лесного управления, у каждого из этих игроков можно перечислить разные стратегии поведения, в соответствии с которыми они делают свои ходы, которые означают выигрыш Лесного управления, когда лесозащитное мероприятие было своевременным и деньги потрачены не зря, либо проигрыш, если «природа», «выбрав» свою стратегию, сделала ход, который нанёс убыток Лесному управлению. Игру можно рассматривать как игру с нулевой суммой, когда выигрыш одного игрока равен проигрышу другого.

Для проведения игры с «природой» надо знать набор стратегий Лесного управления $LZ_1, \dots, LZ_m$, набор стратегий (ходов) «природы» — $L_1, \dots, L_n$, результаты игры a_{ij} при каждой паре стратегий LZ_i, L_j , которые являются убытками ($a_{ij} < 0$) Лесного управления по реализации лесозащитных мероприятий, если «природа» выбрала ход L_i и для которого стратегия защиты LZ_j была

провальной, или выигрышем ($a_{ij} > 0$), если лесозащитные мероприятия обеспечили удачную защиту леса.

Впрочем, можно рассматривать биматричную игру, если проигрыш одной стороны не является, в общем, выигрышем другой.

Если Лесное управление обладает вероятностями стратегий «природы» — $p(L_j)$, то наилучшей стратегией защиты леса будет такая стратегия LZ_i , при которой будут минимальны средние потери, т.е. будет минимальна сумма:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot p(x_j).$$

Можно надеяться, что вероятности $p(L_j)$ могут быть определены по результатам многолетних статистических исследований, но на то «природа» и является непредсказуемым игроком, что она всегда может преподнести людям неприятный сюрприз.

Теоретически мы можем выбрать оптимальную стратегию поведения, сводящую убытки к минимуму, и без знания вероятностей $p(L_j)$, если построим игровую матрицу (a_{ij}) , в которой результатами игры являются материальные потери от сюрпризов «природы».

Таблица 1. Платёжная матрица и вероятности

	L_1	L_2	...	L_m
	$p(L_1)$	$p(L_2)$	...	$p(L_m)$
LZ_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
LZ_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}
...	...	...	...	...
LZ_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nm}

Для этого необходимо воспользоваться той или иной рекомендацией теории игр, сводящейся к уточнению, что мы понимаем под оптимальной стратегией, и какую стратегию имеем в виду — чистую или смешанную.

1. Стратегии «природы»

Неприятным сюрпризом для благополучного развития леса могут быть следующие ходы (стратегии) «природы»:

Стратегия $L_{\text{пожары}}$ — лесные пожары как следствие небрежности людей или засухи.

Стратегия $L_{\text{неблаг.пог.усл.}}$ — неблагоприятные погодные условия и почвенно-климатические факторы (малоснежная зима, засуха, ураганные ветры, изменение уровня грунтовых вод (переувлажнения почвы), заморозки и другие).

Стратегия $L_{\text{лесопат.}}$ — лесопатологические факторы, размножение вредных организмов и болезни леса.

Стратегия $L_{\text{антропоген}}$. – антропогенные воздействия на лес. Хотя этот фактор порождён людьми, а не Природой, мы относим его игроку «природа», поскольку антропогенные воздействия человека на леса складываются из промышленных выбросов, вырубки лесов, распашки полей, истребления или переселения животных и растений, загрязнения воды, почвы и атмосферы, которые на момент их задействия никаким образом, как правило, не учитывали их будущего отрицательного проявления в окружающих лесах.

Промышленные выбросы наносят большой вред растениям, вызывая общее угнетение их роста и развития в результате нарушения деятельности устьиц, разрушения протоплазмы, подавления процессов деления клеток, фотосинтеза, нарушения водообмена.

Стратегия $L_{\text{непат.}}$ – непатогенные факторы, которые вызывают ослабление состояния деревьев, но не приводят насаждения к гибели. В эту группу факторов отнесены: межвидовая и внутривидовая конкуренция, затенения, охлест, ошмыг и другие. Процесс воздействия непатогенных факторов на естественное отмирание деревьев с возрастом леса имеет характерную особенность: вначале отмирание идёт очень быстрыми темпами, а затем все более и более замедляется. [2, с. 113];

Стратегия $L_{\text{жив.}}$ – повреждение (вытаптывание) растений животными.

2. Стратегии Лесного управления

Стратегии Лесного управления сведём к следующим мероприятиям:

Стратегия $LZ_{\text{пожар}}$ – противопожарные мероприятия:

- санитарная очистка леса (от усыхающих и сухостойных деревьев и кустарников, буреломов и скоплений сухих веток).
- создание противопожарных барьеров – разделение лесных массивов, препятствующее распространению огня;
- создание противопожарных водоёмов – в местах очень опасных в пожарном отношении.

Стратегия $LZ_{\text{защ. леса}}$ – защита лесов от вредных организмов достигается за счёт:

- лесопатологических обследований, повышения оперативности выявления и качества диагностики неблагоприятных лесопатологических факторов в процессе лесопатологического мониторинга;
- своевременного и качественного проведения санитарно-оздоровительных мероприятий;
- повышения эффективности мероприятий по локализации и ликвидации очагов массового размножения вредных организмов.

Стратегия $LZ_{\text{уход за лесом}}$ – санитарно-оздоровительные мероприятия (сплошные санитарные рубки, выборочные санитарные рубки, уборка от захламлённости).

Стратегия $LZ_{\text{лесовост.}}$ – воспроизводство лесных ресурсов в многолесных районах и лесоразведение, лесовосстановление, повышение до оптимального уровня лесистости в малолесных районах и безлесных районах региона.

Стратегия LZ_a — снижение антропогенных воздействий:

- установка очистительных фильтров, строительство очистительных сооружений,
- совершенствование технологий производства,
- проведение санитарно-оздоровительных мероприятий.

3. Пример игры. Белозёрское лесничество

Рассмотрим в качестве примера защиту леса в Белозёрском лесничестве Курганской области.

Рассматриваем биматричную игру, иначе говоря, выигрышные функции для Лесного управления — игрока 1 и «природы» — игрока 2 — различны.

Таблица 2. Платёжная матрица

$1 \setminus 2$	L_1	L_2	...	L_m
LZ_1	$[a_{11}, b_{11}]$	$[a_{12}, b_{12}]$	...	$[a_{1m}, b_{1m}]$
LZ_2	$[a_{21}, b_{21}]$	$[a_{22}, b_{22}]$	...	$[a_{2m}, b_{2m}]$
...	...	...	...	...
LZ_n	$[a_{n1}, b_{n1}]$	$[a_{n2}, b_{n2}]$	...	$[a_{nm}, b_{nm}]$

Выигрыши в смешанных стратегиях $s = (p_1, \dots, p_n)$ и $\sigma = (q_1, \dots, q_m)$ игроков 1 (Лесное управление) и 2 («природа») соответственно равны

$$sA\sigma^T \text{ и } sB\sigma^T,$$

где $A = (a_{ij}), B = (b_{ij})$.

Таблица 3. Расходы на выполнение лесного плана Курганской области в 2012 году

Прогнозируемые расходы на выполнение мероприятий Лесного плана в области охраны, защиты, воспроизводства лесов на территории лесного фонда лесничеств в 2012 году

(тыс. руб.)

№ п/п	Мероприятия	Белозерское	Варгашиинское	Глядянское	Далматовское	Каргапольское	Курганское	Куртамышское	Петуховское	Шадринское	Шатровское	Шумихинское	Юргамышское	ИТОГО
1.	Охрана лесов от пожаров	6346,8	8686,0	7652,1	10960,2	17800,4	20647,9	7518,7	6661,8	5304,7	9969,1	8247,1	6176,3	115970,9
2.	Защита лесов	11113,5	35296,5	28887,3	13198,5	21758,5	53020,2	33412,8	22150,3	21269,0	8964,3	45703,5	22847,3	317623,8
3.	Лесовосстановление, всего	22094,8	19111,1	9959,7	25709,1	46838,3	49843,8	36471,3	19794,2	10022,7	25990,5	31401,2	25950,5	323187,4
4.	Уход за лесами, всего, в том числе:	12466,0	4941,7	3023,5	9116,1	13924,9	12339,8	19438,2	14402,5	2067,6	9050,8	12942,9	9946,4	123660,5
5.	Заготовка семян лесных растений, всего	150,0	300,0	240,0	150,0	450,0	1560,0	180,0	150,0	150,0	360,0	450,0	300,0	4440,0
6.	Закладка лесосеменной плантации	-	-	-	-	-	532,0	-	-	-	-	-	-	532,0
7.	Выращивание стандартного посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения, всего	863,2	604,2	690,5	431,6	1961,8	7297,7	863,2	259,0	1255,5	1412,5	941,6	863,2	17443,9
8.	Отвод лесосек	1473,1	1622,2	1028,6	1162,7	1931,3	2759,8	2521,7	866,1	1213,5	1777,0	1566,3	1548,7	17922,3
9.	Лесоустройство	-	9210,0	-	-	-	2100,0	-	6315,0	-	-	6465,0	9885,0	33975,0

Для Лесничества это планируемые расходы по разным статьям (см. табл. 3), а для «природы» — ущерб в тыс.руб, наносимый лесу в случае, когда те или иные природные аномалии оказались неприятным сюрпризом для лесников.

Отдельной стратегией Лесного управления являются расходы на проведение научных исследований по разработке противодействий на случай развития различных природных аномалий.

Рассмотрим следующую матрицу игры:

Стратегии лесного управления	$L_{\text{пожары}}$	$L_{\text{лесопат.}}$	$L_{\text{непат.}}$	$L_{\text{антроп., жив.}}$	$L_{\text{неблаг. пр. усл.}}$
$LZ_{\text{пожар}}$	[6346,10000]	[0,100]	[0,50]	[0,2000]	[0,500]
$LZ_{\text{защ. леса}}$	[0,10000]	[11113,100]	[0,50]	[0,2000]	[0,500]
$LZ_{\text{уход за лес}}$	[0,10000]	[0,100]	[12466,50]	[0,2000]	[0,500]
$LZ_{\text{лесовосстан.}}$	[0,10000]	[0,100]	[0,50]	[22094,2000]	[0,500]
$LZ_{\text{науч.исслед.}}$	[200,0]	[100,0]	[100,0]	[50,0]	[1000,0]

Для вычислений результатов игры используем программу Gambit, созданную R.D. McKelvey, F.M. McLennan и T.L. Turocy.

Данная игра имеет 17 равновесий Нэша, которые приведены в табл. 4, рассчитанных по методике, рекомендованной в программе Gambit. Мы видим, что во всех равновесиях все стратегии Лесного управления — чистые $s = (1 : 1, \dots, 1 : 5)$, а стратегии «природы», как правило, смешанные — $\sigma = (2 : 1, \dots, 2 : 5)$.

Таблица 4. Решения биматричной игры (равновесия Нэша)

Optima by enumeration of mixed strategies in strategic game										
#	1: 1	1: 2	1: 3	1: 4	1: 5	2: 1	2: 2	2: 3	2: 4	2: 5
1	0	0	0	0	1	95649522932875 802591584670231	54619983130750 802591584670231	48691791475375 802591584670231	27473154364625 802591584670231	57615713276606 802591584670231
2	0	0	0	0	1	8606993875 67797438412	0	4381516375 67797438412	2472163625 67797438412	52396824537 67797438412
3	0	0	0	0	1	0	0	1380875 19196944	779125 19196944	1064809 1199809
4	0	0	0	0	1	30691327750 243468304333	17526065500 243468304333	0	8815387250 243468304333	186435524439 243468304333
5	0	0	0	0	1	2781750 20489053	0	0	793250 20489053	16334053 20489053
6	0	0	0	0	1	0	0	0	250 5761	5511 5761
7	0	0	0	0	1	0	5523500 68993143	0	2778250 68993143	60691393 68993143
8	0	0	0	0	1	34633664500 281159441667	19777309000 281159441667	17630774500 281159441667	0	69705897889 93719813889
9	0	0	0	0	1	3116500 23698359	0	1586500 23698359	0	18995359 23698359
10	0	0	0	0	1	0	0	500 6683	0	6193 6683
11	0	0	0	0	1	5556500 42562443	3173000 42562443	0	0	39932949 42562443
12	0	0	0	0	1	500 3573	0	0	0	3073 3573
13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	1	0	1000 12013	0	0	11013 12013
15	0	0	0	0	1	0	6233000 79877879	5556500 79877879	0	68088379 79877879
16	0	0	0	0	1	0	17213987750 228828227647	15345663875 228828227647	8658416125 228828227647	187610159897 228828227647
17	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0

То, что все стратегии Лесного управления чистые, можно объяснить тем, что деньги по всем пунктам (по всем стратегиям) не поступали сразу, а пере-

числялись поэтапно, в разные календарные сроки, и после поступления денег лесничество и реализовало соответствующую стратегию.

Природа, напротив, создаёт критические ситуации не поэтапно, а стихийно, и часто это одновременно и вредители, и антропогенные воздействия, и подтопления лесов (или засуха). Отсюда повсеместное задействование смешанных стратегий.

Самая интересная партия — это 17-е равновесие. Природа создаёт условия для пожара, а Лесное управление своевременно подготовилось к борьбе с пожаром.

Выигрыш Лесного управления, а точнее расходы на противопожарные мероприятия в данной партии равны 6346 тыс. руб., а выигрыш «природы», т.е. потенциально наносимый ущерб лесам от пожара — 10 000. Можно думать, что расходы Лесного управления и противопожарные мероприятия на эти деньги были проведены своевременно, и пожар был ликвидирован без большого ущерба. Если же противопожарные мероприятия не были осуществлены из-за отсутствия денег в лесничестве, то ущерб от лесных пожаров составляет 10000 тыс. руб.

Забавно, но в данной игре основная стратегия Лесного управления — это траты на научные исследования. Иначе говоря, работникам научных госучреждений зарплату платят исправно, помнят об угрозе пожаров, а вот на прочие лесозащитные мероприятия денег не хватает.

В 13-й равновесной партии выигрыш «природы» нулевой, но она никаких неприятностей не приносила (ставила на науку :)), Лесное же управление исправно выплатило зарплату учёным в размере 1000 тыс.руб. Ситуация вполне реальная и обыденная.

В 1-й равновесной партии выигрыш «природы», когда она «наступает по всем фронтам», нулевой, а расходы Лесного управления составляет (приблизительно) 775 тыс.руб. Напомним, что планируемые расходы на науку равны 1550 тыс.руб.

4. Заключение

В статье лишь продемонстрирована возможность применения теории игр к решению важной задачи по защите лесных насаждений. Очевидно, что требуются многочисленные компьютерные эксперименты с реальными данными, находящимися в распоряжении Лесных управлений для того, чтобы получить веские аргументы в пользу использования теории игр в практике региональных лесных управлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луньков А.Д. Теория игр. Саратов : изд-во СГУ, 2008. 70 с.
2. Лесной план Курганской области. Приложение к распоряжению Губернатора Курганской области от 29 декабря 2008 года № 553-р «Об утверждении Лесного плана Курганской области».

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ТОЧКИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗНЕСЁННЫМИ НАБЛЮДАТЕЛЯМИ

О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров, С.Ю. Лаврова

В статье представлена модель системы определения координат точек беспроводного доступа в предположении изотропных приёмо-передающих антенн и отсутствия преград. В этом случае линии равного уровня измерения мощности представляют собой окружности. В предположении, что координаты разнесённых точек наблюдения известны, а по мощности принимаемого сигнала строится оценка радиусов этих окружностей, можно составить систему нелинейных уравнений. К сожалению, в силу ошибок измерения радиусов, система уравнений оказывается несовместной. Минимизируя ошибку измерения или невязку системы уравнений, строится оценка координат точки доступа. Для реализации метода построен вычислительный алгоритм на основе метода Ньютона-Рафсона. В результате компьютерного эксперимента показано, что минимизация невязки и минимизация ошибки измерения радиусов при условии, что радиус много больше ошибки, дают одинаковые оценки координат.

Введение

Обнаружение и определение координат несанкционированных точек беспроводного доступа на режимных предприятиях является важной задачей, которую необходимо решать для немедленного реагирования на инциденты нарушения политики безопасности предприятия.

По данным¹ Роскомнадзора в этом ведомстве используется аппаратно-программный комплекс Невод-2 для таких целей. Как он устроен и на каких принципах основан, неизвестно.

Применяя принципы радиолокации, можно построить систему для определения координат цели двумя способами. Первый основан на применении пары вращающихся направленных антенн. По всплескам мощности принимаемого сигнала с определённого направления на обеих антеннах можно определить

координаты как пересечение прямых, заданных центром конкретной антенны и направлением на всплеск мощности.

Второй подход предполагает большое (больше трёх) количество разнесённых в пространстве измерителей, которые оценивают расстояние до цели по мощности принимаемого сигнала. Пересечение линий равного уровня мощности даёт координаты.

Второй способ имеет очевидные достоинства. Несмотря на то, что число антенн больше, но не требуется, чтобы они были направленными и аппаратная часть таких систем не будет содержать движущихся частей, а, следовательно, будет более отказоустойчивой. К недостаткам второго способа относится нелинейность получаемых уравнений, как правило, оказывающихся несовместными.

Прежде чем приступить к реализации такой системы в аппаратуре, необходимо провести исследование, при каких ошибках система надёжно и устойчиво будет находить координаты целей с приемлемым уровнем ошибки.

Целью нашего исследования является построение такой математической модели измерений координат целей для разнесённых в пространстве наблюдателей.

Для достижения цели необходимо построить модель измерителя, провести компьютерное моделирование, оценить применимость данного подхода.

1. Постановка задачи

Будем решать задачу в следующих предположениях:

- Несанкционированная точка беспроводного доступа является изотропным излучателем.
- Антенны наблюдателей имеют всенаправленные круговые диаграммы направленности.
- Положение (координаты) антенн наблюдателей известны.
- Препятствия для распространения сигнала отсутствуют.
- Необходимо по измерениям радиусов окружностей равной мощности определить наилучшую по выбранному критерию оценку координат.

В отсутствии ошибок измерения уравнения для нахождения координат точки пересечения выглядят так:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = R_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = R_2^2 \\ \dots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = R_n^2, \end{cases} \quad (1)$$

где (x, y) — координаты несанкционированной точки доступа;
 (x_i, y_i) — координаты i -точки наблюдения;

R_i — оценки расстояния от наблюдателя до точки беспроводного доступа.

Реальные измерения радиусов приведут к тому, что данная система (1) будет несовместна.

2. Оценка расстояния до изотропного излучателя

Известно, что для идеальной изотропной антенны потери в свободном пространстве определяются формулой [2, стр. 72]:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi R)^2}{\lambda^2}, \quad (2)$$

P_t — мощность сигнала передающей антенны;

P_r — мощность сигнала, поступающего на антенну приёмника;

λ — длина волны несущей $\lambda = c/f$, где c — скорость света, а f — центральная частота, определяемая по таблице 1;

R — расстояние, пройденное сигналом между двумя антеннами.

Таблица 1. Вычисление центральной частоты [2]

Канал	Центральная частота (МГц)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472
14	2484

Для других типов антенн необходимо учитывать коэффициент усиления. Уравнение для потерь мощности сигнала в свободном пространстве примет вид [2]:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi R)^2}{G_t G_r \lambda^2}, \quad (3)$$

откуда получаем формулу для оценки радиуса:

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}}. \quad (4)$$

При распространении сигнала внутри зданий потери могут быть уточнены на основе потерь в зависимости от материалов перегородок [1]. Часто при разработке реальных систем используют упрощённую модель потерь в тракте передачи [1, стр. 105].

Для большинства моделей точек доступа мощность P_t излучателя известна. Узнать производителя точки доступа можно по кодам OUI или MFG MAC-адреса WiFi-кадра. Имея базу данных изготавливаемых производителем точек доступа, можно считать, что величина P_t известна. Величину P_r нам предоставляет драйвер беспроводной сетевой карты в единицах децибел-милливаттах (дБм). Пересчёт в ваты (Вт) не представляет сложности и определяется известным соотношением:

$$P_r (\text{дБм}) = 30 + 10 \cdot \lg \frac{P_r (\text{Вт})}{1(\text{Вт})},$$

откуда получаем необходимую формулу пересчёта:

$$P_r (\text{Вт}) = 1 (\text{Вт}) \cdot 10^{(P_r (\text{дБм}) - 30)/10}.$$

Величины коэффициентов усиления приёмной и передающей антенн G_t и G_r могут быть определены из технических характеристик производителя. Если они неизвестны или недоступны, то можно получить эти характеристики путём измерений: калибровкой прибора измерения (смартфона или ноутбука) в среде с известными характеристиками.

Таким образом, формулу (4) будем использовать для оценки радиуса линий равного уровня мощности излучения.

3. Выбор начального приближения

Рассмотрим, как вычисляются координаты точки доступа в случае двух точек наблюдения. Это решение не выходит за рамки курса аналитической геометрии, но мы его приведём для полноты представленного решения.

Пусть нам даны два уравнения окружности:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = R_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = R_2^2. \end{cases} \quad (5)$$

Для упрощения анализа возможных вариантов расположения окружностей преобразованием сдвига поместим первую окружность в начало координат:

$$\begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Уравнения преобразуются в новой системе координат к виду:

$$\begin{cases} \bar{x}^2 + \bar{y}^2 = R_1^2 \\ (\bar{x} - \bar{x}_2)^2 + (\bar{y} - \bar{y}_2)^2 = R_2^2, \end{cases} \quad (7)$$

где $\bar{x}_2 = x_2 - x_1$ и $\bar{y}_2 = y_2 - y_1$.

