

*Журнал Научное обозрение.
Технические науки
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440*

*Учредитель, издательство и редакция:
НИЦ «Академия Естествознания»,
почтовый адрес:
105037, г. Москва, а/я 47*

**Founder, publisher and edition:
SPC Academy of Natural History,
post address:
105037, Moscow, p.o. box 47**

*Подписано в печать 29.05.2018
Дата выхода номера 29.06.2018
Формат 60×90 1/8*

*Типография
НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 29.05.2018
Release date 29.06.2018
Format 60×90 8.1**

**Typography
SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov,
5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Митронова Л.М.
Корректор Галенкина ЕС.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2018/2*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)
М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)
Н.Е. Старчикова (**N.E. Starchikova**)
Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2018 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ**Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

ДИСТАНЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ СБОРА, АНАЛИЗА ЧАСТОТНОЙ И ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ <i>Козубцов И.Н.</i>	5
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМОВ ВРЕМЕННОГО СГЛАЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АЛГОРИТМА ТХАА <i>Петрин Д.А., Белов Ю.С.</i>	11
РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ <i>Попов С.В.</i>	16
ОТЛИЧИЯ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ СЕРИЙНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ <i>Сычев В.А.</i>	21
ПРОГРАММНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЧЕТОВ ФУНКЦИЙ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСАХ НА ОСНОВЕ СОРТИРОВКИ <i>Тюшнякова И.А.</i>	27
РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ <i>Штырова И.А., Виштак Н.М.</i>	33

CONTENTS**Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

REMOTE APPROACH TO BUILDING A SYSTEM OF COLLECTING, ANALYZING FREQUENCY AND NOISE CONDITIONS SHORT-WAVE FREQUENCY RANGE <i>Kozubtsov I.N.</i>	5
OVERVIEW OF THE TEMPORAL ANTI-ALIASING ALGORITHM TXAA <i>Petrin D.A., Belov Yu.S.</i>	11
DISTRIBUTED DATA PROCESSING SYSTEM <i>Popov S.V.</i>	16
THE DIFFERENCES IN CHARACTERISTICS OF THE MASS PRODUCTION'S PHOTOELECTRIC CONVERTERS APPLIED FOR SOLAR POWER STATIONS DESIGNING <i>Sychev V.A.</i>	21
SOFTWARE DEFINITION RESIDUES OF FUNCTIONS IN THE REAL POLES ON THE BASIS OF THE SORT <i>Tyushnyakova I.A.</i>	27
EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF THE INFORMATION SYSTEM OF THE MEDICAL INSTITUTION <i>Shtyrova I.A., Vishtak N.M.</i>	33

УДК 621.396

ДИСТАНЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ СБОРА, АНАЛИЗА ЧАСТОТНОЙ И ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

Козубцов И.Н.

Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, e-mail: kozubtsov@mail.ru

Цель статьи заключается в рассмотрении возможности использования дистанционного подхода к построению системы сбора, анализа частотной и помеховой обстановки коротковолнового диапазона частот. Для достижения этой цели в научной статье автором рассмотрена прикладная задача по обоснованию реализации анализа частотной и помеховой обстановки коротковолнового диапазона частот в условиях отсутствия возможности построения частотно-диспетчерской службы. Наличие этой информации необходимо при организации радиосвязи в коротковолновом диапазоне частот. В статье рассмотрены только два практических варианта и пути решения научной задачи. Из рассмотренных вариантов выбран наиболее приемлемый для реализации. Во всех предложенных вариантах необходимо наличие доступа к сети Интернет. Отличительной особенностью этих вариантов является подход в обеспечении сбора и передачи интересующей информации, а именно о частотной и помеховой обстановке коротковолнового диапазона частот. В практической части рассмотрены краткие функциональные возможности и принцип работы современных радиоприемников, построенных по SDR технологии. Отдельно рассмотрены программно-независимые радиоприемники по технологии WebSDR, которая приобрела массовую популярность у радиолюбителей. Практическое применение предложенного решения можно найти как в силовых структурах, так и при построении резервной системы связи, а также радиолюбителям в отдельном взятом случае.

Ключевые слова: анализ, радиосвязь, короткие волны, помеховая обстановка, частотная обстановка, дистанционный метод

REMOTE APPROACH TO BUILDING A SYSTEM OF COLLECTING, ANALYZING FREQUENCY AND NOISE CONDITIONS SHORT-WAVE FREQUENCY RANGE

Kozubtsov I.N.

Military Institute of Telecommunications and Information, Kiev, e-mail: kozubtsov@mail.ru

The purpose of the article is to consider the possibility of using a remote approach to the construction of a system for collecting, analyzing the frequency and noise situation of the high frequency range. To achieve this goal in the scientific article the author considers the applied problem for the justification of the implementation of frequency analysis and noise conditions high frequency range in the absence of the possibility of constructing a frequency-control service. The presence of this information is necessary for the organization of radio communication in the short wave frequency range. The article discusses only two practical options and ways to solve the scientific problem. Of the options considered, the most acceptable for implementation is selected. In all proposed options, you must have access to the Internet. A distinctive feature of these options is the approach to ensure the collection and transmission of information of interest, namely the frequency and noise environment of the short-range frequencies. In the practical part deals with the brief functionality and operation of modern radio, built on SDR technology. Separately considered software-independent radios technology WebSDR, which has gained a lot of popularity among radio Amateurs. The practical application of the proposed solution can be found both in power structures and in the construction of a backup communication system, as well as Amateur radio in a separate case.

