

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**ЧЕТВЕРТАЯ ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ИПИ РАН**

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Москва
ИПИ РАН
2013

Четвертая школа молодых ученых ИПИ РАН. Сборник докладов. – М.: ИПИ РАН, 2013. –97 с. – ISBN 978-5-9193-034-1.

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Шоргин С.Я.

Сборник содержит 9 статей, подготовленных по результатам докладов молодых ученых Института проблем информатики РАН (ИПИ РАН) на Четвертой школе молодых ученых ИПИ РАН (г. Москва, 11 декабря 2013 года).

Первая работа Горшенина А.К. посвящена информационным технологиям для изучения тонкой структуры стохастических процессов в турбулентной плазме. Далее, в работе Разумчика Р.В. описан новый приближенный метод нахождения совместного стационарного распределения числа заявок в очередях системы массового обслуживания. Работа Румовской С.Б. изучает проблему процесса диагностики как естественной гетерогенной системы в медицине, для диагностики артериальной гипертензии предложена система виртуального консилиума. В работе Сидоркина И.И. предложен новый метод декодирования цветных штриховых кодов с предварительным детектированием робастных характеристик, позволяющий уменьшить временные затраты на декодирование. Статья Степанова В.В. содержит обзор современного состояния технологий криптовалюты и связанных с ними проблем. Работа Сухова Е.А. посвящена решению нелинейных уравнений флаттера и анализу устойчивости автоколебаний для обеспечения надежной и бесперебойной работы воздушных линий электропередачи. Статья Хилько Д.В. и Шикунова Ю.И. посвящена новой рекуррентно-поточковой модели вычислений и основным, связанным с ней, проблемам разработки ПО. В совместной работе Кружкова М.Г. и Степанова В.В. предлагается технология построения и применения базы данных для лингвистических исследований, содержащей эквивалентные лексико-грамматических формы в поливариантных параллельных текстах. В заключительной работе Агафонова Е.С. рассматривается инструментальное программное средство оптимизации систем послепродажного обслуживания на основе стоимостных критериев для заданного уровня коэффициента технической готовности.

Содержание

<i>Горшенин А.К.</i>	Разработка информационной технологии спектрального анализа экспериментальных данных для исследования плазменной турбулентности	4
<i>Разумчик Р.В.</i>	Приближенный метод расчета стационарного распределения в системе обслуживания конечной емкости с отрицательными заявками и несколькими очередями	13
<i>Румовская С. Б.</i>	Виртуальный консилиум – искусственная гетерогенная система для диагностики артериальной гипертензии	25
<i>Сидоркин И.И.</i>	Предварительная обработка при декодировании цветных штриховых кодов	39
<i>Степанов В. В.</i>	Терминология и технология криптовалюты	44
<i>Сухов Е. А.</i>	Анализ флаттера проводов воздушных линий электропередачи с использованием пакета символьных вычислений Maple	52
<i>Хилько Д.В., Шикунов Ю.И.</i>	Разработка инструментальной среды проектирования программного обеспечения для рекуррентно-поточковой модели вычислений	65
<i>Кружков М.Г., Степанов В. В.</i>	Технология построения и применения базы данных эквивалентных лексико-грамматических форм в поливариантных параллельных текстах	79
<i>Агафонов Е.С.</i>	Инструментальное программное обеспечение моделирования и оптимизации систем послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции	85

Разработка информационной технологии спектрального анализа экспериментальных данных для исследования плазменной турбулентности¹

Горшенин А.К., ИПИ РАН

В работе описана информационная технология, созданная для изучения тонкой структуры стохастических процессов в турбулентной плазме. Основное внимание уделено общей схеме функционирования разработанного программного обеспечения, однако обсуждаются и практические результаты, полученные в важном направлении современной физики.

1. Введение

В целях создания эффективных и безопасных научных установок значительного масштаба, основанных на концепции токамаков (например, международного экспериментального термоядерного реактора ITER), необходимо развитие корректных моделей функционирования турбулентной плазмы. Построение таких моделей невозможно без изучения значительного объема данных, получаемого на установках меньшего масштаба в лабораторных условиях, для чего необходима разработка соответствующих математических методов, алгоритмов и программных средств.

Задача определения параметров тех или иных процессов по спектрам, полученным в ходе эксперимента при помощи различных способов (например, измерения спектрометром, спектрографом или оценка по временной выборке аналого-цифрового преобразователя), может быть решена с помощью разделения спектра на составляющие: сплошной спектр, полосы, отдельные компоненты. Однако существует проблема, заключающаяся в неоднозначной трактовке одних и тех же результатов экспериментов. Дело в том, что задача выявления компонент спектра является математически некорректной и требует дополнительных предположений, в рамках которых решение может быть найдено. Эта проблема известна, например, в оптической спектроскопии; столь

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-07-31267).

же актуальна она и для физики плазмы, так как плазма представляет собой состояние вещества с большим числом степеней свободы. В данном случае спектр может быть достаточно успешно приближен сразу целым рядом различных между собой моделей (например, моделью дробового шума, моделью Колмогорова-Обухова), причем отдать предпочтение какой-то единственной модели не представляется возможным. Очевидно, что в такой ситуации невозможно получить точную спектральную информацию о механизмах турбулентности. Однако именно исследование спектров позволяет добиться более тонких результатов, поскольку спектр дает возможность определить такие важные показатели, как тип неустойчивости, механизм формирования турбулентности, доли ионно-звуковых солитонов и дрейфовых вихрей и т.д.

Для преодоления указанных сложностей в статье [2] была предложена бутстреп-методология моделирования спектров, полученных в экспериментах с турбулентной плазмой. В дальнейшем для некоторых экспериментальных режимов функционирования плазмы в работе [3] с применением созданных специализированных программных модулей была продемонстрирована возможность качественного приближения спектров, с высокой степенью согласия с ранее полученными результатами.

В настоящей работе приводится описание итогового программного комплекса, предназначенного для разностороннего спектрального анализа экспериментальных данных, предлагающего широкие возможности для изучения вида, формы и характерных особенностей спектров. Исходными данными для моделирования послужили экспериментальные выборки со специального стелларатора Л-2М (см., например, работу [10]).

2. Математические основы информационной технологии

В этом разделе коротко рассмотрим использованные при разработке программного обеспечения принципы и математические модели.

В ходе исследований низкочастотных пульсаций плазмы было установлено, что плазменная турбулентность успешно описывается моделями типа обобщенного процесса Кокса (см. книгу [Ошибка! Источник ссылки не найден.]). Исходный спектр рассматривается (подробнее процедура описана в статье [2]) в качестве плотности неизвестного закона распределения, с помощью вероятностного моделирования строится тестовая выборка нужного (вообще говоря, произвольного) объема. В дальнейшем она используется для построения аппроксимирующей кривой, которая в соответствии с моделями обобщенных процессов Кокса ищется в виде конечной сдвиг-масштабной смеси вероятностных распределений (нормальных, гамма). Важной задачей становится выбор и оптимизация вычислительных процедур, предназначенных для оценивания параметров модели.

В рамках рассматриваемого пакета в качестве основных вычислительных методов использовался классический EM-алгоритм [6] для смесей нормальных и гамма распределений, а также специализированный сеточный метод [7]. Это позволило реализовать приемлемую точность вычислений за разумное время для различных типов спектров (односторонних, двусторонних и т.п.).

3. Структура программного продукта

В условиях современных исследований, когда экспериментальные данные имеют весьма значительный объем и требуют существенного времени для обработки, невозможно представить проведение анализа процессов без создания специализированной информационной технологии. На основании упомянутой выше математической модели, основанной на использовании обобщенных процессов Кокса, была разработана соответствующая информационная технология для решения задачи разделения серий спектров на компоненты. При исследовании включенных в состав информационной технологии математических методов были получены новые научные результаты, касающиеся адекватности методов и их быстродействия, которые и

предопределили набор алгоритмов, вошедших в конечный пакет. Вычислительный алгоритм был создан с использованием встроенного в пакет MATLAB языка программирования четвертого поколения и оптимизирован для проведения исследований в физике плазмы.

Разработанная информационная технология включает в себя математический аппарат проведения расчетов, расчетные модули, инструменты визуализации полученных результатов с различными возможностями сохранения результатов, а также пользовательский интерфейс для обеспечения удобства работы с пакетом для исследователей. Рассмотрим подробнее структуру разработанного программного обеспечения.

Экспериментальные данные обычно предоставляются в виде внешних файлов, доступ к которым осуществляется через интерфейсную часть пакета. Здесь существуют различные варианты, так как предусмотрены варианты работы и через стандартную для MATLAB консоль (существует «головная» функция, выполняющая всю обработку), и через использование специализированного интерфейса. Первый способ подходит для использования в «режиме разработчика», в то время как большинству пользователей, безусловно, удобнее работать с интерфейсом, скрывающим детали реализации и упрощающим работу с программой.

Логически функционал программы делится на три основных блока:

1. блок моделирования, отвечающий за создание тестовой выборки;
2. блок оценивания параметров неизвестного распределения по построенной тестовой выборке, отвечающий за отыскание аппроксимирующей кривой;
3. блок визуализации, осуществляющий графическое отображение полученных результатов.

Очевидно, что каждый из этих этапов должен выполняться последовательно друг за другом, однако начать можно с любого пункта. Дело в том, что в программе предусмотрена работа с данными, которые были ранее

сохранены на диске, что позволяет избежать повторного моделирования или отыскания оценок.

Тестовая выборка строится с помощью упомянутой ранее процедуры (подробнее см. работу [2]). При оценивании параметров по выбору пользователя могут быть использованы следующие методы:

- EM-алгоритм для нормальных распределений;
- EM-алгоритм для гамма-распределений;
- сеточный метод для нормальных распределений;
- сеточный метод для гамма-распределений.

Здесь методы, основанные на нормальном распределении, можно использовать для одно- и двусторонних спектров, а основанные на гамма-распределении – для односторонних спектров. EM-алгоритм является достаточно универсальным методом отыскания оценок максимального правдоподобия. С его помощью возможно добиться приемлемого баланса между скоростью и качеством вычислений. Однако в случае, если у нас есть некоторая дополнительная информация о параметрах, более эффективными с вычислительной точки зрения могут оказаться сеточные методы, поэтому они включены в итоговый пакет.

Известно, что при построении моделей типа конечных сдвиг-масштабных смесей вероятностных распределений возникает задача корректного определения числа компонент в приближающей смеси (см. статью [1]). Поэтому для анализа могут быть использованы асимптотически наиболее мощные критерии для моделей добавления и расщепления компоненты, а также расчета значений статистики для критерия Ло [9]. Программа проверяет по упомянутым выше трем критериям значимость компоненты с малым весом, выдавая в качестве ответа число компонент в смеси для каждого из них. Уровень значимости критерия является параметром метода.

В блоке визуализации осуществляется графический вывод результатов вычислений. По полученным оценкам параметров строятся графики

аппроксимирующей кривой и составляющих ее компонент, что дает возможность для наглядной интерпретации получаемых результатов. Отображаемые графики позволяют наглядно определить значимое число компонент (то есть процессов в турбулентной плазме) и установить величины ряда физических характеристик. Более того, анализируемые ряды обычно представляют собой серии спектров, полученных для различных этапов экспериментов. Достаточно наглядным и удобным представляется отображение эволюции спектров (и, соответственно, приближающихся кривых) во времени. Для этого был создан специальный модуль отображения трехмерных поверхностей. В каждый момент времени сечение графика представляет собой спектр (аппроксимирующую кривую). Трехмерные графики можно вращать в пространстве с помощью мыши и масштабировать. Полученные изображения могут быть сохранены в одном из распространенных графических форматов (например, JPEG или PNG).

Математические алгоритмы были протестированы на тестовых выборках с заранее известными характеристиками. В рамках разработки информационной технологии были созданы специальные процедуры для повышения эффективности и точности вычислений. Для пакета программ в целом, а также составляющих его модульных решений были получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Использование различных алгоритмов и специальных техник в единой программе сделало возможным проведение детального анализа данных для устойчивых серий спектров, полученных для низкочастотной плазменной турбулентности на краю и в центре плазменного шнура в стеллараторе Л-2М.

Программный пакет представляет собой исполнимый файл, который может запускаться как на ЭВМ с установленной средой MATLAB, так и без нее (однако в этой ситуации потребуются установка свободно распространяемого компонента MATLAB Compiler Runtime).

4. Полученные физические результаты

Рассмотрим основные физические результаты, полученные в настоящий момент благодаря использованию разработанной информационной технологии:

1. проведение идентификация спектра: удалось определить форму гармоник в амплитудном спектре;
2. выделение корректного числа процессов в турбулентной плазме: установлено, что новые результаты подтверждают выводы, ранее сделанные на основании других методик исследования;
3. выявление повторяемости стохастических процессов с характерными средними частотами полуширины спектра;
4. определение таких физических показателей функционирования плазмы, как величина радиального электрического поля, фазовые скорости флуктуаций и т.д.

Заключение

Итак, в рамках создания информационной технологии был разработан эффективный программный инструмент исследования процессов в области физики плазмы (а значит, и в сфере альтернативных источников энергии), позволяющий получать определенные результаты непосредственно в настоящий момент времени. Более того, в ряде работ (см., например, [5], [8]) показана эффективность использования значительно более сложных моделей типа дисперсионно-сдвиговых смесей для высокочастотных финансовых данных. Имеющаяся взаимосвязь между спектрами и частотами, а также схожий стохастический характер процессов в турбулентной плазме и на финансовых рынках [Ошибка! Источник ссылки не найден.] показывают, что возможно дальнейшее развитие и применение более сложных моделей, потенциально позволяющих получить еще более тонкие результаты в важной отрасли науки.

Разработанные методы вносят вклад в область применения информационных технологий в физике турбулентной плазмы. Предложенная

технология может использоваться для построения центров по обработке экспериментальных данных. Более того, возможно ускорение работы методов, значительное увеличение количества одновременно обрабатываемых данных за счет привлечения методик параллельного программирования и задействования новых вычислительных возможностей (проведение расчетов на графических процессорах, кластерах и т.п.). Данные улучшения в совокупности с продемонстрированным качеством результатов позволяют предположить эффективность применения предлагаемых процедур для обработки данных со стеллараторов принципиально более высокой сложности (вроде упоминавшегося выше термоядерного реактора ITER).

Автор выражает признательность профессору Королеву В.Ю., Скворцовой Н.Н. и Малахову Д.В. за совместную работу при проведении исследований.

Список литературы

1. *Бенинг В.Е., Горшенин А.К., Королев В.Ю. Асимптотически оптимальный критерий проверки гипотез о числе компонент смеси вероятностных распределений // Информатика и ее применения, 2011. Т. 5. Вып. 3. С. 4–16.*
2. *Горшенин А.К., Королев В.Ю., Малахов Д.В., Скворцова Н.Н. Анализ тонкой стохастической структуры хаотических процессов с помощью ядерных оценок // Математическое моделирование, 2011. Т. 23. № 4. С. 83–89.*
3. *Горшенин А.К., Королев В.Ю., Малахов Д.В., Скворцова Н.Н. Об исследовании плазменной турбулентности на основе анализа спектров // Компьютерные исследования и моделирование, 2012. Т. 4. № 4. С. 793–802.*
4. *Королев В.Ю. Вероятностно-статистические методы декомпозиции волатильности хаотических процессов. – М.: изд-во Моск. ун-та, 2011. – 512 с.*

5. *Королев В.Ю., Черток А.В., Корчагин А.Ю., Горшенин А.К. Вероятностно-статистическое моделирование информационных потоков в сложных финансовых системах на основе высокочастотных данных // Информатика и ее применения, 2013. Т. 7. Вып. 1. С. 12–21.*
6. *Dempster A., Laird N., Rubin D. Maximum likelihood estimation from incopleted data // Journal of the Royal Statistical Society, 1977. Series B. Vol. 39(1). P. 1–38.*
7. *Gorshenin A., Korolev V., Kuzmin V., Zeifman A. Coordinate-Wise Versions of The Grid Method for the Analysis of Intensities of Non-Stationary Inform // Proceedings of 27th European Conference on Modelling and Simulation (May 27-30, 2013, Alesund, Norway). Dudweiler, Germany: Digitaldruck Pirrot GmbH. P. 565–568.*
8. *Gorshenin A.K., Korolev V.Yu., Zeifman A.I., Shorgin S.Ya., Chertok A.V., Evstafyev A.I., Korchagin A.Yu. Modelling stock order flows with non-homogeneous intensities from high-frequency data // AIP Conference Proceedings, 2013. 1558. P. 2394–2397.*
9. *Lo Y., Mendell N.R., Rubin D.B. Testing the number of components in a normal mixture // Biometrika, 2001. Vol. 88. No.3. P. 767–778.*
10. *Pshenichnikov A.A., Kolik L.V., Malykh N.I., Petrov A.E. et al. The Use of Doppler reflectometry in the L-2M stellarator // Plasma Phys. Rep, 2005. Vol. 31 (7). P. 554–561.*

Сведения об авторе: Горшенин Андрей Константинович, 1986 года рождения, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института Проблем Информатики Российской Академии Наук; agorshenin@ipiran.ru.

Область интересов: теория вероятностей и математическая статистика, математическое моделирование, визуализация и обработка сверхбольших массивов данных.

Приближенный метод расчета стационарного распределения в системе обслуживания конечной емкости с отрицательными заявками и несколькими очередями

Разумчик Р.В., Институт проблем информатики РАН

В работе рассматривается система массового обслуживания с одним прибором конечной емкости с отрицательными заявками и двумя очередями. Времена обслуживания заявок на приборах имеют экспоненциальное распределение с одним и тем же параметром. Предложен новый приближенный метод нахождения совместного стационарного распределения числа заявок в очередях.

1. Введение

Рассмотрим однолинейную СМО, в которую поступает пуассоновский поток заявок интенсивности λ . Заявки этого потока, как и в [1], будем называть положительными. Для положительных заявок имеется накопитель емкости $0 < r < \infty$.

Помимо положительных заявок, в систему поступает пуассоновский поток отрицательных заявок интенсивности γ . Отрицательная заявка, поступающая в систему, вытесняет одну (положительную) заявку из очереди в накопителе и перемещает ее в накопитель для вытесненных заявок (бункер) ограниченной емкости $0 < m < \infty$, а сама покидает систему. Если в момент поступления отрицательной заявки в накопителе нет положительных заявок, а на приборе обслуживается заявка, то отрицательная заявка, не прерывая обслуживание на приборе, покидает систему, не оказывая на нее никакого воздействия. То же самое происходит и в случае, когда в момент поступления отрицательной заявки накопитель и обслуживающий прибор пусты.

Выбор заявок на обслуживание производится следующим образом. После окончания обслуживания очередной заявки на прибор становится заявка из накопителя. Если же накопитель пуст, на прибор поступает заявка из бункера.

Обслуживание заявок не прерывается новыми как положительными, так и отрицательными заявками.

Длительности обслуживания заявок из накопителя и бункера имеют экспоненциальное распределение с одним и тем же параметром μ .

Системы с отрицательными заявками изучались многими авторами, что обусловлено интересными с теоретической точки зрения задачами, возникающими в процессе их исследований, а также возможными их практическими приложениями (см., например, [2-8]).

Данная работа посвящена краткому изложению нового приближенного метода для нахождения совместного стационарного распределения вероятностей состояний в описанной выше системе для случая, когда емкости накопителя и бункера одинаковы. Данный метод является развитием точного метода нахождения стационарных характеристик рассматриваемой системы предложенного в [9] и использующего некоторые результаты теории специальных функций. Как показано в [10] полученные результаты легко обобщаются на случай, когда в системе имеется не один, а несколько приборов. Поэтому здесь мы ограничимся случаем одного обслуживающего прибора.

2. Приближенный метод нахождения совместного стационарного распределения

Будем считать, что емкость бункера совпадает с емкостью накопителя, т.е. $m=r$. Обозначим через $\varepsilon(t)$ число заявок, находящихся в накопителе и на обслуживающих приборах в момент времени t , а через $\eta(t)$ – число заявок в бункере в момент времени t . Положим $X(t) = (\varepsilon(t), \eta(t))$. Случайный процесс $\{X(t), t \geq 0\}$ является марковским процессом с непрерывным временем и дискретным (конечным) множеством состояний. Множество состояний процесса $\{X(t), t \geq 0\}$ имеет вид $\mathcal{X} = \{0\} \cup \mathcal{X}_1$, где $\mathcal{X}_1 = \{(i, j), 0 \leq i \leq r, 0 \leq j \leq r\}$. Состояние (i, j) процесса $\{X(t), t \geq 0\}$ означает, что прибор занят, в накопителе ожидают i заявок, а в бункере – j . Состояние $\{0\}$ означает, что система пуста.