Затем поворотом добьёмся, чтобы центр второй окружности лёг на ось абсцисс. Преобразование координат в матричном виде будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} \bar{\bar{x}} \\ \bar{\bar{y}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где

$$\alpha = \cos \vartheta = \frac{\bar{x}_2}{\sqrt{\bar{x}_2^2 + \bar{y}_2^2}}, \quad \beta = \sin \vartheta = \frac{\bar{y}_2}{\sqrt{\bar{x}_2^2 + \bar{y}_2^2}}, \quad (9)$$

а ϑ — угол поворота.

После поворота система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} \bar{\bar{x}}^2 + \bar{\bar{y}}^2 = R_1^2 \\ \left(\bar{\bar{x}} - \sqrt{\bar{x}_2^2 + \bar{y}_2^2} \right)^2 + \bar{\bar{y}}^2 = R_2^2. \end{cases} \quad (10)$$

Для получения начальных приближений рассмотрим следующие взаимные расположения окружностей:

Случай 1. $R_1 + R_2 > \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ или

$|R_2 - R_1| > \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ — окружности не пересекаются.

Случай 2. $R_1 + R_2 \leq \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ — окружности пересекаются в одной или двух точках.

Приведённые условия работают как в исходной, так и в преобразованной системе координат.

Рассмотрим каждый случай отдельно.

Случай 1. Формально решений нет, система уравнений несовместна. Тем не менее, мы можем выбрать в качестве начального приближения точку, лежащую посередине между ближайшими точками пересечения прямой, соединяющей центры окружностей, и самими окружностями. В преобразованной системе координат решение находится легко:

$$\bar{\bar{x}}_{1,2} = \pm R_2, \quad \bar{\bar{x}}_{3,4} = \sqrt{\bar{x}_2^2 + \bar{y}_2^2} \pm R_2. \quad (11)$$

Далее, находим индексы, для которых расстояние минимально, и вычисляем начальное приближение:

$$(k, l) = \arg \min_{\substack{k \in \{1, 2\} \\ l \in \{3, 4\}}} |\bar{\bar{x}}_k - \bar{\bar{x}}_l|, \quad (12)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{\bar{x}}_l + \bar{\bar{x}}_k}{2}, \quad (13)$$

$$\bar{\bar{y}} = 0. \quad (14)$$

Случай 2. Точки пересечения будут определяться формулами:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{R_1^2 - R_2^2 + \bar{x}_2^2 + \bar{y}_2^2}{2\sqrt{\bar{x}_2^2 + \bar{y}_2^2}}, \quad (15)$$

$$\bar{\bar{y}} = \pm \sqrt{R_1^2 - \bar{\bar{x}}^2}. \quad (16)$$

Полученные точки начальных приближений обратными преобразованиями приводятся к исходной системе координат.

Подытожим, описав полученный алгоритм.

Алгоритм нахождения точек начального приближения для пары окружностей

1. Выясняем, какой из двух случаев имеет место, и вычисляем начальные приближения по формулам (13) и (14) или (15) и (16) в преобразованной системе координат.

2. Выполняем обратный поворот на угол $-\vartheta$:

$$\begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & -\beta \\ \beta & \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{\bar{x}} \\ \bar{\bar{y}} \end{pmatrix}, \quad (17)$$

где α и β по-прежнему определяются соотношениями (9).

3. И завершаем обратным сдвигом

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Обратите внимание, что во втором случае мы получаем два решения.

Рассматривая случай трёх окружностей, находим попарные приближения к начальному приближению. Самый сложный случай, если все попарные пересечения дают по два решения. Обозначим эти пары решений $\{(x_{01}, y_{01}), (x_{02}, y_{02})\}$ — для первой пары окружностей (1–2 окружность), $\{(x_{03}, y_{03}), (x_{04}, y_{04})\}$ — для второй пары окружностей (1–3 окружность), $\{(x_{05}, y_{05}), (x_{06}, y_{06})\}$ — для третьей пары окружностей (2–3 окружность).

Выбираем по одному решению из каждой пары так, чтобы периметр треугольника, образованного этими точками, был минимален:

$$(k, l, t) = \arg \min_{\substack{k \in \{1, 2\} \\ l \in \{3, 4\} \\ t \in \{5, 6\}}} \sum \rho((x_{0k}, y_{0k}), (x_{0l}, y_{0l})),$$

где $\rho((x_{0k}, y_{0k}), (x_{0l}, y_{0l})) = \sqrt{(x_{0k} - x_{0l})^2 + (y_{0k} - y_{0l})^2}$ — расстояние между решениями.

Если пара окружностей даёт в качестве решения одну точку (точку касания или среднюю точку в случае отсутствия пересечений), то можно считать, что эта точка просто повторяется дважды, и тогда задача сведётся к только что рассмотренной.

В отсутствии ошибок измерения полученное начальное приближение координат должно быть единственным.

Если имеются ошибки измерения, то необходимо минимизировать либо невязку уравнений, либо ошибку измерения радиусов. Для этого мы применим итерационную процедуру на основе метода Ньютона-Рафсона.

4. Целевые функции для поиска оптимальных решений

Так как в большинстве случаев система уравнений (1) в строгом смысле решений не имеет, — необходимо найти псевдорешение, которое может быть выбрано по-разному. Предлагается два варианта:

1. Псевдорешение минимизирует длину вектора невязки $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_n)^T$. После введения вектора невязки в уравнения (1), они преобразуются к виду:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 - R_1^2 = \eta_1 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 - R_2^2 = \eta_2 \\ \dots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 - R_n^2 = \eta_n. \end{cases} \quad (19)$$

Псевдорешение будем искать, исходя из минимизации квадрата нормы невязки:

$$\|\eta\|^2 = F(x, y) = \sum_{i=1}^n ((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - R_i^2)^2 \rightarrow \min. \quad (20)$$

2. Минимизируем ошибку измерения радиуса $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)^T$. При введении вектора ошибок ε в исходные уравнения (1) получим:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = (R_1 + \varepsilon_1)^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = (R_2 + \varepsilon_2)^2 \\ \dots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = (R_n + \varepsilon_n)^2. \end{cases}$$

Поделив каждое уравнение на $R_i \neq 0$, считая, что $R_i \gg \varepsilon_i$ для всех $i = 1, \dots, n$ (в этом случае слагаемым ε_i^2/R_i можно пренебречь), преобразуем систему уравнений к виду:

$$\begin{cases} \frac{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}{2R_1^2} - 1 = \varepsilon_1 \\ \frac{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}{2R_2^2} - 1 = \varepsilon_2 \\ \dots \\ \frac{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2}{2R_n^2} - 1 = \varepsilon_n. \end{cases} \quad (21)$$

Вторая целевая функция выражает задачу минимизации ошибки измерения радиусов:

$$\|\varepsilon\|^2 = G(x, y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - R_i^2}{2R_i} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (22)$$

5. Алгоритм вычисления оценок координат на основе метода Ньютона-Рафсона

Выше показано, как получить начальные приближения для запуска этого итерационного алгоритма. Для вывода уравнений итерации для первой целевой функции $F(x, y) = \|\eta\|^2$ продифференцируем (20) по x и y и полученные уравнения приравняем к нулю:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n ((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - R_i^2)(x - x_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n ((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - R_i^2)(y - y_i) = 0. \end{cases}$$

Нам необходимо решить эту систему нелинейных уравнений.

В общем виде итерация Ньютона для системы

$$\begin{cases} F_1(x, y) = 0 \\ F_2(x, y) = 0 \end{cases}$$

будет выглядеть так

$$\begin{pmatrix} x_{k+1} \\ y_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} - \left(\begin{array}{cc} \frac{\partial F_1}{\partial x} & \frac{\partial F_1}{\partial y} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x} & \frac{\partial F_2}{\partial y} \end{array} \right)^{-1} \bigg|_{\substack{x = x_k \\ y = y_k}} \begin{pmatrix} F_1(x_k, y_k) \\ F_2(x_k, y_k) \end{pmatrix}. \quad (23)$$

При реализации на ЭВМ обратную матрицу можно вычислить явно.

Получим выражения для элементов матрицы производных:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_1}{\partial x} &= \sum_{i=1}^n 2(x - x_i); & \frac{\partial F_1}{\partial y} &= \sum_{i=1}^n 2(y - y_i); \\ \frac{\partial F_2}{\partial x} &= \sum_{i=1}^n 2(x - x_i)(y - y_i); & \frac{\partial F_2}{\partial y} &= \sum_{i=1}^n 2(y - y_i)^2 - R_i^2. \end{aligned}$$

Ньютоновская итерация для второй целевой функции $\|\varepsilon\|$ получается аналогично.

Сперва дифференцируем (22) и получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{R_i^2} - 1 \right) (x - x_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{R_i^2} - 1 \right) (y - y_i) = 0. \end{cases}$$

Вычисляем матрицу производных для данной системы уравнений и аппроксимируем линейным уравнением, чтобы получить итерационный процесс (23).

Полученная матрица производных представлена ниже:

$$\begin{aligned}\frac{\partial G_1}{\partial x} &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{3(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{R_i^2} - 1 \right); & \frac{\partial G_1}{\partial y} &= 2 \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i) \cdot (y-y_i)}{R_i^2} \\ \frac{\partial G_2}{\partial x} &= 2 \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i) \cdot (y-y_i)}{R_i^2}; & \frac{\partial G_2}{\partial y} &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x-x_i)^2 + 3(y-y_i)^2 - R_i^2}{R_i^2} - 1 \right).\end{aligned}$$

Заметим, что при получении новых данных, обе целевые функции получают дополнительное слагаемое, а, значит, все выведенные нами формулы остаются верными при условии, что соответствующие слагаемые добавляются во все уравнения. Мы можем считать, что целевая функция — это функция, зависящая не только от x и y , но и от n . Таким образом, $\|\eta\|^2 = F(x, y, n)$ и $\|\varepsilon\|^2 = G(x, y, n)$.

6. Описание итогового алгоритма

Шаг 0. Для первых трёх поступивших измерений вычисляем начальное приближение по алгоритму на стр. 54. Положим $n = 3$.

Шаг 1. Уточняем методом Ньютона-Рафасона по формулам (23) решение для $F(x, y, n)$ или $G(x, y, n)$.

Шаг 2. При поступлении новых измерений увеличиваем $n := n + 1$ и расширяем массив данных значениями x_n , y_n и R_n . Переходим на Шаг 1.

Фактически данный алгоритм может работать с обновлениями, а значит может быть переработан в адаптивный. Поступающие измерения могут накапливаться для повышения точности измерений, а старые измерения от тех же самых точек могут отбрасываться, обновляя информацию о положении. На основе обновлений можно построить систему, отслеживающую перемещения злоумышленника.

7. Численные эксперименты

Для проведения компьютерных экспериментов представленный алгоритм реализован в предметно-ориентированной среде Scilab.

Цель моделирования — показать работоспособность алгоритма, его границы применимости в рамках разработанной математической модели и поведение при отклонении от модели.

На момент написания статьи проведено предварительное моделирование, которое показывает сходимость алгоритма к точке реального расположения несанкционированной точки доступа.

При проведении компьютерного эксперимента считается, что ошибка измерения представляет собой белый гауссовский шум с нулевым математическим

ожиданием и дисперсией σ^2 . Расположение точек наблюдения осуществлялось равномерно в окружности радиусом 70 метров. Несанкционированная точка доступа располагалась также случайно внутри указанной выше окружности.

В рамках компьютерного эксперимента было установлено, что оценки, полученные на основе двух ранее рассмотренных подходов: минимизации невязки уравнений и минимизации ошибки измерения радиусов, — дают одинаковые численные решения. Поэтому при реализации можно ограничиться минимизацией невязки, так как уравнения, получаемые на основе этого подхода, имеют меньше операций деления, а, следовательно, легче реализуются в аппаратуре.

В дальнейших исследованиях необходимо:

- оставаясь в рамках модели, получить зависимость абсолютной и относительной ошибки измерения положения точки доступа от шума измерений;
- в рамках модели оценить влияние ошибок измерения координат наблюдателей на ошибку измерения положения точки доступа;
- уточнить модель реального шума измерений и его влияния на оценку координат, проведя и обработав натурные эксперименты;
- по результатам моделирования уточнить модель измерений и провести повторные компьютерные эксперименты;
- реализовать клиентское приложение для мобильных платформ (смартфонов), обеспечивающее сбор данных о мощностях сигналов точек доступа и координатах наблюдателя;
- реализовать серверное приложение, обеспечивающее получение данных от наблюдателей и производящее расчёт искомого расположения точки доступа;
- провести натурные эксперименты по пеленгу несанкционированных точек.

Заключение

В работе представлена математическая модель измерения положения несанкционированной точки доступа. Разработан вычислительный алгоритм для данной модели. Проведено компьютерное моделирование, которое показало, что в рамках модели разработанный алгоритм сходится к точке реального расположения точки беспроводного доступа. Для реализации и создания опытного образца требуются дополнительные работы и изыскания. Составлен рабочий план дальнейшего развития проекта.

Данный подход может быть полезен не только для обнаружения несанкционированных точек беспроводного доступа, но и для уточнения расположения точек доступа в системах косвенного позиционирования при частично работающих или полностью отключённых системах глобального позиционирования типа ГЛОНАСС или GPS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации. М. : Техносфера, 2011. 904 с.
2. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Федотов Р.А., Бобков А.В., Чирков Д.Н., Платонов В.А. Организация беспроводных сетей / Под ред. К.А. Пупкова. М. : Техносфера, 2011. 181 с.

ФОРМАТ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ XML-РАЗМЕТКИ ДЛЯ ОБМЕНА БИОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБРАЗЦАМИ

А.В. Альтергот, О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров

В работе представлено описание формата XML-документа, содержащего биометрические образцы и выборки. При проектировании формата была заложена платформонезависимость, расширяемость формата. Формат используется для обмена данными между модулями разрабатываемой в настоящее время системы сбора биометрических данных.

Введение

Разбор формата данных можно проигнорировать при сборе данных, но рано или поздно встанет вопрос об интерпретации собранных данных. Командой разработчиков рассматривались два подхода: хранить данные в отдельных файлах в известных форматах или в уже разобранном виде, например, в виде строк вида `[[2.0 3.0] [4.0 6.0]] [1]`. Первый вариант был отвергнут из-за невозможности контролировать изменения форматов и их огромного разнообразия. Второй вариант был отвергнут из-за сильной избыточности и необходимости разбора строки, представляющей многомерный массив, а также «угрозы» реальной или мнимой потери точности при округлении.

Предложено компромиссное решение. Хранить бинарные данные в виде байтового потока (в XML в кодировке Base64, в базе данных в BLOB-полях можно хранить как набор байт) с указанием спецификатора байтового потока. В спецификаторе указывается тип ячейки и максимальное значение параметра, которое не должно превышать максимального числа ячейки.

1. XML-схема

При передаче биометрического образца нам требуется снабдить его множеством метаданных. В свою очередь метаданные могут в совокупности формировать некоторую сущность.

К примеру, сенсор, которым образец был снят, являясь частью описания образца, может быть представлен как самостоятельная сущность, а список сенсоров, используемых в конкретной системе хранения и обработки биометриче-

ских образцов, может быть передан самостоятельно как справочник. Структура элемента `<sensor/>` в стандарте XML Schema имеет следующий вид:

```
<xs:complexType name="Sensor">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="name" type="String"
      minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="description" type="String"
      minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attribute name="id" type="Long" use="required"/>
</xs:complexType>
```

Сенсоры могут быть различных типов. В частности:

```
<xs:complexType name="Microphone">
  <xs:complexContent>
    <xs:extension base="Sensor">
      <xs:sequence minOccurs="0"/>
    </xs:extension>
  </xs:complexContent>
</xs:complexType>
```

В данном случае тип сенсора «микрофон» не имеет каких-либо дополнительных характеристик, но в будущем они могут появиться, при этом базовый тип `Sensor` меняться не будет.

Следовательно, элемент `<sensor/>` в XML файле имеет вид (в данном случае микрофон):

```
<sensor xsi:type="bio:Microphone" id="1">
  <name>Genius</name>
  <description>10Hz-22kHz</description>
</sensor>
```

Для элемента `<sensor/>` обязательным является лишь атрибут `@id`, которого достаточно для определения сенсора, при условии, что он известен системе. Мы предполагаем, что все известные системе сенсоры будут вноситься в неё заранее, с присвоением соответствующего `id`. Элемент `<sensor/>` может быть частью описания образца и элементом списка справочника сенсоров в случае его выгрузки в XML.

Аналогично, данные о субъекте выделяются в элемент `<subject/>`. Описание типа:

```
<xs:complexType name="Subject">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="hash" type="String"
      minOccurs="1" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="gender" type="Gender"
```

```

        minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
<xs:element name="birthdate" type="Date"
        minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
<xs:element name="document" type="String"
        minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
<xs:element name="comment" type="String"
        minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
</xs:sequence>
<xs:attribute name="id" type="Long" use="optional"/>
</xs:complexType>

```

Обязательным у `<subject/>` является наличие `hash`'а. Мы накладываем уникальность на `hash` в рамках системы, поскольку биометрические образцы хранятся и передаются обезличенными, в то время как `hash` вычисляется по персональным данным испытуемого. Таким образом, мы всегда знаем, что образцы, будучи сняты в разное время разными способами, принадлежат одному и тому же человеку, но неизвестно кому именно. Пример `<subject/>` в XML:

```

<subject>
  <hash>87cc535ab17...ea286</hash>
  <gender>MALE</gender>
  <birthdate>2013-01-01T00:00:00.000Z</birthdate>
  <comment>Comment</comment>
</subject>

```

Отметим, что типы `String`, `Long`, `Date`, `Gender` и другие простые типы описаны в схеме, их вид интуитивно понятен, не требует отдельных пояснений.

Как уже было сказано, передаётся и хранится биометрический образец + метаданные. Описав отдельные сущности, мы можем перейти к «центральному» элементу биометрической схемы на основе XML.

Структура его следующая:

```

<xs:complexType name="Sample">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="timeStamp" type="Date" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="binaryData" type="BinaryData"
      minOccurs="1" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="format" type="String" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="hash" type="String" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="subject" type="Subject" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="sensor" type="Sensor" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attribute name="id" type="Long" use="optional"/>
</xs:complexType>

```

Элемент `<binaryData/>` типа `BinaryData` содержит снятый биометрический образец. На данном этапе развития системы под этим типом подразумевается обыкновенный массив байт в формате Base64. В будущем, он может содержать ссылку на файл в файловой системе или выполнен в виде attachment. В любом случае, снятый образец представляет собой набор байт, а информацию о том, как интерпретировать этот набор, содержит элемент `<format/>`. Атрибут `@id` не является обязательным для элемента `<sample/>`, присутствует в служебных целях. Для `hash` требование аналогичное таковому для элемента `<subject/>` (см. выше).

Аналогично сенсорам образцы имеют различные типы. В частности, описание образца типа «речевой образец»:

```
<xs:complexType name="VoiceSample">
  <xs:complexContent>
    <xs:extension base="Sample">
      <xs:sequence>
        <xs:element name="text" type="Text" minOccurs="1"
          maxOccurs="1"/>
        <xs:element name="handMarking" type="String"
          minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
      </xs:sequence>
    </xs:extension>
  </xs:complexContent>
</xs:complexType>
```

Заметим, что речевой образец содержит дополнительные характерные свойства, как то: прочитанный текст (элемент `<text/>`), ручная разметка фоном (`<handMarking/>`). Другие типы образцов могут иметь индивидуальные характерные свойства.