Keywords: analysis, radio communication, short waves, noise environment, frequency environment, remote method

*Постановка проблемы исследования.
Связь ее с важными научными заданиями*

Как уже известно, надежность и качество работы средств коротковолновой (КВ) радиосвязи зависит от множественного числа параметров, а именно: условий распространения радиоволн коротковолнового диапазона; мощности радиопередатчика; типа антенн (конфигурации, диаграммы направленности, коэффициента усиления) и тому подобного. Казалось бы, этих исходных данных достаточно для обеспечения радиосвязи с заданной надежностью, однако реальная практика показывает, что этого совсем не достаточно. Необходимо, чтобы функционировала частотно-диспетчерская

служба (ЧДС). Следует отметить, что ЧДС существовала лишь в вооружённых силах СССР. Гражданская система радиосвязи, как правило, использовала месячные данные, издаваемые ИЗМИРАН.

Однако, в том и другом случае при организации радиосвязи в большей мере интересует нас помеховая обстановка, которая образуется как от естественных (прогнозируемых), так и от случайных (непрогнозируемых) источников. И при централизованном проектировании радиолинии важно оценить этот уровень случайных помех в точке приема. Однако ряд помех и препятствий невозможно предусмотреть методами статистического анализа на пункте, даже с помощью ЧДС. Поэтому оператору очень важно знать

реальную помеховую обстановку. С этой задачей справились возвратно-наклоненные (ВНЗ) зондирования ионосферы. Но поскольку при решении этой задачи применение ВНЗ не предусматривается, т.е. прием как ограничение. Таким образом, предметом нашего исследования является обоснование дистанционного метода анализа частотной и помеховой обстановки в точке расположения вероятного корреспондента.

Анализ исследований и публикаций

Классические методы активного зондирования ионосферы (ВЗ, НЗ, ЗНЗ) описаны в фундаментальной работе [1]. В работе [2] сделана аналитическая оценка состояния методов прогнозирования оптимальных рабочих частот (ОРЧ) коротковолнового диапазона, в результате которого сделан вывод об отсутствии средств, необходимых для восстановления ЧДС, подобной той, которая имела в вооруженных силах СССР. Но и применение проверенного временем метода номограмм выбора ОРЧ в пределах максимально применимой (МПЧ) и минимально применимой (НПЧ) частот не удовлетворяет потребности как служб узлов связи, так и радиолюбителей.

Анализ публикаций последнего десятилетия показал, что модернизация и использование КВ радиосвязи имеет еще перспективные направления развития [3]. Однако остается актуальной проблема обеспечения своевременного контроля состояния декаметровых радиолиний. От качества радиолиний зависит устойчивость функционирования систем КВ радиосвязи. Предложенный аппаратно-программный комплекс технического контроля декаметровых радиолиний [4] не удовлетворяет требованиям по технической простоте реализации. Поэтому, предлагается рассмотреть возможные варианты построения систем контроля за состоянием декаметровых радиолиний и таким образом обеспечить своевременную частотно-временную адаптацию систем КВ радиосвязи к условиям распространения радиоволн декаметрового диапазона.

Формулировка цели статьи

Цель статьи заключается в рассмотрении возможности использования дистанционного подхода в построении системы сбора, анализа частотной и помеховой обстановки коротковолнового диапазона частот.

Результат исследования

Решение данной практической проблемы возможно лишь в комплексном подходе учета ключевых факторов, которые рассмотрим как отдельные подзадачи.

Задача 1. Построение системы анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона.

Для функционирования предлагаемой системы анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона предлагается создать систему из набора известных радиомаяков. По качеству прохождения сигнала от радиомаяков рассчитывается полосо ОРЧ. Однако в данном случае существует упущение качественной оценки помеховой обстановки в точке приема. Не всегда возможно обеспечить радиосвязь лишь одной мощностью передатчика и надеждой в прохождение радиоволн в данном направлении. В качестве помех могут быть маломощные радиостанции, которые обслуживают зону покрытия земной волной или помехи от радиостанций ионосферной волной, сигнал которой поступил с противоположной стороны.

Для избегания данных проблем и решения данной задачи предлагается образовать систему сотовых зон, в которых планируется расположение приемников анализаторов спектра КВ-диапазона.

Пределами зон может выступать административно-территориальное деление страны по областям. Необходимо учитывать, что сотовые зоны могут пересекаться в радиусе уверенного радиоприема, как это изображено на рис. 1.

В результате образуется выборочная зона пространственно расположенных радиоприемников (анализаторов спектра). Объединить в целую систему их не стоит сложного труда, например, предложив один из методов дистанционного управления.