Обозначим через P_0 – стационарную вероятность состояния $\{0\}$, а через P_{ij} – стационарную вероятность состояния (i, j) . В сделанных предположениях стационарное распределение процесса $\{X(t), t \geq 0\}$ всегда существует. Введем производящую функцию (далее – ПФ)

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^r \sum_{j=0}^r p_{ij} u^i v^j, 0 < u < 1, 0 < v < 1$$

Выписывая систему уравнений равновесия (далее – СУР) для P_{ij} и производя традиционные преобразования, можно показать, что ПФ $P(u, v)$ имеет вид:

$$P(u, v) = \frac{\mu u(v-1)p_{00} + \lambda v u^{r+1}(1-u)Q(v) + (\mu + \gamma v)(u-v)R(v) + \gamma v^{r+1}(1-v)S(u)}{-v[\lambda u^2 - (\lambda + \mu + \gamma)u + \mu + \gamma v]}, \quad (1)$$

где

$$Q(v) = \sum_{j=0}^r p_{rj} v^j, \quad R(v) = \sum_{j=0}^r p_{0j} v^j, \quad S(u) = \sum_{i=0}^r p_{ir} u^i. \quad (2)$$

Знаменатель в (1) представляет собой квадратный трехчлен относительно u и имеет два корня:

$$u_{1,2} = u_{1,2}(v) = \frac{\lambda + \mu + \gamma \mp \sqrt{(\lambda + \mu + \gamma)^2 - 4\lambda(\mu + \gamma v)}}{2\lambda}. \quad (3)$$

Знаменатель (1) обращается в нуль в точках (u_1, v) и (u_2, v) и, значит, в этих точках в нуль должен обращаться и числитель (1). Отсюда мы получаем систему из двух уравнений:

$$\begin{aligned} \mu u_1(v-1)p_{00} + \lambda v u_1^{r+1}(1-u_1)Q(v) + (\mu + \gamma v)(u_1 - v)R(v) + \gamma v^{r+1}(1-v)S(u_1) &= 0, \\ \mu u_2(v-1)p_{00} + \lambda v u_2^{r+1}(1-u_2)Q(v) + (\mu + \gamma v)(u_2 - v)R(v) + \gamma v^{r+1}(1-v)S(u_2) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Если исключить из системы (5) слагаемое с P_{00} , то после приведения подобных слагаемых, с учетом (2) получим:

$$\begin{aligned} &\left(\frac{[u_2(v)]^r - [u_1(v)]^r}{u_2(v) - u_1(v)} - \frac{[u_2(v)]^{r+1} - [u_1(v)]^{r+1}}{u_2(v) - u_1(v)} \right) \sum_{j=0}^r p_{rj} v^j + \\ &+ \frac{\gamma}{\lambda} (v^r - v^{r+1}) \sum_{i=0}^r p_{ir} \left(\frac{[u_2(v)]^{i-1} - [u_1(v)]^{i-1}}{u_2(v) - u_1(v)} \right) + \sum_{j=0}^r p_{0j} v^j = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Исключая из системы (5) слагаемое с $R(v)$, после ряда преобразований приходим к соотношению:

$$\begin{aligned}
& \mu(v-1)p_{00} + \mu \left(\frac{[u_2(v)]^r - [u_1(v)]^r}{u_2(v) - u_1(v)} - \frac{[u_2(v)]^{r+1} - [u_1(v)]^{r+1}}{u_2(v) - u_1(v)} \right) \sum_{j=0}^r p_{rj} v^j + \\
& + \left(\lambda \cdot \frac{[u_2(v)]^r - [u_1(v)]^r}{u_2(v) - u_1(v)} - (\lambda + \gamma) \cdot \frac{[u_2(v)]^{r+1} - [u_1(v)]^{r+1}}{u_2(v) - u_1(v)} + \frac{[u_1(v)]^{r+2} - [u_2(v)]^{r+2}}{u_2(v) - u_1(v)} \right) \sum_{j=0}^r p_{rj} v^{j+1} + \\
& + \frac{\mu\gamma}{\lambda} (v^r - v^{r+1}) \sum_{i=1}^r p_{ir} \left(\frac{[u_1(v)]^{i-1} - [u_2(v)]^{i-1}}{u_2(v) - u_1(v)} \right) + \frac{\gamma^2}{\lambda} (v^{r+1} - v^{r+2}) \sum_{i=1}^r p_{ir} \left(\frac{[u_1(v)]^{i-1} - [u_2(v)]^{i-1}}{u_2(v) - u_1(v)} \right) - \\
& - \gamma (v^{r+1} - v^{r+2}) \sum_{i=1}^r p_{ir} \left(\frac{[u_1(v)]^i - [u_2(v)]^i}{u_2(v) - u_1(v)} \right) = 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Согласно [9] и, как показано в [11], выражения вида $([u_2(v)]^i - [u_1(v)]^i)/(u_2(v) - u_1(v))$ в левой части (6) и (7) есть ничто иное, как многочлены целой степени от v . Для того, чтобы это показать необходимо знать явный вид корней $u_1(v)$ и $u_2(v)$. В данной задаче он известен и задается формулой (3). Однако мы предположим, что явный вид корней неизвестен и вместо них будем использовать интерполяционные многочлены Лагранжа $L_n^1(v)$ и $L_n^2(v)$, которые совпадают со значениями функций $u_1(v)$ и $u_2(v)$ в $(n+1)$ различных точках. Как известно из теории интерполирования функций (см., например, [12]) погрешность приближенного равенства $u_i(v) \approx L_n^i(v)$, $i=1,2$ будет наименьшей, если в качестве узлов интерполяции \bar{v}_k выбрать нули многочленов Чебышева первого рода порядка $(n+1)$, т.е.

$$\bar{v}_k = \cos \left(\frac{2k-1}{2n+2} \cdot \pi \right), k = 1, 2, \dots, n+1.$$

Поскольку многочлены Чебышева первого рода определены на интервале $[-1,1]$, а функции $u_i(v)$ определены для $0 \leq v \leq 1$, то значения узлов необходимо пересчитать по формуле

$$v_k = \frac{\bar{v}_k + 1}{2}, k = 1, 2, \dots, n+1.$$

Теперь для выражения $([u_2(v)]^i - [u_1(v)]^i)/(u_2(v) - u_1(v))$ можно записать следующее приближенное равенство

$$\frac{[u_2(v)]^i - [u_1(v)]^i}{u_2(v) - u_1(v)} \approx \frac{[L_n^2(v)]^i - [L_n^1(v)]^i}{u_2(v) - u_1(v)} = f_{in}(v), 0 \leq v \leq 1, 0 \leq i \leq r, n \geq 1. \quad (8)$$

Представим функцию $f_{in}(v)$ в виде многочлена от целой степени v . Данная функция разлагается в ряд по многочленам Чебышева первого рода $\{T_k(v)\}$, а именно

$$f_{in}(v) \approx \sum_{k=0}^n \omega_k T_k(2v-1), 0 \leq i \leq r, n \geq 1, \quad (9)$$

где

$$\omega_1 = \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^{n+1} f_{in}(v_j) T_k(\bar{v}_j), \omega_k = \frac{2}{n+1} \sum_{j=1}^{n+1} f_{in}(v_j) T_k(\bar{v}_j), 1 \leq k \leq n.$$

В точном алгоритме функция $f_{in}(v)$ находится в явном виде, используя явный корень $u_1(v)$ и $u_2(v)$. При этом в разложении (9) фигурируют $\left\lfloor \frac{r+1}{2} \right\rfloor$ слагаемых. Идея приближенного метода заключается в том, что для функций $f_{in}(v)$ при всех возможных значениях i фиксируется одно и то же число слагаемых $n < \left\lfloor \frac{r+1}{2} \right\rfloor$ в разложении (9).

Вспоминая связь между многочленами Чебышева первого рода $\{T_k(v)\}$ и многочленами Чебышева второго рода $\{U_k(v)\}$, которая задается соотношением

$$T_k(v) = U_k(v) - vU_{k-1}(v),$$

и, заметив, что $U_{-1}(v) = 0$ запишем

$$f_{in}(v) \approx \sum_{k=0}^n \omega_k T_k(2v-1) = \sum_{k=0}^n \omega_k U_k(2v-1) - (2v-1) \sum_{k=0}^n \omega_k U_{k-1}(2v-1).$$

Раскладывая функцию $U_k(y)$ в ряд Маклорена, получим

$$\begin{aligned}
f_{in}(v) &\approx \sum_{k=0}^n \omega_k \sum_{m=0}^k \frac{U_k^{(m)}(0)}{m!} (2v-1)^m - (2v-1) \sum_{k=0}^{n-1} \omega_{k+1} \sum_{m=0}^k \frac{U_k^{(m)}(0)}{m!} (2v-1)^m = \\
&= \sum_{k=0}^n \omega_k \sum_{m=0}^k C_{k-m}^{m+1}(0) 2^m (2v-1)^m - (2v-1) \sum_{k=0}^{n-1} \omega_{k+1} \sum_{m=0}^k C_{k-m}^{m+1}(0) 2^m (2v-1)^m.
\end{aligned}$$

Здесь $U_k^{(m)}(0)$ – m -я производная $U_k(y)$ в точке $y=0$, а $C_k^h(0)$ – многочлены Гегенбауэра, которые связаны с многочленами $U_n(y)$ соотношением $U_n^{(m)}(0) = 2^m m! C_{n-m}^{m+1}(0)$ и вычисляются по формуле

$$C_k^h(0) = \begin{cases} 0, & \text{если } k - \text{нечетное,} \\ \frac{(-1)^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(h + \frac{k}{2}\right)}{\left(\frac{k}{2}\right)! \Gamma(h)}, & \text{если } k - \text{четное.} \end{cases}$$

Если в последнем соотношении для $f_{in}(v)$ привести подобные слагаемые, получим, что для $0 \leq i \leq r$ и $n \geq 1$ имеет место разложение

$$f_{in}(v) \approx \sum_{j=0}^n h_j v^j, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned}
h_0 &= \sum_{m=0}^n (-2)^m \sum_{k=m}^n \omega_k C_{k-m}^{m+1}(0) + \sum_{m=0}^{n-1} (-2)^m \sum_{k=m}^{n-1} \omega_{k+1} C_{k-m}^{m+1}(0), \\
h_j &= \sum_{m=j}^n \binom{m}{j} (-1)^{m-j} 2^{m+j} \sum_{k=m}^n \omega_k C_{k-m}^{m+1}(0) - \\
&\quad - \sum_{m=j}^{n-1} \binom{m+1}{j} (-1)^{m+1-j} 2^{m+j} \sum_{k=m}^{n-1} \omega_{k+1} C_{k-m}^{m+1}(0) - 2^{2j-1} \sum_{k=j-1}^{n-1} \omega_{k+1} C_{k-j+1}^j(0), \quad 1 \leq j \leq n-1, \\
h_n &= \omega_n 2^{2n-1} (2C_0^{n+1}(0) - C_0^n(0)).
\end{aligned}$$

Учитывая представление (9) можно сделать вывод, что (6) и (7) представляют собой многочлены целой степени от v , которые равны нулю при любых допустимых значениях v и, значит, нулю должны быть равны коэффициенты при соответствующих степенях v .

Отсюда получается две системы уравнений, решая которые можно получить выражения для констант, связывающих вероятности P_{00} и P_{rj} , т.е. для

$$X_{rj} = \frac{P_{rj}}{P_{00}}, j = \overline{0, r}.$$

констант вида

Обозначим через P_i – стационарное распределение общего числа заявок в системе, включая заявки, находящиеся в накопителе, на приборе и в бункере, т.е.

$$P_n = \sum_{i+j=n-1} p_{ij}, 1 \leq n \leq 2r+1.$$

Выбирая из СУР уравнения, для которых $i+j=n-1$ и затем, суммируя их, приходим к следующему выражению

$$p_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\gamma}{\mu} \sum_{i=1}^r p_{ir} + \frac{\lambda}{\mu} \sum_{j=0}^r p_{rj}.$$

Используя теперь связь между вероятностями $\{p_{ir}\}$ и $\{p_{rj}\}$, задаваемую локальным балансом, приходим к формуле:

$$p_0 = 1 - \frac{\lambda \left(1 - \left(\frac{\lambda}{\mu + \gamma} \right)^{r+1} \right)}{(\mu - \lambda + \gamma) \left(\frac{\lambda}{\mu + \gamma} \right)^{r+1}} \sum_{j=0}^r p_{rj}. \quad (10)$$

Как было замечено выше, в результате решения системы уравнений (6)-

(7) находятся константы $X_{rj} = \frac{P_{rj}}{P_{00}}, j = \overline{0, r}$. Вспоминая из принципа глобального баланса, что $\lambda p_0 = \mu p_{00}$ и подставляя X_{rj} в формулу (10), получим формулу для определения вероятности P_0 :

$$P_0 = \frac{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu + \gamma} \right) \left(\frac{\lambda}{\mu + \gamma} \right)^r}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu + \gamma} \right) \left(\frac{\lambda}{\mu + \gamma} \right)^r + \left(1 - \left(\frac{\lambda}{\mu + \gamma} \right)^{r+1} \right) \sum_{j=0}^r X_{rj}}.$$

Умея вычислять вероятность P_0 можно без труда вычислять маргинальные распределения и связанные с ними вероятностные характеристики. Вместе с вероятностью P_0 становятся известны и вероятности $\{p_{rj}\}$, что дает возможность вычислять совместное стационарное распределение рекуррентно, используя уравнения СУР.

3. Численный эксперимент

В данном разделе приводятся результаты численного эксперимента, которые демонстрируют применимость разработанного метода для оценки значений стационарных показателей производительности рассмотренной системы. Эксперимент проводился с помощью программных средств Scilab 5.4.1.

В таблице 1 и таблице 2 приводятся значения вероятности простоя системы P_0 , вероятности потери (положительной) заявки при поступлении в систему π_1 , вероятности потери (положительной) заявки при перемещении ее в бункер π_2 , среднее число заявок в накопителе M_1 , среднее число заявок в бункере M_2 , среднее время пребывания заявки в накопителе v_1 , среднее время пребывания заявки в бункере v_2 для различных значений n , когда предложенная нагрузка меньше единицы, а емкость накопителя и бункера равна $r = 26$ (таблица 1) и $r = 70$ (таблица 2).

Таблица 1. Показатели производительности системы при $r = 26$, $\lambda = 7$, $\lambda^- = 5$, $\mu = 10$

n	P_0	π_1	π_2	M_1	M_2	v_1	v_2
3	0.001188	0.000000	-0.426874	0.873960	157.334132	0.124851	-40.620061
4	0.000852	0.000000	-0.427355	0.874255	-0.370198	0.124894	-0.053369
5	-0.220350	0.000000	-0.743357	1.067806	27.167796	0.152544	3.467104
6	0.240846	0.000000	-0.084505	0.664259	4.363860	0.094894	1.839610
7	0.305076	0.000000	0.007251	0.608059	0.571877	0.086866	0.364169
8	0.299852	0.000000	-0.000211	0.612629	1.042279	0.087518	0.637415
9	0.300003	0.000000	0.000004	0.612497	1.020075	0.087500	0.624550
$\frac{r}{2}$	0.300005	0.000000	0.000007	0.612496	1.020385	0.087499	0.624747

0.300005	0.000000	0.000007	0.612496	1.020385	0.087499	0.624747
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Таблица 2. Показатели производительности системы при $r = 70$, $\lambda = 7$, $\lambda^- = 5$, $\mu = 10$

n	p_0	π_1	π_2	M_1	M_2	v_1	v_2
3	0.000000	0.000000	-0.428571	0.875000	2352588.312145	0.125000	-40.982058
4	0.000000	0.000000	-0.428571	0.875000	-1423864.724273	0.125000	-41.253602
5	0.000000	0.000000	-0.428571	0.875000	654765.497680	0.125000	-41.263460
10	0.000000	0.000000	-0.428571	0.875000	-656.417553	0.125000	-33.860188
15	0.191964	0.000000	-0.154337	0.707032	23.859852	0.101005	8.045378
20	0.299993	0.000000	-0.000011	0.612507	1.021670	0.087501	0.625477
25	0.299994	0.000000	-0.000008	0.612505	1.021108	0.087501	0.625142
$\frac{r}{2}$	0.000000	0.000000	-0.428571	0.875000	-2225.724161	0.125000	-36.924183
	0.299993	0.000000	0.000000	0.612507	1.021670	0.087501	0.625477

Как было отмечено ранее, в точном методе расчета стационарного распределения вероятностей состояний рассматриваемой системы в разложении (8) используется $\frac{r}{2}$ членов при четном значении r и $\frac{r+1}{2}$ – при нечетном значении r . Как видно из таблицы 1, при значениях n заметно

меньших $\left\lfloor \frac{r+1}{2} \right\rfloor$ значения приведенных показателей практически не отличаются от значений, полученных по точным формулам (последняя строка таблицы). Однако при увеличении емкости r , точность значений показателей сначала растет, а затем начинает быстро падать, начиная с некоторого значения n . Как

видно из таблицы 2 при $n = \frac{r}{2}$, когда предполагалось полное совпадение результатов расчетов по приближенным и точным формулам, только значение вероятности потери π_1 совпадает со своим точным значением. В связи с этим, естественным является вопрос: при каких значениях n приближенный метод пригоден для практических расчетов? В настоящий момент данный вопрос остается открытым. С уверенностью можно сказать, что n должно быть

меньше, чем $\left\lfloor \frac{r+1}{2} \right\rfloor$, иначе точный метод является более предпочтительным.

Однако как показывают расчеты, для больших значений r точность значений

начинает падать при приближении n к $\left\lfloor \frac{r+1}{2} \right\rfloor$ ¹. Поэтому выбор произвольного, но близкого к $\left\lfloor \frac{r+1}{2} \right\rfloor$ значения n может привести к неточным результатам.

В качестве еще одного примера, в таблице 3 и таблице 4 приводятся значения тех же самых показателей производительности, но для случая, когда предложенная нагрузка больше единицы, а емкость накопителя и бункера равна $r = 26$ (таблица 3) и $r = 70$ (таблица 4).

Таблица 3. Показатели производительности системы при $r = 26$, $\lambda = 12$, $\lambda^- = 5$, $\mu = 10$

n	p_0	π_1	π_2	M_1	M_2	v_1	v_2
3	-0.000096	0.000606	0.166082	3.934936	3903.698148	0.328110	-14.288452
4	0.000047	0.000606	0.166201	3.934374	-1069.135122	0.328063	-14.598858
5	0.000716	0.000605	0.166759	3.931742	143.205215	0.327844	-15.622581
6	0.000034	0.000606	0.166190	3.934427	9.289561	0.328068	3.012986
7	0.000558	0.000606	0.166627	3.932365	23.676710	0.327896	12.247301
8	0.000591	0.000606	0.166654	3.932236	22.658592	0.327885	11.335891
9	0.000593	0.000606	0.166656	3.932228	22.693848	0.327884	11.366810
$\frac{r}{2}$	0.000593	0.000606	0.166656	3.932228	22.693385	0.327884	11.366303
	0.000593	0.000606	0.166656	3.932228	22.693385	0.327884	11.366303

Таблица 4. Показатели производительности системы при $r = 70$, $\lambda = 12$, $\lambda^- = 5$, $\mu = 10$

n	p_0	π_1	π_2	M_1	M_2	v_1	v_2
3	0.000000	0.000000	0.166667	3.999991	5.709E+10	0.333333	-40.996245
4	0.000000	0.000000	0.166667	3.999991	-4.311E+10	0.333333	-41.310644
5	0.000000	0.000000	0.166667	3.999991	2.553E+10	0.333333	-41.386324
10	0.000000	0.000000	0.166667	3.999991	-1.044E+08	0.333333	-41.789411
15	-0.000002	0.000000	0.166665	3.999999	7987.995960	0.333333	-64.828352
20	0.000000	0.000000	0.166667	3.999990	69.952997	0.333332	36.561334
25	0.000000	0.000000	0.166667	3.999990	65.092835	0.333333	31.908287
$\frac{r}{2}$	0.000000	0.000000	0.166667	3.999991	-53900816.	0.333333	-41.777359
	0.000000	0.000000	0.166667	3.999990	69.952997	0.333333	36.561334

Как видно из таблиц 3-4, в значениях точности показателей производительности системы наблюдается аналогичная тенденция. Эксперименты показывают, что предложенный приближенный метод дает выигрыш по времени по сравнению с точным методом, однако открытый

¹ Это может быть также связано с накоплением ошибок округления, поскольку при расчетах складываются и вычитаются числа, отличающиеся друг от друга на несколько сотен порядков.

вопрос погрешности не позволяет пользоваться им вслепую. Интересно отметить, что, как видно уже из приведенных примеров, значения некоторых показателей либо незначительно зависят от n (см. значения π_2 , v_1 , M_1 в таблице 3), либо вовсе не зависят от n (см. значения π_1 в таблице 3 и таблице 4). В связи с этим можно высказать гипотезу, что значение ряда показателей производительности не зависят от n (но зависят от r) и для их расчета достаточно использовать приближенный метод.