Исходя из вышесказанного, XML-документ, содержащий речевой биометрический образец, снятый микрофоном, будет иметь следующий вид:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<bio:samples xmlns:bio="http://omsu.ru/fkn/ctn/bio/sample/schema">
  <sample xsi:type="bio:VoiceSample"
    xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
    <timeStamp>2013-08-30T00:44:30.143Z</timeStamp>
    <binaryData>
      <data>
        EuwVAhKgFC8TZx ...<omitted output>...
        A3ADMAGAAXAAH/0/+3/4X/Vv9e/3n/jf+d/3j/XP9K/yb/Qv9v
      </data>
    </binaryData>
    <format>84000:s:48000</format>
    <hash>1b7040708946478db8d834f ... eff61</hash>
    <subject>
      <hash>c65cdec4aa512f67fd75 ... 3701a</hash>
```

```

    <gender>MALE</gender>
    <birthdate>2013-08-30T00:00:00.000Z</birthdate>
    <comment>comment</comment>
  </subject>
  <sensor xsi:type="bio:Microphone" id="1">
    <name>Genius</name>
    <description>10Hz-22kHz</description>
  </sensor>
  <text>
    <hash>3b44a07140e76ddb26ae8 ... c7d82</hash>
    <text>абвгд</text>
  </text>
</sample>

```

Достоинства

- Описанный подход делает возможным взаимодействие с биометрическим образцом, как с объектом в рамках привычной объектно-ориентированной модели. Одновременно формат XML является текстовым, что позволяет человеку читать и редактировать метаданные без использования специальных средств.
- Технология XML Schema позволяет валидировать XML-документ по описанным правилам.
- Технология XML Schema позволяет применять инструменты кодогенерации для объектно-ориентированных языков программирования, что ускоряет процесс разработки приложений. В комплексе с каркасами XML-парсинга подход позволяет быстро и удобно инстанцировать в памяти объекты биометрических образцов.

Недостатки

- Формат XML, в силу своих особенностей, вносит приличную долю служебных тегов в передаваемые данные.
- Используемый на данном этапе подход передачи бинарной информации — формат Base64 — является избыточным, добавляет 1/3 от объёма данных.
- В текущей редакции схема данных подразумевает дублирование некоторых элементов. Например, конструкция
 <subject><hash>ABC</hash></subject>
 будет обязательно присутствовать в каждом образце, снятого с человека с hash=ABC.

2. Формат спецификатора

Формат бинарных данных описывается тэгом `<format>` содержащим спецификатор формата. Его структура описывается следующим образом:

$$\underbrace{N_1 \times \dots \times N_i \times \dots \times N_R}_{\text{размерность}} : T_1 M_1 \dots T_L M_L : F_s,$$

где R — размерность данных;

N_i — количество точек на соответствующей i -й оси;

L — число полей в ячейке;

$T_j M_j$ — тип ячейки (T_j) и максимальное значение (M_j), которое может быть опущено, что будет означать, что оно совпадает с максимальным, определяемым типом; $T_j = \{b, s, i, l, B, S, I, L, F, D\}$;

B — байт без знака (8 бит),

S — слово без знака (16 бит),

I — двойное слово без знака (32 бита),

L — четверное слово без знака (64 бита), в нижнем регистре те же размерности со знаком (соответствуют в точности типам java:

b — byte,

s — short,

i — int,

l — long,

F — соответствует java float (32 бита),

D — соответствует java double (64 бита).

F_s — частота дискретизации в герцах (для звука, сигналов акселерометров и графического планшета), разрешение при печати в точках на дюйм (для изображений), в кадрах в секунду для видеопотока;

: — разделитель между группами однотипных полей (:: — отсутствующее поле, значение по умолчанию в соответствии с типом);

× — разделитель внутри группы размерность (×× — значение по умолчанию в соответствии с типом); в реальном XML-файле вместо × используется x).

2.1. Примеры спецификаций формата

Изображение размером 320×200 в формате RGB с разрешением 300 dpi:

$320 \times 200 : \text{BVB} : 300$ — сокращённая форма;

$320 \times 200 : \text{B255B255B255} : 300$ — полная форма.

Изображение размером 320×200 в формате CMYK с разрешением 600 dpi:

$320 \times 200 : \text{BVBV} : 600$

Монозвуковая дорожка с частотой дискретизации 48 кГц и 32-битной оцифровкой (4 байта), 1000 отсчётов:

1000:I:48000 — нецентрированные или

1000:i:48000 — центрированные относительно нуля отсчёты.

Стереозвуковая дорожка с частотой дискретизации 22 кГц и 16-битной оцифровкой, 32000 отсчётов:

32000:II:22000

Данные графического планшета A6 (4,13x5,83 дюйма) с частотой дискретизации по времени 50 Гц и разрешением по горизонтали и вертикали 2540 dpi (lpi) и 512 уровнями давления, 2000 отсчётов:

2000:FFS512:xxx:50, если разрешение сразу переводится во float

или, если не переводится, — используем формат без сокращений (4,13*2540=10490,2 точек; 5,83*2540= 14808,2):

2000:S10491S14809S512:50.

Пример формат-строки видеопотока в 1000 кадров размером 320x200 в формате RGB и частотой 30 кад. / сек.

320x200x1000:VBI:30.

2.2. Порядок байт

Порядок байт для записи чисел будем использовать от старших байт к младшим. Этот порядок не совпадает с принятыми соглашениями для архитектуры процессоров Intel, но является более естественным и, кроме того, BIG_ENDIAN используется по умолчанию в Java. Преобразования из BIG_ENDIAN в LITTLE_ENDIAN в языке Java не представляет сложности¹.

2.3. Регулярное выражение для проверки формат-строки

Только для удобства представления регулярное выражение разбито ниже на три строки с отступами:

```
((?:[1-9][0-9]*) (?:x[1-9][0-9]*) *) :  
((?:[B,b,I,i,L,l,S,s,F,D] (?:[1-9][0-9]*) ?(?:\\{\\w+?\\}) ?)+):  
([1-9][0-9]*(?:\\{\\w+\\}) ?)
```

Регулярное выражение представляет собой единую строку без каких-либо пробелов.

Регулярное выражение сформировано так, чтобы стандартные группы `group(1)`, `group(2)`, `group(3)` содержали поля, разделённые двоеточиями, которые в последующем можно будет разбирать отдельно.

Для проверки работы регулярного выражения созданы JUnit-тесты.

¹Примеры смены порядка байт можно найти в статье <http://javainception.ru/index.php/sistemavvodavivodajava/sistemavvodavivodajava/o-poryadke-baytov.html>

2.4. Критика

Присутствует изменчивость единиц измерения Fs: то это может быть dpi, а может быть Hz или fps (кадров в секунду). Для улучшения читаемости и лучшего понимания контекста решено ввести комментарии в формат-строку (`?:\{w+\}`). Таким образом, формат-строки с комментариями теперь выглядят так:

```
1000:B:100{Hz}
123:L{x}L{y}L{p}L{t}:60{Hz}
1000:L{x}L{y}L{p}L{t}:60{Hz}
320x200:B255{Red}B255{Green}B255{Blue}B255{null}:300{dpi}
```

3. Заключение

В результате длительных дискуссий в коллективе разработчиков выработан формат, который удовлетворяет большинство разработчиков проекта. Спецификация формат-строки представлена в данной статье. Разработано регулярное выражение для быстрой проверки корректности формат-строки и её последующего анализа. Созданы JUnit-тесты для модульного тестирования использования этого регулярного выражения.

В проектах, в которых используется текстовое представление собираемых данных, формат и подход, описанные в [1], могут быть удобнее в использовании и в действительности активно продолжают использоваться [3]. Тем не менее, представленный в данной работе формат более универсален. В настоящее время разрабатывается вторая версия JSON-формата, которая будет использовать идеи и подходы, описанные здесь для XML.

Описанная в данной статье схема XML-документа в настоящее время используется в разрабатываемой системе сбора биометрических данных, код которой размещается на сервере bitbucket по адресу: <https://bitbucket.org/dlavrov/biometricmodeling>. Результаты работы докладывались на научной конференции [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишнякова О.А., Лавров Д.Н. Формат обмена данными в системе сбора и обработки биометрических образцов // Международная научно-практическая конференция «Информационные ресурсы в образовании». Нижневартовск : НГГУ, 17-19 апреля 2013. С. 146–148.
2. Лавров Д.Н., Альтергот А.В., Вишнякова О.А., Долгополов В.П. Спецификатор бинарных данных для XML-формата обмена биометрическими данными // Математическое и компьютерное моделирование : сборник материалов научной конференции (Омск, 18 октября 2013 г.). Омск : Изд-во Ом. гос. ун-та, 2013. С. 49–52.
3. Казанцева А.Г. Архитектура для сбора биометрических образцов походки человека // Математическое и компьютерное моделирование : сборник материалов научной конференции (Омск, 18 октября 2013 г.). Омск : Изд-во Ом. гос. ун-та, 2013. С. 58–64.

ОБЗОР ПРОГРАММ «ЭЛЕКТРОННАЯ КАРТА ПАЦИЕНТА»

А.Г. Дружинин

Уже давно медицинские центры и муниципальные больницы используют простейшие электронные карты пациентов, установленные на компьютеры в регистратурах. Такие карты создавались с целью упростить и ускорить процессы диагностирования, собрать данные о пациенте, назначить лечение. Опыт, полученный в результате обзора множества подобных программ, позволяет создать оптимальное программное обеспечение для электронной карты больного, которое будет отвечать современным требованиям и соответствовать ожиданиям врачей и пациентов.

Введение

Уже давно медицинские центры и муниципальные больницы используют простейшие электронные карты пациентов, установленные на компьютеры в регистратурах. Такие карты создавались с целью упростить и ускорить процессы диагностирования, собрать данные о пациенте, назначить лечение.

Но как показала практика, такие карты перегружены ненужными функциями, в них отсутствует простота и удобство использования, из-за чего в большинстве государственных больниц они служат только для распечатки талона на приём. А уж об интеграции электронной карты пациента с самим пациентом речи вообще не идёт.

При разработке программного обеспечения информационно-аналитический модуль долгосрочного диспансерного наблюдения пациентов, перенёвших инфаркт миокарда (ИАМ ПИКС) я исследовал отечественные и зарубежные программы, созданные для обеспечения автоматизации карты больного и контроля здоровья пациентов. Необходимо учесть все недостатки и преимущества имеющихся программ, сделать соответствующие выводы и создать предметную базу для реализации настоящей программы.

Поскольку каждый человек, организация, город или государство преследует свои цели и создаёт программный продукт под свои нужды, таких программ достаточно много.

1. Электронная медицинская карта (ЭМК), система Медиалог

ЭМК – это удобная автоматизированная амбулаторная карта пациента или (для стационаров) электронная история болезни. Модуль ЭМК соответствует требованиям государственного стандарта «Электронная история болезни» (ГОСТ Р 52636-2006).

Модуль устанавливается на рабочее место медицинских специалистов разного профиля: врача, медицинской сестры, лаборанта, руководителей разного уровня медицинского учреждения, а также везде, где есть потребность вносить информацию в карту пациента. Программа имеет следующие возможности и преимущества.

Быстрое заполнение амбулаторной карты и истории болезни

Ввод обследований, результатов анализов и другой медицинской информации производится посредством создания записей различных профилей, специально разработанных для врачей разных специальностей: терапевтов, офтальмологов, хирургов, кардиологов, пульмонологов и т.д. (см. рис. 1).

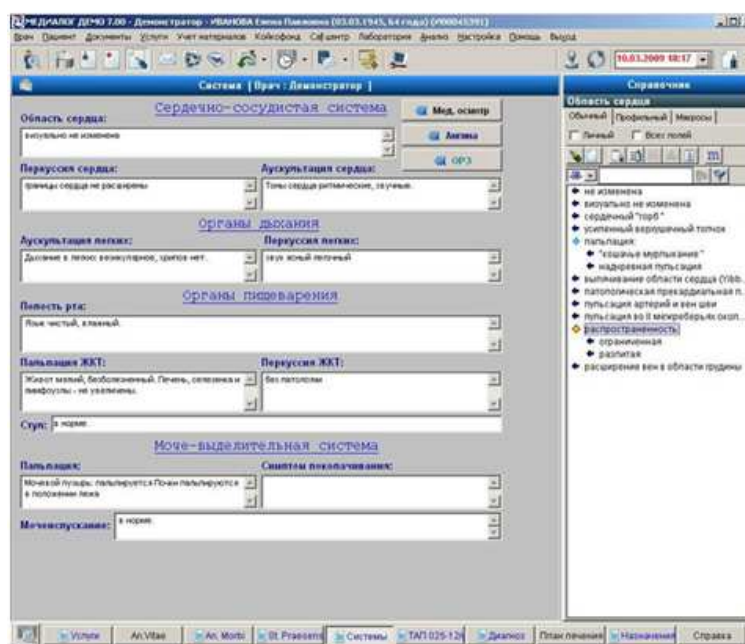


Рис. 1. Ввод разнородной информации

Модуль ЭМК/электронная история болезни системы Медиалог предлагает врачу мощный арсенал инструментов ввода данных, адаптированных для разнообразных видов информации.

В программе предусмотрены возможности типизированного ввода, то есть заполнения полей текстового, числового, логического типов, списков и дат,

которые в свою очередь предоставляют дополнительные возможности при сборе статистики и построении графиков.

Редактор схем позволяет делать графические пометки и рисунки, например, на изображении роговицы глаза. В ЭМК могут быть помещены изображения в любом из наиболее распространенных форматов.

Гибкая настройка структуры базы данных и интерфейса ввода

Данные можно вводить не только быстро, но и в полном соответствии с профессиональными потребностями специалиста. Стандартный набор экранных форм, включенных в комплект медицинской информационной системы Медиалог, может быть легко изменён и расширен благодаря использованию встроенного редактора форм.

Удобный и быстрый поиск информации о пациенте

Модуль ЭМК/электронная история болезни медицинской информационной системы Медиалог была спроектирован таким образом, чтобы не только ввод, но и последующие просмотр и анализ данных были удобны, наглядны и информативны, а любая информация, хранящаяся в базе данных Медиалог, была легко доступна пользователю.

Справочник «Международная Классификация Болезней 10-го пересмотра» (МКБ-10)

Модуль ЭМК/электронная история болезни содержит справочник МКБ-10, который используется для внесения диагнозов в стандартизованном виде.

Формирование документов для печати

Создание документов разного типа (отчётов, писем, выписок, заключений) является повседневной работой врача. В модуле ЭМК/электронная история болезни системы Медиалог предусмотрены инструменты, которые существенно облегчают этот процесс, а также обеспечивают надежное архивирование всей документации в электронном виде.

Опции модуля

- **Интеграция с профессиональными диктофонами.** Данная опция позволяет врачам прикреплять к своим записям в ЭМК голосовые сообщения, используя для их записи профессиональные диктофоны, например, фирмы PHILIPS.
- **Экспорт ЭМК в HTML формате.** Сформированные в системе Медиалог электронные медицинские карты пациентов могут быть экспортированы в открытом формате (HTML), который может быть прочтён на любом

компьютере. Система Медиалог может экспортировать ЭМК сразу на нескольких языках, например, на русском и английском. Таким образом, у пациента появляется возможность показать свою медицинскую карту зарубежному специалисту.

2. Стоматологическая программа Дентал-Софт

Программа для частных практикующих врачей стоматологов или стоматологических клиник, как платных, так и работающих в системе ОМС (см. рис. 2).

Программа предназначена для автоматизации документооборота стоматологического кабинета и ведения электронных медицинских карт стоматологического пациента. Компьютерная программа для стоматологии разработана на языке программирования MS Visual C++ 2010, в качестве хранилища данных может использоваться MS Access, MySQL Server или MS SQL Server.

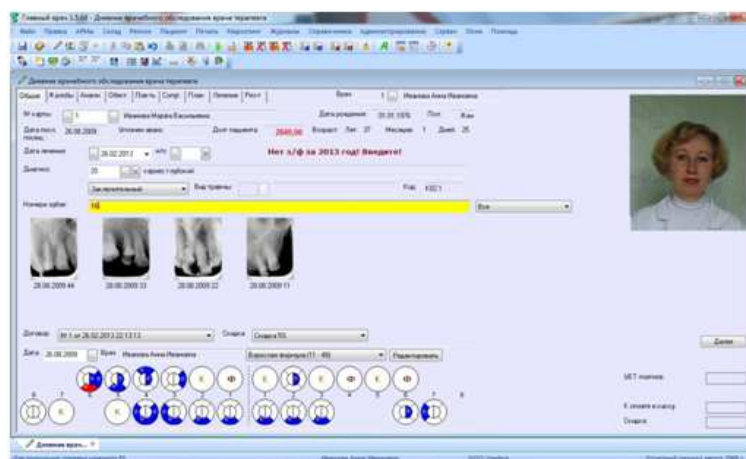


Рис. 2. Дентал-Софт

Программа может использоваться под управлением одного из видов баз данных:

- MySQL Server
- PostgreSQL Server
- Microsoft SQL Server. В том числе возможно использование бесплатно распространяемой Express версии Microsoft SQL Server.
- MS Access

Расчёт УЕ и суммы оплаты в кассу выполняется автоматически, возможен расчёт аванса с отражением записи в медицинской карте и последующим его зачётом при расчёте лечебной работы по факту. По желанию можно вести

график работы врачей и предварительную запись пациентов на приём, а также направление на анализы и последующий ввод результатов этих анализов. Автоматический учет осмотренных на проф. осмотре, нуждающихся в санации и санированных.

Можно вести учёт по дисконтным картам, с автоматическим подсчётом скидок, в зависимости от накопленной суммы на карте. Стоматологическая программа Дентал-Софт ведёт учёт посещаемости пациента и сама автоматически подсчитывает, когда пациент первичный и когда повторный, в случае первичного посещения предлагается указать зубную формулу на начало года и описать объективные данные первичного пациента. При описании в объективных данных R-граммы, ПИ, ГИ или индекса РМА идёт автоматический подсчёт УЕТ.

Есть возможность привязать снимки к пациенту из визиографа. После написания номера карты пациента в дневнике врачебного обследования сразу отразятся все рентген-снимки данного пациента.

Предусмотрена возможность отражения в медицинской карте стоматологического пациента выписки больничного листа, его продление, продолжение, закрытие, разрешения выдачи главным врачом, направление на ВК, МСЭК, решение МСЭК, выписки дубликата, нарушения режима. Ведется журнал б/л и анализ по б/л.

Имеется расширенный поиск пациентов по фрагментам ФИО, полу, рождёнными между датами, месту работы, профессиям, адресу и мн. др.

Есть возможность формирования списка пациентов для отправки им SMS-сообщений с напоминанием о записи на приём или напомнить, что он не посещал стоматолога более полугода, а также можно поздравить с различными праздниками, или вы можете сформировать свой собственный алгоритм для создания списка пациентов для отправки им SMS-сообщений.

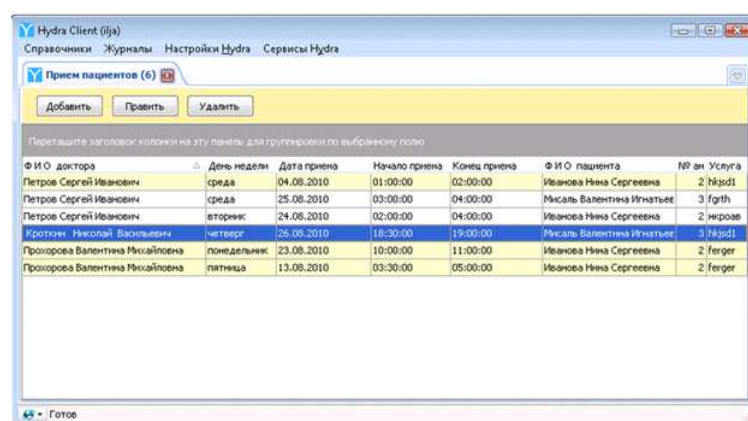
3. Программ плюс: Электронная регистратура

«Электронная регистратура» (ЭР) представляет собой специализированный интерфейс, связывающий базу данных врачей больницы, расписание работы врачей и базу данных пациентов. С помощью программы легко автоматизировать запись пациентов на приём и оптимизировать работу врачей, контролировать нагрузку на них, повысить эффективность использования площадей, оборудования и персонала больницы (см. рис. 3).

ЭР предназначена в первую очередь для упрощения работы регистратур поликлиник и медицинских центров. Использование ЭР позволяет заметно повысить эффективность администраторской работы регистратуры и сократить очереди как в саму регистратуру, так и у кабинетов врачей.

Основные функции программы обеспечивают:

- запись пациента на приём к выбранному врачу в соответствии с существующим расписанием этого врача (в том числе «на дом» и по телефону);
- идентификацию пациента по универсальной социальной карте;



Hydra Client (64)

Справочники Журналы Настройки Hydra Сервисы Hydra

Приём пациентов (6)

Добавить Править Удалить

Перетащите заголовки колонок на эту панель, для группировки по выбранному полю

Ф И О доктора	День недели	Дата приема	Начало приема	Конец приема	Ф И О пациента	№ ан. Услуги
Петров Сергей Иванович	среда	04.08.2010	01:00:00	02:00:00	Иванова Нина Сергеевна	2 hksjd1
Петров Сергей Иванович	среда	25.08.2010	03:00:00	04:00:00	Мисаль Валентина Игнатьевна	3 fgrth
Петров Сергей Иванович	вторник	24.08.2010	02:00:00	04:00:00	Иванова Нина Сергеевна	2 nperoe
Кроткий Николай Васильевич	четверг	26.08.2010	18:30:00	19:00:00	Мисаль Валентина Игнатьевна	3 hksjd1
Прохорова Валентина Михайловна	понедельник	23.08.2010	10:00:00	11:00:00	Иванова Нина Сергеевна	2 fgrgr
Прохорова Валентина Михайловна	пятница	13.08.2010	03:30:00	05:00:00	Иванова Нина Сергеевна	2 fgrgr

Готово

Рис. 3. «Электронная регистратура»

- самозапись пациента на приём к выбранному врачу с использованием информационного терминала (Инфомат);
- самозапись пациента на приём к выбранному врачу с использованием Интернета через сайт ЛПУ;
- просмотр расписания приёма (актуального на текущий момент времени) на экранах большого разрешения (панели) либо при помощи информационного терминала (Инфомата);
- быстрый доступ к заведённым медицинским картам, включая фильтрацию и поиск карты по ФИО больного, номеру карты, СНИЛС;
- печать лицевой стороны медицинской карты амбулаторного больного в соответствии с Приказом № 255 от 22 ноября 2004 года (форма № 025/у-04);
- создание и ведение талона амбулаторного пациента (ТАП);
- печать талона амбулаторного пациента в соответствии с Приказом № 255 от 22 ноября 2004 года (форма № 025-12/у);
- создание, ведение и учёт медицинских карт амбулаторного больного;
- печать талона электронной очереди;
- вывод справочной информации на внешний монитор кабинета врача;
- индикацию текущей очереди для пациентов на внешнем мониторе кабинета врача.

Основные преимущества:

- простой, интуитивно понятный интерфейс для быстрого запуска процесса автоматизации ЛПУ;

- мощный перечень функциональных возможностей;
- соответствие законодательству в области защиты персональных данных;
- поддержка свободного программного обеспечения (СПО), включая работу под ОС Linux и использование Open Office;
- поддержка терминального режима для рабочих мест персонала ЛПУ;
- возможность простого перехода на комплексную автоматизацию всего ЛПУ за счет встроенной интеграции с комплексной информационной системой уровня ЛПУ;
- соответствие требованиям Минздравсоцразвития к информационным системами, применяемым при создании региональных проектов автоматизации учреждений здравоохранения.

4. Информационная система (ИС) «Амбулаторная карта пациента», ООО Электронная Медицина

ИС «Амбулаторная карта пациента» предназначена для ведения медицинской карты в электронном виде, содержащей данные о пациенте и состоянии его здоровья на основании проведённых врачебных осмотров, лабораторных и других видов исследований. Использование информационной системы позволяет централизованно хранить данные пациента, что даёт возможность просматривать информацию его истории болезни различным специалистам ЛПУ без передачи между ними бумажной амбулаторной карты.

При описании состояния здоровья пациента можно использовать текстовые шаблоны для сокращения времени обслуживания, получать статистические отчёты по широкому спектру параметров, отслеживать динамику изменения показателей состояния здоровья. Кроме этого, возможен контроль хода лечения и диагностики пациента на основании электронных данных амбулаторной карты, что позволяет повысить качество оказания медицинской помощи.

При работе системы в амбулаторно-поликлиническом лечебном учреждении в случае интеграции с программным модулем «Регистратура» появляется возможность записи пациента на приём к другому специалисту, что исключает необходимость повторного обращения в регистратуру.

Для исключения повторного ввода данных врачами информация о пациенте передаётся в ИС «Амбулаторная карта пациента» из базы данных регистратуры одним из перечисленных способов (в зависимости от технологии работы, принятой в лечебном учреждении):

- из списка пациентов, направленных регистратурой на текущую дату к конкретному врачу;
- из базы данных прикрепленного контингента на случай экстренного обращения пациента.

При этом поиск пациента возможен по фамилии, имени, отчеству или коду, вводимому вручную с клавиатуры или считываемого со штрих-кода на талоне амбулаторного пациента, либо бумажной карты амбулаторного пациента при помощи сканера штрих-кода. Предусмотрен также режим ручного ввода информации о пациенте в систему. Занесение данных об осмотрах и исследованиях может осуществляться несколькими способами:

- ввод с использованием специальных шаблонов для каждого описываемого параметра, представленных в виде списка значений или дерева данных, настраиваемых для каждого врачебного профиля индивидуально;
- ввод с использованием общих шаблонов текста, заполняющих одновременно несколько описываемых параметров заранее заданными значениями;
- ввод информации с клавиатуры.

При создании врачебных осмотров могут использоваться федеральные, региональные и внутренние стандарты диагностики и лечения пациента в зависимости от нозологической группы, пола и возраста, включая как обязательную, так и необязательную составляющие стандарта, что позволяет повысить качество медицинской помощи. Кроме операций создания, изменения и удаления осмотра, возможно его копирование для повышения скорости ввода данных.

На печать выводится как единичный осмотр или протокол, так и отчёт по всему случаю заболевания. Кроме того, есть возможность формирования статистических отчётов (например, отчёт по количеству проведённых осмотров врачами за установленный промежуток времени или количество зафиксированных случаев заболевания за период времени среди мужского и/или женского населения).

Набор параметров осмотра и конечная документация могут изменяться и настраиваться в зависимости от специфики и потребностей учреждения, использующего информационную систему.

В карточках осмотра пациентов предусмотрено хранение и вывод графических изображений. Формирование плана лечения больного может осуществляться как с использованием справочника медикаментов, так и без него.

В программе также реализован аналог электронной цифровой подписи: внесение изменений в карточку осмотра после вывода её на печать невозможно для пользователя, не имеющего права администратора, что обеспечивает полное соответствие электронного документа своей бумажной копии. Все изменения в осмотре (в том числе и администратором) фиксируются с возможностью последующего просмотра.

Предусмотрена интеграция ИС «Амбулаторная карта пациент» с другими модулями, разработанными ООО «Электронная медицина», такими как «Регистратура», «Приёмник», «Лаборатория» и «Вакцина».

Благодаря взаимодействию с ИС «Регистратура», врач, работающий с программой в амбулаторно-поликлиническом лечебном учреждении, может осуществлять запись пациента на приём к другому специалисту (с печатью талона

АП) или к себе самому на повторный приём, что исключает необходимость возвращения в регистратуру, тем самым уменьшая её загруженность.

Данные о проведённом исследовании доступны врачу сразу после внесения их лаборантами в специально предназначенную систему, реализованную на единой базе вместе с ИС «Амбулаторная карта пациента», что снижает риск потери информации и обеспечивает своевременность её получения.

При совместном использовании информационных систем «Регистратура» и «Амбулаторная карта пациента» возможна автоматическая генерация статистической и экономической отчётности на основании врачебных осмотров, что позволяет исключить дополнительные ошибки, возникающие на этапе ввода статистических документов в информационную систему, и добиться полного соответствия вводимой информации и первичной документации, что минимизирует отказы при проведении экспертизы качества медицинской помощи.

Кроме этого, информационная система поддерживает функцию распределения и контроля объёмов оказания медицинской помощи по врачам и промежуткам времени. Возможно ведение и редактирование схем иммунопрофилактики для каждого пациента, а также сбор и хранение информации о листках временной нетрудоспособности.

В информационной системе «Амбулаторная карта пациента» реализована система уведомлений, позволяющая осуществлять рассылку необходимой информации как сотрудникам лечебно-профилактического учреждения с использованием локальной сети, так и пациентам ЛПУ с использованием службы коротких сообщений (SMS) глобальной сети.

Предусмотрены следующие дополнительные возможности:

- фильтрация списка принятых пациентов по коду, ФИО, дате рождения и порядку ввода в систему;
- вывод осмотров, проведённых конкретным врачом;
- вывод пациентов с незаконченными случаями заболевания;
- присвоение пациенту признака «Особого случая» для выделения его из общего списка;
- вывод списка пациентов, состоящих на диспансерном учёте;
- хранение информации о присвоении групп состояния здоровья;
- дополнение или изменение данных, введённых регистратурой или приёмником.

5. ERM Software, Practice Fusion

Полностью сертифицированная система электронных медицинских карт, разработанная для средних и малых больниц, бесплатная и с широким спектром возможностей (см. рис. 4), объединяет свыше 65000 больниц.



Рис. 4. ERM Software, Practice Fusion

Для получения доступа и создания собственной карты больного необходимо зарегистрировать и создать аккаунт на сайте <http://practicefusion.com>.

Включает в себя электронные предписания, карты больного, электронную лабораторию, рассылку электронных писем и смс-сообщений, статистику и планирование, возможность следить за расходами и вести бухгалтерию, онлайн запись к врачу.

Система разработана врачами и имеет большое количество готовых шаблонов, которые могут быть использованы для любого врача независимо от специальности. Возможности и преимущества:

Электронная карта для iPad

Данная программа также может быть использована на устройстве iPad как отдельное приложение (см. рис. 5).

Гибкие шаблоны и умные графики

Включает более чем 220 шаблонов, предназначенных для удовлетворения потребностей десятков специальностей. Шаблоны разработаны с учётом практикующих врачей и рекомендаций ведущих медицинских ассоциаций.

Создание и настройка собственных шаблонов

Каждая специальность отличается, поэтому шаблоны программы полностью настраиваемые, так что можно редактировать свои шаблоны, чтобы соответ-



Рис. 5. Электронная карта для iPad

ствовать рабочему процессу конкретной врачебной практики, или создать свои собственные.

Возможность быстро узнать диагноз и состояние больного

Удобная таблица пациентов, информация сосредоточена в одном месте с быстрым поиском диагнозов, рецептов, лекарственных аллергий и историй болезни.

Возможность управлять прямо из панели управления:

- диагностикой историй болезни;
- списком лекарств;
- расширенными директивами;
- историями болезни;
- информацией о прививках;
- автоматической CDC диаграммой роста.

Из главного раздела программы можно получить снимок всех активностей карты пациента в виде графиков на основе прошлых вызовов больного, встреч, рефералов, лекарств, данные лаборатории и многое другое. Возможность создавать заметки, дневники, рассылку сообщений и многое другое.

Возможность сделать импорт всех данных из системы.

Заключение

Каждая из вышеперечисленных программ имеет свои преимущества и недостатки, но можно выявить ряд преимуществ электронной карты больного в целом:

- отслеживание состояния пациентов в течение всего времени;
- идентификация пациентов, которым необходимо пройти очередные диагностические проверки или лечение;
- мониторинг изменения определённых параметров пациента, таких как пульс и артериальное давление;
- повышение общего количества надзора за больными и их здоровьем.

Разрабатывая модуль «ИАМ ПИКС», я постарался учесть весь негативный опыт ранее созданных аналогичных программ, и, в первую очередь, решил реализовать проект в виде веб-приложения. При этом сделать его доступным как для врача, так и для пациента. Такой подход сразу открыл множество преимуществ. Во-первых, такая электронная карта пациента доступна врачу или медицинской сестре из любого места без установки дополнительного программного обеспечения. Во-вторых, такая электронная карта позволяет пациенту прямо на сайте клиники отслеживать процесс своего лечения, а врачу корректировать его по мере необходимости.

Опыт, полученный в результате обзора множества подобных программ, позволяет создать оптимальное программное обеспечение для электронной карты больного, которое будет отвечать современным требованиям и соответствовать ожиданиям врачей и пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронная медицинская карта — электронная история болезни. URL: http://www.postmodern.ru/?tree_id=58 (дата обращения: 02.08.2013).
2. Программ плюс: Электронный документооборот. URL: <http://docexplorer.ru/> (дата обращения: 10.08.2013).
3. Дентал-Софт – программа для стоматологии, электронные медицинские карты. URL: <http://www.dentasoft.ru/> (дата обращения: 05.08.2013).
4. Электронная медицина. URL: <http://www.elmed-rostov.ru/Programs/solution2.asp> (дата обращения: 02.08.2013).
5. EMR Electronic Medical Records – Free Web-Based EMR Software. URL: <http://practicefusion.com> (дата обращения: 04.08.2013).

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА НА СТОРОНЕ КЛИЕНТА ДЛЯ РАБОТЫ С ТАБЛИЧНЫМИ ДАННЫМИ

Е.А. Илюшечкин, И.С. Молодых

В работе описана задача создания клиентской части эффективного веб-интерфейса для работы с табличными данными на основе возможностей HTML5, а также приведены основные принципы программной реализации такого интерфейса.

Введение