Задача 2. Выбор средств реализации системы анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона

Вариант № 1. Построение системы анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона с использованием сканирующего радиоприемного устройства. Возможность сканирующих радиоприемных устройств более подробно рассмотрены в работах [5; 6].

Функциональные возможности реализации системы анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона раскрываются при использовании панорамного радиоприемного устройства типа «Галактика-М2», внешний вид которого представлен на рис. 2.

Управление приемником осуществляется посредством интерфейса USB ver.1.1 или RS-232 программным обеспечением компьютера, что разработано заводом-производителем ООО «Научно-технический центр радиотехнических систем Академии наук прикладной радиоэлектроники» (НТЦ РТС АН ПРЭ) [7]. Программный интерфейс изображен на рис. 3.

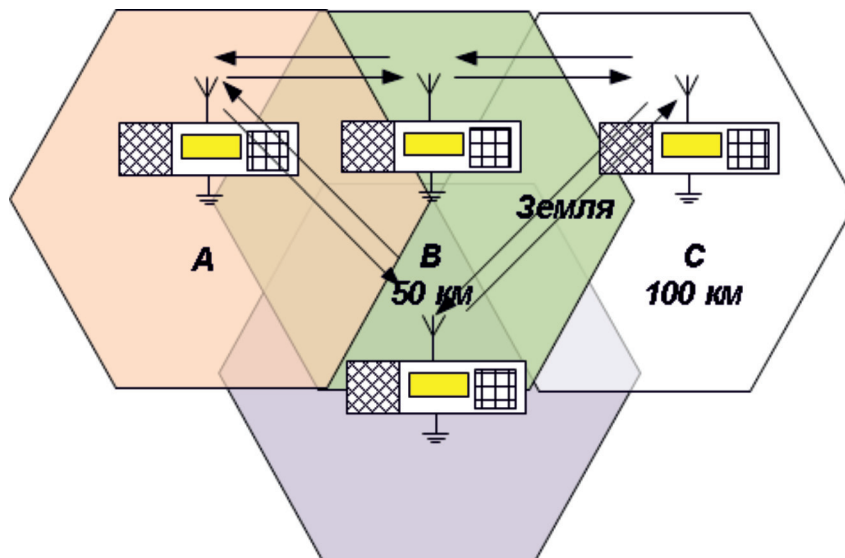


Рис. 1. Сотовый подход к построению структуры зоны анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона



Рис. 2. Внешний вид радиоприемного устройства типа «Галактика-М2»

Техническим решением по обеспечению дистанционного управления интерфейсом радиоприемника «Галактика М2» может выступать, например, применение программного обеспечения (ПЗ) дистанционного управления рабочим столом TeamViewer. Но только в этом случае нужно подключение компьютера к сети Интернет.

Недостатками этого подхода для варианта № 1 следует назвать:

- во-первых, необходимость обустройства стационарного рабочего места оператора;
- во-вторых, отсутствие возможности одновременного использования приемника операторами ЧДС разных постов;
- в-третьих, обязательное подключение компьютера к сети Интернет;
- в-четвертых, неисключительно зависание ПЗ TeamViewer.

Вариант № 2. Построение системы анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона на базе Software Defined Radio. Принцип работы радиоприемного устройства SDR основывается на принципе оцифровывания принятого радиосигнала и дальнейшей его обработки в цифровой форме. При этом технология прямого цифрового преобразования и прямого цифрового синтеза с диапазонными фильтрами [8] в результате позволяет получить максимально высокие характеристики приёмного тракта [9].

Рассмотрим SDR радиоприемник KiwiSDR [10]. Уникальность данного радиоприемника заключается в том, что он обеспечивает непрерывное перекрытие частотного диапазона от 10 кГц до 30 МГц. Режимы демодуляции: AM, AMN, LSB, USB, CW, CWN, NBFM. Пример монтажной платы приемника SDR приведен на рис. 4.

Применение же радиоприемника типа DVB-T TV USB в режиме SDR несколько усложняется решение задачи № 2 приема сигналов ниже 30 МГц. Для этого потребуются подключить КВ-конвертер «upconverter», который перенесет полосу частот 1,5–30 МГц выше. Поскольку USB ТВ-тюнера DVB-T SDR на чипе RTL2832U + R820T (RTL2832U + R820T2) способен обеспечить радиоприем всех радиостанций, работающих в диапазонах частот от 24 МГц до 2,2 ГГц. Полоса пропускания SDR приемника составляет 3,2 МГц. В этой полосе видно все радиостанции одновременно. Возможно применить SDR в режиме прямой оцифров-

ки. В таком случае принятый сигнал будет обработан не R820T, а непосредственно RTL2832U [11]. USB ТВ-тюнера DVB-T SDR обеспечивает демодуляцию: AM, FM, WFM, NFM, CW, SSB. Уникальность данного радиоприемника – не нужна отдельная звуковая карта, достаточно только вставить его в разъем USB компьютера или планшета, предварительно установив драйверы. Устройство сразу готово к работе.