Список литературы

1. Мандзо Р., Касконе Н., Разумчик Р.В. Экспоненциальная система массового обслуживания с отрицательными заявками и бункером для вытесненных заявок // Автоматика и телемеханика, 2008. № 9. С. 103–113.
2. Artalejo, J.R. (2000). G-networks: a versatile approach for work removal in queueing systems, Eur. J. Oper. Res. 126. pp. 233-249.
3. Avrachenkov, K.E., Vilchevsky, N.O., Shevljakov, G.L. (2003) Priority queueing with finite buffer size and randomized push-out mechanism. Proceedings of the ACM international conference on measurement and modeling of computer, San Diego, pp. 324-335.
4. Bavinck, H., Hooghiemstra, G., De Waard, E. (1993) An application of Gegenbauer polynomials in queueing theory. Journal of Computational and Applied Mathematics, 49, pp. 1-10.
5. Gelenbe, E. (1989). Random neural networks with negative and positive signals and product form solution, Neural Computing 1 (4) pp. 502-510.
6. Klimenok V., Dudin A. (2012) A BMAP/PH/N Queue with Negative Customers and Partial Protection of Service Special Issue: Sixth St. Petersburg Workshop on Simulation, vol. 41, issue 7, pp. 1062-1082.
7. Krishna Kumar B., Pavai Madheswari S., Anantha Lakshmi S. R. (2011) An M/G/1 Bernoulli feedback retrial queueing system with negative customers Journal of Operational Research, pp. 1-24.

8. Tien Van Do (2011) An initiative for a classified bibliography on G-networks, Performance Evaluation, vol. 68, no. 4, pp. 385-394

9. Razumchik R.V. The use of chebyshev and gegenbauer polynomials in the analysis of finite queue with negative customers and bunker for ousted customers // XXVIII International Seminar on Stability Problems for Stochastic Models and V International Workshop “Applied Problems in Theory of Probabilities and Mathematical Statistics related to modeling of information systems”. 10-16 October 2011, Svetlogorsk, Russia. Book of Abstracts. – Moscow: Institute of Informatics Problems, RAS, 2011. ISBN 978-5-91-993-003-7. – pp. 84-85.

10. Разумчик Р. Многолинейная экспоненциальная система массового обслуживания с отрицательными заявками и дополнительной очередью для вытесненных заявок // TComm– Telecommunications and Transport, 2011. №7. С. 129-133.

11. Разумчик Р. Об одном методе нахождения стационарного распределения очереди в конечной двухканальной системе с упорядоченным входом //Третья школа молодых ученых ИПИ РАН. Сборник докладов. – М.: ИПИ РАН, 2012. С. 23-30.

12. П.К.Суетин. Классические ортогональные многочлены. М.: Наука, 1979.

Сведения об авторе: ФИО: Разумчик Ростислав Валерьевич, год рождения: 1984 место работы: Институт проблем информатики РАН направления научных интересов: теория вероятностей и ее приложения, теория массового обслуживания ученая степень: к.ф.-м.н.

Виртуальный консилиум – искусственная гетерогенная система для диагностики артериальной гипертензии

С. Б. Румовская

Калининградский филиал Института проблем информатики Российской академии наук, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта

Аннотация: Рассматривается проблематика процесса диагностики как естественной гетерогенной системы в медицине. В работе приводится анализ новой картины мира био- и клинической медицины в рамках гомогенного и гетерогенного понимания процесса диагностики, базирующегося на принципах разнообразия, дополнительности, сотрудничества и относительности.

1. Введение

Системный анализ проблемной области показал, что для релевантного понимания организма человека и процесса его диагностики требуется: 1) осознать и преодолеть противоречие в картинах мира теоретической и клинической медицины; 2) в условиях существенного разнообразия перерабатываемой диагностической информации и невиданных темпов увеличения ее объемов рассматривать процесс диагностики как естественную гетерогенную систему [1] — неоднородную систему, состоящую из однородных (гомогенных) частей, разделенных поверхностью раздела, разрывами в непрерывности физических свойств; физика и химия формализовали и используют понимание и знания о гибридизации [2] в искусственных гетерогенных системах; 3) моделировать коллективные принятия решений, в том числе и медицинские консилиумы (лат. *consilium* совещание, обсуждение) — совещание врачей разных специальностей с целью выработки заключения о состоянии здоровья обследуемого, установления диагноза болезни, определения ее прогноза, тактики обследования и лечения больного [3]. Такой подход определит переход к клинической дифференциальной диагностике тысяч патологических признаков и сократит

степень риска ошибок в ситуациях Р. Ригельмана [4] при атипичных симптомах и симптомах-миражах, связываемых с патологией, но к ней не относящихся.

Настоящая работа посвящена результатам исследования проблематики процесса диагностики на модели «естественная гетерогенная система», проблемам здравоохранения и виртуальной реальности в медицине.

2. Проблемы здравоохранения в Российской Федерации

Сегодня в системе здравоохранения Российской Федерации (РФ), несмотря на некоторые достижения прошлых лет, накопились серьезные проблемы [5], которые будут препятствовать решению поставленных задач, направленных на улучшение здоровья населения, увеличение доступности и повышение качества медицинской помощи:

- недофинансирование государственной системы здравоохранения как минимум в 1,5 раза;
- дефицит и неоптимальная структура медицинских кадров. В ближайшие 5 лет в РФ прогнозируется существенный дефицит медицинских кадров, связанный с низкой оплатой их труда, с высокой долей врачей пенсионного и предпенсионного возраста (около 50%) и демографическим провалом;
- неудовлетворительная квалификация медицинских кадров и, как следствие, низкое качество медицинской помощи;
- отставание нормативов объемов медицинской помощи по Программе государственных гарантий бесплатной медицинской помощи реальным потребностям населения РФ;
- очень низкие объемы высокотехнологичной медицинской помощи, которые в течение 5 лет необходимо будет увеличить как минимум в 2–3 раза;
- неэффективное управление отраслью на всех уровнях: отсутствует стратегическое планирование и ответственность руководителей всех уровней за достижение результатов по показателям качества и безопасности медицинской помощи, эффективности деятельности;

- слабая лечебно-диагностическая база, низкая материально-техническая оснащенность, невысокий уровень развития информационных технологий сельских лечебно-профилактических учреждений.

Все эти проблемы оказывают воздействие на понимание организма человека, особенностей процесса его диагностики и его окружение. Степень этого понимания отражена в научной картине мира, содержащей знания о культуре, человеке, его месте в мире, форме систематизации знаний в области физиологии, а позже физики, химии, генетики, кибернетики и информатики. Сформировавшаяся у человека картина мира онтологизирует его представления и делает рассуждения и целесообразную деятельность «зависимыми» от них.

Ввиду этого, можно сделать заключение о том, что проблемы здравоохранения в целом проецируются на процесс формирования и становления новой картины мира в медицине.

3. Актуальность новой картины мира в медицине

Многие ученые утверждают, что наука стоит на пороге смены парадигмы управления природой и обществом, модели жизнедеятельности, что современная картина мира эволюционирует к новой, семипостулатной: 1) квантово-волновой характер мира, признание гетерогенности мира и любого объекта, разнообразия жизни; 2) неопределенность границ объектов и связь «всего со всем»; 3) относительность любой иерархии, которая должна сочетаться с горизонтальными связями; 4) дополнительность и сотрудничество; 5) полицентризм; 6) относительность знания, введение координат наблюдателя для снижения относительности и неопределенности; 7) соответствие управления сложности объекта [6].

В первом постулате отражено центральное, неотъемлемое свойство внешнего мира и процесса диагностики организма человека — гетерогенность. Опыт науки в целом и медицины в частности показывает, что если удавалось понять, сделать контрастными новые знания и использовать на практике это свойство естественных систем и (или) создавать искусственные гетерогенные

системы с полезными для человека свойствами, возникал прорыв, качественный скачок в технике, растениеводстве, животноводстве, медицине, информатике, технологиях. Именно в таких системах отображаются дополненность, сотрудничество и относительность знаний.

Разнообразие — признак, проявление гетерогенности. Результаты исследования разнообразия С. Биром, У. Р. Эшби, В. М. Глушковым составили фундамент биокибернетики, теории управления, системного анализа и информатики. Следствие закона необходимого разнообразия У. Р. Эшби констатирует, что управление обеспечивается, если разнообразие средств управляющего не меньше разнообразия управляемой им ситуации. Это достигается организацией и самоорганизацией. Для отображения в медицинской информатике ситуативного разнообразия в естественных гетерогенных системах введены модели «гетерогенная задача» и «гомогенная задача», (5.10) и (5.7) в [1] соответственно, а сам закон трактуется так: только разнообразная, скоординированная клиническая деятельность, элементы которой в комбинации решают одну задачу, делает диагноз (в частности диагноз артериальной гипертензии) качественно лучше в обществе с новой научной картиной мира.

Принцип дополненности ввел в науку Н. Бор как компромисс между квантовой механикой и моделью атома Э. Резерфорда. Эти две взаимоисключающие картины — следствие взаимодействия микрообъекта с измерительными приборами, они «дополняют» друг друга. В медицине чаще всего двигаются по пути извлечения гомогенных знаний о состоянии пациента. Так, например, сейчас известны разные подходы и соответственно разные диагностические приборы вместе со своим программным обеспечением к измерениям состояния печени человека и результаты диагностики зачастую различаются настолько, что одному и тому же пациенту может быть предсказана «вечная жизнь» и «короткая жизнь» одновременно (диагноз условный). Здесь не помогут знания расшифровки, и нужен опыт новой, интегрирующей, синергетической, междисциплинарной деятельности.

Сотрудничать или участвовать в общем деле присуще восточному, японскому менталитету: «выигрываем вместе» в экономике, технике, технологиях и медицине. В искусственном интеллекте сотрудничают методы, модели, отображающие гомогенные знания и опыт врачей-экспертов, привлекаемых в консилиум, технологии, агенты, обладающие плюсами и минусами. Дополнительность и сотрудничество проявляют «интегрированные», «гибридные», «синергетические» интеллектуальные системы и роевой интеллект. Относительность знания ассоциируется с субъективностью познания и присуща консилиумам. В данной работе разрабатывается множество моделей с субъективными мнениями экспертов. За «систему координат», смена которых и определяет относительность знаний, принимается точка зрения, профессиональные знания участника коллективного обсуждения.

Узкоспециализированный опыт, приобретаемый врачом клинической медицины, в различные исторические эпохи получал различные теоретические объяснения. Мысль о гетерогенности организма человека, а следовательно, и процесса его диагностики восходит к Галену, полагавшему, что организм — разнообразие «пневмы»: в мозге — «душевной», в сердце — «жизненной», в печени — «естественной». Парацельс рассматривал жизнь как космическое гомогенное явление с одним археусом, «жизненной силой». У. Кеннон внес в эту картину идею адаптации к внешней среде как задачи, непрерывно решаемой организмом, К. Бернар считал, что жизнь подчинена физико-химическим закономерностям. И. П. Павлов доказал, что «поведение организма» — форма саморегуляции жизни. П. Д. Горизонтов представлял организм человека как систему с гомеостазом, а В. Л. Иогансен отображал ее на микро- (генотипа) и макроуровне (фенотипа). Клеточную теорию организма основали Т. Шванн и М. Шлейден. Клетки — сложные открытые динамические системы со входами и выходами — главная и наименьшая структурная единица всего живого. С середины XX века благодаря интегрирующей роли физико-химической биологии клиническая медицина рассматривает организм человека

как совокупность биохимических процессов в клетке, дополненную микробиомом.

Таким образом, представления об организме человека и процессе его диагностики как гетерогенной системе еще не завершены в теории и не стали картиной мира клинической врачебной практики [7]. Большинство теорий медицинской науки — это островки по М. Минскому в безбрежном море знаний об организме человека, образовавшиеся, как отмечает в [8], из-за имеющегося противоречия между целостностью знаний о Вселенной и дифференциации и редуцизма в образовании от яслей до докторантуры. Врачи, глубоко владея узкопрофессиональными знаниями и навыками, по смежным направлениям часто просто не имеют времени для охвата всех пластов вопросов теории медицины.

4. Медицинский консилиум – система поддержки принятия решений.

Понятие виртуального консилиума в настоящее время достаточно размыто: начиная от программно-аппаратного комплекса для обеспечения совместных территориально распределенных совещаний специалистов до систем, консультирующих пациента или лечащего врача относительно постановки диагноза.

Цель настоящей работы — создать методы, модели и алгоритмы, реализующие в памяти компьютера виртуальное совещание (консилиум) программных моделей врачей различных специальностей с целью обработки разнородной информации (результатов клинических и функциональных исследований, осмотров врачей-специалистов) о состоянии здоровья пациента для постановки релевантного диагноза. Врач-терапевт, может получать квалифицированные и качественные консультации у виртуального консилиума для постановки диагноза. Дополненная виртуальной реальностью – «врачем-аватаром» система может использоваться и для бесед непосредственно с пациентами.

Именно в таких искусственных гетерогенных системах поддержки принятия решений (СППР) [6] результат оказывается качественно лучше, чем мнение отдельного привлеченного к обсуждению и специализирующегося в узкой области знаний эксперта [1].

На принятие коллективных решений оказывает влияние внешняя среда — сотрудники лечащего учреждения. Специфические характеристики коллективного принятия решений определяет взаимодействие участников. На рис. 1 это взаимодействие показано двумя видами связей: сплошными — отношения сотрудничества и пунктирными стрелками — информационно-управляющие отношения. Предполагается, что изучение проблемной среды целесообразно выполнять с различных точек зрения, с позиций различных наблюдателей, экспертов-врачей смежных специальностей, профессионально лучше, чем ЛПР, знающих отдельные аспекты проблематики, обладающих специальными знаниями и опытом, а также данными для выработки и принятия решения.

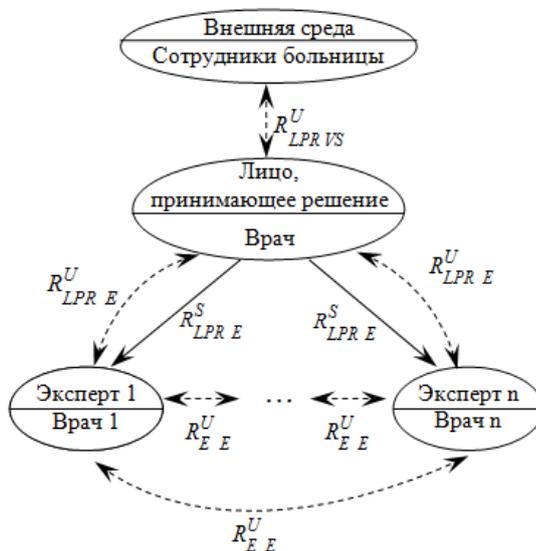


Рис. 1 Концептуальная модель медицинского консилиума как системы поддержки принятия решений. Обозначения: $R^U_{LPR VS}$ — информационно-управляющие отношения между внешней средой и лицом, принимающим решение; $R^U_{LPR E}$ — информационно-управляющие отношения между экспертами

и лицом, принимающим решения; R_{EE}^U — информационно-управляющие отношения между экспертами; $R_{LPR E}^S$ — отношения сотрудничества между лицом, принимающим решения, и экспертами

Эксперты высказывают свое личное, субъективное мнение, что помогает ЛПР в окончательном решении на различных уровнях абстрагирования. В итоге получается несколько относительно простых моделей, реализовать и исследовать которые значительно проще. При этом, чем больше моделей, тем выше качество вырабатываемых СППР решений.

Таким образом, консультации у компьютерной СППР с такой имитационной моделью снизят риск «замаскированных и недовыявленных» симптомов при диагностике различных заболеваний.

5. Виртуальная реальность в медицине

Исследователи из Института креативных наук (ICT) при Университете Южной Калифорнии разрабатывают программу виртуального терапевта, который сможет определять у людей признаки депрессии, раздражительности и посттравматических стрессовых расстройств. Технология основывается на двух системах: собственно виртуальном «терапевте-аватаре» «SimSensei», с которым люди и должны будут общаться, а также системе Multisense, которая будет определять возникшие у человека расстройства [9].

Виртуальный доктор-робот RP-7 [10] функционирует в качестве круглосуточного врача в травматологическом центре Ryder медицинского центра университета Майами-Джексона во Флориде (Ryder Trauma Center at the University of Miami/Jackson Medical Center in Florida). Подобный же робот PR-VITA разработан в компании iROBOT. В Японии ученые разработали систему «Виртуальный доктор» (Virtual medical doctor, VMD, Iwate prefectural university, Ивата, Япония), заменяющий на первой стадии обследования реального врача (пациент общается с аватаром), который учитывает не только физическое

состояние больного, но и его эмоциональное состояние в связи с чем VMD использует ментальную онтологию и физическую онтологию. Сюда же относятся и французские системы Virtual Consultation Spine, Virtual Consultation Neck и Personal health assistance service expert system для экспресс диагностики заболеваний позвоночника, шеи человека и консультирования правильному питанию и здоровому образу жизни, которые представляют собой относительно простую экспертную систему, способную работать даже на смартфоне. А Институт систем информатики города Новосибирска разработал такие системы, как: экспертная система диагностики, лечения и профилактики элементозов на основе коррекции питания и система поддержки принятия решения для диагностики, профилактики и лечения остеопороза.

Проект HEARTFAID Лаборатории информационных систем (Загреб, Хорватия) нацелен на создание инструментария для построения медицинских экспертных систем для мониторинга и лечения больных с сердечной недостаточностью.

Еще одна на онтологиях (подобно VMD) ученых Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения академии наук — это «Система интеллектуальной поддержки обследования больных для врача-уролога» (Клещев А. С., Грибова В. В., Тарасов А.В.) [11] с инструментарием для автоматической генерации пользовательских интерфейсов, у которой модель любого пользовательского интерфейса прикладной программы можно рассматривать как совокупность моделей системы понятий предметной области, выразительных средств интерфейса, прикладной программы, сценария диалога, а также соответствий между моделями системы понятий предметной области и выразительных средств, между моделями системы понятий и прикладной программы.

6. Виртуальный консилиум, результаты.

Виртуальный консилиум — это искусственная гетерогенная система, моделирующая коллективные решения, разнообразие хранимой и

перерабатываемой информации в которой релевантно разнообразию информации в диагностических ситуациях. Такие системы потенциально способны динамично синтезировать над неоднородным модельным полем новый метод выработки диагноза, в частности артериальной гипертензии (АГ), для каждого пациента индивидуально и применять его.

Виртуальный консилиум разрабатывается по проблемно-структурной (ПС) методологии [1] на моделях «гетерогенной» и «гомогенной» задачи обработки информации и управления — учение о структуре, логической организации, принципах, методах и средствах деятельности разработчика, выполняющего гибридизацию, объект-оригинал которой — сложная задача, объекты-прототипы — методы из базисных классов, объект-результат — функциональные гибридные интеллектуальные системы (ГиИС). Объекты-прототипы имеют сильные и слабые стороны. Методы (модели) должны быть так скомбинированы в объекте-результате (этап «Синтез метода решения сложной задачи»), чтобы добиться резонансного, синергетического усиления возможностей элементов ГиИС по решению сложных, неоднородных задач. ПС-методология использует две модели объектов-прототипов [1]: макроуровневую запись свойствами и микроуровневое представление метода как составного объекта, что позволяет гибко управлять гибридизацией по мере накопления разработчиком опыта решения однородных задач.

Объекты-результаты специфицированы в ПС-методологии через составные части-элементы, комбинируемые с помощью отношений интеграции [1], а также свойствами «вход», «выход», «состояние» и «гибридная стратегия».

По результатам системного анализа для решения 21 подзадачи из декомпозиции сложной задачи диагностики АГ спроектировано гетерогенное (неоднородное) модельное поле из 23 однородных моделей. Для инициализации функциональной гибридной интеллектуальной системы автоматизированной диагностики артериальной гипертензии, моделирующей гетерогенность процесса диагностики АГ, разработан алгоритм синтеза стратегии решения неоднородной задачи, моделирующий виртуальное принятие решений

медицинским консилиумом при диагностике АГ. Результат работы алгоритма синтеза метода решения сложной задачи диагностики — описание архитектуры виртуального медицинского консилиума по диагностике АГ (рис. 2) — модульная и гибкая для «сборки» гибридной интеллектуальной системы с учетом запроса пользователя. В Simulink создается библиотека системы с блоками всех автономных моделей подзадач, что дает возможность методом «Drag&Drop» создавать и алгоритмически изменять состав гибрида.

На рис. 2 модуль «Модификация структуры СППР» открывает интерфейс пользователя (ЛПР, врача-кардиолога), с помощью которого можно определить будет ли Виртуальный консилиум решать подзадачи СМАД (решается посредством ИНС), РЭКГ (решается посредством ИНС), ППС₁₋₉ (решается посредством ГА) и все ли ДАГ₁₋₉ (решается посредством НС).

Если ППС₁₋₉ выбраны для решения, то активируется блок «ППС₁₋₉», с которого передается информация на блок «Модификация подсистем диагностики» в соответствии с результатами решения технологических подзадач «Построение информативного набора признаков (симптомов) при диагностике заболеваний», который корректирует работу блоков диагностики поражений органов мишеней, факторов риска, цереброваскулярных болезней, метаболического синдрома и сахарного диабета, заболеваний периферических артерий, ишемической болезни сердца, эндокринной АГ, паренхиматозной нефропатии и реноваскулярной АГ (блоки ДАГ₁, ..., ДАГ₉ соответственно), — и открывает интерфейс пользователя, с помощью которого вводятся показатели состояния здоровья пациента (симптомы).

Таким образом, биофизика и биохимия, несмотря на появление комплексных диагностических систем, еще не нашли компромисса с гомогенными системами измерений состояния организма человека, а технические средства диагностирования, информатика и технологии, применяемые в медицине, должны осознаться и создаваться как искусственные гетерогенные системы, разнообразие в которых может уничтожить разнообразие в диагностической ситуации.