С развитием глобальных сетей и веб-технологий веб-приложения стали одним из наиболее распространённых средств обработки удалённо хранящихся данных. В современных веб-приложениях приходится сталкиваться с задачей модификации больших массивов однотипных записей, которые могут быть представлены в виде таблицы. В дальнейшем подобные данные будем называть табличными.

Как правило, модификация табличных данных организуется по следующей схеме: пользователю предлагается выбрать запись из (возможно, отфильтрованного по некоторому критерию) списка, после чего он попадает в режим редактирования записи. По завершению работы с записью новые данные отсылаются на сервер, а пользователь вновь возвращается к списку. Данный подход обладает двумя недостатками.

1. **Большие накладные расходы на пересылку:** к полезному трафику в каждом запросе добавляется служебный заголовок. При наличии куки большого объёма, что является весьма типичным для корпоративных приложений, длина заголовка может превышать длину данных.
2. **Большая нагрузка на сервер:** для каждого запроса необходимо разобрать заголовок, выполнить проверки, связанные с авторизацией, инициализировать некоторый контекст.

Можно избавиться от этих недостатков, если кэшировать на стороне пользователя сделанные изменения, а затем передавать данные обо всех изменённых

записях одним запросом (в пакетном режиме). Подключив механизмы браузеров Local Storage и Application Cache, относящиеся к стандарту HTML5, возможно кэшировать и веб-страницы, а сами данные сохранять на неопределенный срок. Помимо снижения расходов на пересылку и обработку данных, долгосрочное кэширование данных и веб-страниц на стороне пользователя позволяет реализовать две дополнительные возможности:

1. **Отложенное редактирование.** Пользователь может приостанавливать работу с данными, сохраняя сделанные изменения локально, и отсылать результат по завершении редактирования всех записей. Тем самым пользователь управляет целостностью вносимых изменений и может отложить публикацию результата, например, для консультации с более компетентным специалистом.
2. **Оффлайнный режим работы.** Можно вносить изменения в локальную копию данных при отсутствии подключения к сети, например, в дороге, и посылать результат при выходе в сеть.

Поскольку обрабатывать табличные данные приходится во многих приложениях с веб-интерфейсом, целесообразно создать типовое и гибкое решение, лишённое перечисленных недостатков и обладающее указанными возможностями. Данная работа описывает опыт создания такого решения.

1. Постановка задачи и инструментарий

Любое веб-приложение делится на серверную часть, выполняющуюся на веб-сервере, и клиентскую часть, выполняющуюся в браузере пользователя. Создать единое универсальное решение для серверной части приложения невозможно, так как серверная часть может быть написана на различных, не совместимых между собой языках программирования. Напротив, клиентская часть всегда выполняется в интерпретаторе языка JavaScript, встроенном в любой популярный браузер. Поэтому в данной работе рассматривается реализация клиентской части и интерфейс взаимодействия между клиентом и сервером.

В обсуждаемой реализации для передачи структурированных данных между клиентом и сервером используется формат JSON: он имеет малые накладные расходы (по сравнению, например, с иногда используемым XML) и хорошую встроенную поддержку в языке JavaScript. Вся передача данных осуществляется в фоновом режиме без перезагрузки страницы – используется стандартная технология AJAX. Для кэширования данных на стороне клиента используется встроенная во все современные браузеры технология Local Storage (далее – локальное хранилище) [1].

Часто значение определённого поля таблицы может выбираться из нескольких фиксированных вариантов, из некоторого справочника. Для реализации автономной работы эти справочники также необходимо загружать на сторону клиента. Вот минимальный набор методов, предоставляемых серверной стороной:

1. **loadData** – запрос текущих данных таблицы;
2. **saveData** – сохранение сделанных изменений на сервере;
3. **loadDictionary(name)** – запрос справочника с уникальным именем name.

Несмотря на то, что все современные браузеры имеют встроенный интерпретатор JavaScript, единый стандарт на набор доступных из скрипта объектов, их полей и методов до сих пор не реализован. Для решения проблемы кроссбраузерности, то есть, возможности одинакового выполнения клиентской части приложения во всех стандартных браузерах, предлагается использовать библиотеку, абстрагирующую разработчика от особенностей конкретных браузеров и предоставляющую набор универсальных примитивов. В настоящее время существует несколько подобных библиотек. Авторами была выбрана библиотека jQuery, имеющая большую популярность, множество расширений и богатый функционал. Данный выбор, однако, не является единственно возможным и наиболее эффективным. В частности, для решения частных случаев рассматриваемой задачи можно выбрать более легковесные и быстрые библиотеки.

Библиотека jQuery [2] предоставляет удобный способ расширения своего функционала в виде плагина – подключаемого модуля определённой структуры. Предлагаемое здесь решение было выполнено именно в такой форме, поскольку методы плагина вызываются в том же стиле, что и методы самой библиотеки. Это делает код приложения более унифицированным и, учитывая популярность jQuery, более читаемым сторонними разработчиками.

Плагин выполняет следующие основные функции:

1. **Отрисовка графического интерфейса:** таблицы с данными и элементов для ввода информации.
2. **Общение с сервером:** асинхронное получение данных таблицы и справочников, пакетная отправка списка сделанных изменений.
3. **Отслеживание изменений:** формирование текущего списка изменений в виде объекта, который может сохраняться в локальном кэше или отправляться на сервер.
4. **Отложенное редактирование:** сохранение изменений в локальном кэше, их автоматическое наложение после запуска страницы, очистка кэша.
5. **Оффлайновый режим работы:** определение наличия связи с сервером или, по меньшей мере, подключения к сети и выполнение соответствующих действий при отсутствии связи.

Можно выделить ряд дополнительных функций, упрощающих взаимодействие пользователя с таблицей: сортировка по столбцам, постраничная разбивка, клавиатурная навигация, отображение панели управления (например, в описываемой реализации на страницу выводилась панель с кнопками «Обновить с сервера», «Сохранить на сервер», «Сохранить локально»).

Авторами был проведен обзор существующих библиотек для работы с таблицами на стороне клиента. Ни одна из рассмотренных библиотек (Flexigrid [3], jqGrid [4], Ingrid [5]) не выполняла всех перечисленных функций, в частности, везде отсутствовала возможность отложенного редактирования и оффлайн-режима работы (табл. 1).

Таблица 1. Реализация возможностей в других библиотеках

Плагин	Flexigrid	jqGrid	Ingrid
Отрисовка графического интерфейса	+	+	+
Асинхронный обмен данными с сервером	+	+	+
Пакетная передача данных об изменениях	-	+	-
Отложенное редактирование	-	-	-
Возможность оффлайн-работы	-	-	-

2. Архитектура плагина

Целесообразно разбить разработку плагина на несколько относительно независимых, взаимодействующих друг с другом компонентов, которые можно реализовать, например, в виде объектов JavaScript:

1. **Модуль общения с сервером** отправляет AJAX-запросы на заданный адрес и обрабатывает ответы сервера. В результате он либо возвращает данные другому компоненту плагина (менеджеру словарей или модулю отображения данных), либо передаёт информацию об ошибке модулю оповещений. Запросы могут генерироваться как действиями пользователя (нажатие на определённую кнопку), так и вызовами от других компонентов.
2. **Менеджер словарей** управляет информацией о словарях, предоставляет эту информацию, когда нужно отобразить список выбора для определённого поля таблицы. При необходимости подгружает отсутствующую информацию с сервера с помощью модуля общения с сервером, либо из локального хранилища.
3. **Менеджер локального хранилища** позволяет кэшировать данные таблиц, словарей, список внесённых изменений в локальное хранилище браузера и загружать их по требованию.
4. **Модуль отображения данных** отвечает за отображение табличных данных и полей их редактирования. Сюда же выносятся дополнительные функции, обеспечивающие интерактивность работы пользователя вроде сортировки, постраничной разбивки и клавиатурной навигации.
5. **Монитор изменений** отвечает за формирование списка изменений со времени последнего обновления данных с сервера.

6. **Менеджер блока управления** отображает панель с кнопками для вызова методов сохранения данных на сервер, помещения изменений в локальный кэш, обновления данных с сервера. Здесь же задаются параметры фильтрации данных на стороне клиента. Может быть объединён с модулем отображения данных.
7. **Модуль оповещений** уведомляет пользователя об ошибках, доступности сервера и различных событиях, а также выводит отладочные сообщения в консоль браузера.

3. Принципы реализации

Предлагаемое решение для работы с табличными данными, выполненное в виде плагина библиотеки jQuery, состоит из трёх файлов: ядра, файла настроек и файла CSS, первый из которых не зависит от среды применения, а два других могут изменяться под конкретные нужды. Прилагающийся файл настроек изначально содержит настройки по умолчанию и одновременно является справочником по доступным для изменения параметрам. Настройки выполнены в форме единого JavaScript-объекта и состоят из:

1. Перечня словарей с указанием ссылок для их получения с сервера.
2. Набора столбцов таблицы и их параметров (заголовков, доступность для редактирования, привязанный словарь и т. д.).
3. Шаблонов html-разметки.
4. Шаблонов селекторов.
5. Глобальных параметров таблицы (CSS-класс контейнера таблицы, идентификатор таблицы для различения нескольких таблиц на странице).
6. Пользовательских обработчиков для некоторых событий.

3.1. Шаблонизация как средство достижения гибкости

В общем случае шаблон – это описание некоторой универсальной абстрактной структуры данных или алгоритмов, которая при заполнении реальными данными позволяет решать класс схожих задач. Шаблонизация библиотеки является основой её гибкости – ядро, оперирующее шаблонами, может использоваться везде без изменений, изменяться будет лишь файл настроек, приспособивший это ядро под конкретную среду применения. Подобное разделение ядра и настроек позволяет легко обновлять библиотеку без необходимости повторения внесённых в предыдущую версию модификаций. Кроме того, файл настроек имеет (в отличие от файла, содержащего код) декларативный характер и представляет контекст применения библиотеки в гораздо более читаемом виде.

Чтобы выводимая таблица гармонично вписывалась в веб-интерфейс, для её элементов может понадобиться особая разметка (например, иногда необходимо оборачивать данные ячеек таблиц в дополнительные блоки). Если жёстко задать html-разметку выводимой таблицы в коде библиотеки, то для использования библиотеки в составе конкретного сайта может понадобиться модификация её кода. Поэтому, чтобы сделать плагин универсальным, имеет смысл использовать шаблоны разметки – переменные, содержащие фрагменты разметки с заполнителями, замещающимися на реальные данные. Например, для ячейки таблицы шаблон может иметь вид `<td><div>{data}</div></td>`. При выводе на страницу параметр `{data}` замещается на реальные данные ячейки функцией плагина, получающей на вход имя шаблона и список фактических значений его аргументов. Вынесение шаблонов в файл настроек позволяет не только достичь большей гибкости, но и отделить код от данных, что является хорошей практикой разработки.

Параметры, отвечающие за внешний вид блоков html-разметки (цвет, форму, отступы и т. д.), в современных веб-приложениях сконцентрированы в файлах CSS-стилей. Элементам страницы приписываются неуникальные атрибуты `class` и уникальные атрибуты `id`, а в CSS-файле сосредоточены правила отображения при определённой комбинации значений этих и некоторых других атрибутов. Хотя наличие или отсутствие CSS-файла не влияет на функционал скрипта в образце файла настроек, распространяемом с плагином, все шаблоны html-разметки используют файл стилей для определения всех параметров отображения описываемых ими элементов. При изменении настроек рекомендуется сохранять этот принцип и не использовать в шаблонах html-разметки атрибутов, непосредственно влияющих на внешний вид блоков. Использование такого подхода способствует дальнейшей структуризации данных за счёт разделения информации об отображении и о структуре.

Для поиска элементов страницы и манипуляции ими в jQuery и её аналогах применяются выражения специального вида – селекторы. Поскольку селекторы используются в коде неоднократно, а гибкая разметка может вносить изменения в исходную структуру таблицы, имеет смысл отделить селекторы от кода и сосредоточить их в одном месте – в файле настроек. При этом некоторые селекторы тоже необходимо задавать в виде шаблонов. Например, шаблон селектора для выбора содержимого n -й ячейки имеет по умолчанию вид `td:eq('{n}') > *`, а для приведённого выше примера разметки – `td:eq('{n}') > div > *`.

Чтобы без модификации ядра менять не только внешний вид отображаемых элементов, но и поведение плагина, при разработке применялся принцип проектирования, называемый шаблонным методом [6]. Код библиотеки содержит функции-заглушки, вызываемые там, где пользователю, вероятно, понадобится дополнить стандартную обработку данных и событий своими действиями. Эти функции могут быть наполнены реальным содержанием, если пользователь определит их в файле настроек. Поскольку jQuery, как и другие библиотеки, позволяет пользователю создавать собственные события, для получения аналогичной возможности допустимо использовать событийно-ориентированный

подход: вместо вызова функции-заглушки генерировать специальное событие. Тогда пользователь будет не переопределять в настройках функции-заглушки, а указывать обработчики для этих специальных событий. Сравнение этих двух подходов может быть предметом отдельного исследования.

3.2. Особенности работы с локальным хранилищем

Локальное хранилище в современных браузерах позволяет хранить строковые пары ключ-значение. Для сохранения объектов JavaScript в виде строки и их последующего восстановления можно использовать встроенные методы сериализации и десериализации, предоставляемые скриптовыми движками браузеров.

Как правило, квота хранимых данных на один домен составляет 5МБ. Очевидно, для обеспечения работы с большим объёмом данных необходимы некоторые организационные меры. Например, можно опубликовать на сайте инструкции по увеличению квоты в настройках различных браузеров.

Для экономии используемого в локальном кэше места стоит применять методы сжатия данных. Если учесть, что при сериализации имена полей объектов попадают в результат, можно перед публикацией библиотеки пропустить её через так называемый минификатор (программы для уменьшения размера скрипта), который в том числе может уменьшить длину имён всех используемых переменных до 2-3 символов.

3.3. Особенности создания оффлайн-приложения

Для обеспечения работы с локально кэшированными данными без подключения к сети необходимо использовать механизм современных браузеров, позволяющий кэшировать файлы веб-страниц, – Application Cache [1]. По сути, это требует лишь перечисления всех кэшируемых элементов в файле манифеста и указания этого файла в атрибутах страницы. Файл манифеста никак не зависит от кода библиотеки, но, чтобы избежать проблем с обновлением прочих страниц сайта, рекомендуется иметь отдельную версию страницы, подлежащую кэшированию, которая содержит непустой атрибут манифеста.

Библиотека должна уметь определять наличие подключения к сети. Браузеры позволяют отслеживать доступность сети с помощью специального объекта **navigator**, и во многих случаях этого достаточно. Однако оказывается, что таким образом отслеживается не подключение к Интернет или корпоративной сети, а лишь наличие активного сетевого интерфейса. Например, при тестировании библиотеки выяснилось, что браузер считает, что он находится в сети, даже если сеть недоступна, но активен один из виртуальных сетевых интерфейсов для связи с виртуальной машиной. Эту особенность стоит учесть в реализации и вместо проверки стандартного объекта браузера выполнять тестовый запрос на сервер веб-приложения.

Заключение

В данной работе была рассмотрена задача создания эффективного пользовательского интерфейса веб-приложения для работы с табличными данными, а также предложен путь её универсального решения на основе опыта авторов. Безусловно, это не единственный возможный способ решения описанной задачи. Кроме того, современные возможности веб-браузеров стоит применить и для решения прочих проблем, связанных с улучшением интерфейса пользователя.

Развитие предложенного здесь решения можно продолжить по нескольким направлениям.

1. Корректная обработка конфликтов редактирования – ситуаций, когда одна запись редактируется несколькими пользователями.
2. Поиск наилучшего способа сжатия данных в кэше для более эффективного использования локального хранилища.
3. Возможность редактирования связанных таблиц и валидация табличных связей на стороне клиента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mark Pilgrim. Dive into HTML5. URL: <http://diveintohtml5.info/index.html> (дата обращения: 11.10.2013).
2. jQuery API documentation. URL: <http://api.jquery.com> (дата обращения: 11.10.2013).
3. Flexigrid. Official site. URL: <http://flexigrid.info> (дата обращения: 11.10.2013).
4. jqGrid. Official site. URL: <http://www.trirand.com/blog> (дата обращения: 11.10.2013).
5. Ingrid. Official site. URL: <http://reonstrukt.com/ingrid> (дата обращения: 11.10.2013).
6. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб. : Питер, 2001. 368 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ДОСТУПА К ФАЙЛАМ В ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ WINDOWS 7

Д.М. Бречка

В статье рассматривается процесс разработки программного продукта для анализа доступа к объектам файловой системы Windows 7 на основе модели безопасности Take-Grant. Описывается внутренняя организация программного продукта, его функционал и тестирование производительности.

Введение

Нормативные документы по информационной безопасности [1, 2] требуют использования механизмов дискреционного разграничения доступов в современных компьютерных системах, данное требование применимо и к операционным системам. Однако наличие механизма дискреционного разделения доступа в операционной системе не гарантирует защищённость системы от несанкционированного доступа, так как настройка доступа выполняется пользователями системы, в результате чего могут появляться ошибки администрирования. Таким образом, возникает потребность в разработке методов оценки корректности работы механизмов дискреционного разделения доступа в операционных системах.

На сегодняшний день существует ряд формальных моделей дискреционного разделения доступа [3]. Оценивать корректность работы дискреционного механизма в операционной системе разумно на основе какой-либо формальной модели. Однако политика безопасности в конкретной операционной системе может не полностью соответствовать классической модели безопасности. В этом случае возникает проблема адаптации классической модели к политике, применяемой в конкретной системе. В работе [4] описано исследование возможности применения дискреционной модели безопасности Take-Grant для анализа доступа к объектам операционных систем Windows 7 и Ubuntu Linux 10.4.

Целью данной работы является описание процесса разработки и тестирования программного продукта для анализа доступа к объектам файловой системы Microsoft Windows 7 на основе модели Take-Grant.

1. Получение доступа к системным структурам в операционных системах Windows 7

Операционные системы Windows предоставляют широкий набор инструментов для администрирования компьютера. Одним из наиболее удобных инструментов администрирования, доступных для пользовательских программ, является Windows Management Instrumentation (WMI). Windows Management Instrumentation — это технология управления и слежения за работой различных частей компьютерной системы под управлением Windows [5]. В основе WMI лежит объектно-ориентированный подход к представлению компонентов системы. Поля объектов, предоставляемых WMI, являются динамическими, это означает, что значения этих полей нигде не хранятся, а создаются по запросу пользователя. Все классы сгруппированы в пространства имён, которые иерархически упорядочены, то есть допускают наличие классов-потомков и классов-родителей.

WMI предоставляет большое количество классов для доступа к информации о компьютерной системе. Так, например, для доступа к учётным записям пользователей можно воспользоваться классом `Win32_UserAccount`, а для доступа к информации о группах пользователей — `Win32_Group`. Существует ряд классов для доступа к объектам файловой системы, например `Win32_LogicalDisk` предоставляет информацию о логических дисках, а `Win32_Directory` — о папке. Для доступа к правам пользователя на файл можно использовать класс `FileSystemAccessRule` [5].

Для обращения к объектам WMI применяется специальный язык запросов — WMI Query Language (WQL), который является разновидностью SQL. Использование WQL позволяет работать с объектами WMI как с таблицами баз данных, что может быть удобным как при обращении к объектам из пользовательских программ, так и из внешних скриптовых оболочек, например Windows PowerShell [5].

2. Разработка проекта программного продукта для анализа доступа к объектам файловой системы

Основной задачей разрабатываемого программного продукта является обнаружение ошибок распределения прав доступа к пользовательским файлам. Наличие таких ошибок может стать причиной появления несанкционированного доступа. Настройкой прав доступа может заниматься администратор системы и владелец файла. Причины появления ошибок настройки прав могут быть следующими:

- 1) некоторые пользователи могут являться членами групп, обладающих административными правами, и, вследствие этого, получать доступ к файлам как члены административных групп;
- 2) права пользователя на файл могут быть унаследованы от директории, в которой находится файл;

- 3) при создании файла пользователь применяет политику по умолчанию, которая может не соответствовать ожиданиям пользователя.

Таким образом, для выполнения своей основной функции разрабатываемая программа должна располагать сведениями обо всех пользователях компьютерной системы и группах пользователей, а также обо всех файлах на текущем компьютере. Результатом работы программы должен являться отчёт, содержащий сведения о том, какие права имеет определённый пользователь на определённый файл и по каким причинам он имеет эти права. Исходя из сказанного, можно определить минимальный набор режимов работы программы:

- 1) просмотр имён всех учётных записей пользователей, зарегистрированных на данном компьютере;
- 2) просмотр всех пользовательских групп на данном компьютере;
- 3) просмотр файлов, хранящихся на данном компьютере (в указанной директории, на указанном диске или всех файлов на компьютере);
- 4) проверка прав доступа конкретного пользователя (всех пользователей) на конкретный файл или на группу файлов (файлы в указанной директории).

Согласно принципу декомпозиции [6] следует разделить поставленную задачу на более мелкие части, чтобы упростить процесс ее решения. Разрабатываемый программный продукт можно разделить, как минимум, на три модуля или объекта. Первый модуль будет служить для сбора информации о субъектах и объектах компьютерной системы, на которой запущена программа. Второй модуль будет выполнять все действия по анализу доступа субъектов к объектам. Третий модуль будет предоставлять пользовательский интерфейс.

Для более наглядного представления решаемой задачи и уменьшения количества связей между отдельными частями программы предлагается избрать объектно-ориентированный подход к разработке программ [6]. В этом случае выделенные программные модули могут быть представлены в виде объектов, а отдельные задачи, решаемые этими объектами — в виде методов объектов. В качестве языка программирования для разработки программного продукта был выбран язык C#, который является удобным объектно-ориентированным языком.

3. Разработка класса для анализа доступа

Удобный инструмент для анализа доступа в компьютерной системе представляет модель безопасности Take-Grant [3, 7–9]. Данная модель представляет компьютерную систему в виде графа доступов, вершинами которого являются субъекты и объекты системы, а дугами — права субъектов на объекты. Для рассматриваемой задачи субъектами графа будут являться пользователи (пользовательские учётные записи), а объектами — пользовательские файлы. Таким

образом, очевидно, что в программе потребуется два типа вершин. Помимо типа в вершине графа полезно хранить дополнительную информацию о вершине такую как: номер вершины в графе и имя субъекта или объекта, представленного данной вершиной. Кроме того, для удобства работы в программе вершины-объекты и вершины-субъекты нумеруются отдельно. В связи со сказанным, для хранения информации о вершине удобно будет создать специальную структуру, содержащую перечисленные поля.