Несколько иначе решается задача применения программно-независимого радиоприемника WebSDR. Данный комплекс состоит из приемника и антенны, которые расположены в определенной точке приема. Рассмотрим принцип работы WebSDR. Это радиоприемник, подключенный к интернету, который позволяет большому количеству

пользователей одновременно настраивать его принимать радиостанции. Для этого достаточно через интернет зайти на страницу web-сайта.

Полоса пропускания приемного устройства WebSDR практически перекрывает всю полосу частот спектра КВ-диапазона. Поэтому принятый приемным устройством WebSDR радиосигнал не обрабатывается, а сразу транслируется по TCP/IP всем пользователям, которые загрузили в браузере WebSDR. Программное обеспечение на стороне клиента принимает этот поток и обрабатывает фильтрами и демодуляторами в соответствии с режимом, который пользователь установит. Программный интерфейс радиоприемника Wide-band WebSDR представлен на рис. 5.

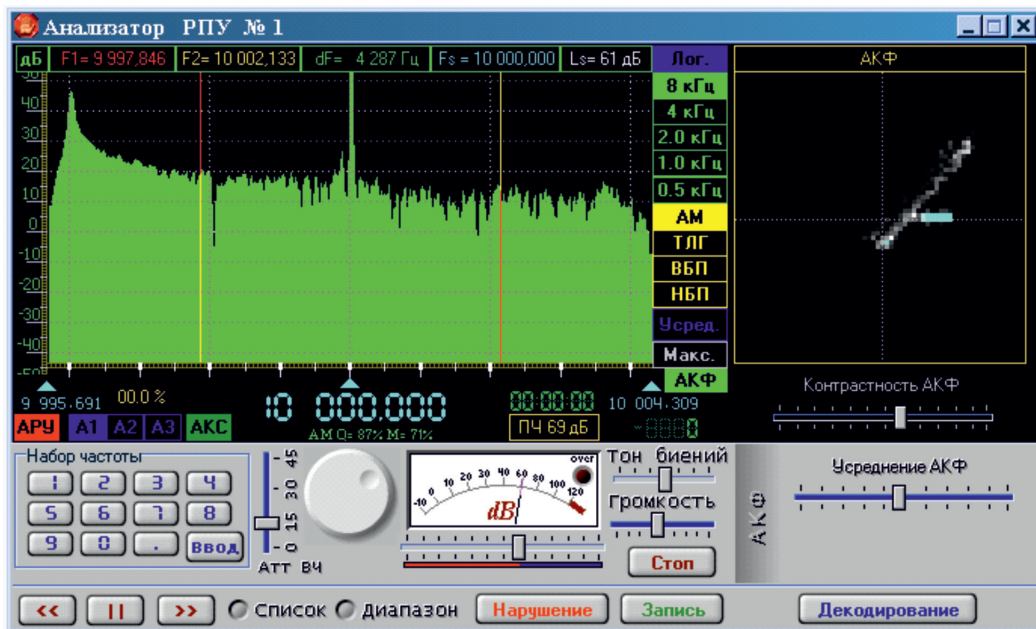


Рис. 3. Программный интерфейс радиоприемника «Галактика М2»