Системы виртуальной диагностики — «Виртуальные консилиумы», будут синтезировать и применять в рассуждениях интегрированную модель, что существенно повысит качество медицинских интеллектуальных систем.

В КФ ИПИ РАН завершены этапы системного анализа сложной задачи диагностики АГ и синтеза интегрированного метода решения неоднородной задачи. По результатам его работы была получена архитектура Виртуального медицинского консилиума. Продолжаются работы по модельным экспериментам и интерпретации их результатов.

Литература

1. Колесников А. В., Кириков И. А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. — М.: ИПИ РАН, 2007.
2. Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / Под ред. А. М. Яшина. — СПб.: СПбГТУ, 2001.
3. Малая медицинская энциклопедия. Т. 2. — М.: Сов. энциклопедия, 1991. С. 488.
4. Ригельман Р. Как избежать врачебных ошибок: Книга практикующего врача. — М.: Практика, 1994.
5. Улумбекова .Г.Э. . Система здравоохранения Российской Федерации: итоги, проблемы, вызовы и пути решения // Вестник Росздравнадзора, 2012. №2.С. 33-39.

6. Колесников А. В. и др. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. — М.: ИПИ РАН, 2010.
7. Мирошников Ю. И. Специфика медицинского познания и проблема целостности его предмета // Научный ежегодник Института философии и права Уральского отделения РАН, 2009. Вып. 9. С. 171-184.
8. Минский М. Вычисления и автоматы. — М.: Мир, 1971.
9. Источник: <http://ansys.spb.ru/vesti/itemccdd.html>.
10. Источник: <http://roboting.ru/medical-robots/>.
11. Грибова В.В., Клещев А.С. Использование методов искусственного интеллекта для проектирования пользовательского интерфейса// Информационные технологии, 2005. №8. С.58-62.

Сведения об авторе: С.Б. Румовская, Калининградский филиал Института проблем информатики Российской академии наук (236022, г. Калининград, ул. Гостиная, д. 5), инженер-программист 1 категории. Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта Кафедра математического моделирования и информационных систем (236041, г. Калининград, ул. А.Невского, 14) ассистент.

Направление научных интересов: гибридные интеллектуальные системы, системы поддержки принятия решений, медицинские интеллектуальные системы

Предварительная обработка при декодировании цветных штриховых кодов

И.И. Сидоркин

Рассматривается задача декодирования цветных штриховых кодов. Предлагается метод решения задачи, уменьшающий временные затраты на декодирование. Ускорение обработки машиночитаемых объектов достигается с помощью предварительного детектирования их робастных характеристик.

The problem of color decoding barcodes. A method of solving the problem, reducing the time required for decoding. Accelerating treatment achieved by the prior detection of robust performance.

Ключевые слова: цветной штриховой код, робастные характеристики, машиночитаемая зона, машиночитаемый объект.

Keywords: color bar code, robust characteristics, machine-readable zone, machine-readable object.

1 Введение

Применение различных машиночитаемых цветных объектов позволяет придать обычным отпечаткам на офисном принтере свойства печатного документа: уникальность и идентифицируемость. Информационная технология передачи данных на основе цветной печати, обеспечивающей реализацию документооборота средствами установления подлинности отпечатков электронных документов, реализована в [1-4] с помощью машиночитаемых объектов – цветных двумерных штриховых кодов СВС (Color Bar Code).

При декодировании СВС требуется сканирование их отпечатков с большим разрешением, что приводит к появлению сканов больших размеров и большим временным затратам при их обработке. Это затрудняет использование этих машиночитаемых объектов в областях, критичных к требованиям по времени. В связи с этим в рамках данной работы предлагается метод ускорения декодирования СВС.

2 Постановка задачи

СВС имеют сетчатую структуру и содержат основные и вспомогательные машиночитаемые компоненты.

При декодировании СВС сначала в скане его отпечатка определяется местоположение вспомогательных компонентов. Полученные координаты служат основой для определения местоположения основных компонентов СВС, из которых при декодировании извлекается содержимое СВС.

В качестве вспомогательных компонентов используются черные и белые прямоугольники. Их изображения устойчивы по отношению к печати и сканированию, т.е. являются робастными характеристиками рассматриваемых машиночитаемых объектов.

В [1-4] местоположение вспомогательных компонентов определяется из цветного скана СВС - RGB-изображения, каждый пиксел которого представлен тремя восьмибитовыми координатами. Метод детектирования робастных характеристик основывается на линейном переборе всех пикселей изображения методом сканирующего окна и сравнении содержимого окна с черно-белым RGB-шаблоном. Этот метод требует значительных временных затрат из-за большого количества просмотров пикселей, попадающих в окно.

Для ускорения обработки требуется использовать возможность представления черно-белых изображений массивом пикселей с двухбитовыми координатами.

3 Предварительная обработка скана СВС и детектирование робастных характеристик

Предлагается выполнить процедуру из следующих шагов:

1. сканирование отпечатка СВС и получение RGB-скана;
2. преобразование RGB-скана к бинарному виду;
3. определение местоположения вспомогательных компонентов СВС.

При создании бинарной копии RGB-скана предлагается использовать алгоритм скользящего окна и порогового значения. В качестве размера окна

принимается область размером $[3 \times 3]$ пикселей. Пороговое значение вычисляется путем анализа пикселей в данной окрестности. Если среднее значение цветов девяти пикселей будет близко к значению центрального пикселя, то на его месте в бинарном изображении выставляется черный пиксел, иначе – белый [4].

Для определения местоположения вспомогательных компонентов СВС на скане печатного документа необходимо:

- 1) построчно просмотреть имеющееся изображение:
 - 1.1) проверить каждую точку строки изображения:
 - 1.1.1) определить самую правую и самую левую точку, принадлежащую машиночитаемой зоне;
- 2) просмотреть каждый столбец имеющегося изображения:
 - 2.1) проверить каждую точку столбца изображения:
 - 2.1.1) определить самую верхнюю и самую нижнюю точку, принадлежащую машиночитаемой зоне;
- 3) кадрировать обрабатываемое изображение с использованием координат, полученных из пункта 1 и 2.

Для определения сетчатой структуры СВС выполняется ряд действий:

- 1) поиск вертикальных линий сетки;
- 2) отбрасывание лишних вертикальных линий;
- 3) поиск среднего значения ширины машиночитаемого объекта;
- 4) поиск горизонтальных линий сетки;
- 5) отбрасывание лишних горизонтальных линий;
- 6) поиск среднего значения высоты машиночитаемого объекта;
- 7) подстановка дополнительных потенциальных меток по горизонтали и вертикали.

4 Заключение

В данной статье был предложен метод ускорения декодирования СВС с помощью предварительной обработки RGB-скана СВС и детектирования её робастных характеристик из бинарного изображения.

Опыт практического применения предлагаемого метода при ограничениях [1-4] показывает, что описанный метод дает лучшие по времени результаты обработки сканов отпечатков цветных машиночитаемых объектов, по сравнению с методом, примененным в [1-4]. При экспериментах установлено, что обработка сканов выполняется примерно на 25-30% быстрее.

Литература

1. Архипов О.П., Зыкова З.П., Архипов П.О. Программа для ЭВМ «Комплекс цветного штрихового кода (СВС)». Свидетельство № 2005613093 от 28.11.2005 г.
2. Архипов О.П., Архипов П.О., Зыкова З.П., Захаров В.Н. Использование цвета для повышения информационной емкости штрих-кода// Научные технологии. -2005. -Т.6. -№ 6. - С. 76-82.
3. Архипов О.П., Архипов П.О., Зыкова З.П. Метод генерации цветных машиночитаемых зон в отпечатках офисных принтеров//Информационные технологии.-2005.-№ 11.-С. 37-44
4. Архипов О.П., Архипов П.О., Зыкова З.П., Носова Н.Ю. Применение машиночитаемых зон в современных информационных системах//Современные технологии безопасности. -2006. -№3/4. -С. 32-34.
5. Методы компьютерной обработки изображений/ под ред. Сойфера В.А. 2-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. -784 с.

Сведения об авторе: Сидоркин Иван Игоревич (р. 1990), инженер-исследователь, ОФ ИПИ РАН, аспирант, ФГБОУ ВПО «Государственный университет УНПК», voronecburgsiti@mail.ru

Sidorkin Ivan I. (b. 1990) – the Orel branch institute of informatics problems of the Russian academy of sciences (OF IPI RAN), PhD student, State University – Education-Science-Production Complex, voroneburgsiti@mail.ru

Терминология и технология криптовалюты

Степанов В. В.

сотрудник отдела Информационных технологий, структуризации и поиска данных ИПИ РАН, аспирант МГУ им. М.В.Ломоносова

Создание и распространение криптовалюты представляет собой логичное продолжение развития современной мировой финансовой системы, в которой деньги уже давно не просто средство обмена и платежа, но одна из ключевых информационных систем общества [2,3]. Актуальность этой темы подтверждает её широкое освещение в различных публицистических и научных изданиях последних лет [1,7-9]. Тем не менее, многие аспекты криптовалюты, в первую очередь терминология, часто представлены в них противоречиво либо неясно. В настоящей работе проводится попытка обобщения и систематизации накопившихся на данный момент сведений о новом феномене с целью дать его исчерпывающее и наиболее точное описание.

Определение основных терминологических понятий

Любое научное исследование требует чёткого определения ключевых терминологических понятий, однако в случае терминов-неологизмов из новых сфер знаний это может представлять значительную трудность в силу отсутствия устоявшейся терминосистемы и наличия большего количества вариантов наименования и определения одного и того же понятия, что крайне актуально в настоящий момент для активно развивающейся сферы применения информационных технологий в области финансов [1-3].

Так термины «электронные деньги» (англ. «e-money») кибер-деньги (англ. «cybermoney/cybercash»), цифровая/виртуальная валюта (англ. «digital/virtual currency») зачастую дублируют и взаимозаменяют друг друга, а ключевой для настоящей работы термин «криптовалюта» (англ. «crypto-currency») может по-разному определяться даже в рамках одного специализированного издания как альтернативная виртуальная валюта «alternative digital currency» и виртуальная валютная система (англ. «virtual monetary system») [2-4,7].

Вообще, данный термин появился в связи с конкретным событием – запуском платежной системы (англ. «payment network») «Bitcoin» в рамках которой и появилась самая первая криптовалюта с тем же названием [1,8]. Показательно, что даже на официальном сайте организации, стоящей у истоков данного феномена даётся три определения «Bitcoin»: цифровая P2P валюта с открытым исходным кодом; инновационная платежная система и новый вид денежных средств; пиринговая версия электронных денег [5]. В любом случае, именно «Bitcoin» своим появлением задал параметры всем последующим криптовалютам, существующим сегодня, поэтому далее в статье понятие «криптовалюта» будет рассматриваться на его примере.

В целом, «*Bitcoin*» именно в значении криптовалюты (англ. «bit» – единица информации, бит, англ. «coin» – монета) можно определить как виртуальную децентрализованную ничем не обеспеченную валюту, не регулируемую правительством или другими государственными органами каких-либо стран, основывающуюся на организации одноранговой сети (p2p) и криптографии для поддержания своей целостности [1]. К другим ключевым терминам для данной сферы относят:

- **Майнинг** (англ. «mining» – разработка месторождений): процесс добычи биткоинов «майнерами» (англ. «miner» – шахтеры). С технической точки зрения майнинг – это расчет хэша заголовка блока, который включает в себя, среди прочего, ссылку на предыдущий блок, хэш набора переводов и случайное число. Если значение хэша оказывается меньше, чем текущая цель (которая обратно пропорциональна сложности), новый блок формируется и miner получает 25 только что созданных биткоинов. Если хэш больше, чем текущая цель, изменяется случайное число и рассчитывается новый хэш. Это делается миллионы раз в секунду каждым майнером [4-6].

- **Форк** (англ. «fork» – развилка, ответвление): использование кодовой базы программного проекта в качестве старта для создания новой системы. При этом каждая из веток может развиваться независимо от другой, в одной ветке могут

быть реализованы возможности, отсутствующие в другой, в таком случае обе ветки могут потерять совместимость между собой. Поскольку исходный код Bitcoin является открытым, то появляются форки, каждый из которых чем-то отличается и призван решить проблемы родительской криптовалюты [4].

- ***Proof-of-Work (POW)*** – система, основанная на том, что любая операция требует некоторого количества вычислений. Это основной принцип сети Bitcoin и большинства аналогичных криптовалют [4-6].

- ***Proof-of-Stake (POS)*** – система, в которой блоки генерируются монетами. Определяется количеством монет у пользователя, умноженных на их «возраст» или время, которое они лежат нетронутыми. Основное преимущество такого подхода – отсутствие необходимости в затратах энергии для поддержания валюты. Атака 51% потребует не только покупки монет, но также их долгосрочного хранения. Некоторые (PPC, NVC) из существующих форков имеют гибридную систему генерации. На первых этапах используется POW, который со временем должен быть заменен на POS [4].

Обзор главных характеристик криптовалюты [4-9]

На примере Bitcoin можно выявить основные характеристики криптовалюты, которые принципиально отличают её от других электронных валют, существующих сегодня:

1. ***Децентрализованность.*** Отсутствие единого центра выпускающего и контролирующего криптовалюту, делает невозможным влияние на её курс, количество монет в сети, блокировку счёта или транзакции и т.д. Сеть построена по принципу p2p из равноправных узлов-участников. Курс криптовалюты определяется исключительно на основе спроса-предложения и не зависит от её создателей.

2. ***Ограничение количества средств.*** Эмиссия криптовалюты изначально ограничена и запрограммирована при создании, её ход известен всем участникам рынка. Так в случае с Bitcoin общее количество денежных единиц в сети не превысит 21 000 000 BTC. Объём валютной массы увеличивается в виде

суммы убывающей геометрической прогрессии и приближается к максимальному значению асимптотически. Новые единицы появляются в системе пачками по 25 монет в каждой примерно каждые 10 минут, и их количество будет снижаться вдвое каждые 4 года. Первое снижение с 50 до 25 BTC уже произошло 28 ноября 2012 года.

3. Анонимность. Платежи в системе осуществляются напрямую между пользователями, без участия и контроля финансовых организаций, что делает отмену платежа невозможной. При совершении платежа или перевода информация распространяется плательщиком по всей сети и при соответствии правилам принимается всеми остальными участниками сети. В противном случае платежи отвергаются. Адреса не содержат никакой информации о владельце и по умолчанию являются анонимными. В текстовой форме адреса представляют собой строки длиной около 34 символов, состоящие из букв латинского алфавита и цифр. Пользователь может иметь множество адресов, создавая их по собственной инициативе. Создание нового адреса представляет собой создание новой пары ключей и не требует соединения с сетью. Создание адреса для каждой отдельной транзакции или одного корреспондента также помогает сохранить анонимность.

Технологические проблемы криптовалюты

Несмотря на довольно тщательно проработанную исходную концепцию, существующая технологическая модель криптовалюты обладает рядом особенностей, приводящих к потенциальным проблемам у её пользователей, а именно:

1. Раскрытие анонимности. Все транзакции с криптовалютой проводятся на открытых площадках, но дают некоторую степень анонимности, поскольку счета участников никак не привязаны к их личным данным. Однако, в случае размещения номера счёта в интернете в привязке с другими данными (профиль в социальной сети, на форуме и т.д.), становится возможным

распознать владельца счёта. Кроме того, при увеличении числа распознанных владельцев аккаунтов, с помощью статистических методов теоретически возможно снятие анонимности со всех участников системы [1].

2. Потеря и кража данных. Криптовалюта, как и наличные деньги может быть потеряна или украдена. Поскольку все сведения хранятся на компьютере пользователя, они подвержены тем же опасностям, что и другие файлы. При этом, в случае утраты или кражи они не подлежат восстановлению и возврату. Кража обычно осуществляется с помощью вирусов, передающих данные о «кошельке» пользователя посторонним лицам, или даже использующих мощности зараженных компьютеров для майнинга [1,4,9].

3. Отказ в обслуживании. Поскольку система децентрализована и её нельзя целенаправленно отключить или вывести из строя, она, тем не менее, подвержена определённым видам сетевых атак. Лица, контролирующие большинство вычислительных мощностей в майнинговой сети фактически могут препятствовать обработке проводимых транзакций [1]. В свою очередь объём файлов криптовалюты, которые должны храниться в памяти компьютера уже превысил 11 Гб и продолжает неуклонно расти [7].

Краткий обзор криптовалют и их производных аналогов (форков) [4]:

- **Bitcoin (BTC)** – первая и наиболее популярная криптовалюта, созданная в 2009 году. Название «bitcoin» применяется к программному обеспечению (кошельку), сети и монете, которая имеет ход в этой сети, ПО кошелька распространяется с открытым исходным кодом, в свою очередь, сеть bitcoin является одноранговой p2p сетью, образованной ПО кошелька.

- **Litecoin (LTC)** – вторая по популярности криптовалюта. Блоки генерируются каждые 2.5 минуты, всего 84 миллиона монет. Сложность меняется каждые 2016 блоков (~ 3.5 дня), награда за блок 50 LTC падает вдвое каждые 840000 блоков. Алгоритм хэширования «scrypt». Основное отличие при таком алгоритме состоит в том, что LTC легче получить на CPU.

- ***Namescoin (NMC)*** – создана для обслуживания криптографически защищённой доменной зоны .bit. Эта криптовалюта основана на концепции Bitcoin и может рассчитываться совместно с ней. Сами монеты предназначены для регистрации доменов в зоне .bit. Благодаря криптографической подсистеме Bitcoin такие домены защищены от изменения кем-либо, кроме их владельцев, а поднять DNS-сервер на своём ПК может каждый участник системы Namescoin.

- ***PPcoin (PPC)*** – в данной валюте впервые появился гибридный дизайн POW & POS. Транзакция требует 520 подтверждений, однако в кошельке появляется моментально. Более устойчив к атаке 51%.

- ***Novacoin (NVC)*** – использует функцию Scrypt в качестве алгоритма хэширования. Предельная скорость эмиссии уменьшена в 100 раз, а скорость падения награды при росте сложности описывается более гладкой кривой. Как и в родительском проекте, сложность пересчитывается с каждым новым блоком сети, максимальное увеличение сложности за один пересчет составляет 1%. Целевая скорость генерации блоков сети составляет 6 блоков в час. Целью создания NVC было повторить достоинства PPCoin, не преумножая при этом его недостатков, таких как чрезмерно высокие объёмы эмиссии.

- ***Terracoin (TRC)*** – блоки генерируются каждые 2 минуты, всего 42 миллиона монет. Сложность пересчитывается каждые 30 блоков. Вознаграждение за блок установлено в размере 20 TRC. Падение награды вдвое происходит каждые 1050000 блоков (каждые 1458 дней или 4 года).

- ***Feathercoin (FTC)*** – форк Litecoin, использующий scrypt и POW схему. Блоки генерируются каждые 2.5 минуты. Всего рассчитано примерно 336 миллиона монет. Сложность пересчитывается каждые 504 блока, награда за блок 200 FTC, падает вдвое каждые 840000 блоков.

- ***Chinacoin (CNC)*** – форк Litecoin, использующий scrypt и POW схему. Блоки генерируются каждую минуту. Всего 2628000 блоков или примерно 462.5 миллиона монет. Сложность пересчитывается каждые 5040 блоков. Вознаграждение за блок установлено в 88 CNC.

- *Rucoin (RUC)* – криптовалюта с генерацией монет как scrypt, так и sha256d. Самая низкая сложность на момент написания статьи на scrypt алгоритме. Защита сети от атаки 51% реализована путем подписи при майнинге сгенерированных блоков именами ячеек. В случае атаки сеть переходит в защищенный режим и принимает блоки только от доверенных узлов. Другие отличия включают использование красивых имен кошельков и возможность снабжать обычные транзакции монет комментариями.

Сводные таблицы криптовалют [4]:

Таблица 1: Ключевые характеристики криптовалют, использующих Scrypt хеширование

Coins	Награда	Время пересчета сложности	Ожидаемое время генерации	Падение награды	Максимальное число
LTC	50	2016 блоков	2.5 min	840000	84кк
NVC	-	10 min	10 min	-	2ккк
FTC	200	504 блока	2.5 min	840000	336кк
CNC	88	5040 блоков	1 min	2628к	462.5кк

Таблица 2: Ключевые характеристики криптовалют, использующих SHA256 хеширование

Coins	Награда	Время пересчета сложности	Ожидаемое время генерации	Падение награды	Максимальное число
NMC	50	2016 блоков	10 min	210000	21кк
PPC	-	10 min	10 min	-	2ккк
TRC	20	30 блокjd	2 min	1050000	42кк
RUC	50	5040 блоков	1 min	210000	21кк

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Grinberg, R.** Bitcoin: An Innovative Alternative Digital Currency; 4 Hastings Sci. & Tech. L.J. 159, 2012
2. **Guttmann, R.** Cybercash: the coming era of electronic money; Macmillan, New York: Palgrave, 2003
3. **Lietaer, B. A.** The Future of Money: Creating New Wealth, Work and a Wiser World. London: Random House, 2001

Электронные ресурсы:

4. <http://btcsec.com> – информационный ресурс о сети «Bitcoin»
5. <http://bitcoin.org> – официальный сайт криптовалюты Bitcoin
6. <https://bitcointalk.org> – официальный форум криптовалюты Bitcoin
7. <http://www.economist.com> – официальный сайт журнала «The Economist»
8. <http://www.technologyreview.com> – официальный сайт журнала «MIT Technology Review» и научно-популярный портал Массачусетского технологического института (MIT)
9. <http://www.wired.com> – официальный сайт журнала «Wired»

Сведения об авторе: Степанов Владимир Владимирович, 1990 г.р. **Место учебы/работы:** Институт проблем информатики Российской академии наук (ИПИ РАН), Отдел информационных технологий структуризации и поиска данных (Отдел 16); Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (аспирант 3-его года обучения); **научные интересы:** контрастивная (дифференциальная) лингвистика, семиотика, дискурсивные исследования, квантификация данных

Анализ флаттера проводов воздушных линий электропередачи с использованием пакета символьных вычислений Maple

Сухов Е. А.

*Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
факультет прикладной математики и физики*

Задача обеспечения надёжной и бесперебойной работы электрических сетей подразумевает изучение флаттера проводов воздушных линий электропередачи и выработку эффективных методов борьбы с данным видом автоколебаний проводов. В настоящей статье приводится решение нелинейных уравнений флаттера и анализ устойчивости автоколебаний по первому приближению с использованием пакета символьных вычислений Maple.

Введение

Флаттер проводов ЛЭП (*галлопирование*) — автоколебания, возникающие и происходящие при обтекании потоком воздуха провода с асимметричным слоем гололёдно-изморозевых отложений. Галлопирование ЛЭП характеризуется большой амплитудой (до 14 метров) [1] и низкой частотой (от 0.08 до 3 Гц) [2].

Галлопирование проводов ЛЭП — источник значительных убытков для эксплуатирующих электрические сети организаций, так как является причиной серьёзных механических повреждений изоляторов, арматуры и поддерживающих конструкций ЛЭП. Повреждения, приводящие к длительному нарушению работы ЛЭП, развиваются в течение от 1 до 48 часов непрерывного галлопирования [2]. Кроме того, в результате галлопирования проводов происходят межфазные короткие замыкания, приводящие к пережогу повивов проводов и кратковременным отключениям.

В настоящий момент существуют несколько способов борьбы с галлопированием и его последствиями [2, 3]. Одним из экономичных и эффективных решений проблемы галлопирования является установка массо-

динамических гасителей (МДГ) [2, 3]. МДГ маятникового типа позволяют сократить амплитуду галлопирования на 20 — 30% [3], а МДГ маятникового типа с трением — на 80 — 90% [2].

Таким образом, приходим к следующей постановке задачи. Возникновение галлопирования проводов ЛЭП зависит от параметров окружающей среды (розы ветров, статистики осадков и форм гололёдно-изморозевых отложений) и механических характеристик ЛЭП. Для синтеза оптимальных с точки зрения виброустойчивости проектных параметров ЛЭП и синтеза параметров МДГ необходимо получить соотношения, описывающие процесс возникновения и протекания галлопирования проводов с учётом параметров окружающей среды и механических характеристик проектируемой ЛЭП.

1. Анализ автоколебаний ЛЭП

В общем случае провод имеет четыре механические степени свободы: три пространственные координаты и одну угловую — кручение вокруг нейтральной оси провода [2]. Для изучения автоколебаний на собственной частоте $\omega \approx \omega_y \approx \omega_\theta$ допустимо пренебречь продольными и поперечными

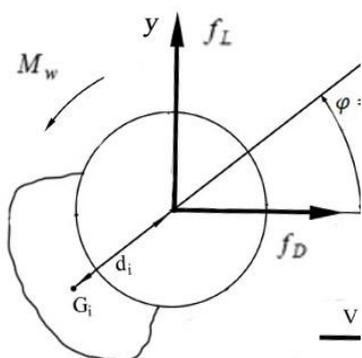


Рис. 1. Сечение провода при галлопировании.

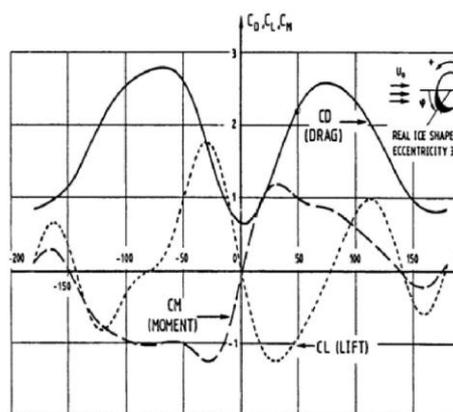


Рис. 2. Кривые аэродинамических

горизонтальными перемещениями провода, учитывая лишь вертикальное и крутильное перемещение (рис. 1) [2].

y — вертикальная координата,

θ — угловая координата,

V – скорость ветра,

θ_0 – угол образования гололёда,

G_i – центр тяжести гололёда,

d_i – расстояние между центрами тяжести гололёда и провода,

$\varphi = \theta + \theta_0$ – угол атаки,

$f_D = k_D V^2 C_D(\varphi)$ – сила лобового сопротивления,

$f_L = k_D V^2 C_L(\varphi)$ – подъёмная сила,

$M_w = k_M V^2 C_M(\varphi)$ – аэродинамический момент,

$$k_D = \frac{1}{2} \rho_{air} d, \quad k_M = \frac{1}{2} \rho_{air} d^2,$$

ρ_{air} – плотность воздуха,

d – диаметр провода,

$C_L(\varphi)$, $C_M(\varphi)$ и $C_D(\varphi)$ – аэродинамические коэффициенты, зависящие от угла атаки φ . $C_{L\alpha}(\varphi)$ – коэффициент подъёмной силы, $C_M(\varphi)$ – коэффициент аэродинамического момента M_w , $C_D(\varphi)$ – коэффициент лобового сопротивления.

При анализе галлопирования вместо $C_L(\varphi)$ применяется коэффициент производной подъёмной силы по углу атаки $C_{L\alpha}(\varphi) = \partial C_L / \partial \varphi$ [2]. Значения аэродинамических коэффициентов получают экспериментально при продувке в аэродинамической трубе макетов проводов с гололёдно-изморозевыми отложениями [2, 3] (рис. 2).

Запишем с учётом введенных обозначений нелинейные дифференциальные уравнения автоколебаний [2]:

$$\ddot{y} + \omega^2 y = \varepsilon F_y(\dot{y}, \theta, \ddot{\theta}),$$

$$\ddot{\theta} + \omega^2 \theta = \varepsilon F_\theta(y, \dot{y}, \theta), \quad (1)$$

где:

$$F_y(\dot{y}, \theta, \ddot{\theta}) = - \left[\frac{k_D V}{m} (C_D - C_{L\alpha}(\varphi)) + 2\xi_y \omega \right] \dot{y} - \frac{m_i d_i \cos \theta_0}{m} \ddot{\theta} + \frac{k_D V^2}{m} C_{L\alpha}(\varphi) \theta,$$

$$F_\theta(y, \ddot{y}, \theta) = \left[\frac{k_M V^2}{I \omega^2} C_M(\varphi) - \frac{m_i g d_i}{I \omega^2} \right] \theta + \frac{m_i d_i \cos \theta_0}{I} \ddot{y} + \frac{k_M V}{I} C_M(\varphi) y,$$

m и m_i — погонная масса провода и гололёда,

ξ_y и ξ_θ — коэффициенты собственного демпфирования провода,

C_D — коэффициент лобового сопротивления,

I — момент инерции провода с гололёдом относительно нейтральной оси провода.

Уравнения (1) описывают автоколебательный процесс галлопирования, обратная связь в котором осуществляется за счёт нелинейной зависимости между подъёмной силой и углом атаки провода с гололёдным наслоением. Приток энергии в систему происходит за счёт обтекания провода с гололёдом потоком воздуха.

Аэродинамические коэффициенты $C_{L\alpha}(\varphi)$ и $C_M(\varphi)$ представим в виде разложения в ряд Фурье относительно угла атаки φ :

$$C_{L\alpha} = C_{L0} + C_{L1} \cos \varphi + C_{L2} \sin \varphi,$$

$$C_M = C_{M0} + C_{M1} \cos \varphi + C_{M2} \sin \varphi,$$

где $C_{L0}, C_{L1}, C_{L2}, C_{M0}, C_{M1}, C_{M2}$ — тарировочные коэффициенты.

При изучении установления галлопирования на частоте $\omega \approx \omega_y \approx \omega_\theta$ угол атаки φ принимается равным сумме угла θ и угла образования гололёда θ_0 [2]. С учётом этого соотношения для аэродинамических коэффициентов запишем в виде:

$$C_{L\alpha} = C_{L0} + C_{L1} \cos(\theta + \theta_0) + C_{L2} \sin(\theta + \theta_0),$$

$$C_M = C_{M0} + C_{M1} \cos(\theta + \theta_0) + C_{M2} \sin(\theta + \theta_0). \quad (2)$$

Подставим (2) в (1). Применяя к уравнениям (1) метод осреднения [4],

придём к следующим результатам:

$$\begin{aligned} y &= a_y \cos \Phi_y, & \dot{y} &= -a_y \omega \sin \Phi_y, & \ddot{y} &= -a_y \omega^2 \cos \Phi_y, \\ \theta &= a_\theta \cos \Phi_\theta, & \dot{\theta} &= -a_\theta \omega \sin \Phi_\theta, & \ddot{\theta} &= -a_\theta \omega^2 \cos \Phi_\theta, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Phi_y = \omega t + \psi_y, \quad \Phi_\theta = \omega t + \psi_\theta,$$

$$\dot{a}_y = A^y(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta),$$

$$\dot{a}_\theta = A^\theta(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta), \quad (4)$$

$$\dot{\psi}_y = \Psi^y(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta),$$

$$\dot{\psi}_\theta = \Psi^\theta(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta).$$

В (3, 4) a_y, a_θ — медленно меняющиеся амплитуды, а ψ_y, ψ_θ — быстро меняющиеся фазы.

При соответствующих начальных условиях $a_y = a_{y0}, a_\theta = a_{\theta0}, \psi_y = \psi_{y0}, \psi_\theta = \psi_{\theta0}$ правые части уравнений (4), осреднённые по периоду $\frac{2\pi}{\omega}$, имеют вид:

$$\begin{aligned} A^y(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta) &= \left[-\frac{1}{2} \frac{k_D V}{m} (C_D - C_{L0} - J_0(a_\theta) C_{L2} \cos \theta_0 - J_0(a_\theta) C_{L1} \sin \theta_0) - \omega \xi_y \right] a_y + \\ &+ \left[\frac{1}{2} \frac{\omega m_i d_i \sin \theta_0}{m} \sin(\psi_\theta - \psi_y) \right] a_\theta, \\ A^\theta(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta) &= \left[\frac{1}{2} \frac{k_M V}{I} (C_{M0} + J_0(a_\theta) C_{M1} \sin \theta_0 + J_0(a_\theta) C_{M2} \cos \theta_0) \cos(\psi_\theta - \psi_y) \right] a_y + \\ &+ [-\omega \xi_\theta] a_\theta, \\ \Psi^y(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta) &= \left[\frac{1}{2} \frac{k_D V^2}{\omega m} (C_D + C_{L0} + J_0(a_\theta) C_{L1} \sin \theta_0 + J_0(a_\theta) C_{L2} \cos \theta_0) \right] a_y + \\ &+ \left[-\frac{1}{2} \frac{\omega m_i d_i \sin \theta_0}{m} \cos(\psi_\theta - \psi_y) \right] a_\theta, \\ \Psi^\theta(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta) &= \left[\frac{1}{2} \frac{k_M V}{I} (C_{M0} + J_0(a_\theta) C_{M1} \sin \theta_0 + J_0(a_\theta) C_{M2} \cos \theta_0) \sin(\psi_\theta - \psi_y) \right] a_y + \\ &+ \left[\frac{1}{2} \frac{d_i m_i}{I} \left(\frac{g}{\omega^3} \sin \theta_0 + \cos \theta_0 \right) - \frac{1}{2} \frac{k_D V^2}{I \omega^3} (C_D + C_{M0} + J_0(a_\theta) C_{M1} \sin \theta_0 + J_0(a_\theta) C_{M2} \cos \theta_0) \right] a_\theta, \end{aligned} \quad (5)$$

где $J_0(a_\theta)$ — функция Бесселя [7],

$$J_0(a_\theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k! \Gamma(k+1)} \frac{a_\theta^{2k}}{2}.$$

Приравнявая (5) к нулю, получим соотношения для определения стационарных значений a_y^* , a_θ^* , ψ_y^* , ψ_θ^* :

$$A^y(a_y^*, a_\theta^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*) = 0,$$

$$A^\theta(a_y^*, a_\theta^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*) = 0,$$

$$\Psi^y(a_y^*, a_\theta^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*) = 0,$$

$$\Psi^\theta(a_y^*, a_\theta^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*) = 0.$$

Линеаризуя уравнения (4) относительно стационарных амплитуд, получим уравнения для отклонений δa_y , δa_θ :

$$\delta \dot{a}_y = \alpha_1^y \delta a_y + \alpha_1^\theta(\psi_y^*, \psi_\theta^*) \delta a_\theta,$$

$$\delta \dot{a}_\theta = \alpha_2^y(\psi_y^*, \psi_\theta^*) \delta a_y + \alpha_2^\theta \delta a_\theta. \quad (6)$$

где:

$$\alpha_1^y = - \left[\frac{1}{2} \frac{k_D V}{m} (C_D - C_{L0} - J_0(a_\theta) C_{L2} \cos \theta_0 - J_0(a_\theta) C_{L1} \sin \theta_0) \right] - \omega \xi_y,$$

$$\alpha_1^\theta(\psi_y^*, \psi_\theta^*) = \frac{1}{2} \frac{\omega m_i d_i \sin \theta_0}{m} \sin(\psi_\theta^* - \psi_y^*), \quad (7)$$

$$\alpha_2^y(\psi_y^*, \psi_\theta^*) = \frac{1}{2} \frac{k_M V}{I} (C_{M0} + J_0(a_\theta) C_{M1} \sin \theta_0 + J_0(a_\theta) C_{M2} \cos \theta_0) \cos(\psi_\theta^* - \psi_y^*),$$

$$\alpha_2^\theta = -\omega \xi_\theta.$$

Характеристический многочлен системы (6) имеет вид $\lambda^2 + \lambda(-\alpha_1^y - \alpha_2^\theta) + (\alpha_1^y \alpha_2^\theta - \alpha_1^\theta \alpha_2^y) = 0$, условие Гурвица для данного

характеристического многочлена имеет вид [6]:

$$-(\alpha_1^y - \alpha_2^\theta) > 0,$$

$$\alpha_1^y \alpha_2^\theta - \alpha_1^\theta \alpha_2^y > 0.$$

Таким образом, приходим к условию асимптотической устойчивости:

$$\frac{k_D V}{m} (C_D - C_L) > 2\omega(\xi_y + \xi_\theta), \quad (8)$$

$$\frac{k_D V}{m} (C_D - C_L) + 2\omega^2 \xi_y \xi_\theta + \frac{1}{2} \frac{k_M V^4}{I} \frac{k_D}{\omega^5 m} C_L C_M - \frac{1}{2} \frac{k_D V^2}{I} \frac{d_i m_i}{\omega^2 m} C_L \left(\frac{g}{\omega^3} \sin \theta_0 + \cos \theta_0 \right) > 0,$$

где:

$$C_L = C_{L0} + \frac{1}{2} C_{L1} \sin \theta_0 + \frac{1}{2} C_{L2} \cos \theta_0,$$

$$C_M = C_{M0} + \frac{1}{2} C_{M1} \sin \theta_0 + \frac{1}{2} C_{M2} \cos \theta_0.$$

В условие (8) входят параметры, определяющие влияние ветра, структурные и аэродинамические характеристики провода с гололёдно-изморозевыми отложениями, угол образования гололёда. Условие (8), записанное в виде:

$$\frac{k_D V}{m} (C_D - C_L) \leq 2\omega(\xi_y + \xi_\theta), \quad (9)$$

является уточнением критерия неустойчивости, полученного Ден Гартогом в виде $C_D - C_L \leq 0$ [2].

2. Анализ автоколебаний ЛЭП с МДГ

Учитывая, что из-за конструктивных ограничений, связанных с устройством ЛЭП, МДГ не гасит автоколебания по вертикальной координате y [1], и следуя [5], рассмотрим галлопирование провода ЛЭП с МДГ. Провод имеет две механические степени свободы — вертикальную координату y и

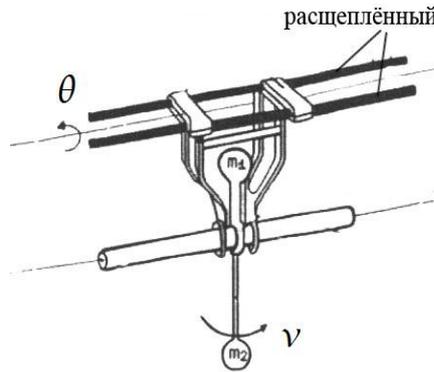


Рис. 3. МДГ, закреплённый на расщеплённом проводе.

угловую координату θ (рис. 1). МДГ имеет одну степень свободы — угловую координату ν (рис. 3).

Автоколебания провода без МДГ описываются системой дифференциальных уравнений (1). Предположим, что $\omega \approx \omega_y \approx \omega_\theta \approx \omega_\nu$. Следуя [5], запишем систему дифференциальных уравнений автоколебаний с МДГ:

$$\begin{aligned} \ddot{y} + \omega^2 y &= \varepsilon F_y(\dot{y}, \theta, \ddot{\theta}), \\ \ddot{\theta} + \omega^2 \theta &= \varepsilon F_\theta(y, \ddot{y}, \theta, \dot{\theta}, \nu, \dot{\nu}), \\ \ddot{\nu} + \omega^2 \nu &= \varepsilon F_\nu(\theta, \dot{\theta}, \nu, \dot{\nu}), \end{aligned} \quad (10)$$

где:

$$\begin{aligned} F_y(\dot{y}, \theta, \ddot{\theta}) &= -\left[\frac{k_D V}{m} (C_D - C_{L\alpha}(\varphi)) + 2\xi_y \omega \right] \dot{y} - \frac{m_i d_i \cos \theta_0}{m} \ddot{\theta} + \frac{k_D V^2}{m} C_{L\alpha}(\varphi) \theta, \\ F_\theta(y, \ddot{y}, \theta, \dot{\theta}, \nu, \dot{\nu}) &= \left[\frac{k_M V^2}{I \omega^2} C_M(\varphi) - \frac{m_i g d_i}{I \omega^2} \right] \theta + \frac{m_i d_i \cos \theta_0}{I} \ddot{y} + \\ &+ \frac{k_M V}{I} C_M(\varphi) y - \frac{b_z}{I} (\dot{\theta} - \dot{\nu}) - \frac{c_z}{I} (\theta - \nu), \end{aligned}$$

$$F_v(\theta, \dot{\theta}, \nu, \dot{\nu}) = -\frac{b_z}{I_z}(\dot{\nu} - \dot{\theta}) - \frac{c_z}{I_z}(\nu - \theta),$$

ν — угловая координата МДГ,

m_z — масса грузов МДГ,

l_z — длина маятника МДГ,

I_z — момент инерции МДГ,

b_z — коэффициент диссипации демпфера,

c_z — изгибная жёсткость демпфера.

Применяя к (10) метод осреднения [4], придём к следующим результатам:

$$\begin{aligned} y &= a_y \cos \Phi_y, & \dot{y} &= -a_y \omega \sin \Phi_y, & \ddot{y} &= -a_y \omega^2 \cos \Phi_y, \\ \theta &= a_\theta \cos \Phi_\theta, & \dot{\theta} &= -a_\theta \omega \sin \Phi_\theta, & \ddot{\theta} &= -a_\theta \omega^2 \cos \Phi_\theta, \\ \nu &= a_\nu \cos \Phi_\nu, & \dot{\nu} &= -a_\nu \omega \sin \Phi_\nu, & \ddot{\nu} &= -a_\nu \omega^2 \sin \Phi_\nu, \\ \Phi_y &= \omega t + \psi_y, & \Phi_\theta &= \omega t + \psi_\theta, & \Phi_\nu &= \omega t + \psi_\nu, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \dot{a}_y &= A^y(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta), \\ \dot{a}_\theta &= A^\theta(a_y, a_\theta, a_\nu, \psi_y, \psi_\theta, \psi_\nu), \\ \dot{a}_\nu &= A^\nu(a_\theta, a_\nu, \psi_\theta, \psi_\nu), \\ \dot{\psi}_y &= \Psi^y(a_y, a_\theta, \psi_y, \psi_\theta), \\ \dot{\psi}_\theta &= \Psi^\theta(a_y, a_\theta, a_\nu, \psi_y, \psi_\theta, \psi_\nu), \\ \dot{\psi}_\nu &= \Psi^\nu(a_\theta, a_\nu, \psi_\theta, \psi_\nu). \end{aligned} \quad (12)$$

Уравнения (12) вместе с соответствующими начальными условиями $a_y = a_{y0}$, $a_\theta = a_{\theta0}$, $a_\nu = a_{\nu0}$, $\psi_y = \psi_{y0}$, $\psi_\theta = \psi_{\theta0}$, $\psi_\nu = \psi_{\nu0}$ позволяют изучать как стационарные автоколебания, так и режимы их установления.