```
struct Vertex {  
    public string name; // имя вершины  
    public string type; // тип вершины  
    public Int64 number; // номер вершины данного типа  
    public Int64 ID; // номер вершины в графе  
}
```

Существует несколько стандартных способов программного представления графов [10], для разрабатываемой программы был избран способ представления графа в виде матрицы смежности. Столбцами и строками такой матрицы являются вершины графа, а в ячейках находятся веса путей между смежными вершинами. В нашем случае в ячейках матрицы удобно расположить права доступа, которые, в свою очередь, удобно представить в виде битовой строки, где каждый бит идентифицирует наличие или отсутствие определённого права. Так как в разных операционных системах может быть различное количество прав доступа, то и размер битовой строки для разных операционных систем будет разным. Поэтому удобно создать в классе специальное константное поле (BN) для хранения размера битовой строки. Для работы с битовыми строками в языке C# удобно использовать класс BitArray [5], тогда массив, задающий матрицу смежности, может быть объявлен следующим образом:

```
BitArray[,] a_matrix;
```

Для хранения списка вершин-субъектов и вершин-объектов можно создать два динамических массива типа Vertex. Также удобно завести отдельные поля в классе для хранения количества субъектов и объектов, во избежание необходимости производить их подсчёт. Таким образом, к полям класса будут относиться следующие переменные:

```
static int BN; // количество битов в строке (количество прав доступа)  
int IDs; // переменная для подсчёта общего числа вершин в графе  
BitArray[,] a_matrix; // матрица смежности графа  
public int S; // количество субъектов в графе  
public int O; // количество объектов в графе  
public Vertex[] Subjects; // список субъектов в графе  
public Vertex[] Objects; // список объектов в графе.
```

Для работы с графом доступов, очевидно, понадобятся операции добавления и удаления субъектов и объектов, а также операции добавления и удаления дуг.

При добавлении субъекта или объекта необходимо увеличить общее число вершин в графе, а также увеличить количество вершин данного типа. Для унификации работы с матрицей смежности в программе используется следующее соглашение: в матрице смежности записи о вершинах-субъектах располагают-

ся до записей о вершинах-объектах. Следовательно, при добавлении субъекта необходимо добавить столбец (строку) в матрицу после всех столбцов (строк), соответствующих субъектам, но до столбцов (строк), соответствующих объектам. При добавлении объекта в матрицу добавляется последний столбец и последняя строка.

Алгоритм добавления субъектов в матрицу следующий:

- 1) создаётся временная матрица размером $(S + O + 1) \times (S + O + 1)$, где S и O — соответственно количество субъектов и объектов в графе доступа;
- 2) во временную матрицу копируются значения исходной матрицы до тех пор, пока не встретится последняя строка (столбец), соответствующая субъекту;
- 3) новый субъект пока не имеет связей с другими вершинами графа, поэтому ячейки новой строки и столбца остаются пустыми;
- 4) после нового субъекта во временную матрицу копируются столбцы и строки, соответствующие объектам;
- 5) в исходной матрице увеличивается количество строк и столбцов;
- 6) значения из временной матрицы копируются в исходную.

Добавление объекта происходит аналогично, но новые данные добавляются в конец матрицы.

При удалении субъекта или объекта уменьшается количество вершин данного типа. При изменении матрицы смежности необходимо удалить столбец и строку, соответствующую данной вершине. Алгоритм удаления вершины из матрицы следующий:

- 1) создаётся временная матрица размером $(S + O - 1) \times (S + O - 1)$, где S и O — соответственно количество субъектов и объектов в графе доступа;
- 2) во временную матрицу копируются значения исходной матрицы до тех пор, пока не встретится строка (столбец), соответствующая удаляемой вершине;
- 3) дальнейшее копирование элементов происходит со сдвигом на одну ячейку вперёд, то есть в текущую ячейку временной матрицы копируется значение следующей ячейки исходной матрицы;
- 4) в исходной матрице уменьшается количество строк и столбцов;
- 5) значения из временной матрицы копируются в исходную.

Добавление дуги производится простым копированием значения в соответствующую ячейку матрицы смежности, при этом в начале проверяется, существуют ли в графе вершины, между которыми необходимо добавить дугу. Удаление дуги происходит аналогично — путём удаления значений.

Для удобства работы с графом доступа добавлены методы сохранения графа в файл и загрузки графа из файла. Информация о графе хранится в текстовом файле со следующей структурой: в начале файла сохраняется количество субъектов, объектов и общее число вершин в графе. Затем сохраняется количество дуг графа. Далее следует список всех субъектов со значениями всех полей субъектов. Следом за субъектами таким же образом сохраняются объекты. Последним элементом в файле сохраняется матрица смежности графа.

Помимо описанных методов в классе присутствует несколько вспомогательных методов: методы `copybits` — для копирования битовых строк, метод `addSpaces` — для добавления пробелов при выводе матрицы смежности, метод `showAdjacencyMatrix` и метод `showMask` — для вывода соответственно матрицы смежности и значения ячейки матрицы смежности в строку, которую в дальнейшем можно выводить на экран или в файл.

Структура описанного класса изображена на рисунке 1.

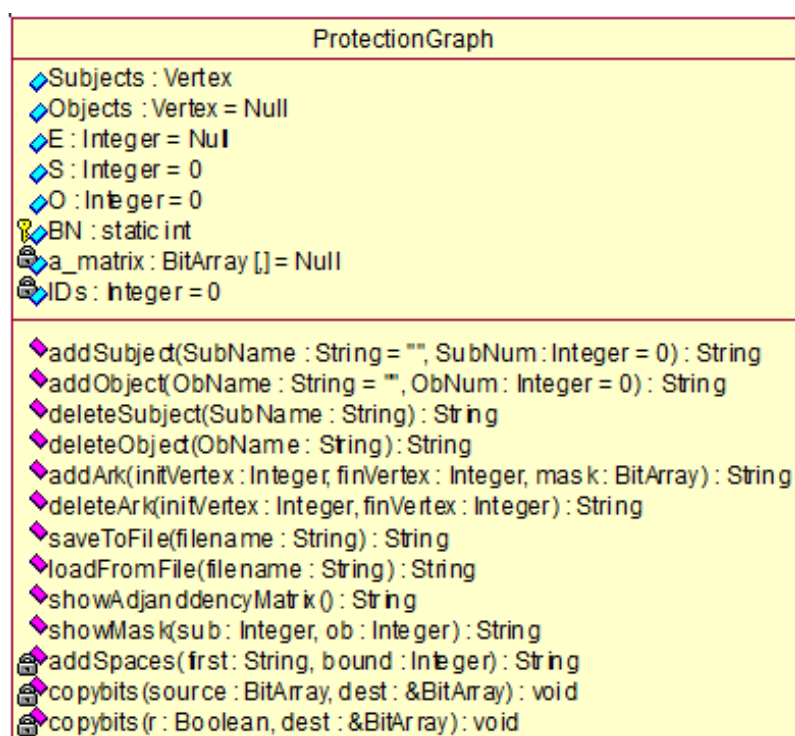


Рис. 1. Структура класса `ProtectionGraph` в нотации UML

4. Разработка класса для сбора системной информации

При анализе доступа может потребоваться следующая информация о пользователе: имя пользователя, системный идентификатор пользователя (SID), домен пользователя и список групп, в которые входит пользователь. В свою очередь, может потребоваться следующая информация о группе: имя группы и

системный идентификатор группы (SID). Для хранения информации о группах и пользователях в программном продукте используются следующие структуры:

```
struct Group {  
    public string Name;  
    public string SID;  
}  
struct User  
    public string Name;  
    public string SID;  
    public string Domain;  
    public List<Group> UGroups;  
}
```

Поле UGroups структуры User хранит список групп, в которые входит пользователь. Это поле имеет тип List, предоставляемый платформой Microsoft .NET Framework.

Для хранения информации о файле в программном продукте используется следующая структура:

```
public struct SObject {  
    public Int64 ID;  
    public string name;  
}
```

Как видно, в программном продукте хранится идентификатор файла и его имя. Для хранения списков пользователей, групп и файлов в классе предусмотрены следующие поля:

```
List<Group> Groups; // список групп  
List<User> Users; // список пользователей  
List<SObject> SObjects; // список файлов.
```

Кроме того, класс имеет статическое BN поле, в котором хранится размер битовой строки для представления прав доступа. Для Windows 7 значение этого поля равно 23.

Для получения списка пользователей системы с перечислением всех групп, в которые входят пользователи, применяется метод `getSubjects`. Данный метод не имеет параметров. В начале метод получает список всех групп и список всех пользователей в системе с помощью WMI-объектов `Win32_Group` и `Win32_UserAccount` соответственно, информация о пользователях и группах сохраняется в полях `Groups` и `Users`. Затем метод перебирает всех пользователей и все группы, чтобы выяснить членство пользователей в группах. Для проверки членства пользователя в группе используется метод `checkMembership`, принимающий на вход имя домена, имя группы и имя пользователя. Метод `checkMembership` возвращает значение «истина» либо «ложь», в зависимости от того, является указанный пользователь членом указанной группы или нет.

Для получения списка файлов в указанной пользователем директории используется метод `getObjects`, принимающий на вход имя директории. Этот метод для рекурсивного обхода каталогов запускает метод `TraverseTree`. `TraverseTree` обходит подкаталоги и сохраняет информацию о найденных фай-

лах в поле SObjects. Для доступа к информации о файлах TraverseTree использует объект System.IO.FileInfo из .NET Framework.

Для создания матрицы смежности графа используется метод createMatrix. Существует два варианта этого метода. Первый вариант метода просто создаёт матрицу смежности, второй вариант создаёт матрицу и возвращает эту матрицу по ссылке в процедуру, вызвавшую метод. Метод createMatrix создаёт новую матрицу размером $(S + O) \times (S + O)$, где S и O — соответственно количество субъектов и объектов в системе, и в каждую ячейку матрицы копирует либо права субъекта на объект, либо пустую битовую строку, если прав нет. Для копирования битовых строк используется вспомогательный метод srbits.

Для выяснения прав субъекта на объект метод createMatrix вызывает метод getMask. Метод getMask принимает в качестве параметра объект типа SObject и субъект типа User. Метод перебирает все ACE из DACL данного файла и выясняет, есть ли в DACL записи, соответствующие группам данного пользователя или индивидуальные записи для данного пользователя. Если такие записи находятся, то вызывается метод createMask, который формирует списки запрещённых и разрешённых действий для данного пользователя над данным объектом. Списки действий возвращаются методом createMask в виде битовых строк. Учитывая то, что явно запрещённые действия имеют более высокий приоритет, чем разрешённые, getMask формирует итоговую битовую строку, которая должна быть записана в матрицу смежности. Итоговая строка возвращается по ссылке методу createMatrix. Для доступа к DACL файла метод getMask использует объекты типа File и FileSecurity, предоставляемые .NET Framework.

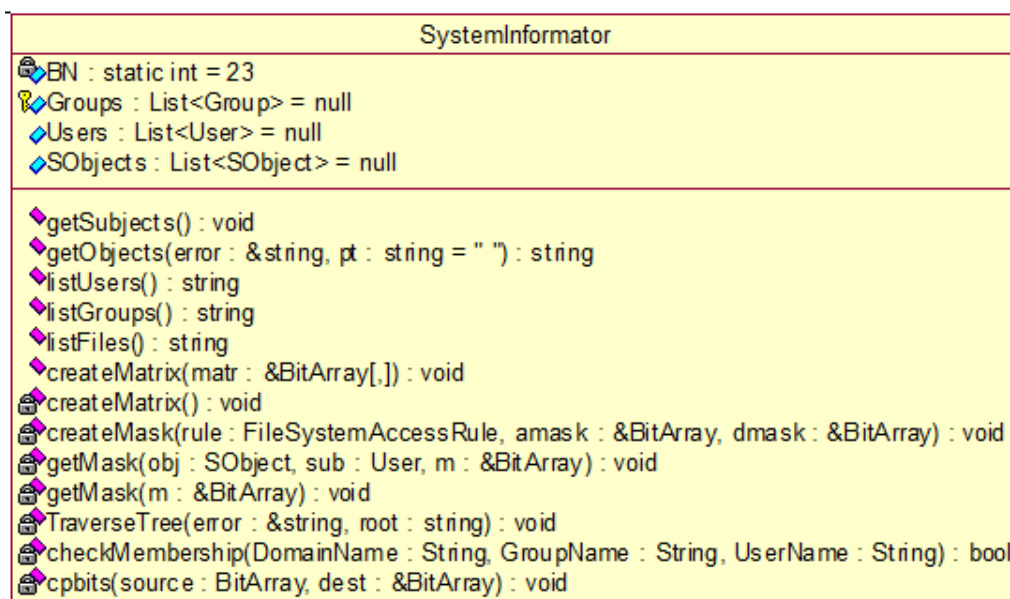
Метод createMask принимает в качестве параметра объект типа FileSystemAccessRule, и, в зависимости от типа права (разрешающее или запрещающее), формирует выходные битовые строки, где каждое право, доступное пользователю расположено в определённом разряде битовой строки. Например, если какое-либо право явно разрешено пользователю, то в разрешающей битовой строке бит, соответствующий этому праву, устанавливается. Аналогично формируется строка запрещающих прав. Особенным образом обрабатывается право FullControll. Если такое право встречается в строке, то все биты строки устанавливаются.

Для создания пустой битовой строки (если между субъектом и объектом не может быть прав) предусмотрен перегруженный вариант метода getMask. Для вывода списка пользователей, групп и файлов в классе предусмотрены соответствующие методы: listUsers, listGroups, listFiles.

Описание класса в нотации UML приведено на рисунке 2.

5. Разработка класса для предоставления пользовательского интерфейса

Пользовательский интерфейс предоставляется классом Program. Данный класс имеет два метода. Метод parseMask преобразует битовую строку, представляющую набор прав субъекта на объект, в строку, содержащую названия

Рис. 2. Структура класса `SystemInformator` в нотации UML

прав для вывода их на экран. Метод `Main` предоставляет консольный пользовательский интерфейс, обеспечивающий возможность доступа ко всем перечисленным выше режимам работы программы. При запуске программы метод `Main` предлагает пользователю ввести директорию, для которой будет производиться анализ доступа. Пользователь может не вводить директорию, тогда программа будет анализировать доступ ко всем локальным файлам компьютера. Для анализа доступа строится граф доступов, вершинами-субъектами в котором являются пользователи системы, а вершинами-объектами файлы из директории, указанной пользователем (либо все локальные файлы).

Метод `Main` предоставляет пользователю меню, в котором имеется возможность выбрать следующие действия:

- 1) просмотр списка пользователей;
- 2) просмотр списка групп;
- 3) просмотр списка файлов;
- 4) проверка доступа;
- 5) вызов справки.

Первые три действия выполняются посредством вызова специальных методов объекта класса `SystemInformator`, описание которого приведено выше. Проверка прав доступа производится при помощи вызова метода `showMask` объекта класса `ProtectionGraph` для заданных строки и столбца. Перед выводом на экран маска преобразуется из битовой строки в список доступных прав

при помощи метода `parseMask` объекта `Program`. Вывод прав доступа может быть осуществлён в следующих режимах:

- 1) вывод прав конкретного пользователя на конкретный файл;
- 2) вывод прав конкретного пользователя на все файлы;
- 3) вывод прав всех пользователей на конкретный файл;
- 4) вывод прав всех пользователей ко всем файлам.

Кроме того, у пользователя есть возможность перенаправить вывод запрошенной информации в файл.

Программа выводит информацию о доступе к файлу в следующем виде: в первой строке выводится имя пользователя, во второй — имя файла, далее следует список действий, доступных для данного пользователя.

Структура класса `Program` представлена на рисунке 3.

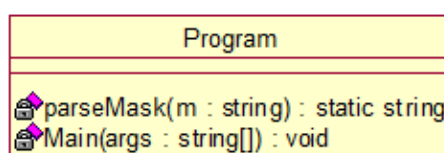


Рис. 3. Структура класса `Program` в нотации UML

6. Оценка производительности программного продукта

Наиболее трудоёмкими действиями, выполняемыми программным продуктом, являются: сбор сведений о субъектах системы (пользователях и группах), сбор сведений об объектах системы, выявление доступов субъектов к объектам и построение матрицы смежности. Время, затрачиваемое на анализ возможности доступа, будет зависеть от количества субъектов и объектов в системе, то есть от размера матрицы смежности.

Сбор сведений о субъектах системы включает следующие этапы:

- 1) при помощи системных вызовов формируются списки групп и пользователей, зарегистрированных в системе, эти списки сохраняются во внутренних структурах программы;
- 2) выясняется членство пользователей в группах, для этого перебираются все пользователи, группы и записи о пользователях в каждой группе, формируется список групп каждого пользователя.

Как видно, системные вызовы применяются только на первом этапе. Пусть для получения информации об одной группе требуется A единиц времени, а для получения информации об одной записи пользователя требуется B единиц

времени. Пусть в системе зарегистрировано N пользователей и M групп, тогда время завершения первого этапа сбора системной информации можно оценить как

$$T_{s_1} = AM + BN.$$

Для выяснения членства пользователя в группе необходимо проверить все записи в текущей группе и сравнить их идентификаторы с идентификатором текущего пользователя. Пусть на операцию сравнения затрачивается C единиц времени, тогда время на выяснение членства пользователя в группе вычисляется как

$$T_{s_2} = \sum_{i=1}^M u_i NC,$$

где u_i — количество пользователей в группе i . Тогда общее время этапа сбора информации о субъектах системы оценивается как

$$T_s = T_{s_1} + T_{s_2} = AM + BN + \sum_{i=1}^M u_i NC.$$

Сбор сведений об объектах системы происходит путём рекурсивного обхода каталогов, алгоритм обхода таков:

- 1) корень каталога заносится в стек;
- 2) с помощью системных вызовов определяется список подкаталогов и файлов в текущем каталоге;
- 3) данные каждого файла копируются в системную структуру программы;
- 4) каждый подкаталог заносится в стек;
- 5) условием выход из рекурсии является отсутствие записей в стеке.

Пусть на операции занесения и возврата из стека совокупно тратится W единиц времени, время получения списка подкаталогов равно X , а время получения списка файлов равно Y . Пусть также Z — время получения информации об одном файле. Тогда время получения списка объектов можно оценить по формуле:

$$T_o = l(X + Y + W \sum_{i=1}^l k_i + Z \sum_{i=1}^l f_i),$$

где l — глубина вложенности, k_i и f_i соответственно количество каталогов и файлов на i -м уровне дерева каталогов.

Выявление прав доступа субъекта на объект выполняется по следующему алгоритму:

- 1) просматривается список доступа объекта и выявляются записи, соответствующие группам пользователя;

- 2) если найдена запись, соответствующая группе пользователя, то права, регламентируемые этой записью, сохраняются во внутренних структурах программы;
- 3) просматривается список доступа объекта и выявляются записи, соответствующие пользователю;
- 4) если найдена запись, соответствующая пользователю, то права, регламентируемые этой записью, сохраняются во внутренних структурах программы;
- 5) после выполнения шагов 1–4 программа формирует списки разрешённых и запрещённых действий, после чего из полученных списков получается единый список прав в виде битовой строки.

Положим, l — длина списка i -го файла, e — количество записей о группе j в списке i , h — количество записей о текущем пользователе в списке i , p — количество групп, в которые входит пользователь. Тогда время выявления прав доступа текущего пользователя к текущему файлу:

$$T_d = Kl(pe + h) + E,$$

где K — время сохранения прав на объект во внутренней структуре программы, E — время формирования общего списка прав.

Формирование матрицы смежности происходит путём копирования маски доступа в ячейку матрицы. Пусть в системе S субъектов, O объектов и время копирования битовой строки занимает τ единиц времени, тогда время создания матрицы смежности:

$$T_m = \tau T_d(S + O)^2.$$

Общее время сбора информации о системе и формирования внутренних структур программы можно вычислить как:

$$T_{SI} = T_s + T_o + T_m.$$

После формирования внутренних программных структур время получения информации о правах доступа пользователя i на объект j будет определяться временем копирования битовой строки из матрицы смежности, разбора строки и вывода информации на экран. Обозначим это время через T_{ij} . Тогда время получения информации о доступе всех пользователей к объекту j будет определяться как:

$$T_{sj} = ST_{ij},$$

где S — количество субъектов в системе. Время получения информации о доступе пользователя i ко всем объектам системы:

$$T_{io} = OT_{ij},$$

где O — количество объектов в системе.

Время получения информации о доступе всех пользователей ко всем объектам:

$$T_{so} = T_{sj} + T_{io} = T_{ij}(S + O).$$

7. Тестирование производительности программного продукта

Как видно из предыдущего раздела, скорость работы программного продукта зависит от множества параметров. Для сокращения объёма данной статьи приведём зависимости скорости работы продукта только от ключевых параметров. Для текущего тестирования количество групп и пользователей не менялось, не менялось также членство пользователей в группах. Основной целью тестирования являлось выявление зависимости скорости работы программного продукта от количества объектов системы.

Параметры вычислительной системы, на которой производилось тестирование программного продукта, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики вычислительной системы для тестирования программного продукта

Открытый текст Модель процессора	AMD Athlon 64 x2 Dual-Core 6000
Частота процессора	3,01 МГц
Объём физической памяти	2048 Мбайт
Скорость доступа к жёсткому диску	67 Мбайт/с
Операционная система	Microsoft Windows 7 Профессиональная 64 бит
Версия Microsoft .NET	4.5
Количество пользователей	5
Количество пользовательских групп	20

Среднее время сбора информации о субъектах системы после 10 запусков программы составило 18,4 с.

Зависимость времени сбора сведений о файлах от количества файлов представлена на рисунке 4. При составлении диаграммы изменялось количество файлов в одноуровневой директории, вложенные директории отсутствовали.

Зависимость времени построения матрицы смежности от количества файлов приведена на рисунке 5.

Из приведённых диаграмм видно, что, если пренебречь погрешностью, то время сбора сведений о файлах растёт практически линейно в зависимости от количества файлов. Также видно, что время построения матрицы смежности для графа доступа имеет экспоненциальную зависимость от количества файлов. Таким образом, экспериментальные данные подтверждают справедливость теоретической оценки производительности, описанной в предыдущем разделе.

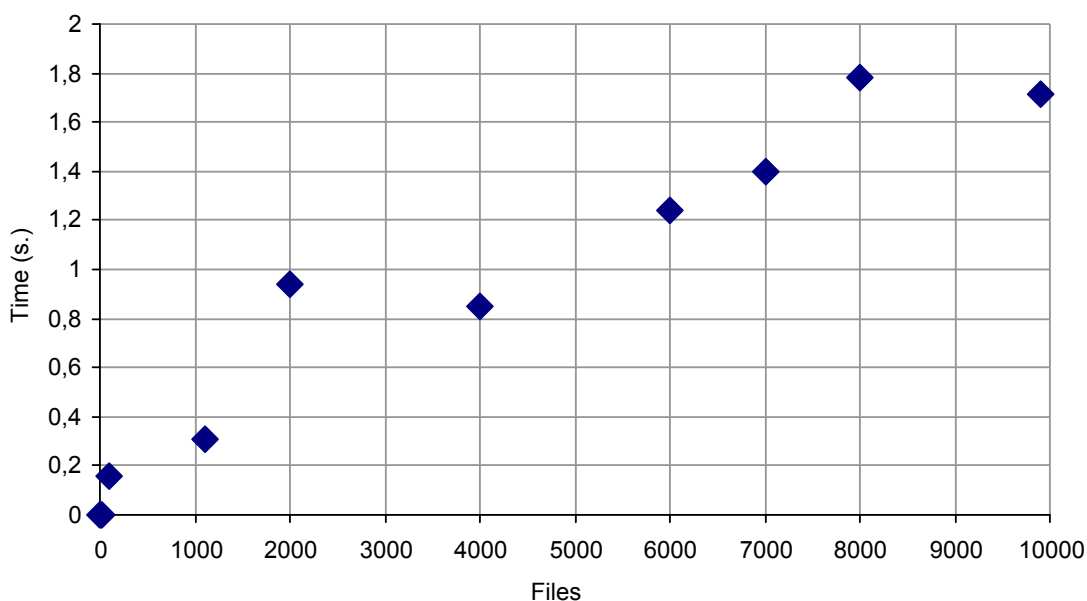


Рис. 4. Диаграмма зависимости времени сбора сведений о файлах от количества файлов

Заключение

В данной работе описывается процесс разработки и тестирования программного продукта для анализа доступа к объектам файловой системы Windows 7. Работа является продолжением исследований в области применения дискреционной модели безопасности Take-Grant для анализа защищённости компьютерных систем от несанкционированных доступов. Основные результаты текущей работы следующие:

- 1) разработан программный продукт для анализа доступа к объектам файловой системы Windows 7;
- 2) проведена оценка производительности разработанного программного продукта;
- 3) проведено тестирование производительности разработанного программного продукта на локальном компьютере под управлением Windows 7.

Тестирование программного продукта показало его пригодность для использования в локальных системах с относительно небольшим количеством файлов.

Продолжение исследований в данной области планируется в следующих направлениях:

- 1) разработка программного продукта для анализа доступа к прочим объектам Windows 7;
- 2) анализ применимости модели Take-Grant для исследования безопасности компьютерных сетей;
- 3) анализ применимости модели Take-Grant для исследования безопасности систем управления базами данных.

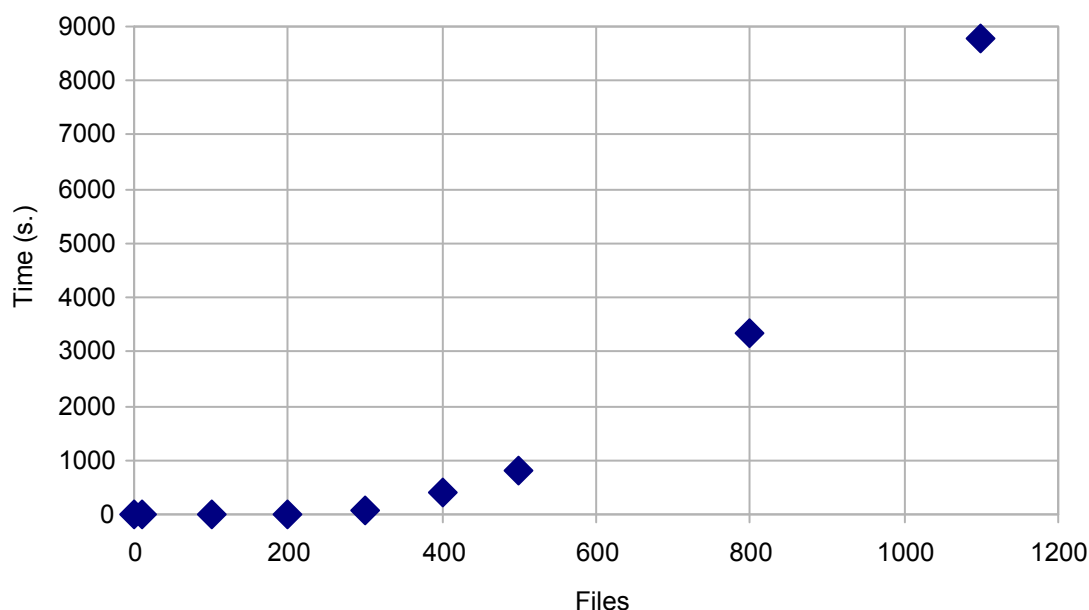


Рис. 5. Диаграмма зависимости времени построения матрицы смежности от количества файлов

- 4) анализ применимости модели Take-Grant для исследования безопасности мобильных операционных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Common Criteria for Information Technology Security Evaluation (CCEB). Version 1.0. 96.01.31.
2. Trusted Computer System Evaluation Criteria (TCSEC), US DoD 5200.28-STD, 1983.
3. Девянин П.Н. Модели безопасности компьютерных систем: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2005.
4. Проблемы обработки и защиты информации. Книга 3. Модели разграничения доступа / Белим С.В., Бардычев В.Ю., Бречка Д.М. и др.; под редакцией С.В. Белима Омск : «ООО Полиграфический центр КАН», 2013.
5. Microsoft Developer Network. URL: <http://msdn.microsoft.com> (дата обращения 16.01.2013).
6. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в C++ 4-е изд. СПб. : Питер, 2004.
7. Jones A., Lipton R., Snyder L. A Linear Time Algorithm for Deciding Subject Security // Journal of the ACM (Addison-Wesley). 1977. N. 3. P. 455–464.
8. Snyder L. Theft and conspiracy in the Take-Grant protection model // Journal of Computer and System Sciences. Dec 1981. 23(3):333–347.
9. Frank J., Bishop M., Extending the Take-Grant protection system. Technical report. Department of Computer science, University of California in Davis, 1996. 14 p.
10. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных. Пер. с англ. М. : Мир, 1989.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ПОХОДКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОСИМЫХ СЕНСОРОВ. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

А.Г. Казанцева

В статье приводится обзор существующих на данный момент подходов к идентификации человека по походке с использованием носимых сенсоров. Рассматриваются методики записи походки, применяемые для этого сенсоров, алгоритмы распознавания и полученные исследователями результаты.

Введение

В настоящее время достаточно активно ведётся исследовательская работа в области распознавания человека по походке. Предлагаются различные методы: от ставшей уже обыденной идентификации по силуэту на видеоизображении, до такого экзотического, как идентификация человека по его тени с воздуха [1]. Согласно [2], исследования в области биометрической идентификации/аутентификации по походке можно разделить на три основных направления: машинное зрение, сенсоры в полу и носимые сенсоры. Последнему из этих направлений и посвящена данная статья.

1. Обзор

1.1. Сенсоры

Из таблицы 1 можно видеть, что в качестве носимых сенсоров чаще всего выступают акселерометры [3–25]. Но предлагаются и другие датчики. Так Morris [3] и Huang [5] в своих системах «умной» обуви, помимо акселерометров, используют гироскопы, датчики силы, сгиба, давления и ультразвуковые датчики. Mondal et al. [26] предлагают для идентификации использовать систему из восьми датчиков угла поворота, расположенных на восьми крупных суставах: плечевых, локтевых, тазобедренных и коленных, а Shiraga [27] — две носимые видеокамеры, расположенные на рюкзаке.

Не менее разнообразным оказывается и размещение акселерометров на теле субъекта. Их, как правило, располагают на талии [4,6–8,10,14,15,21,22,24,25],

Таблица 1. Используемые датчики

Исследование	Используемые датчики и их частоты дискретизации
Morris [3]	1x3A, 1x3G, 4xF, 2xB, 2xP, 1xEF, 1xU* @ >25Hz
Huang et al. [5]	1x3A, 1x3G, 4xF, 1xB, ?xP, 1xU, ?xI, 2xS* @ 50Hz
Ailisto et al. [6], Mantyjarvi et al. [4], Vildjiounaite et al. [9]	1x3A @ 256Hz
Rong et al. [7,8]	1x3A @ 250Hz
Pan et al. [10]	5x3A @ 100Hz
Gafurov et al. [11–17], Bours et al. [23]	1x3A @ 100Hz
Kobayashi et al. [19]	1x3A @ 33Hz
Hoang et al. [18]	1x3A @ 27Hz, 1x3A @ 100Hz
Kwapisz et al. [20]	1x3A @ 20Hz
Yan et al. [21]	1x3A @ 40Hz
Derawi et al. [22], Nickel et al. [24,25]	1x3A @ 40–50Hz
Mondal et al. [26]	8xR
Shiraga et al. [27]	2xV @ 30FPS

[Условные обозначения] 3A — трёхосевой акселерометр; 3G — трёхосевой гироскоп; F — датчик силы; B — датчик сгиба; P — датчик давления; EF — датчик электрического поля; U — ультразвуковой датчик; S — датчик переключения; I — инклинометр; R — датчик угла поворота; V — видеокамера. [Примечания] *На каждом ботинке.

в руке/на запястье [9, 10, 16, 19], на щиколотке [10–13] и в кармане брюк [9, 17, 18, 20]. Другие возможные расположения: в нагрудном кармане [9], на бедре [10], на плече [10], на обуви [3, 5].

Применяемая для записи частота дискретизации варьируется от 20 до 256 Hz.

1.2. Данные

Несмотря на то что во всех исследованиях используются трёхосевые акселерометры, для распознавания не всегда применяют показания всех трёх осей.

Так Ailisto [6] и Mantyjarvi [4] предположили, что движение из стороны в сторону является наименее стабильным, и им можно пренебречь. С этим согласны и Derawi et al. [22], которые пошли ещё дальше и в качестве входных данных для алгоритма взяли только ускорения вдоль вертикальной оси. С другой стороны, Gafurov et al. [11, 12] пришли к прямо противоположному выводу — горизонтальное движение ноги в плоскости, перпендикулярной направлению движения, является самым характерным. Применив для распознавания измерения именно по этой оси, они получили наилучшую производительность. Здесь стоит отметить, что такие результаты, скорее всего, вызваны разным расположением сенсоров (на талии и щиколотке соответственно).

Многие исследователи вместо непосредственно ускорений по осям X, Y, Z используют их модуль, что позволяет не заботиться об ориентации сенсора в пространстве.

1.3. Предобработка

Т.к. данные акселерометра обычно довольно сильно зашумлены, для их предобработки часто применяются различные фильтры. Например, в [11–13, 22] используются фильтры скользящего среднего, а в [18] и [7, 8, 21] — вейвлеты Добеши порядков 6 и 8 соответственно.

1.4. Сегментация сигнала

Существуют два основных подхода к сегментации сигнала: сегментация на интервалы фиксированной длины [16, 20, 24, 25] и поиск шаговых циклов [4, 6–8, 10–15, 17, 18, 22, 26]. Сегментация на фиксированные интервалы, как правило, применяется в связке с машинным обучением. Это не случайно: Nickel et al. [28] утверждают, что шаговые циклы, будучи более трудоемкими с точки зрения вычисления, не дают прироста точности распознавания в случае применения подходов, основанных на машинном обучении.

1.5. Параметризация

Во многих работах в качестве вектора параметров используют различные комбинации статистических величин, таких как: минимум/максимум [18, 25, 26], среднее арифметическое [20, 25], гистограмма [4, 17, 25], стандартное [20, 25] и среднеквадратическое [18, 25] отклонения, моменты высших порядков (коэффициенты эксцесса и асимметрии) [4, 17].

Там, где производится сегментация на шаговые циклы, чаще всего используется подход с нахождением усреднённого цикла. При этом усреднение может производиться как с использованием динамического искажения времени (DTW) [7, 8, 22], так и без него [4, 6, 12, 15, 17].

Также возможно разложение сигнала по спектру (коэффициенты разложения Фурье [5, 8, 9, 16], кепстральные коэффициенты [25]) и параметризация методами главных [5, 23] и независимых [5] компонент. В некоторых случаях параметризация не производится вовсе [5, 10, 24].

1.6. Классификация

Подходы к классификации можно разделить на две основные группы: т.н. «template matching», т.е. сравнение с шаблоном по какой-либо метрике, и подходы, основанные на машинном обучении.

Метрики для «template matching»: евклидово расстояние [11–16, 23], манхэттенское расстояние [17, 23], DTW [7, 8], корреляция [6, 8, 17].

В категории машинного обучения используются искусственные нейронные сети [3, 5, 26], деревья решений [3, 20], скрытые Марковские модели [24], а также метод опорных векторов [18, 25] и дискриминантный анализ [26].

1.7. Производительность

В связи с тем, что производительность алгоритмов распознавания, как правило, тестируется на различных наборах образцов с различным количеством уникальных субъектов (зачастую не очень большим), записанных в разных условиях и разными приборами, и приводится в разных единицах измерения, сравнивать её довольно затруднительно. Тем не менее, мы попытаемся провести сравнение там, где это возможно.

Коэффициент распознавания в системах «умной обуви» [3, 5] достигает ~97% (при количестве субъектов в тестовом наборе ~10).

У Pan et al. [10] в случае одновременного использования пяти сенсоров, расположенных на пяти частях тела, коэффициент распознавания получается равным 96,7%. Однако в случае одиночного сенсора производительность падает до 66,8–74,5%. У Mondal et al. [26] наблюдается аналогичная картина с сенсорами поворота: восемь сенсоров дают коэффициент распознавания до 100%, только сенсоры на ногах — от 87 до 93%. Стоит отметить, что применение для распознавания личности системы из нескольких сенсоров, расположенных на разных частях тела, не представляется нам целесообразным.

EER метода распознавания с помощью носимых камер [27] составляет 5,6%.

Немного больше можно сказать об относительной эффективности алгоритмов, когда тестирование происходит на одном и том же наборе данных.

Так Derawi et al. [22] при использовании «template matching» усреднённых шаговых циклов получили EER в 20,1%. На той же базе данных из ~50 человек Nickel et al. добились FNMR 10,42% и 6,3% при FMR 10,29% и 5,9% соответственно, использовав для классификации скрытые модели Маркова [24] и метод опорных векторов [25].

Ailisto и Mantyjarvi на базе из 36 человек получили следующие результаты: EER для метода усреднённых шаговых циклов с корреляционной метрикой [4,6] составил ~7%, в то время как коэффициенты разложения Фурье, гистограмма и моменты высших порядков [4] дали EER в 10, 19 и 18% соответственно. Здесь стоит упомянуть также и работу [17], в которой тестирование, хотя и проводилось на другой БД, включало в себя все алгоритмы из [4] и [6]. Согласно этому исследованию, использование манхэттенского расстояния вместо корреляции в методе усреднённых циклов позволит ещё немного улучшить производительность: с 9,2 до 7,3% EER (на БД из 50 человек).

Gafurov et al. при использовании в качестве метрики евклидового расстояния между наиболее совпадающими парами шаговых циклов [14] удалось снизить EER до 7,5% (по сравнению с EER ~13% для простого «template matching» на основе усреднённых шаговых циклов [15]). Ту же тенденцию можно наблюдать и в другой группе исследований Gafurov et al., объединённых общей БД: при замене метода усреднённых циклов [12] на метод наиболее совпадающих пар [11], EER снижается с ~28 до ~20%. В [13] удаётся снизить его ещё больше, до ~17%, применив слияние показаний всех трёх осей акселерометра.

БД в [7] и [8] хотя и не являются идентичными, собраны одними исследователями, в аналогичных условиях, с помощью одного и того же устройства

и содержат примерно одинаковое количество субъектов. Поэтому мы считаем сравнение результатов в этих двух работах допустимым. При сравнении усреднённых циклов по метрике DTW, EER в [7] получается равным 6,7%, а в [8] — 5,6%. Подход же с коэффициентами Фурье и корреляцией в качестве метрики в [8] дает существенно худшие результаты: 21,1% EER.

Bours et al. [23], применив метод главных компонент к усреднённым шаговым циклам, получили очень хороший EER в 1,6% для всех протестированных метрик на достаточно большой БД из 720 записей/60 субъектов.

Сводка рассмотренных в статье алгоритмов приведена в таблице 2.

2. Проблемы

2.1. Влияние ковариатов на распознавание

Из работы Kobayashi et al. [19] можно сделать вывод, что наибольшее влияние на точность распознавания оказывает положение сенсора в пространстве. В работе предпринимается попытка создать инвариантный относительно ориентации сенсора алгоритм, но полученная точность распознавания оказывается меньше 50%. Впрочем, подходы, полагающиеся на метод главных компонент и использование модуля ускорений для достижения инвариантности, на данном наборе данных ведут себя ещё хуже: коэффициенты распознавания < 25 и 10% соответственно. Как нам кажется, такую низкую производительность можно частично объяснить тем, что сбор данных происходил в неконтролируемых условиях.

Gafurov et al. в [11–13] рассматривают влияние обуви на качество распознавания. Несмотря на то, что вся используемая в экспериментах обувь имеет плоскую подошву и отличается только весом, производительность распознавания на смешанном наборе данных падает достаточно сильно. Например, в [13] EER для отдельных типов обуви в среднем составляет ~2%, в то время как в смешанном эксперименте — целых ~17%.

В исследовании Kwapisz [20], кроме ходьбы по ровной поверхности, рассматривается также бег и подъём/спуск по лестнице. В смешанном эксперименте производительность падает до ~70%, по сравнению с ~87% в случае только ходьбы. Знание о типе активности позволяет незначительно улучшить результат, что говорит о том, что распознавание типа двигательной активности (помимо детектирования самого события походки), скорее всего, бесперспективно.

Sprager et al. [29] утверждают, что точность распознавания не зависит от типа поверхности (трава, каменные плиты, гравий, земля). А исследование [17] даёт основания полагать, что ношение рюкзака также не оказывает большого влияния на походку: при перекрёстном тестировании с набором данных без рюкзака EER вырос с 7,3 до 9,3%.

2.2. Возможность подделки походки

Исследований на тему имитации чужой походки немного.

Таблица 2. Используемые алгоритмы

Ref.	Описание алгоритма
[3]	$D:\{AD, GD, FD\} \rightarrow FV:\{\text{см. [3]}\} \rightarrow M:ML\{CART, NB, ANN\}$
[5]	$D:\{?\} \rightarrow FV:\{D, \{FFT(D)\}, \{PCA(D)\}, \{ICA(D)\}\} \rightarrow M:ML(ANN)$
[6]	$D:\{AX, AY\} \rightarrow S:SD(SP) \rightarrow FV:AVG(S) \rightarrow M:TM(COR)$
[4]	1) [6], 2) $[6] \rightarrow FV:\{FFT\}, \{BD\}, \{HOM\} \rightarrow M:TM(?)$
[9]	$D:AX, AY, AZ \rightarrow DN:LPF \rightarrow$ 1) [6], 2) $FV:FFT \rightarrow M:TM(FFT, \text{см. [9]})$
[7]	$D:\{AX, AY, AZ\} \rightarrow DN:DW8 \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow FV:AVG(S) \rightarrow M:TM(DTW)$
[8]	1) $D:\{AX, AY\} \rightarrow DN:DW8 \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow FV:AVG(S) \rightarrow M:TM(DTW)$ 2) $D:\{AX, AY, AZ\} \rightarrow 1) \rightarrow FV:FFT \rightarrow M:TM(COR)$
[10]	$D:\{AM\} \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow M:V(SP)$
[16]	$D:\{AM\} \rightarrow S:FI \rightarrow FV:FFT \rightarrow M:TM(E)$
[15]	$D:\{AM\} \rightarrow DN:MA \rightarrow S:SD(GS) \rightarrow FV:AVG(S) \rightarrow M:TM(E)$
[14]	[15] $\rightarrow FV:S \rightarrow M:TM(E(BM))$
[12]	$D:\{AX\}, \{AY\}, \{AZ\} \rightarrow DN:WMA \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow FV:AVG(S) \rightarrow M:TM(E)$
[11]	$D:\{AX\}, \{AY\}, \{AZ\} \rightarrow DN:MA \rightarrow S: [12] \rightarrow FV:S \rightarrow M:TM(E(BM))$
[13]	$D:\{AX, AY\}, \{AX, AZ\}, \{AY, AZ\}, \{AX, AY, AZ\} \rightarrow D:WMA \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow FV:S \rightarrow M:TM(E(BM))$
[17]	$D:\{AM\} \rightarrow DN:MA \rightarrow S:SD(GS) \rightarrow$ 1) $FV:AVG(S) \rightarrow M:TM\{M, COR\}$ 2) $FV:\{BD\}, \{HOM\} \rightarrow M:TM(?)$
[23]	$D:\{AX, AY, AZ\} \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow FV:PCA \rightarrow M:TM\{E, WE, M, MW\}$
[18]	$D:\{AX, AY, AZ, AM\} \rightarrow DN:WD6 \rightarrow S:SD(GS) \rightarrow$ 1) $FV:\{MAX\}, \{MIN\}, \dots, \{RMS\}, \{BD\}, \{SD\}$ 2) $FV:\{FFT\}, \{DCT\} \rightarrow M:ML(SVM)$
[20]	$D:\{AX, AY, AZ, AM\} \rightarrow S:FI \rightarrow FV:\{AVG, SD, \dots, BD\} \rightarrow M:ML\{ANN, J48\}$
[22]	$D:\{AX\} \rightarrow DN:WMA \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow FV:AVG(S) \rightarrow M:TM(DTW)$
[24]	$D:\{AX, AY, AZ\} \rightarrow S:FI \rightarrow M:ML(HMM)$
[25]	$D:\{AX, AY, AZ, AM\} \rightarrow S:FI \rightarrow FV:\{MIN, MAX, AVG, SD, RMS, \dots, BD, MFCC, BFCC\} \rightarrow M:ML(SVM)$
[26]	$D:\{R1, \dots, R8\} \rightarrow S:SD(GC) \rightarrow FV:\{MIN(D), MAX(D), \dots\} \rightarrow M:ML\{ANN, LDA\}$

[Условные обозначения] DN:x — применяемые фильтры; $x \in X = \{LPF, DWN, MA, WMA\}$, где LPF — фильтр низких частот, DWN — вейвлет Добеши порядка N, MA/WMA — (взвешенный) фильтр скользящего среднего. S:x(y) — применяемый способ сегментации сигнала; $x \in X = \{FI, SD\}$, где FI — интервалы фиксированной длины, SD — поиск шагов; $y \in Y = \{SP, GC\}$, где SP — пары шагов, GC — шаговые циклы. FV:x — вектор параметров, где $x \in X = \{FFT, DCT, PCA, ICA, AVG(S), BD, HOM, SD, RMS, MFCC, BFCC, MIN, MAX, AVG\}$, где FFT — коэффициенты разложения Фурье, DCT — дискретное косинусное преобразование, PCA — метод главных компонент, ICA — метод независимых компонент, AVG(S) — усреднённый шаговый цикл, BD — гистограмма, HOM — моменты высших порядков, SD — стандартное отклонение, RMS — среднеквадратическое отклонение, MFCC — мел-частотные кепстральные коэффициенты, BFCC — барк-частотные кепстральные коэффициенты, MIN — минимум, MAX — максимум, AVG — среднее арифметическое. M:x — алгоритм классификации; $x \in X = \{TM(y), ML(z), V(SP)\}$, где V(SP) — голосование сигнатурными точками, TM — сравнение шаблонов, ML — машинное обучение; $y \in Y = \{E, WE, E(BM), M, WM, DTW\}$ — используемая для сравнения метрика, где E/WE — (взвешенное) евклидово расстояние, E(BM) — евклидово расстояние между наиболее похожими парами циклов, M/WM — (взвешенное) манхэттенское расстояние, DTW — динамическое искажение времени, COR — корреляция; $z \in Z = \{ANN, SVM, LDA, HMM, J48, CART\}$, где ANN — искусственная нейронная сеть, SVM — метод опорных векторов, LDA — дискриминантный анализ, HMM — скрытая Марковская модель, NB — наивный байесовский классификатор, J48 — дерево решений J48, CART — дерево классификации и регрессии.

Gafurov et al. в работе [15] исследуют имитацию походки «минимальными усилиями». Полученные ими результаты свидетельствуют о том, что такая имитация не повышает шансы ложного пропуска по сравнению с настоящей походкой злоумышленника.