Рис. 4. Плата радиоприемника SDR KiwiSDR

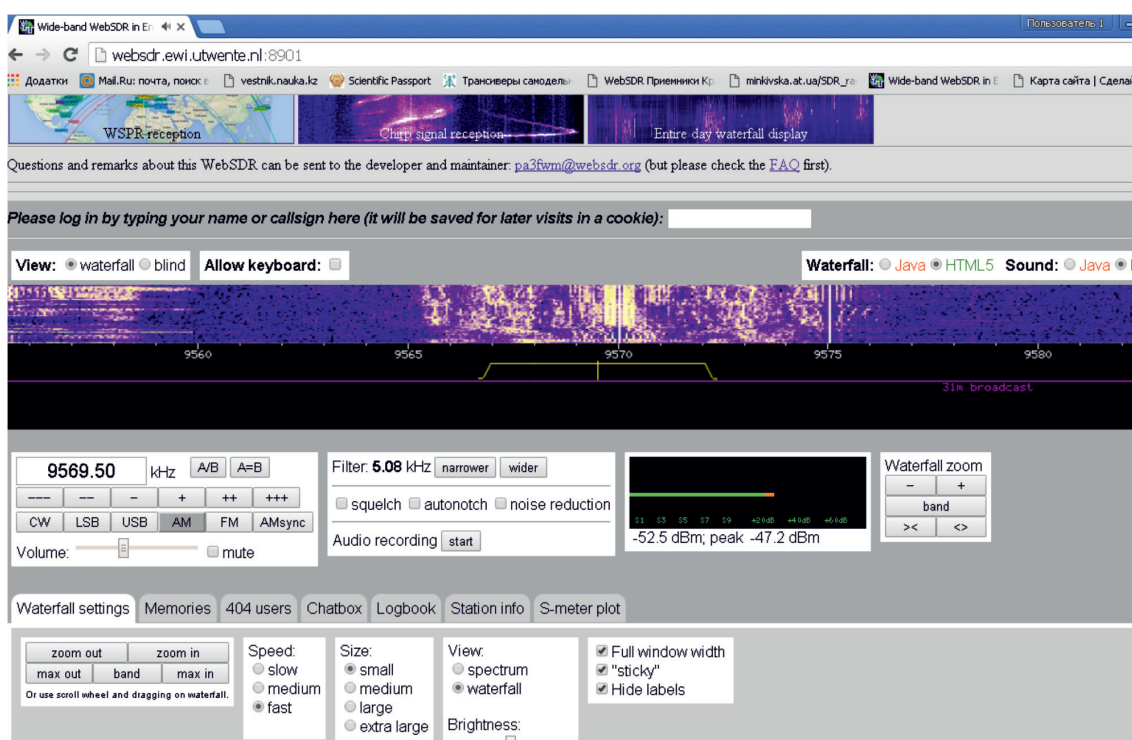


Рис. 5. Программный интерфейс радиоприемника Wide-band WebSDR

Следовательно, для реализации этого варианта нужно лишь компьютер, подключенный к сети Интернет. На веб-странице есть возможность прослушивать и настройки для управления SDR приемником. Например, типичный WebSDR [12] обеспечивает прием радиосигналов следующих модуляций: CW, LSB, USB, AM, FM, AMsync. Частоту настраивания приемника можно изменять с шагом 100 Гц, 1 кГц, 5 кГц, а также в режиме плавного изменения частоты. Полосу пропускания полосного фильтра можно изменять плавно в диапазоне от 300 Гц до 13,53 кГц, чем обеспечивается качество приема и разборчивость демодуляции радиосигнала. Предусмотрено запоминание частот и полосы, а впоследствии трансформация в формате Microsoft Excel.

В отличие от других веб-приемников, это устройство может быть настроено несколькими пользователями одновременно, благодаря использованию Software-Defined Radio. Для организации поста анализа необходимы также компьютер и сеть Интернет. Но в отличие все же от того же варианта № 1 отсутствует необходимость в ПЗ TeamViewer или ей подобных.

Выводы

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы:

– в данной статье решена прикладная задача по обеспечению организации системы анализа частотной и помеховой обстановки КВ-диапазона, частот дистанционным подходом в условиях отсутствия возможности построения частотно-диспетчерской службы;

– рассмотрены два варианта решения, из которых выбран наиболее приемлемый вариант. Отличием является подход в обеспечении сбора и передачи интересующей информации о частотной и помеховой обстановке коротковолнового диапазона частот. Однако во всех предложенных вариантах необходимо наличие сети Интернет.

Практическое применение предложенного решения можно найти как в силовых структурах при построении резервной системы связи, так и радиолюбителям в отдельном взятом случае.

Список литературы

1. Головин О.В. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / О.В. Головин, С.П. Простов; под ред. проф. О.В. Головина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 598 с.
2. Козубцов И.М. Оценка состояния методов прогнозирования оптимальных рабочих частот декаметрового диапазона / И.М. Козубцов // Наука и техника Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины. – 2011. – № 2. – С. 102–106.
3. Станович А.В. Определение перспективных направлений развития систем КВ радиосвязи и обоснование необходимости их учета в процессе развития радиосредств отечественного производства / А.В. Станович, А. Мищенко,

В.С. Легкобит, П.П. Кисиленко // Сборник научных трудов ВИТИ НТУУ «КПИ». – 2012. – № 2. – С. 84–89.

4. Жолдасов Е.С. Аппаратно-программный комплекс технического контроля декаметровых радиолоний / Е.С. Жолдасов, Г.А. Жуков, И.Н. Фатюхин, Н.П. Будко // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2013. – № 3. – С. 24–27.

5. Дьяконов В.П. Современные цифровые анализаторы спектра / В.П. Дьяконов // Компоненты и технологии. – 2010. – № 5. – С. 185–195.

6. Афонский А.А. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / А.А. Афонский, В.П. Дьяконов. – М.: Солон-Пресс, 2009. – 248 с.

7. Профессиональное радиоприемное устройство HF диапазона частот с цифровой обработкой сигналов «Галактика». Техническое описание. – Харьков: ООО НТЦРТС АН ПРЭ, 2009. – 3 с.

8. Прямой цифровой синтез // Электронный журнал «Радио Лоцман». – 2012. – № 11. – С. 21–27.

9. Николашин Ю.Л. Повышение эффективности функционирования декаметровых радиолоний / Ю.Л. Николашин, П.А. Будко, Е.С. Жолдасов, Г.А. Жуков // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 4–10.

10. KiwiSDR: Wide-band SDR + GPS cape for the Beagle-Bone Black [Electronic resource] // – Access mode URL: <http://www.kiwisdr.com/KiwiSDR/index.html> (дата обращения: 17.03.2018).

11. Uprava SDR prijimace s RTL2832U a R820T [Electronic resource] // – Access mode URL: <https://blog.brichacek.net/uprava-sdr-prijimace-s-rtl2832u-a-r820t> (дата обращения: 17.03.2018).

12. Wide-band WebSDR [Electronic resource] // Wide-band WebSDR. – Access mode URL: <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901> (дата обращения: 17.03.2018).