3. Устойчивость автоколебаний и синтез параметров МДГ

Приравнивая правые части уравнений (12) к нулю, получим соотношения для определения стационарных значений a_y^* , a_θ^* , a_v^* , ψ_y^* , ψ_θ^* , ψ_v^* :

$$A^y(a_y^*, a_\theta^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*) = 0,$$

$$A^\theta(a_y^*, a_\theta^*, a_v^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*, \psi_v^*) = 0,$$

$$A^v(a_\theta^*, a_v^*, \psi_\theta^*, \psi_v^*) = 0,$$

$$\Psi^y(a_y^*, a_\theta^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*) = 0,$$

$$\Psi^\theta(a_y^*, a_\theta^*, a_v^*, \psi_y^*, \psi_\theta^*, \psi_v^*) = 0,$$

$$\Psi^v(a_\theta^*, a_v^*, \psi_\theta^*, \psi_v^*) = 0.$$

Изучим устойчивость стационарных колебаний. Линеаризуя уравнения (12) относительно стационарных амплитуд, получим уравнения для отклонений δa_y , δa_θ , δa_v :

$$\delta \ddot{a}_y = \alpha_1^y \delta a_y + \alpha_1^\theta(\psi_y^*, \psi_\theta^*) \delta a_\theta,$$

$$\delta \ddot{a}_\theta = \alpha_2^y(\psi_y^*, \psi_\theta^*) \delta a_y + \alpha_2^\theta \delta a_\theta + \alpha_2^v(\psi_\theta^*, \psi_v^*) \delta a_v, \quad (13)$$

$$\delta \ddot{a}_v = \alpha_2^\theta(\psi_\theta^*, \psi_v^*) \delta a_\theta + \alpha_2^v \delta a_v,$$

где:

$$\alpha_1^y = - \left[\frac{1}{2} \frac{k_D V}{m} (C_D - C_{L0} - J_0(a_\theta) C_{L2} \cos \theta_0 - J_0(a_\theta) C_{L1} \sin \theta_0) \right] - \omega_{\xi_y}^2,$$

$$\alpha_1^\theta(\psi_y^*, \psi_\theta^*) = \frac{1}{2} \frac{\omega m_i d_i \sin \theta_0}{m} \sin(\psi_\theta^* - \psi_y^*),$$

$$\alpha_2^y(\psi_y^*, \psi_\theta^*) = \frac{1}{2} \frac{k_M V}{I} (C_{M0} + J_0(a_\theta) C_{M1} \sin \theta_0 + J_0(a_\theta) C_{M2} \cos \theta_0) \cos(\psi_\theta^* - \psi_y^*),$$

$$\alpha_2^\theta = -\omega_{\xi_\theta}^2 - \frac{1}{2} \frac{b_2}{I}, \quad (14)$$

$$\alpha_2^v(\psi_\theta^*, \psi_v^*) = \frac{1}{2} \frac{b_2}{I} \cos(\psi_v^* - \psi_\theta^*),$$

$$\alpha_3^\theta(\psi_\theta^*, \psi_v^*) = \frac{1}{2} \frac{b_2}{I_2} \cos(\psi_v^* - \psi_\theta^*),$$

$$\alpha_3^v = -\frac{1}{2} \frac{b_2}{I_2}.$$

Критерий асимптотической устойчивости получается аналогично случаю, рассмотренному в п.1. Отношения для фаз получаются путём численного решения уравнений для отклонений. Характеристический многочлен системы (13) имеет вид $\lambda^2 a_0 + \lambda a_1 + a_2 + a_3 = 0$, где:

$$a_0 = 1,$$

$$a_1 = -(\alpha_1^y + \alpha_2^\theta + \alpha_3^v),$$

$$a_2 = -(\alpha_1^\theta \alpha_2^y + \alpha_2^v \alpha_3^\theta + \alpha_1^y \alpha_3^v + \alpha_2^\theta \alpha_3^v + \alpha_1^y \alpha_2^\theta),$$

$$a_3 = -(\alpha_1^y \alpha_2^\theta \alpha_3^v + \alpha_1^y \alpha_2^v \alpha_3^\theta + \alpha_1^\theta \alpha_2^y \alpha_3^v).$$

Условия Гурвица в данном случае имеют вид [6]:

$$a_0 > 0,$$

$$a_1 > 0,$$

$$a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0,$$

$$a_3 > 0.$$

Из второго условия Гурвица вытекает следующее обобщение критерия Ден Гартога:

$$\frac{k_D V}{m} (C_D - C_L) > 2\omega(\xi_y + \xi_\theta) + 2\xi_z \omega \left(1 + \frac{I_z}{I}\right). \quad (15)$$

Таким образом, синтез параметров МДГ по критерию асимптотической устойчивости сводится к выбору частоты ω_v и демпфирования в МДГ b_2 из условия:

$$\xi_y + \xi_\theta + \xi_z \left(1 + \frac{I_z}{I}\right) = \xi_T, \quad \frac{b_2}{I_2} = 2\xi_z \omega, \quad \omega_v^2 = \frac{m_e g l_z}{I_2}, \quad (16)$$

где ξ_T — требуемое демпфирование, m_2 — масса грузов МДГ, l_2 — длина маятника МДГ.

Заключение

На основе дифференциальных уравнений галлопирования проводов (1), полученных Ж. Л. Лильеном, при помощи пакета символьных вычислений Maple 15 с использованием метода осреднения была создана математическая модель и получено условие асимптотической устойчивости галлопирования, обобщающее условие Ден Гартога (8, 9). Разработана математическая модель галлопирования ЛЭП с МДГ и получено условие асимптотической устойчивости с учётом МДГ (15), обобщающее условие Ден Гартога. Из условия асимптотической устойчивости получены соотношения для оптимального выбора параметров МДГ (16).

Список использованных источников

1. Крюков К. П., Новгородцев Б. П. (1972). Конструкции и механический расчёт линий электропередачи. – Л.: Энергия.
2. Чэн Д. (J. Chan, 2006). EPRI Transmission Line Reference Book: Wind-Induced Conductor Motion / EPRI. – Palo Alto, USA.
3. Technical Brochure 322 State of art of conductor galloping / CIGRE TF B2.11.06 // Electra N232. – 2007.
4. Найфэ А. Х. (1976). Методы возмущений. – М.: Мир.
5. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / В.Н. Челомей (пред. ред. сов.). – М.: Машиностроение, 1981.
6. Эльсгольц Л. Э. (2002). Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление: Учебник. – М.: Едиториал УРСС.
7. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. (1986). Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука.

Краткие сведения об авторе: Сухов Егор Аркадьевич, 1990 г. р., МАИ, направления научных интересов: динамика проводов и арматуры ЛЭП, вопросы механической надёжности ЛЭП.

Выражаю благодарность Сеницыну И.Н. и Виноградову А.А. за помощь в подготовке статьи.

Разработка инструментальной среды проектирования программного обеспечения для рекуррентно-поточковой модели вычислений*

Д.В. Хилько¹, Ю.И. Шикун²

Аннотация. Статья посвящена новой рекуррентно-поточковой модели вычислений и основным проблемам разработки ПО для этой модели. Рассмотрен вопрос сходимости рекуррентной организации вычислительного процесса, а также ключевые аспекты методологии программирования для новой модели. Предлагается возможная архитектура инструментальной среды проектирования ПО, предназначенного для рекуррентно-поточковой модели. Рассматриваются перспективы развития предложенной архитектуры.

Ключевые слова: модель вычислений, рекуррентность, рекурсивность, методология программирования, разработка ПО.

Введение

Начиная со второй половины XX века ведутся исследования и разработки систем потоковой архитектуры [1], но, несмотря на видимые преимущества – такие, как отсутствие «узких мест», характерных для фон-неймановской архитектуры [2], исключение вероятности обработки неподготовленных данных, – ряд проблем как технического, так и алгоритмического характера препятствует массовому применению потоковых архитектур.

В поисках путей усовершенствования потоковой модели вычислений, коллективом Института кибернетики имени В. М. Глушкова НАН Украины (Палагин А.В., Яковлев Ю.С. Махиборода А.В., и др.) была предложена идея новой потоковой модели вычислений [3], которая, впоследствии, была развита и доработана сотрудниками Института проблем информатики РАН (ИПИ РАН) – Степченковым Ю.А., Петрухиным В.С. и др. Полученная модель вычислений

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по программам фундаментальных исследований ОНИТ РАН за 2013 г. (проект 1.5) и Президиума РАН (проект 16П-1)

¹ Институт проблем информатики Российской академии наук, dhilko@yandex.ru

² Институт проблем информатики Российской академии наук, YIshikunov@gmail.com

была названа рекуррентно-поточковой [4]. На ее основе была разработана многоядерная потоковая рекуррентная архитектура (МПРА).

В основе рекуррентно-поточковой модели лежит понятие самодостаточных данных, т.е. единого потока данных и инструкций. В системе самодостаточных данных каждый следующий шаг обработки порождается в ходе развития процесса как функция от предыдущего. Таким образом, исходный поток инструкций рекуррентно сворачивается, тем самым позволяя резко сократить накладные расходы, связанные с опережающим хранением трассы вычислительного процесса. Кроме того, данная особенность позволяет сократить практически в два раза время, требуемое для обработки каждой отдельной инструкции и связанных с ней данных.

В работе [5] было показано, что способ организации вычислительного процесса, в рамках рекуррентно-поточковой модели вычислений, принципиально отличается от уже существующих способов в системах как традиционной, так и нетрадиционной архитектуры. Данный факт обуславливает необходимость и разработки новых методов и алгоритмов подготовки, управления и обработки данных для решения задач в среде рекуррентно-поточковой модели вычислений, а также специализированных программных средств.

1. Рекуррентно-поточковая модель вычислений. Сходимость рекуррентного вычислительного процесса

В работе [4] приводится анализ различных архитектур вычислительных систем, приведена их классификация и определено место возможных реализаций рекуррентно-поточковых вычислительных архитектур, а в работе [6] выявлены и проанализированы принципиальные отличия трех моделей вычислений.

К первой модели вычислений в [6] отнесены архитектуры, основанные на принципах, введенных фон Нейманом. Авторы [6] пишут:

“Для выполнения программы в традиционной классической фон-неймановской архитектуре требуется некоторый объем запоминающей среды

(памяти), которая функционально (а для гарвардской архитектуры и физически) разделена на две области - программ и данных. Инициатором выполнения вычислительной процедуры является поток инструкций, извлекаемый из памяти программ ЦПУ (первичный поток инструкций). Программа-инициатор процесса хранится в памяти инструкций в полном объеме и в статическом виде. При этом существует проблема определения момента готовности данных для их обработки. Соответствующая модель вычислений была названа CF/S - Control Flow/Static.”

Ко второй модели вычислений отнесены архитектуры, основанные на принципах потока данных (или потоковые). Авторы [6] пишут:

“Для потоковых архитектур (DF - Data Flow) сохраняется разделение ресурсов памяти на две области. Однако статус памяти данных меняется - из пассивной (вторичной) она превращается в активную (первичную), в ячейках которой хранятся данные (операнды) с дополнительными функциональными полями (полями тегов). Суммарный объем требующихся ресурсов памяти ориентировочно не изменяется. Как правило, функциональные поля содержат в себе информацию об исполнительном адресе инструкции (микрокоманды), которая должна быть извлечена из памяти программ для выполнения требуемых действий. Полный объем привлекаемых инструкций также хранится в статическом виде.”

Поэтому, данная модель была названа DF/S - Data Flow/ Static.

Для рекуррентно-потоковой модели вычислений характерны следующие отличия от DF/S [6]:

1) Тегируемые данные являются самодостаточными, т.е. содержат помимо самих данных также и управляющую информацию. Такие тегируемые данные также могут называться рекуррентно разворачивающимися.

2) Теги содержат некоторую начальную сжатую информацию, обеспечивающую выполнение требуемой процедуры. Каждый следующий шаг процедуры рекуррентно самоопределяется, в том числе с учетом результата предыдущего шага. В рамках рекуррентной модели в состав ЦПУ включено

устройство преобразования тегов (ПТ), которое обладает функциональностью саморазвертки рекуррентного вычислительного процесса. Устройство ПТ инициируется операндами, пришедшими на обработку в ЦПУ, работает параллельно с ЦПУ и определяет действие на следующем шаге вычислительного процесса (модифицирует тег).

3) В памяти нет исполняемой программы в традиционном смысле. Есть только начальные значения функциональных полей операндов, которые динамически подвергаются рекуррентной саморазвёртке устройством ПТ (отсюда название архитектуры DF/D - Data Flow/Dynamic). Чтобы выполнить алгоритм, необходимо задать начальные значения функциональных полей.

Рис. 1 (рис. П1 из [6]) и 2 (рис. П2 из [6]) иллюстрируют сравнение описанных принципиальных классов по организации и механизму работы соответственно.

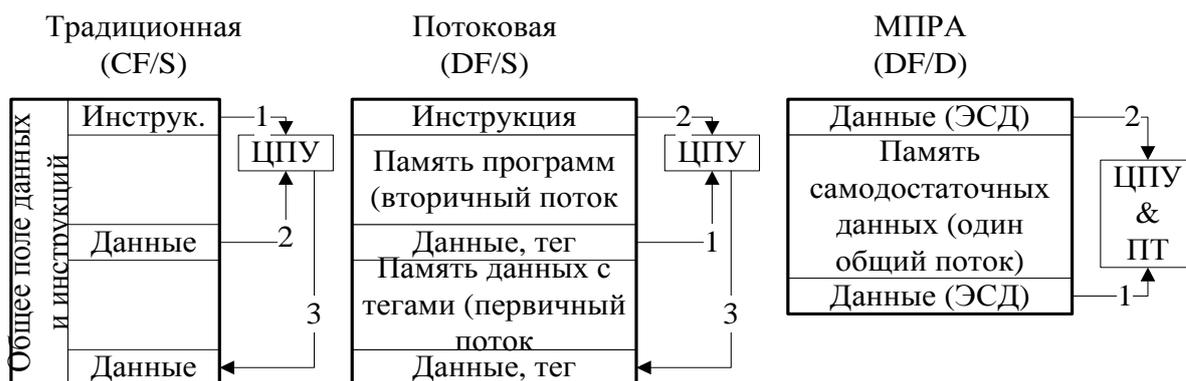


Рис. 1 Принципиальные отличия сравниваемых моделей вычислений
(рис. П1 из [6])

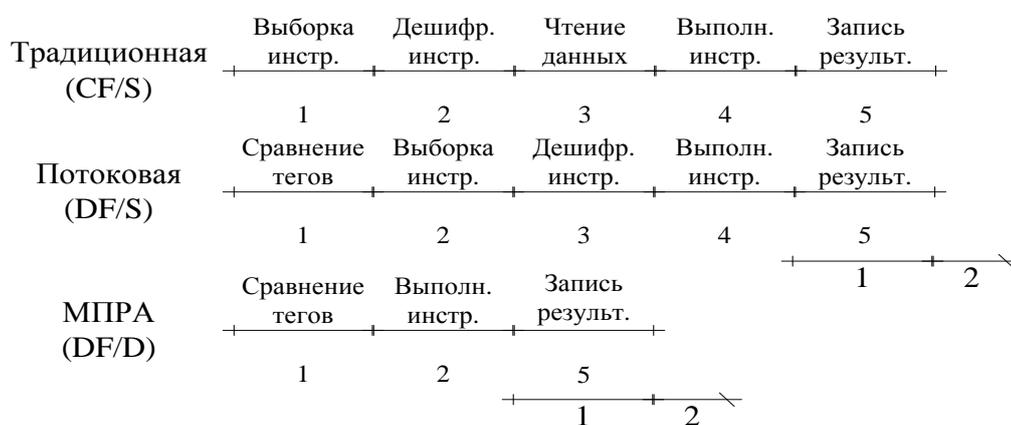


Рис. 2 Выполнение инструкций в сравниваемых архитектурах

(рис. П2 из [6])

Для дальнейших исследований новой модели вычислений необходимо было доказать сходимость рекуррентного вычислительного процесса. В работе [7] в ходе доказательства автор пишет: “использовались следующие термины и теоремы теории рекурсивных функций: теорема о нумерации, определение примитивно рекурсивной функции, определение частично рекурсивной функции, s-n-m-теорема, тезис Черча. Было показано, что существует способ построения частично рекурсивной функции одной переменной, описывающей рекуррентные преобразования над функциональным полем. Полученная функция имеет вид, приведенный в формуле (1).

$$\begin{aligned} f(0) = f_0; f(1) = f_1; \dots, f(t) = f_t, \dots, f(n-1) = f_{n-1} \\ f(t) = f(t-1) + g(k) \\ g(k) = \begin{cases} f_t - k, & \text{если } k = f_{t-1} \\ g(k-1), & \text{если } k \neq f_{t-1} \end{cases}, k = \overline{1, l} \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь n – количество шагов преобразований, t – номер текущего шага преобразований, l – мощность упорядоченного и пронумерованного множества всех возможных значений функционального поля, f_t – номер значения, которое должно принять функциональное поле на t -ом шаге преобразований, $g(k)$ – функция вычисления приращения (иначе говоря, функция выбора подходящего значения функционального поля из всего множества возможных), $f(t)$ – функция вычисления рекуррентной последовательности номеров значений.”

По теореме о нумерации существует частичная функция нескольких переменных, а по s-n-m-теореме существует некоторый соответствующий этой функции Геделев номер m_0 . Это означает, что существует множество функций видов функций, вычисляющих требуемую цепочку рекуррентных преобразований.

В текущей реализации рекуррентно-поточковой модели вычислений, реализована одна из возможных функций с номером m_0 – универсальная функция преобразований, обеспечивающая любую требуемую глубину

развертки. При этом, начиная с третьего шага развертки, преобразования зацикливаются, возвращая тем самым один и тот же результат (эта ситуация не является тупиком). Данная функция имеет вид, указанный в формуле (2).

$$\begin{aligned}
 f(t, k) &= \begin{cases} f(t-1, k) - 2^m, & \text{если } f(t, k) > 0 \\ \text{останавливается,} & \text{если } f(t, k) \leq 0 \end{cases} \\
 g(t, k) &= \begin{cases} g(t-1, k) + 1, & \text{если } f(t, k) > 0 \\ \text{останавливается,} & \text{если } f(t, k) \leq 0 \end{cases} \\
 g(0, k) &= 0, k = \overline{0, n-1} \\
 f(0, 0) &= f_0, \\
 f(0, k) &= g(t_0, k-1), k = \overline{1, n-1}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь k – номер шага рекуррентной развертки, t – номер шага вычислений функций f и g , t_0 – номер шага, на котором остановились функции f и g , m – размер функционального поля в разрядах, $f(t, k)$ – функция преобразования значения функционального поля на шаге преобразований k , $g(t, k)$ – функция вычисления нового значения функционального поля на шаге преобразований k .

2. Результаты применения рекуррентно-поточковой методологии программирования

Подробное описание разработанной методологии, а также пример ее применения для реализации программы распознавателя изолированных слов приводится в работе [7]. Методология включает в себя *четыре* основных этапа, ключевым из которых является этап III, названный «методикой капсульного программирования». В рамках настоящей статьи рассмотрены результаты применения новой методологии для реализации программы распознавания слов.

Новая методология была использована для решения задачи распознавания слов в среде рекуррентно-поточковой модели вычислений. Были осуществлены оценки коэффициентов ускорения реализованных в капсульном виде алгоритмов, относительно одноядерного микроконтроллера dsPic30F. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты реализации алгоритмов распознавания

Название алгоритма	Кол-во шагов для dsPic30F	Кол-во шагов для МПРА		Коэф. ускорения	
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1	Вар. 2
Баттеруорт (одна секция)	679	288	-	~2,36	-
Полосовой фильтр (одна полоса)	1428	420	-	3,4	-
Натуральный логарифм	36	12	26	3	~1,38*4
RASTA фильтр	153	28	-	~5,46	-
Экспоненцирование	36	12	26	3	~1,38*4
Косинусное ИДПФ	36	12	26	3	~1,38*4
Рекурсия Дурбина-Скурра	~640	~110	-	~5,8	-
PLP параметры	144	32	-	4,5	-
Витерби (расчет решетки для текущего N *)	91*N-143	99*N	$(1-(8*N+143)/(99*N))*4$		

* - N – кол-во наблюдений в векторе наблюдений (N>5)

Некоторые из множества алгоритмов были реализованы в двух вариантах. При этом вариант 1 означает, что алгоритм был реализован с использованием всех 4 вычислительных устройств (ВУ), а вариант 2 означает, что алгоритм был реализован для 4-х комплектов входных данных с использованием одного ВУ для каждого комплекта.

3. Инструментальная среда проектирования ПО для новой модели вычислений

Для того чтобы автоматизировать процесс разработки ПО, предназначенного для новой модели вычислений, необходимо реализовать предложенную методологию программирования в виде готовой технологии. Одной из первоочередных задач в данном направлении является разработка интегрированной среды проектирования ПО.