В [31] проведено более глубокое исследование вопроса. Изучено влияние длительного обучения на качество имитации. Исследование показало, что у всех участников процесс обучения практически отсутствует: большинство очень быстро достигает предела обучаемости (похоже, обусловленного физиологией), а у некоторых даже наблюдается ухудшение результата.

Заключение

До появления алгоритмов распознавания походки, пригодных для массового использования, ещё очень многое предстоит сделать. В первую очередь, необходимо добиться приемлемой точности распознавания при различных размещениях и положениях датчика, а также при использовании различной обуви. Кроме того, необходимы более глубокие исследования индивидуальности человеческой походки и возможности/невозможности её имитации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Iwashita Y., Stoica A., Kurazume R. Gait identification using shadow biometrics // Pattern Recognition Letters. New York: Elsevier Science Inc., December, 2012. Volume 33, Issue 16. P. 2148–2155.
2. Gafurov D. A survey of biometric gait recognition: Approaches, security and challenges // Annual Norwegian Computer Science Conference. 2007. P. 19–21.
3. Morris S.J. A shoe-integrated sensor system for wireless gait analysis and real-time therapeutic feedback. PhD dissertation. MIT, 2004.
4. Identifying users of portable devices from gait pattern with accelerometers / Mantyjarvi J., Lindholm M., Vildjiounaite E. et al. // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP '05). Proceedings. Philadelphia : IEEE, March 2005. Volume 2. P. 973–976.
5. Gait modeling for human identification / Huang B., Chen M., Huang P. et al. // 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Roma : IEEE, 10–14 April 2007. P. 4833–4838.
6. Identifying people from gait pattern with accelerometers / Ailisto H.J., Lindholm M., Mantyjarvi J. et al. // Proc. SPIE 5779, Biometric Technology for Human Identification II. 2005. P. 7–14.
7. Identification of individual walking patterns using gait acceleration / Rong L., Zhiguo D., Jianzhong Z. et al. // The 1st International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2007. ICBBE 2007. Wuhan : IEEE, 6–8 July 2007. P. 543–546.
8. A wearable acceleration sensor system for gait recognition / Rong L., Jianzhong Z., Ming L. et al. // 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2007. ICIEA 2007. Harbin : IEEE, 23–25 May 2007. P. 2654–2659.

9. Unobtrusive multimodal biometrics for ensuring privacy and information security with personal devices / Vildjiounaite E., Makela S.-M., Lindholm M., et al. // *Pervasive Computing*. 4th International Conference, PERVASIVE 2006, Dublin, Ireland, May 7–10, 2006. Proceedings. P. 187–201.
10. Pan G., Zhang Y., Wu Z. Accelerometer-based gait recognition via voting by signature points // *Electronics Letters*. 2009. Volume 45, Issue 22. P. 1116–1118.
11. Gafurov D., Sneekenes E., Bours P. Improved gait recognition performance using cycle matching // 2010 IEEE 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). 20–23 April 2010. P. 836–841.
12. Gafurov D., Sneekenes E. Towards understanding the uniqueness of gait biometric // 8th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2008. FG '08. 17–19 September 2008. P. 1–8.
13. Gafurov D., Bours P., Sneekenes E. User authentication based on foot motion // *Signal, Image and Video Processing*, Volume 5, Issue 4. November 2011. P. 457–467.
14. Gafurov D., Bours P. Improved hip-based individual recognition using wearable motion recording sensor // *Security Technology, Disaster Recovery and Business Continuity*. 2010. P. 179–186.
15. Gafurov D., Sneekenes E., Bours P. Spoof attacks on gait authentication system // *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. September 2007. Volume 2, Issue 3. P. 491–502.
16. Gafurov D., Sneekenes E. Arm swing as a weak biometric for unobtrusive user authentication // *IIHMSP '08 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2008. 15–17 August 2008. P. 1080–1087.
17. Gafurov D., Sneekenes E., Bours P. Gait authentication and identification using wearable accelerometer sensor // 2007 IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies. Alghero : IEEE, 7–8 June 2007. P. 220–225.
18. Adaptive cross-device gait recognition using a mobile accelerometer / Hoang T., Nguyen T., Luong C. et al. 2013.
19. Kobayashi T., Hasida K., Otsu N. Rotation invariant feature extraction from 3-d acceleration signals // 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 22–27 May 2011. P. 3684–3687.
20. Kwapisz J.R., Weiss G.M., Moore S.A. Cell phone-based biometric identification // 2010 Fourth IEEE International Conference on Biometrics: Theory Applications and Systems (BTAS). IEEE Biometrics Compendium. Washington : IEEE, 27–29 September 2010. P. 1–7.
21. Yan L., Yue-e L., Jian H. Gait recognition based on MEMS accelerometer // 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing (ICSP). Beijing : IEEE, 24–28 October 2010. P. 1679–1681.
22. Unobtrusive user-authentication on mobile phone using biometric gait recognition / Derawi M.O., Nickel C., Bours P. et al. // 2010 Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP). Darmstadt : IEEE, 15–17 October 2010. P. 306–311.
23. Bours P., Shrestha R. Eigensteps: A giant leap for gait recognition // 2010 2nd International Workshop on Security and Communication Networks (IWSCN). Karlstad: IEEE, 26–28 May 2010. P. 1–6.
24. Using Hidden Markov Models for accelerometer-based biometric gait recognition /

-
- Nickel C., Busch C., Rangarajan S. et al. // 2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications. Penang : IEEE, 4–6 March 2011. P. 58–63.
25. Nickel C., Brandt H., Busch C. Classification of acceleration data for biometric gait recognition on mobile devices // BIOSIG. 2011. P. 57–66.
 26. Gait based personal identification system using rotation sensor / Mondal S., Nandy A., Chakraborty P. et al. // Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences. 2012. Volume 3, Issue 3.
 27. Gait-based person authentication by wearable cameras / Shiraga K., Trung N.T., Mitsugami I. et al. // 2012 Ninth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS). Antwerp : IEEE, 11–14 June 2012. P. 1–7.
 28. Nickel C., Busch C. Does a cycle-based segmentation improve accelerometer-based biometric gait recognition? // 2012 11th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA). Montreal : IEEE, 2–5 July 2012. P. 746–751.
 29. Sprager S., Zazula D. Impact of different walking surfaces on gait identification based on higher-order statistics of accelerometer data // 2011 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA). Kuala Lumpur: IEEE, 16–18 November 2011. P. 360–365.
 30. Mantyjarvi J., Himberg J., Seppanen T. Recognizing human motion with multiple acceleration sensors // 2001 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Tucson : IEEE, 07–10 October 2001. Volume 2. P. 747–752.
 31. Mjaaland B.B. Gait Mimicking: Attack resistance testing of gait authentication systems. Master's thesis. Norwegian University of Science and Technology, 2009.

Сергей Сергеевич Ефимов



1956-2013

В Омске 16 июня 2013 года на 56 году жизни трагически погиб Сергей Сергеевич Ефимов. Сергей Сергеевич наш коллега, наш автор, член редколлегии дружественного журнала «Вестник Омского университета». Сергей Сергеевич трудился на кафедре вычислительных систем факультета компьютерных наук ОмГУ практически со дня её основания.

Свою профессиональную деятельность Сергей Сергеевич начал в Омском политехническом институте. В 1985 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1990 г. ему было присвоено учёное звание доцента по кафедре прикладной математики. В 2004 г. Сергей Сергеевич перешёл преподавать в Омском государственном университете. В 2011 г. ему было присвоено почётное звание «Почётный работник высшего профессионального образования и науки РФ».

За изобретательскую и рационализаторскую деятельность Сергею Сергеевичу присвоено звание «Изобретатель СССР». В его послужном списке несколько внедрённых рационализаторских предложений, более десяти авторских свидетельств на изобретения, около двадцати свидетельств о регистрации программных средств.

Сергей Сергеевич Ефимов активно занимался научно-исследовательской работой со студентами. Программы, разработанные в рамках курсовых и дипломных проектов под руководством Сергея Сергеевича, включены в Отраслевой Фонд алгоритмов и программ Федерального агентства по образованию РФ, отмечены дипломами и грамотами, внедрены в учебный процесс ведущих вузов г. Омска. А результаты его совместных со студентами изысканий опубликованы, в том числе, и в нашем журнале.

Сергей Сергеевич Ефимов занимал активную жизненную позицию, выступал за активный отдых, занимался велосипедным спортом. Он состоял в велоклубе «Цепная реакция», любил дальние велопробеги. Одним из его личных достижений является участие в веломарафоне по маршруту Брест-Париж-Брест.

В его лице мы потеряли высококвалифицированного специалиста, требовательного и принципиального коллегу, великолепного преподавателя и наставника, спортсмена. Мы запомним Сергея Сергеевича улыбчивым, энергичным, доброжелательным и в тоже время принципиальным и вдумчивым человеком.

Выражаем искренние соболезнования родным, близким, коллегам, ученикам и всем, кто знал Сергея Сергеевича. Сергей Сергеевич Ефимов был похоронен в Омске.

*Редколлегия журнала
«Математические структуры
и моделирование»*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аксой Асуман Гювен – к.ф.-м.н., Крауновский профессор математики и член общества Дж. Робертса, факультет математики и компьютерных наук, Клермонтский колледж МакКенны, Клермонт, США.

Альтергот Александр Викторович – инженер-программист, ООО Люксофт.

Бречка Денис Михайлович – к.т.н., доцент, кафедра кибернетики, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Вишнякова Ольга Анатольевна – преподаватель, кафедра компьютерных технологий и сетей, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Володченкова Людмила Александровна – к.б.н., старший преподаватель, кафедра кибернетики, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Глассман Закари – аспирант, факультет физики и астрономии, Помонский колледж, Клермонт, США.

Гуц Александр Константинович – д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. кибернетики, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Дружинин Александр Георгиевич – аспирант, кафедра кибернетики, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Запата Франциско – научный ассистент, Научно-исследовательский институт производственных и инженерных систем (RIMES), Техасский университет в Эль-Пасо, Эль-Пасо, США.

Илюшечкин Евгений Александрович – аспирант, кафедра информационной безопасности, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Казанцева Анна Геннадьевна – аспирант, факультет компьютерных наук ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Кошелева Ольга – к.ф.-м.н, доцент, педагогический факультет, Техасский университет в Эль-Пасо, Эль-Пасо, США.

Крейнович Владик – к.ф.-м.н, профессор, факультет компьютерных наук, Техасский университет в Эль-Пасо, Эль-Пасо, США.

Лавров Дмитрий Николаевич – к.т.н, доцент, зав. каф. компьютерных технологий и сетей, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Лаврова Светлана Юрьевна – магистрант, факультет компьютерных наук, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Молодых Ирина Сергеевна – инженер-программист, управление информатизации, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

AUTHORS

Asuman Güven Aksoy – Ph.D. (Math.), Crown Professor of Mathematics and Roberts Fellow, Department of Mathematics and Computer Science, Claremont McKenna College, Claremont, CA, 91711, USA.

Alexander V. Altergot – Developer, Luxoft Ltd.

Denis M. Brechka – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Cybernetics Chair, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Alexander G. Druzhinin – Post-Graduate Student, Faculty of Computer Sciences, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Zachary Glassman – Teaching Assistant, Department of Physics and Astronomy, Pomona College, Claremont, CA 91711, USA.

Alexander K. Guts – Doctor of Mathematics, Professor, Head of Cybernetics Chair, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Eugeny A. Ilushechkin – Post-Graduate Student, Information Security Chair, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Anna G. Kazantseva – Post-Graduate Student, Faculty of Computer Sciences, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Olga Kosheleva – Ph.D. (Math.), Associate Professor, University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA.

Vladik Kreinovich – Ph.D. (Math.), Professor, Computer Science Department, University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA.

Dmitry N. Lavrov – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head of Chair of Computer Technology and Networks, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Svetlana Y. Lavrova – Student, Faculty of Computer Sciences, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Irina S. Molodyh – Software Engineer, Informatization Department, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Olga A. Vishnyakova – Teacher, Chair of Computer Technology and Networks, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Ludmila A. Volodchenkova – Ph.D.(Biol.), Senior Teacher, Cybernetics Chair, Omsk State University n.a. F.M. Dostoevskiy.

Francisco Zapata – Research Assistant Professor, Research Institute for Manufacturing and Engineering Systems (RIMES), University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA.

АННОТАЦИИ

А.К. Гуц. Созидание мира с машиной времени.

Аннотация. Исследуется вопрос о логических свойствах описания мира, в котором возможна работа машины времени. Предлагается рассматривать логические противоречия как противоречия между неосознаваемым приоритетом мира и подчинённости ему логических схем рассудка.

Ключевые слова: сознание, мир, реальность, время, машина времени.

О. Кошелева, В. Крейнович. Стохастическая причинность не согласуется с группой Лоренца.

Аннотация. Согласно современной физике, все физические процессы описываются квантовой теорией. В частности, из-за квантовых флуктуаций даже в пустом пространстве причинная связь, в общем, немного отличается от обычной связи Минковского. Поскольку квантовые эффекты вероятностные, чтобы правильно представить соответствующую стохастическую причинность, нужно описать для любых двух событий e и e' вероятность $p(e, e')$ того, что e может причинно влиять на e' . Неожиданно оказалось, что такие вероятностные функции не могут быть Лоренц-инвариантными. Другими словами, как только мы принимаем во внимание квантовые эффекты в причинности, Лоренц-инвариантность нарушается — аналогично тому, как она нарушается, если мы принимаем во внимание наличие материи и начинаем рассматривать космологические решения.

Ключевые слова: стохастическая причинность, квантовые флуктуации пространства-времени, Лоренц-инвариантность.

В. Крейнович, О. Кошелева. Корректно ли Лагранжев формализм описывает сохранение энергии?

Аннотация. В большинстве физических теорий полная энергия сохраняется. Например, когда кинетическая энергия частицы уменьшается, потенциальная энергия соответственно увеличивается. В некоторых физических системах энергия не сохраняется. Например, если мы рассмотрим частицу, движущуюся с трением, энергия самой частицы не сохраняется — она преобразовывается в тепловую энергию окружающей среды. В простых системах энергию легко определить. В более сложных физических системах дать такое определение непросто. Чтобы описать энергию общих систем, физики ввели общее понятие энергии, основанное на Лагранжевом формализме — представление физических теорий с помощью принципа наименьшего действия, которое сейчас используется повсеместно. Для многих физических теорий это понятие ведёт к физически значимому определению энергии. В данной работе показано, что существуют также примеры, когда Лагранжево понятие энергии вообще не имеет физического смысла — например, в соответствии с этим определением, все динамические системы сохраняют энергию.

Ключевые слова: сохранение энергии, Лагранжев формализм.

А.Г. Аксой, З. Глассман, О. Кошелева, В. Крейнович. От универсального метрического пространства Урысона к универсальному пространству-времени.

Аннотация. Известный результат Урысона показывает, что существует универсальное метрическое пространство, т.е. метрическое пространство, которое можно изоморфно

вложить в любое другое (сепарабельное) метрическое пространство. Более того, это универсальное метрическое пространство можно выбрать со свойством ультра однородности — каждый изоморфизм двух его конечных подмножеств может быть расширен до изоморфизма всего пространства. Начиная со специальной и общей теорий относительности Эйнштейна, пространство-время описывается структурой иного типа — множество (событий), снабжённое относительным временем $\tau(a, b)$ между точками a и b . Такое пространства известно как пространство-время с кинематической метрикой или k -пространство-время. В данной работе показано, что результат Урысона можно расширить на k -пространство-время — а именно, что существует ультра однородное универсальное k -пространство-время.

Ключевые слова: универсальное пространство-время, ультра-однородное пространство-время, универсальное метрическое пространство Урысона.

Ф. Запата. Как определить расстояние с точки зрения кинематической метрики и/или других физических величин.

Аннотация. Было бы хорошо иметь метрику $d(a, b)$, которая описывает близость между событиями пространства-времени. В пространстве Ньютона для описания близости различных пространственных точек мы можем использовать Евклидову метрику. В релятивистской физике, пространственное расстояние не инвариантно, оно меняется, когда мы переходим из начальной системы отсчёта в другую систему, которая движется относительно начальной. Единственная инвариантная характеристика — это относительное время, известное как кинематическая метрика. Можно ли использовать кинематическую метрику, чтобы определить нужное нам расстояние $d(a, b)$ между событиями пространства-времени? В данной работе показано, что для полного пространства-времени специальной теории относительности невозможно определить метрику $d(a, b)$ с точки зрения кинематической метрики; однако, если мы ограничимся компактной (связной) частью пространства-времени, такое определение становится возможным. Также показано, что, в более общем случае, для компактных частей пространства-времени можно определить метрику с точки зрения любого количества физических полей.

Ключевые слова: кинематическая метрика, метрика, геометрия пространства-времени.

А.К. Гуц, Л.А. Володченко. Защита леса как стратегическая игра.

Аннотация. Предлагается планирование мероприятий по защите леса рассматривать как стратегическую игру с «природой» в рамках математической теории игр.

Ключевые слова: лес, защита леса, теория игр, стратегии.

О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров, С.Ю. Лаврова. Математическая модель обнаружения точки беспроводного доступа по измерениям мощности излучения разнесёнными наблюдателями.

Аннотация. В статье представлена модель системы определения координат точек беспроводного доступа в предположении изотропных приёмо-передающих антенн и отсутствия преград. В этом случае линии равного уровня измерения мощности представляют собой окружности. В предположении, что координаты разнесённых точек наблюдения известны, а по мощности принимаемого сигнала строится оценка радиусов этих окружностей, можно составить систему нелинейных уравнений. К сожалению, в силу оши-

бок измерения радиусов, система уравнений оказывается несовместной. Минимизируя ошибку измерения или невязку системы уравнений, строится оценка координат точки доступа. Для реализации метода построен вычислительный алгоритм на основе метода Ньютона-Рафсона. В результате компьютерного эксперимента показано, что минимизация невязки и минимизация ошибки измерения радиусов при условии, что радиус много больше ошибки, дают одинаковые оценки координат.

Ключевые слова: обнаружение беспроводных точек доступа, метод Ньютона-Рафсона, системы нелинейных уравнений, оценка координат источника излучения.

А.В. Альтергот, О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров. Формат данных на основе XML-разметки для обмена биометрическими образцами.

Аннотация. В работе представлено описание формата XML-документа, содержащего биометрические образцы и выборки. При проектировании формата была заложена платформонезависимость, расширяемость формата. Формат используется для обмена данными между модулями разрабатываемой в настоящее время системы сбора биометрических данных.

Ключевые слова: XML, формат обмена данными, биометрия.

А.Г. Дружинин. Обзор программ «Электронная карта пациента».

Аннотация. Уже давно медицинские центры и муниципальные больницы используют простейшие электронные карты пациентов, установленные на компьютеры в регистратурах. Такие карты создавались с целью упростить и ускорить процессы диагностирования, собрать данные о пациенте, назначить лечение. Опыт, полученный в результате обзора множества подобных программ, позволяет создать оптимальное программное обеспечение для электронной карты больного, которое будет отвечать современным требованиям и соответствовать ожиданиям врачей и пациентов.

Ключевые слова: электронная карта, программа, инфаркт миокарда, пациент, модуль.

Е.А. Илюшечкин, И.С. Молодых. Оптимизация веб-интерфейса на стороне клиента для работы с табличными данными.

Аннотация. В работе описана задача создания клиентской части эффективного веб-интерфейса для работы с табличными данными на основе возможностей HTML5, а также приведены основные принципы программной реализации такого интерфейса.

Ключевые слова: html5, jquery, веб-интерфейс, локальное хранилище, оффлайн-приложения, плагин, табличные данные.

Д.М. Бречка. Разработка программного продукта для анализа безопасности доступа к файлам в операционных системах Windows 7.

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки программного продукта для анализа доступа к объектам файловой системы Windows 7 на основе модели безопасности Take-Grant. Описывается внутренняя организация программного продукта, его функционал и тестирование производительности.

Ключевые слова: программный продукт, алгоритм, безопасность, операционная си-

стема, Take-Grant, программирование, объекты.

А.Г. Казанцева. Идентификация человека по походке с использованием носимых сенсоров. Обзор исследований.

Аннотация. В статье приводится обзор существующих на данный момент подходов к идентификации человека по походке с использованием носимых сенсоров. Рассматриваются методики записи походки, применяемые для этого сенсоры, алгоритмы распознавания и полученные исследователями результаты.

Ключевые слова: распознавание, походка, биометрия, обзор, носимые сенсоры.

ABSTRACTS

A.K. Guts. Creation of world with time machine.

Abstract. The question of the logical properties of the world in which a time machine can operate is study. It is proposed to consider the logical contradictions as the contradictions between the unconscious priority of world and subordination of reason logic to it.

Keywords: Consciousness, world, reality, time, time machine.

O. Kosheleva, V. Kreinovich. Stochastic Causality Is Inconsistent with the Lorentz Group.

Abstract. According to modern physics, all physical processes are described by quantum theory. In particular, due to quantum fluctuations, even in the empty space, the causal relation is, in general, slightly different from the usual Minkowski one. Since quantum effects are probabilistic, to properly represent the corresponding stochastic causality, we need to describe, for every two events e and e' , the probability $p(e, e')$ that e can causally influence e' . Surprisingly, it turns out that such a probability functions cannot be Lorentz-invariant. In other words, once we take into account quantum effects in causality, Lorentz-invariance is violated – similarly to the fact that it is violated if we take into account the presence of matter and start considering cosmological solutions.

Keywords: stochastic causality, quantum fluctuations of space-time, Lorentz invariance.

V. Kreinovich, O. Kosheleva. Is Lagrangian Formalism Adequately Describing Energy Conservation?

Abstract. In most physical theories, total energy is conserved. For example, when the kinetic energy of a particle decreases, the potential energy increases accordingly. For some physical systems, energy is not conserved. For example, if we consider a particle moving with friction, the energy of the particle itself is not conserved: it is transformed into thermal energy of the surrounding medium. For simple systems, energy is easy to define. For more complex physical systems, such a definition is not easy. To describe energy of generic systems, physicists came up with a general notion of energy based on the Lagrangian formalism — a minimal-action representation of physical theories which is now ubiquitous. For many physical theories, this notion leads to physically meaningful definitions of energy. In this paper, we show that there are also examples when the Lagrangian-motivated notion of energy is not physically meaningful at all — e.g., according to this definition, all dynamical systems are energy-conserving.

Keywords: energy conservation, Lagrangian formalism.

A.G. Aksoy, Z. Glassman, O. Kosheleva, V. Kreinovich. From Urysohn's Universal Metric Space to a Universal Space-Time.

Abstract. A known Urysohn's result shows that there exists a *universal* metric space, i.e., a metric space into every other (separable) metric space can be isomorphically embedded. Moreover, this universal metric space can be selected to be *ultra-homogeneous* — every isomorphism of its two finite subsets can be extended to the isomorphism of the whole space.

Starting with Einstein's theories of Special and General relativity, space-times are described by a different type of structure — a set (of events) equipped with the proper time $\tau(a, b)$ between points a and b ; such spaces are known as *space-times with kinematic metric*, or *k-space-times*. In this paper, we show that Urysohn's result can be extended to k-space-times — namely, that there exists an ultra-homogeneous universal k-space-time.

Keywords: universal space-time, ultra-homogeneous space-time, Urysohn's universal metric space.

F. Zapata. How to Define Distance in Terms of Kinematic Metric and/or Other Physical Quantities.

Abstract. It is desirable to have a metric $d(a, b)$ which describes the closeness between space-time events. In Newtonian space, we can use Euclidean metric to describe the closeness of different spatial points. In relativistic physics, spatial distance is not invariant, it changes when we go from the original reference frame to another one which moves in relation to the original one. The only invariant characteristic is the proper time — known as kinematic metric. Can we use kinematic metric to define the desired distance $d(a, b)$ between space-time events? In this paper, we show that for the full space-time of special relativity, it is not possible to define a metric $d(a, b)$ in terms of the kinematic metric; however, if we limit ourselves to a compact (bounded) part of space-time, such a definition becomes possible. We also show that, more generally, for compact parts of space-time, we can define metric in terms of any number of physical fields.

Keywords: kinematic metric, metric, space-time geometry.

A.K. Guts, L.A. Volodchenkova. Forest defense as a strategic game.

Abstract. It is proposed to consider the planning of forest defense as a mathematical strategic game with the «nature».

Keywords: forest, forest defense, game theory, strategies.

O.A. Vishnyakova, D.N. Lavrov, S.Y. Lavrova. Mathematical model of the wireless access point detection by measuring the radiation power of spaced observers.

Abstract. A model of the detection system under the assumption of isotropic antenna transceivers and a lack of barriers is presented. In this case, lines of equal level power measurements are circles. Assuming that the coordinates of the spaced observation points are known and the assessment of these circles radii is based on the power of the received signal, we can make a system of nonlinear equations. Unfortunately, system of nonlinear equations may not be consistent due to measurement errors in the radii. Minimizing measurement error or residual of system of equations the access point position estimate is calculated. A computational algorithm based on the Newton-Raphson method is created

for implementation. As a result of computer simulation it is shown that the minimization of radii measurement error and the minimization of the residual yield the same estimate of coordinates in case of the radius is much larger than errors. In order to approve proposed to implement this system for smartphones users. The scheme of interaction smartphones observed. We discuss the further development of the model.

Keywords: wireless access point detection, the Newton-Raphson method, a system of nonlinear equations, estimate of coordinates.

A.V. Altergot, O.A. Vishnyakova, D.N. Lavrov. XML-based data format for biometric samples exchange.

Abstract. The article describes the format of XML-document containing biometric templates and samples. The platform independence and format extensibility were established during the format designing. The format is used to exchange data between modules of system for collecting biometric data that is currently under development.

Keywords: XML, data exchange format, biometrics.

A.G. Druzhinin. Program "Patient Electronic Card" review.

Abstract. It has been a long time since health centers and public hospitals are using the simplest electronic records of patients that are installed on the computers in the registries. These maps are designed to simplify and speed up the process of diagnosis, to collect data about the patient, prescribe treatment. The experience gained from the review of many such programs can create an optimal software for electronic patient dossier that will meet the current requirements and the expectations of doctors and patients.

Keywords: electronic card, program, myocardial infarction, patient, module.

E.A. Ilushechkin, I.S. Molodyh. Client-side optimization of web-interfaces for table data processing.

Abstract. The article considers a problem of creation of an effective web-interface dealing with table data and based on HTML5 features. It also presents main implementation principles of such interface.

Keywords: html5, jquery, web-interface, Local Storage, offline applications, plugin, table data.

D.M. Brechka. Development of the software for the analysis of file access security in Windows 7.

Abstract. The article discusses the process of software development for the analysis of access to file system objects in Windows 7 based on Take-Grant protection model. Internal organization of the software, its functionality and performance testing are described.

Keywords: software, algorithm, security, operating system, Take-Grant, programming, objects.

A.G. Kazantseva. Biometric gait recognition with wearable sensors: A survey.

Abstract. In this paper a survey of the current approaches to gait recognition by way of wearable sensors is offered. Gait measurement techniques and equipment, classification algorithms, and obtained results are reviewed.

Keywords: recognition, gait, biometrics, survey, wearable sensors.

Научный журнал

Математические структуры и моделирование

Том 28, № 2

Главный редактор

Д.Н. Лавров

Корректоры:

И.Н. Баловнева

Е.А. Илюшечкин

Художественное оформление

Д.Н. Лавров

Адрес научной редакции

Россия, 644053, Омск-53, ул. Грозненская, 11

Омский государственный университет

факультет компьютерных наук

E-mail: lavrov@omsu.ru

Электронная версия журнала:

<http://msm.univer.omsk.su>

<http://msm.omsu.ru>



Подписано в печать 17.12.2013. Формат 60 × 84 1/8.

Усл. печ. л. 14,2. Тираж 125 экз. Заказ № 292.

Отпечатано на полиграфической базе издательства ОмГУ им. Ф.М. Достоевского

644077, г. Омск, пр. Мира, 55А

ISSN 2222-8772



9 772222 877005



13028 >