УДК 004.421

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМОВ ВРЕМЕННОГО СГЛАЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АЛГОРИТМА TXAA

Петрин Д.А., Белов Ю.С.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: dapetrin98@yandex.ru

В данной статье рассмотрена проблема алиасинга и причины, по которым возникает это явление. Изложено, почему влияние алиасинга на качество графики необходимо снижать. Представлен алгоритм Supersample Anti-Aliasing (SSAA), основанный на суперсэмплировании, и Multisample Anti-Aliasing (MSAA), основанный на мультисэмплировании. Отмечены их основные недостатки. Рассмотрена общая идея алгоритмов временного антиалиасинга. Произведен обзор одного из самых современных алгоритмов данного семейства – алгоритм временного антиалиасинга от компании NVIDIA (temporal anti-aliasing developed by NVIDIA, TXAA). Описаны основные идеи, которые используются в данном алгоритме для усреднения цвета, фильтрации и выборки пикселей. Рассмотрены различные вариации алгоритма TXAA (TXAA x2 и TXAA x4). Выделены их возможности сглаживания, а также произведено сравнение их производительности с производительностью алгоритма MSAA. Определён главный недостаток алгоритма TXAA. Рассмотрены особенности версии 3.0 RC1 данного алгоритма. Отмечены основные составляющие программного пакета NVIDIA GameWorks. Представлены показатели производительности различных алгоритмов антиалиасинга на видеокартах новых и старых поколений. Обозначены видеокарты, которые поддерживают алгоритм TXAA. Выдвинуты предположения о перспективах развития алгоритма сглаживания TXAA.

Ключевые слова: алиасинг, антиалиасинг, суперсэмплинг, мультисэмплинг, временной антиалиасинг, SSAA, MSAA, TXAA

OVERVIEW OF THE TEMPORAL ANTI-ALIASING ALGORITHM TXAA

Petrin D.A., Belov Yu.S.

Kaluga branch of the federal state budget education institution of higher education «Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)», Kaluga, e-mail: dapetrin98@yandex.ru

This article discusses the problem of aliasing and the reasons for this phenomenon. It is stated why the aliasing effect on the quality of graphics should be reduced. Supersample Anti-Aliasing (SSAA), based on supersampling, and Multisample Anti-Aliasing (MSAA) based on multisamples are presented. Their main shortcomings are noted. The general idea of time-based antialiasing algorithms is considered. A review of one of the most modern algorithms of this family – the algorithm of temporary anti-aliasing from the company NVIDIA (temporal anti-aliasing developed by NVIDIA, TXAA) was made. The basic ideas that are used in this algorithm for averaging color, filtering and sampling of pixels are described. Various variations of the TXAA algorithm (TXAA x2 and TXAA x4) are considered. Their anti-aliasing capabilities are identified, and their performance is compared with the performance of the MSAA algorithm. The main drawback of the TXAA algorithm is identified. Features of version 3.0 RC1 of this algorithm are considered. The main components of the NVIDIA GameWorks software package are noted. Performance indicators of various anti-aliasing algorithms are presented on video cards of new and old generations. Videocards that support the TXAA algorithm are indicated. The assumptions about the prospects for the development of the algorithm for smoothing TXAA are put forward.

Keywords: aliasing, antialiasing, supersampling, multisampling, time antialiasing, SSAA, MSAA, TXAA

Как известно, растровые мониторы представляют собой прямоугольную сетку, состоящую из большого числа точек, которые называются пикселями. Поскольку каждая такая точка имеет фиксированный размер, то любое непрерывное изображение, отображаемое на экране такого типа, станет дискретным. Все элементы этого изображения будут аппроксимироваться в виде последовательности отдельных пикселей. В результате теряется качество и четкость передачи изображения, что приводит к возникновению такого явления, как алиасинг.

Алиасинг сопровождается различными артефактами [1, 2], такими как ступенчатость отображения отдельных полигонов

(лестничный эффект), разрушение текстур, потеря мелких деталей, возникновение мерцания и пр. Вышеперечисленные эффекты оказывают негативное влияние на изображение [3]. В связи с этим были созданы различные алгоритмы, которые позволяли уменьшать степень проявления эффектов алиасинга. Одним из наиболее частых применений таких алгоритмов служит индустрия компьютерных игр, в которой эффекты алиасинга проявляются очень часто. Данная область компьютерной графики является одной из самых распространенных и востребованных в настоящее время. Производители видеокарт стараются во многом доработать и усовершенствовать алгоритмы

антиалиасинга. В дальнейшем они используют эти алгоритмы при разработке программного обеспечения и драйверов для своих видеокарт, чтобы обеспечить наибольшую эффективность и качество продуктов.

Данная статья посвящена рассмотрению общих идей алгоритмов временного антиалиасинга, а также одной из их модификаций. Речь идет об алгоритме, который носит название TXAA (temporal anti-aliasing developed by NVIDIA). Этот алгоритм сглаживания приобретает все более широкое распространение как среди пользователей, использующих его в качестве дополнительной настройки в играх, так и среди разработчиков, которые пользуются данным инструментом в составе NVIDIA GameWorks [4].