На текущем этапе разработки представляется возможным определить базовый набор библиотек и компонентов, которые должны войти в состав

инструментальной среды разработки. На рисунке 3 представлена возможная обобщенная архитектура среды разработки ПО для МПРА (GARIS IDE).

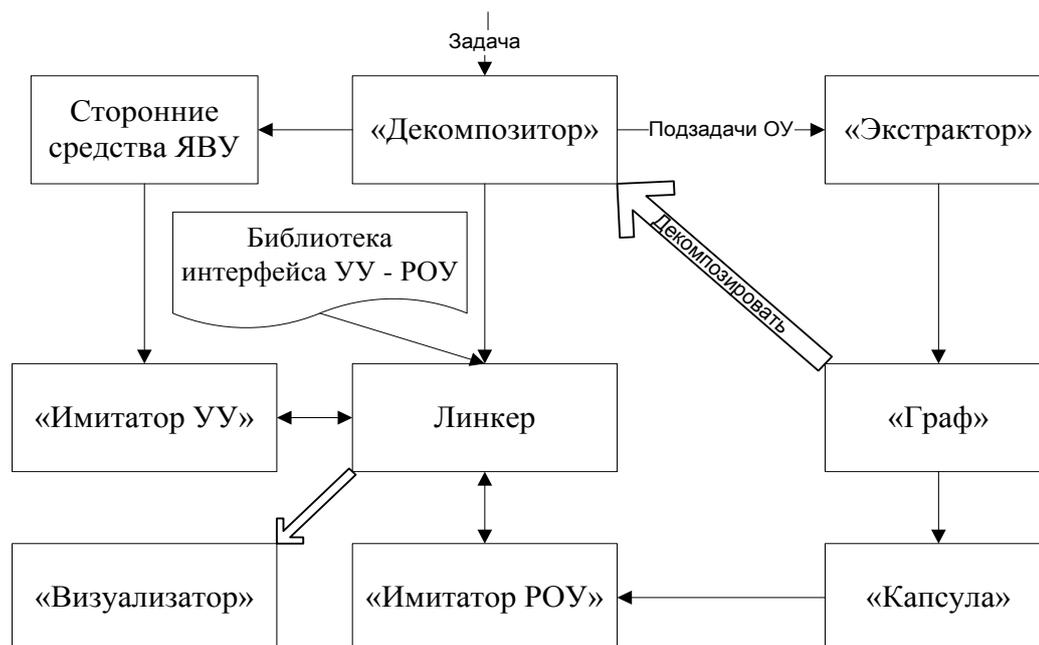


Рис. 3 Обобщенная архитектура GARIS IDE

Компонент «Декомпозитор» - предназначен для декомпозиции решаемой задачи и предоставляет следующие функциональные возможности:

- разбиение решаемой задачи (ручное или автоматизированное) на два множества (подзадачи УУ и подзадачи ОУ);
- создание и хранение спецификации форматов входных и выходных данных для каждой подзадачи;
- создание карт памяти и данных на основе спецификаций форматов данных.

Сторонние средства ЯВУ (языков высокого уровня) – набор сторонних программных средств для разработки традиционного программного обеспечения. Предназначены для реализации программы УУ.

Компонент «Экстрактор» - предназначен для извлечения графа вычислительного процесса (ВП) из описания подзадачи на языке высокого уровня. Состоит из следующих модулей:

- текстовый редактор ЯВУ;

- транслятор из ЯВУ в текстовую форму графа ВП;
- транслятор из текстовой формы графа в визуальный граф ВП.

Компонент «Граф» - многофункциональный компонент, предоставляющий широкий спектр возможностей для работы с визуальными графами. Может базироваться на свободно распространяемой библиотеке. В случае необходимости (в соответствии с рекуррентно-поточковой методологией) подзадача может быть передана в «декомпозитор» для повторной декомпозиции. Состоит из следующих модулей:

- визуальный редактор графов;
- модуль преобразования визуального графа ВП в потоковой граф;
- модуль извлечения рекуррентных последовательностей;
- транслятор графа из потокового вида в динамический;
- транслятор графа из динамического вида в граф-капсулу.

Компонент «Капсула» - предназначен для работы с капсулами. Состоит из модулей:

- аналог визуального конструктора капсул программы СКАТ;
- текстовый конструктор капсулы и синтаксический анализатор;
- модуль рекуррентной свертки граф-капсулы в капсулу.

Компонент «Имитатор УУ» - предназначен для интерпретирования программы управляющего уровня. Может работать в двух режимах: полной интерпретации программы и интерпретации при помощи программы ПРАПОР.

Компонент «Имитатор РОУ» - предназначен для интерпретирования программы операционного уровня. Может работать в четырех различных режимах: интерпретация в режиме ПРАПОР, имитационное моделирование при помощи СИМПРА, моделирование при помощи VHDL-модели, интерпретация на опытном образце.

Компонент «Линкер» - предназначен для организации взаимодействия между имитаторами УУ и РОУ с учетом информации, хранящейся в картах памяти и данных. Осуществляет сборку и интерпретацию всей задачи в целом.

Компонент «Визуализатор» - предназначен для отображения результатов моделирования и отладки ПО.

Представленный набор компонентов является минимально необходимым для разработки GARIS IDE. Реализация предлагаемых компонентов в полном объеме позволит в максимальной степени автоматизировать процесс разработки ПО, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к GARIS IDE. Следует также отметить, что для каждого из указанных трансляторов необходимо разработать модели языков и соответствующие библиотеки. На текущем этапе разработки только программы ПРАПОР и СИМПРА имеют высокую степень завершенности.

Для описания капсулы разработана модель языка капсульного программирования, представленная в нотации расширенной нормальной формы Бекуса-Нуара.

$$S_i = tA_i | tC_i | tA_i F_i | tD_i | t | tC_i F_i | tF_i | tF_i C_i | tF_i A_i | tD_i F_i;$$

$$A_i = \lambda | C_a | S_a;$$

λ – пустое поле, индекс a – вспомогательное поле

$$C_i = I0_c | I1_c | T_c | C_c | A_c | B_c | B1_c B2_c;$$

индекс c – управляющее поле

$$F_i = D_f | S_f | O_f;$$

индекс f – функциональное поле

$$D_i = V_d | V0_d V1_d V2_d | V0_d V1_d V2_d V3_d V4_d V5_d;$$

индекс d – содержательное поле

$$C_a = xprsec;$$

$$S_a = t\lambda | tn\lambda;$$

$$I0_c(I1_c) = nis;$$

$$T_c = rhmuctse;$$

$$C_c = am | jldbms;$$

$$A_c = t | diu;$$

$$B_c = i | uchmse;$$

$$B1_c = hmuctse;$$

$$B2_c = b | \lambda ;$$

$$D_f = rse | r;$$

$$S_f = hm;$$

$$O_f = cut | u;$$

Здесь: D_i – содержательная часть; F_i – функциональная (functional) часть; C_i – управляющая (control) часть; A_i – вспомогательная (additional) часть; t – тип операнда; S_i – i -ый операнд; строчной латинской буквой – имена подполей (на каждое имя отводится *ровно одна* буква, таким образом, комбинация вида mnk обозначает следующие друг за другом подполя m , n и k).

Следует вновь подчеркнуть, что предложенный набор средств и компонентов является минимально необходимым. Для обеспечения комфортных условий программирования в состав среды требуется также ввести ряд сервисных утилит, аналогичных многим существующим современным средам высокоуровневого программирования. Кроме того, в состав среды необходимо интегрировать разработанную программу СКАТ [7].

Заключение

В ходе работ по решению основных проблем, связанных с разработкой программного обеспечения для рекуррентно-поточковой модели вычислений были получены следующие значимые результаты:

- произведено доказательство сходимости рекуррентной организации вычислительного процесса, позволяющее гарантировать получение требуемых результатов;
- получено математическое описание процесса рекуррентных преобразований, применяемых в текущей реализации модели;
- разработана специализированная методология программирования в среде новой модели вычислений, а также показана ее эффективность, на примере реализации задачи распознавания слов;
- предложена архитектура и функциональность программных средств,

которые должны войти в состав инструментальной среды проектирования ПО для рекуррентно-поточковой модели вычислений;

- определены перспективы дальнейшего развития средств проектирования.

Таким образом, накоплен необходимый задел для внедрения рекуррентно-поточковой методологии в виде новой технологии программирования в процесс реализации новой модели вычислений. Представленные в статье результаты опубликованы в отчете по проекту 16П-1 «Капсула 2» [9].

Список литературы

1. T. Agerwala and Arvind, Data flow systems, IEEE Computer, 15 (Feb. 1982): PP. 10-13.
2. Arvind and R.A. Iannucci, A critique of multiprocessing von Neumann style, in Proc. 10th ISCA, June 1983: PP. 426-436.
3. Палагин А.В., Яковлев Ю.С., Махиборода А.В., Карпович В.А., Макаров Г.П. и Сергеев В.К. Система потоковой обработки информации с интерпретацией функциональных языков // Патент SU 1697084 . 1991. Бюл. №45.
4. Степченков Ю.А., Петрухин В.С. Перспективы развития цифровых, сигнальных процессоров и возможная реализация рекуррентного обработчика сигналов / Специальный выпуск «Методы и средства разработки информационно-вычислительных систем и сетей». – М.: ИПИ РАН, 2004. – С. 92-140.
5. Хилько Д.В., Степченков Ю.А. Вопросы программируемости многоядерной вычислительной архитектуры с единым потоком для эффективной реализации рекуррентных вычислений // Многоядерные процессоры и параллельное программирование; Системы обработки сигналов на базе ПЛИС и цифровых сигнальных процессоров: сб. ст. регион. науч.-практ. конф. / отв. ред. А.В. Калачев. – Барнаул : Изд-во

- Алт. Ун-та, 2011. – С. 86-92.
6. Степченков Ю.А., Петрухин В.С., Филин А.В. Рекуррентное операционное устройство для процессора обработки сигналов / Системы и средства информатики: Вып. 11 / Под ред. И.А. Соколова. – М.: Наука, 2001. – С. 283-315.
 7. Хилько Д.В., Степченков Ю. А. Теоретические аспекты разработки методологии программирования рекуррентной архитектуры / «Системы и средства информатики» – М.: ТОРУС ПРЕСС, Т. 23, № 2, 2013 – С. 136-156.
 8. Зеленов Р.А., Степченков Ю.А., Волчек В.Н., Хилько Д.В., Шнейдер А.Ю., Прокофьев А.А. Система капсульного программирования и отладки // Системы и средства информатики. Вып. 20, №1. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. – С. 25-30.
 9. Обработка системы программирования многоядерных потоковых рекуррентных компьютерных систем предметной области: Отчет о НИР (заключительный), Шифр «КАПСУЛА2», № г.р. 01201368527. М.: ИПИ РАН, 2013, 34 С.

Сведения об авторе: Хилько Дмитрий Владимирович, год рождения: 1987. Место обучения: аспирантура ИПИ РАН. Место работы: ИПИ РАН, 22 отд., научный сотрудник. Направления научных интересов: нетрадиционные архитектуры микропроцессоров; параллельное и потоковое программирование, имитационное и математическое моделирование, интеллектуальные системы.

Сведения об авторе: Шикунов Юрий Игоревич, год рождения: 1995. Место обучения: МГТУ им. Н.Э. Баумана. Место работы: ИПИ РАН, 22 отд., стажер-исследователь. Направления научных интересов: нетрадиционные архитектуры микропроцессоров; параллельное и потоковое программирование,

имитационное моделирование, интеллектуальные системы, алгоритмы цифровой обработки.

Технология построения и применения базы данных эквивалентных лексико-грамматических форм в поливариантных параллельных текстах

Кружков М.Г.

сотрудник отдела Информационных технологий, структуризации и поиска данных ИПИ РАН

Степанов В.В.

сотрудник отдела Информационных технологий, структуризации и поиска данных ИПИ РАН, аспирант МГУ им. М.В.Ломоносова

Аннотация. Создание баз данных для лингвистических исследований представляет собой достаточно трудоемкий, но необходимый процесс. При этом, источником данных для баз могут служить как физические, так и электронные носители информации, в том числе корпуса параллельных текстов [9]. Использование таких текстовых корпусов для создания баз данных в целях их лингвистического и контрастивного изучения позволяет значительно упростить и ускорить ход исследования [1-4]. Все это способствует дальнейшему развитию моделей концептуализации языковых структур и представляет функциональную мотивацию для новых разработок в области машинного перевода и корпусной лингвистики [5-8]. В настоящей работе приводится описание способа построения и применения базы данных эквивалентных лексико-грамматических форм в поливариантных параллельных текстах с использованием информационных технологий.

Предложенная нами технология построения и применения базы данных эквивалентных лексико-грамматических форм в поливариантных параллельных текстах включает в себя следующие этапы:

1. Разработка структуры базы данных
2. Разработка интерфейса базы данных
3. Настройка системы под цели конкретного проекта
 - Выбор языка оригинала и языков перевода
 - Определение перечня базовых видов ЛГФ для языков оригинала и перевода
 - построение запросов, для поиска соответствующих ЛГФ в базе данных
 - Определение перечня вторичных признаков ЛГФ для языков оригинала и перевода

- Определение перечня релевантных признаков моноэквиваленций
4. Выбор исходных текстов (в соответствии с целями конкретного проекта)
 - выбор оригинала
 - выбор переводов
 5. Получение электронных версий исходных текстов
 - поиск электронных версий в Интернете и прочих источниках
 - форматирование и коррекция найденных электронных версий
 - сканирование бумажных книг для текстов, недоступных в электронном виде
 - распознавание и проверка отсканированных текстов
 6. Выравнивание текстов
 - разбиение длинных текстов на части
 - автоматическое выравнивание с помощью программы «Евклид»
 - коррекция автоматически выровненных текстов с помощью программы «Евклид»
 7. Морфологическая разметка выровненных текстов («Яндекс»)
 8. Загрузка морфологически размеченных выровненных текстов в БД
 9. Поиск и описание ЛГФ и ФЭФ, построение моноэквиваленций.
 10. Проверка построенных моноэквиваленций
 11. Автоматическое построение поли- и гиперэквиваленций
 12. Анализ построенных моно-, поли- и гиперэквиваленций

Поскольку построение и применение подобной базы данных является уникальным и экспериментальным проектом, описываемая технология не может рассматриваться как строго линейная. Это означает, что в перечисленной последовательности этапов на разных точках возможны возвраты к более ранним этапам, что может представлять необходимость для учета новых соображений и требований, появившихся на текущем этапе. В связи с этим особенно важно обеспечить максимальную гибкость системы на наиболее ранних этапах, чтобы иметь возможность оперативно внести в неё

необходимые изменения. Однако в данной технологии используются некоторые сторонние инструменты, т.е. разработанные за рамками данного проекта (морфологический анализатор «Яндекса»), поэтому в технологии остаются некоторые элементы, настраивать которые у нас нет возможности.

В завершение стоит отметить, что для создания эффективной структуры базы данных, требуется более четкое представление о том, каким образом ее предполагается использовать в рамках всей технологии. Необходимо обеспечить оптимальную гибкость и логичность структуры будущей системы, а также максимальное быстродействие поисковых запросов. Мы стремились к соблюдению первой нормальной формы, создавая отдельные таблицы для различных сущностей и свойств, а также для отношений "многие-ко-многим" между различными сущностями. Так, например, в таблице WordInText ("слово в тексте") не хранится текст самого слова, а содержится указатель на запись в таблице WordForm ("словоформа"), что позволяет избежать частого дублирования информации о каждом слове. Кроме того, поскольку изначально предполагалось импортировать в базу данных морфологическую информацию, предоставляемую морфологическим анализатором «Яндекса», это во многом предопределило структуру и наполнение некоторых таблиц базы данных.

Примеры моно- и полиэквиваленций, представленных в базе данных:

Таблица 1

Тип полиэквиваленции	Русское предложение	Французский перевод
<Fut-PF; Pr>	Я <i>вернусь</i> через 10 минут; Что я ему <i>скажу</i> ?	Je <i>reviens</i> dans 10 minutes; Qu'est ce que je lui <i>dis</i> ?
<Pres-PF; Pr>	не <i>пойму</i>	Je n'y <i>comprends</i> rien
<Past-PF(= 'fut'); Pr>	Ну я <i>пошел</i>	Eh bien, je <i>pars</i>
<Past-PF; Pr>	Он только что <i>вышел</i>	Il <i>sort</i> à l'instant

Таблица 2

Тип полиэквиваленции	Русское предложение	Французский перевод
<Conj;{CondPas, VDisp(CondPas) + Inf}>	То есть Иван Яковлевич хотел бы и того и другого , но знал, что было совершенно невозможно требовать двух вещей разом, ибо Прасковья Осиповна очень не любила таких прихотей.	1: Ivan Iakovlévitch <i>se serait volontiers régalé</i> de café et de pain frais [...] 2: Ivan <i>aurait bien voulu goûter</i> de l'un et de l'autre [...]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский Д. О., Кретов А. А., Шаров С. А. «Корпус параллельных текстов»; Научная и техническая информация, сер. 2. Информационные процессы и системы, 2005, № 6, 16—27.
2. Добровольский Д. О., Кретов А. А., Шаров С. А. «Корпус параллельных текстов: архитектура и возможности использования»; Национальный корпус русского языка: 2003—2005. М.: Индрик, 2005, 263—296.
3. Добровольский Д. О. «Корпус параллельных текстов в исследовании культурно-специфичной лексики»; Национальный корпус русского языка: 2006—2008. Новые результаты и перспективы. СПб.: Нестор-История, 2009, 383—401.
4. Андреева Е. Г., Касевич В. Б. «Грамматика и лексика (на материале англо-русского корпуса параллельных текстов)»; Национальный корпус русского языка: 2003—2005. М.: Индрик, 2005, 297—307.
5. Е. Б. Козеренко «Лингвистические фильтры в статистических моделях машинного перевода» // Информ. и её примен., 4:2 (2010), 83—92

6. Е. Б. Козеренко «Стратегии выравнивания параллельных текстов: семантические аспекты» // Информ. и её примен., 7:1 (2013), 82–89
7. E.B. Kozerenko, “Cognitive Approach to Language Structure Segmentation for Machine Translation Algorithms,” in Proceedings of the International Conference on Machine Learning, Models, Technologies and Applications, June, 23-26, 2003. Las Vegas: CSREA Press, 2003, pp. 49-55.
8. E.B. Kozerenko, “Syntactic Transformations Modelling for Hybrid Machine Translation”, in Proceedings of ICAI’11, WORLDCOMP’11, July 18-21, 2011. Las Vegas: CRSEA Press, 2011, pp. 875-881.
9. M. Everaert, S.Musgrave, and A.Dimitriadis “The use of databases in cross-linguistic studies”, Eds. Belin-New York: Walter de Gruyter GmbH & Co., 2009.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кружков Михаил Григорьевич, 1975 г.р.

Место учебы/работы: Институт проблем информатики Российской академии наук (ИПИ РАН), Отдел информационных технологий структуризации и поиска данных (Отдел 16)

научные интересы: компьютерная лингвистика

Степанов Владимир Владимирович, 1990 г.р.

Место учебы/работы: Институт проблем информатики Российской академии наук (ИПИ РАН), Отдел информационных технологий

структуризации и поиска данных (Отдел 16); Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (аспирант 3-его года обучения)

научные интересы: контрастивная (дифференциальная) лингвистика, семиотика, дискурсивные исследования, квантификация данных

Инструментальное программное обеспечение моделирования и оптимизации систем послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции*

Е.С.Агафонов

Рассматриваются инструментальные программные средства оптимизации систем послепродажного обслуживания на основе стоимостных критериев для заданного уровня коэффициента технической готовности. Приводятся примеры поиска оптимальной программы поставок составных частей.

Введение

Управление жизненным циклом изделий наукоемкой продукции (ЖЦ ИНП) на современном этапе невозможно без системного использования информационно-вычислительных комплексов и нормативных баз. Данные технологии основы основаны на CALS – методологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла) [1,2]. Основу этой концепции составляют технологии интегрированной логистической поддержки (ИЛП), средства и процедуры которой должны обеспечивать оптимальные режимы функционирования систем послепродажного обслуживания (СППО). С этой целью создаются специализированные технико-экономические информационные модели ЖЦ ИНП.

Однако при всем совершенстве и многообразии технологий ИЛП, фактически остается нерешенной главная проблема – проблема оптимального проектирования СППО, ремонта и снабжения для обеспечения эксплуатации изделий с минимальной стоимостью на годы вперед, вплоть до их списания.

Решение сформулированных проблем возможно с помощью новых научных подходов, основанных на теории стохастических систем [3]. Подробное, систематичное изложение данных подходов можно найти в [1, 4-10]. Они позволяют кардинально реформировать традиционные системы

* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация» (проект 1.7).

управления при создании и эксплуатации ИНП путем внедрения методов прогнозирования и оптимального планирования процессов расходования временных, материальных, трудовых и др. ресурсов по критериям экономической целесообразности и эффективности.