NVIDIA GameWorks – это программный пакет, разработанный NVIDIA, предназначенный для упрощения создания различных эффектов в компьютерных играх [5]. Данный инструмент не является полноценным игровым движком. Он предоставляет набор надстроек, которые можно использовать в сочетании с игровыми движками, такими как Unity, Unreal Engine и другие. GameWorks распространяется в виде скомпилированных библиотек DLL вместо традиционного исходного кода. NVIDIA GameWorks состоит из нескольких основных компонентов:

1. VisualFX: для рендеринга эффектов, таких как дым, огонь, вода, глубина резкости, мягкие тени, HBAO+, TXAA, FaceWorks и HairWorks.

2. PhysX: для физики, разрушений, моделирования частиц и жидкости.

3. OptiX: для освещения и трассировки лучей общего назначения.

4. Core SDK: для облегчения разработки на оборудовании NVIDIA [4, 5].

Кроме того, набор содержит пример кода для разработчиков DirectX и OpenGL, а также инструменты для отладки, оптимизации и разработки для Android. GameWorks, а вместе с ним и TXAA занимают важное место в разработке компьютерных игр.

Чтобы понять основные принципы и идеи алгоритма TXAA, необходимо рассмотреть предшествующие алгоритмы антиалиасинга.

Одним из первых таких алгоритмов был алгоритм Supersample Anti-Aliasing (SSAA). Его главная идея заключается в том, что изображение рендерится в более высоком разрешении, в несколько раз превышающем разрешение исходного изображения [6]. Таким образом, каждому пикселю исходного изображения соответствуют несколько пикселей отрендеренного. Эти пиксели часто

называют субпикселями. Далее происходит выборка соответствующих субпикселей для получения среднего цвета. Затем разрешение изображения уменьшается до предполагаемого. В таком изображении каждый пиксель обладает усредненным цветом, что создает более плавные переходы, уменьшая ступенчатость. Главным недостатком данного алгоритма являются большие требования к пропускной способности видеопины, а также большой объем видеопамати для хранения промежуточного изображения.

Развитием идеи суперсэмплинга является мультисэмплинг и алгоритм Multisample Anti-Aliasing (MSAA). Изображение по-прежнему рендерится в более высоком разрешении (обычно x4 и x8 соответственно для MSAA x4 и MSAA x8). Отличие MSAA от SSAA заключается в том, что субпиксели не рассчитываются отдельно для каждого пикселя. Вместо этого рассчитанные ранее субпиксели используются несколько раз для формирования не одного, а нескольких результирующих пикселей [7]. MSAA позволяет не только сэкономить ресурсы, но и получить лучшее качество сглаживания. Однако требования к производительности видеокарты у данного алгоритма по-прежнему сравнительно высокие.

Для аппроксимации суперсэмплинга и мультисэмплинга были разработаны алгоритмы временного антиалиасинга (temporal anti-aliasing, TAA). Главным отличием алгоритмов TAA от SSAA и MSAA является способ анализа пикселей. В то время как супер- и мультисэмплинг анализируют пиксели пространственно, TAA анализирует кадры во времени, даже когда камера статична.

Идея временного антиалиасинга основана на простом наблюдении – от кадра к кадру большая часть содержимого экрана не меняется. Даже при сложных анимациях заметно, что несколько фрагментов просто меняют свое положение, но при этом они обычно соответствуют некоторым другим фрагментам в предыдущих и будущих кадрах. Исходя из этого текущий кадр проецируется на предыдущий кадр, и образцы смешиваются в буфер накопления. После чего происходит выборка нужного цвета пикселя.

Любой алгоритм временного антиалиасинга базируется на вычислении так называемой временной функции интенсивности. Одна из идей ее вычисления основывается на задании положения каждого объекта на сцене в виде непрерывной функции и затем использовании данной функции для нахождения пикселей, которые покрываются этим

объектом. Формально алгоритм вычисления временной функции описывается следующим образом:

Для каждого кадра изображения:

Для каждого объекта в кадре:

1. Вычислить функцию временного преобразования для каждого динамического атрибута.

2. Определить области, которые объект охватывает в течение интервала фильтрации.

Для каждого пикселя:

1. Определить, какие объекты покрывают пиксель в некоторый момент времени в выбранном интервале.

2. Определить промежуточные интервалы времени, в течение которых каждый объект проецируется на этот пиксель.

3. Выполнить скрытое удаление поверхностей путем удаления подынтервалов экранированных объектов.

4. Определить функцию интенсивности пикселя на основе оставшихся подынтервалов и функции временного преобразования объекта.

Отфильтровать результирующую функцию интенсивности пикселя [8].

Под функцией временного преобразования в данном случае понимается функция, отображающая изменение динамического атрибута (например, положение объекта, перемещающегося во время кадра). В тех случаях, когда атрибуты объекта явно не определены, либо слишком сложны для эффективного анализа, может использоваться интерполяция между выбранными значениями.