Как отмечалось в [1], до недавнего времени в России проблеме интегрированной логистической поддержки не уделялось должного внимания, что привело к существенному отставанию отечественной промышленности в этом направлении. Большинство отечественных предприятий и организаций крайне медленно внедряют CALS (ИПИ)-технологии в промышленное производство и послепродажное обслуживание (ППО). Сегодня в российской промышленности информационные технологии (ИТ) применяются, в основном, для решения отдельных задач конструирования, разработки технологий подготовки и управления производством и т.д. При этом заказчики предъявляют к российским изделиям те же требования, что и к аналогичным изделиям зарубежных фирм. В этой связи проблема организации ИЛП для изделий российских предприятий переходит в разряд первоочередных, поскольку от ее решения в значительной мере зависит конкурентоспособность отечественной наукоемкой продукции на мировых рынках.

Главная задача заключается в переходе от локального использования ИТ на отдельных этапах ЖЦИ к работе в интегрированной информационной среде (ИИС), охватывающей все этапы ЖЦИ.

Поэтому первостепенным является создание системы поддержки изделий, основанной на уже апробированных международных стандартах, позволяющей:

- осуществлять координацию участников процесса технического сотрудничества на организационном и информационном уровнях;
- осуществлять электронную обработку и анализ логистических данных;
- выявлять нелегализованные поставки и несанкционированные перемещения ИНП;
- организовать легальный и контролируемый обмен необходимой

информацией между производителями, поставщиками, эксплуатантами с элементами разделяемого доступа к общим данным;

- минимизировать стоимость ЖЦИ.

Для внедрения этих решений в практику требуется выполнение целого ряда сложных и трудоемких задач научно-методического и программно-технического характера:

1. Развитие и внедрение методического и программного обеспечения для реализации ИЛП продукции и каталогизации ИНП.

2. Разработка методов и средств управления конфигурацией изделий на всех стадиях их ЖЦ.

3. Разработка научно-методического обеспечения формирования рациональных бизнес - моделей ППО изделий, включая вопросы управления инвестициями, и оценки областей применения этих моделей.

4. Развитие методов и средств мониторинга стоимости ЖЦИ.

5. Создание методов и средств информационного обеспечения менеджмента качества ИНП на основе ИПИ - технологий.

6. Развитие методов и средств мониторинга качества и эксплуатационно-технических характеристик изделий, в т.ч. надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности), контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности.

7. Разработка и внедрение методов и средств организации работ над совместными проектами создания ИНП в единой информационной среде участников ЖЦИ.

8. Разработка и практическое применение методов автоматической идентификации предметов снабжения в задачах ИЛП изделий.

Решение всех перечисленных выше задач необходимо осуществлять с учетом результатов организационно-экономического анализа процессов внедрения и применения разрабатываемых технологий, методов и средств ИПИ, а также оценки влияния этих технологий на повышение конкурентоспособности ИНП на международных рынках.

Как современный инструмент создания и послепродажного обслуживания ИЛП, естественным образом разделяется на две взаимосвязанные ветви, которые условно можно назвать «ИЛП на стороне заказчика» и «ИЛП на стороне поставщика».

Главной процедурой ИЛП, которая призвана минимизировать затраты на ППО, сводить к минимуму всевозможные риски и при этом гарантировать требуемые эксплуатационно-технические качества продукции, характеризуемые таким интегральным показателем, как техническая готовность ИИП к использованию по назначению, является анализ логистической поддержки (АЛП). Особенность АЛП заключается в том, что он не прекращается в течение всего ЖЦИ, длительность которого, как правило, составляет десятки лет.

Несмотря на столь высокую роль, которую играет АЛП при реализации принципов ИЛП, арсенал средств анализа весьма скромнен и, по большому счету, не позволяет решить до конца главную задачу ИЛП – минимизации затрат. Это является проблемой как отечественных, так и зарубежных разработчиков ИЛП.

По этой причине крайне важным становится создание новых программных инструментов, позволяющих решать задачи создания ППО с использованием математического (вероятностного) моделирования для решения задач АЛП, параметрической и функциональной оптимизации структур и процессов.

Данная работа посвящена программной реализации методов, позволяющих решать перечисленные задачи.

Алгоритмическое обеспечение

В [10] ставится задача оптимизации затрат заказчика на поставки запасных частей на годы вперед, для поддержания заданного уровня готовности системы в условиях ограничений на выделяемые финансовые ресурсы.

Пусть состояние парка однотипных ИИП и их СЧИ описывается графом, представленным на рис.1.

Вершины графа отображают возможные состояния составных частей изделия:

- 1 — исправные СЧИ на складе;
- 2 — исправные СЧИ, эксплуатируемые в составе изделия;
- 3 — неисправные СЧИ, находящиеся на восстановительном ремонте у потребителя;
- 4 — СЧИ в состоянии списания;
- 5 — исправные СЧИ в составе ИНП, находящихся на профилактических работах.

В обороте находится определенное количество СЧИ каждого типа. В силу различных случайных факторов все они распределяются случайным образом между указанными выше состояниями.

Введем в рассмотрение фазовый вектор системы $Y(t)$, составляющие которого $y_i(t)$, $i=1, \dots, n$, суть количество СЧИ данного типа, находящихся в i -ом состоянии.

Одним из важнейших показателей ИЛП является средний коэффициент технической готовности (исправности) на заданном промежутке времени $[0, T]$, который применительно к рассматриваемой системе определяется по формуле:

$$\bar{K}_u(T) = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{y_2(\tau) + y_5(\tau)}{N} d\tau ,$$

где $y_2(t)$, $y_5(t)$ — количество исправных СЧИ; N — находящееся в эксплуатации количество СЧИ данного типа, строго согласованное с количеством эксплуатируемых ИНП (с учетом ИНП, находящихся в капитальном ремонте).

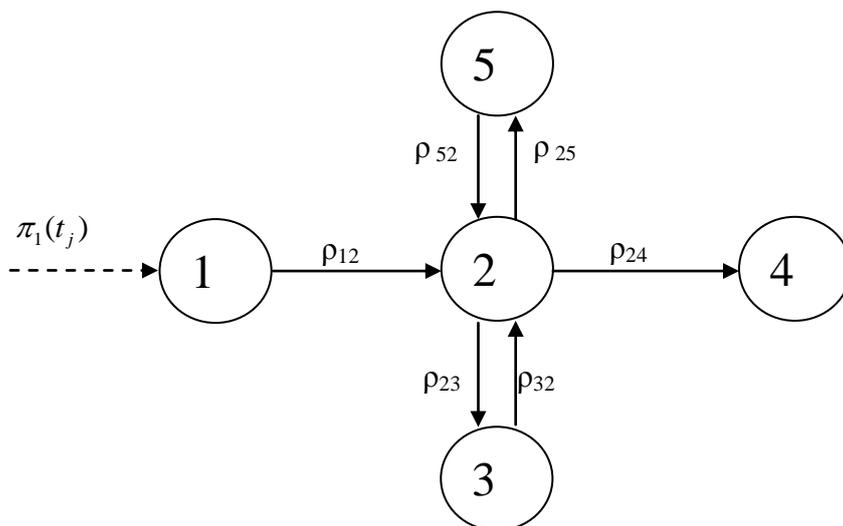


Рис. 1 Граф состояний парка изделий и их составных частей

За критерий эффективности (оптимальности) примем выражение

$$J = C_k \int_0^T (\bar{K}_u - \bar{K}_{узад})^2 d\tau,$$

где: $\bar{K}_u(t)$ – среднее на интервале $[0, t)$ значение коэффициента технической готовности, случайная функция; $\bar{K}_{узад}$ – заданное заказчиком (требуемое) значение среднего на периоде $[0, T]$ коэффициента технической готовности парка ИТП; C_k – коэффициент.

Требуется получить оптимальные программы поставок запасных частей и объемов ремонта (или только поставок) на заданный период эксплуатации ИТП для обеспечения заданного уровня технической готовности изделий. При этом в системе действуют финансовые ограничения в виде годового бюджета.

Для нахождения оптимальных программ реализована процедура, использующая метод последовательных приближений в ходе поиска значения параметра (объема поставки или производительности ремонта) на очередной год t_{j+1} . При этом считается, что изменение значения параметров осуществляется в начале года.

Программное обеспечение оптимизации СППО

Для реализации изложенных методов в ИПИ РАН была разработана новая версия инструментального программного комплекса (ИПК) прогноза и

оптимизации «Оптимизация СППО» (версия 3.0). Он позволяет определить потребности в СЧИ на любой период эксплуатации, вплоть до списания ИНП.

Полученная оптимальная программа рассчитана на гарантированное обеспечение требуемого уровня готовности (исправности) в течение предстоящего периода эксплуатации, при условии отсутствия финансовых ограничений. В том случае, когда реализовать оптимальную программу поставок не позволяет годовой бюджет, полученная с помощью ИПК программа поставок будет обеспечивать уровень готовности максимально возможно приближенный к заданному значению.

Для работы ИПК необходима исходная информация в виде параметров, характеризующих:

- расчетную надежность каждой СЧИ;
- систему ремонта изделия и каждой компоненты (периодичность проведения работ, длительность работ и т.п.);
- цены на услуги (ремонт и поставки);
- размер годового бюджета, выделенного на ремонт и поставку новых СЧИ;
- ожидаемый уровень эскалации цен на планируемом периоде;
- штатное количество ФИ;
- средняя наработка СЧИ на отказ (фактическая);
- количество СЧИ и ФИ, находящихся в ремонте;
- планируемый период (от 1 года – до длительности срока службы);
- планируемая годовая наработка ФИ и СЧИ;
- требуемый уровень коэффициента исправности.

На основании данной информации заказчик может:

1. сформировать обоснованную годовую или на любой другой период заявку на поставку СЧИ по каждой компоненте основного парка ИНП;
2. для парка ИНП, выслуживших большие сроки службы, сформировать планы потребностей в СЧИ на любой период эксплуатации в целях

информирования поставщика для оценки экономической целесообразности возобновления отдельных производств;

3. оценить затраты на ППО на любой предстоящий период эксплуатации.

В качестве стоимостных параметров задаются: годовой бюджет, цена одной СЧИ, цена ремонта одной СЧИ. Для каждой характеристики указывается свой годовой коэффициент эскалации цены. ИПК работает в двух режимах: ручном и автоматическом. В ручном режиме моделирование происходит по заранее заданной оператором программе поставок. В автоматическом режиме выполняется блок оптимизации для поиска программы поставок СЧИ. Результаты работы отображаются в таблице со следующими данными:

- текущий год;
- объем поставки;
- цена СЧИ;
- стоимость поставок;
- стоимость ремонта;
- сумма общих затрат;
- размер годового бюджета, выделенного на ремонт и поставку СЧИ;
- суммы за весь период моделирования для стоимости поставок, стоимости ремонта, общих затрат и бюджета.

Результаты поиска оптимальной программы поставок представлены на рис. 2 и 3. В данном случае величина бюджета позволила поддерживать заданный уровень коэффициента исправности (0,75) с помощью следующей программы поставок по годам: 0, 0, 2, 5, 5, 3, 2, 2, 2. Общие затраты на закупку и ремонт в данном случае составили около 5260 тыс. \$ при суммарном бюджете в 6946 тыс. \$.

На рисунках 4 и 5 представлены результаты поиска программы поставок в условиях ограниченного бюджета. В данном случае ресурсов для обеспечения

заданного уровня коэффициента исправности не хватает (рис. 4). Найденная программа поставок, удовлетворяющая бюджетному плану, содержит следующие объемы закупок: 0, 0, 2, 2, 2, 1, 1, 1, 1. Стоимость такой программы составляет около 704 тыс. \$, при общем объеме затрат в 4254 тыс. \$ и суммарном бюджете – 4631 тыс. \$.

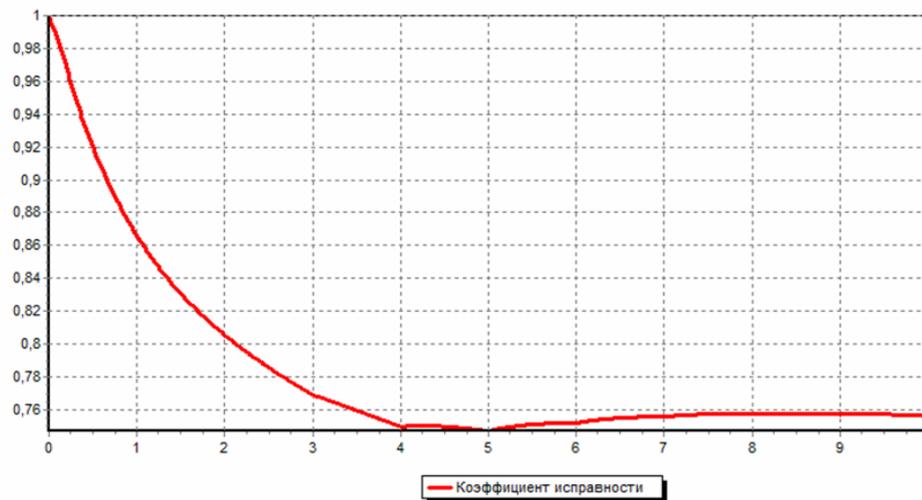


Рис. 2 Коэффициент исправности (высокий бюджет)

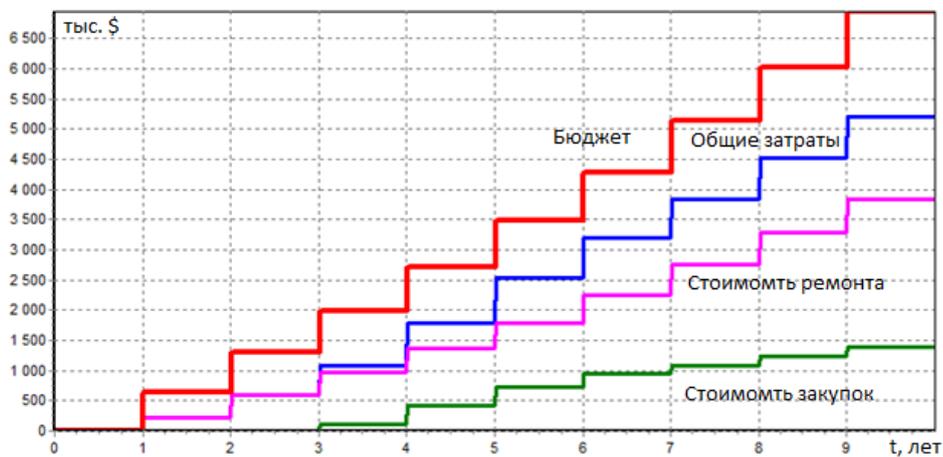


Рис. 3 Стоимость поставок и ремонта (высокий бюджет)

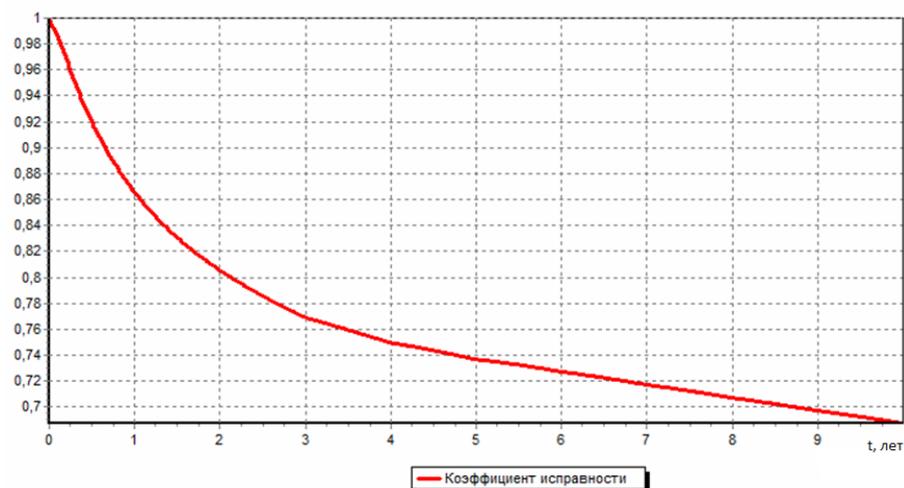


Рис. 4 Коэффициент исправности (низкий бюджет)

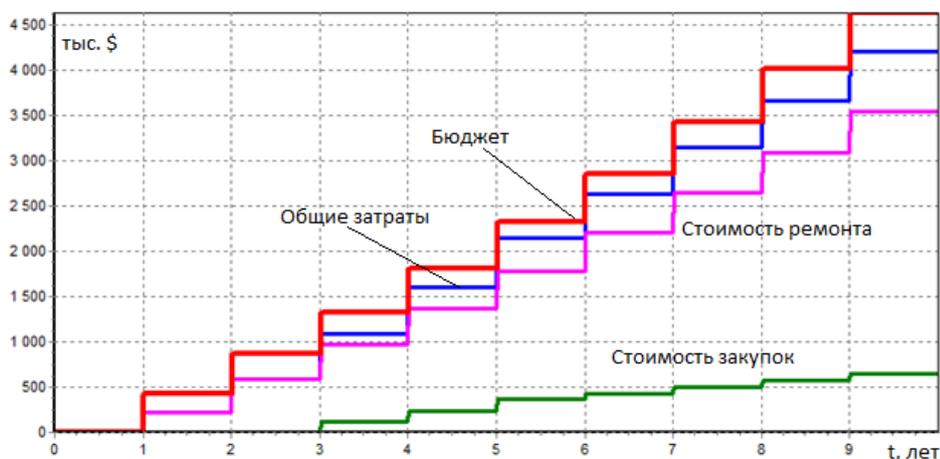


Рис. 5 Стоимость поставок и ремонта (низкий бюджет)

Заключение

На основе разработанных нелинейных корреляционных методов, позволяющих проводить аналитическое моделирование стохастических процессов в СППО, создан ИПК «Оптимизация СППО», версии 3.0. Данный комплекс осуществляет автоматический поиск оптимальных программ поставок СЧИ по годам в условиях финансово-бюджетных ограничений, что позволит эффективно решать задачу оптимизации для сложных гибридных систем ППО.

В дальнейшем развитии программный комплекс годового планирования, должен будет включать в себя БД, содержащую информацию для планирования

процессов материально-технического обеспечения (назначенные ресурсы, нормы трудозатрат, ограничения и т.п.).

В целом, это даст возможность заказчику – поддерживать требуемый уровень исправности парка ИНП, поставщику – существенно повысить авторитет на рынках, изготовителю – заблаговременно планировать потребные инвестиции и объемы производства.

Литература

1. Сеницын И.Н., Шаламов А.С. Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2012.
2. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
3. Пугачев В.С., Сеницын И.Н. Теория стохастических систем. – М.: Логос, 2000 (1-е изд.), 2004 (2-е изд.).
4. Сеницын И.Н., Шаламов А.С. Методологические аспекты современной интегрированной логистической поддержки изделий наукоемкой продукции // Системы высокой доступности, 2011. Т.7. №4. С.48-74.
5. Сеницын И.Н., Шаламов А.С. Проектирование CALS систем. Часть 1. Системы управления жизненным циклом изделий и их моделирование // Системы высокой доступности. –М: Радиотехника, 2012. №3. Т.8. С.3-17.
6. Сеницын И.Н., Шаламов А.С. Проектирование CALS систем. Часть 2. Аналитическое моделирование интегрированных систем после продажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы высокой доступности. –М: Радиотехника, 2012. №4. Т.8. . С.4-49.
7. Сеницын И.Н., Шаламов А.С., Сергеев И.В. Проблемы моделирования и минимизации затрат на эксплуатацию изделий наукоемкой продукции на современном этапе // Сб. Докладов XIII международной

научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии XXI века». г. Воронеж. Изд. НПФ «Саквоее», 2012. Т.2. С.358-370.

8. Сеницын И.Н., Шаламов А.С., Сеницын В.И. Развитие систем интегрированной логистической поддержки изделий наукоемкой продукции // Сборник материалов X международной конференции «Оптическое электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации» (Распознавание-2012), г. Курск, 15-18 мая 2012 г., Изд. Юго-Западный ГУ, 2012. С.63-65.
9. Сеницын И.Н., Шаламов А.С., Сергеев И.В., Белоусов В.В., Агафонов Е.С. Развитие средств интегрированной логистической поддержки изделий наукоемкой продукции на основе систем компьютерной математики // Системы компьютерной математики и их приложения. Сб. Материалов XIII международной научной конференции. г. Смоленск, 2012. Изд. Смол. ГУ, 2012. Вып.13. С.119-124.
10. Сеницын И.Н., Шаламов А.С., Сергеев И.В., Сеницын В.И., Корепанов Э.Р., Белоусов В.В., Агафонов Е.С., Шоргин В.С. Методы и средств анализа и моделирования стохастических систем интегрированной логистической поддержки // Системы и средства информатики. – М.: ИПИ РАН, 2012. Вып.22. №2. С.3-28.

Сведения об авторе: Агафонов Егор Сергеевич, 1981 года рождения. Место работы: Институт проблем информатики РАН.

Научное издание

**Четвертая школа
молодых ученых ИПИ РАН**
Сборник докладов

Редакторы: В.В. Белоусов, А.К. Горшенин

Оригинал-макет подготовлен в ИПИ РАН

Тираж 50 экз.

ИПИ РАН
119333, Москва, ул. Вавилова, д.44, корп.2