Алгоритм ТХАА, созданный компанией NVIDIA, является развитием идеи временного антиалиасинга. Данная технология базируется на основе алгоритма МХАА (Multi-sample Anti-Aliasing developed by NVIDIA), но в дополнение использует современные высококачественные фильтры разрешений и временные фильтры в сочетании возможностей аппаратного сглаживания видеокарт последних поколений, а также специальной компьютерной графики.

Алгоритм ТХАА использует временной суперсэмплинг, ключевая идея которого состоит в том, чтобы затенять геометрию в разных местах выборки в пределах пикселя каждого кадра, а затем усреднить значения цвета за последние несколько кадров. Затенение в разных местах выборки достигается за счет «дрожания» матрицы проекции (таким образом достигается эффективное изменение местоположения выборки для всех пикселей) [9].

При усреднении цвета используется экспоненциальное среднее значение вместо простого среднего, что требует значение цвета только последнего кадра вместо

нескольких кадров. Цвет последнего кадра включает вклад от предыдущих кадров и т.д. В алгоритме ТХАА версии 3.0 RC1 добавлена возможность использовать фильтр Блэкмана – Харриса вместо обычного box-фильтра, прежде чем результаты будут экспоненциально смешаны с результатами предыдущего кадра [9], что в ряде случаев улучшает качество изображения.

В случае, когда объекты находятся в движении относительно камеры, история пикселя определяется его положением в предыдущем кадре. В этом случае используется вектор движения на каждом пикселе для определения места нахождения текущего пикселя в предыдущем кадре. Приложения должны генерировать вектор движения в каждом месте выборки. Если цвет соответствующего пикселя в предыдущем кадре сильно отличается от текущего цвета, используется прямоугольник, ограничивающий области его окрестности и отсечения предыдущего цвета относительно этого ограничивающего прямоугольника [9]. Данное решение позволяет значительно снизить требования к аппаратным ресурсам, не нанося при этом ущерба качеству.

В алгоритме ТХАА версии 3.0 RC1 был представлен новый способ вычисления ограничивающей рамки, который был разработан компанией NVIDIA. Он основывается на использовании статистических показателей. Этот способ позволяет создавать более жесткие ограничивающие прямоугольники, что приводит к меньшему количеству ореолов, но может потенциально вызвать мерцание, когда камера не движется. Для решения данной проблемы были применены специальные фильтры, позволяющие снизить степень мерцания, а также дополнительные регуляторы.

Для фильтрации пикселей алгоритм ТХАА использует выборку сэмплов как внутри, так и снаружи пикселя, в соединении с выборками из предыдущих кадров, чтобы обеспечить по возможности самое высокое качество фильтрации [10].

Алгоритм ТХАА стремится обеспечить наиболее хорошее качество изображения, при этом жертвуя небольшим ухудшением производительности. Данный факт коренным образом отличает его от таких алгоритмов сглаживания, как FXAA (Fast Approximate Anti-Aliasing), который среди современных алгоритмов антиалиасинга обеспечивает наиболее высокую производительность, снижая при этом качество картинки.

Все же алгоритм ТХАА имеет один недостаток по сравнению с MSAA (МХАА). Многие пользователи отмечали, что при использовании данного вида сглаживания

в играх изображение приобретало эффект «замыливания» (blur). На разных мониторах степень «замыливания» проявляется по-разному, тем не менее этот артефакт является побочным эффектом для алгоритма TXAA.

Ключом эффективного использования TXAA является совместимость фильтра разрешения с отложенным затенением и HDR-освещением, для того чтобы данная технология смогла обработать каждый полигон сцены, а не только определенное подмножество, как это бывает с мультисэмплированием. Поскольку данная возможность будет обеспечиваться на уровне ПО, то производительность алгоритма TXAA определяется производительностью пиксельных шейдеров, а не пропускной способностью видеошины.

TXAA имеет два базовых уровня качества: один основан на 2x MSAA, а другой на основе 4x MSAA. Вариант TXAA x2 обеспечивает качество, сравнимое с MSAA x8 при производительности MSAA x2. Модификация TXAA x4 обеспечивает качество, превосходящее MSAA x8, но при производительности MSAA x4 [10].

Ресурсоемкость алгоритма TXAA наглядно отражают эксперименты по оценке производительности алгоритмов антиалиасинга на различных видеокартах. Первый эксперимент проводился с целью сравнения производительности алгоритмов TXAA с алгоритмами FXAA, MXAA и без использования антиалиасинга на ви-

деокартах последних поколений. Для исследования был использован компьютер со следующими характеристиками:

1. Игровая видеокарта NVIDIA GeForce GTX TITAN X SLI последнего поколения.
2. Процессор Intel Core i7 4-го поколения с частотой 3.9ГГц.
3. Монитор с разрешением 2880x1620.
4. ОС Windows 8.1 x64.

Эксперимент проводился на максимальных настройках игры Grand Theft Auto V (GTA V). Результаты данного исследования показаны на рис. 1.

Данная диаграмма позволяет сделать вывод, что производительность алгоритма TXAA x4 действительно сравнима с производительностью MSAA x4. При этом производительность алгоритма TXAA x4 так же, как и TXAA x2, не сильно уступает даже производительности FXAA.

Второй эксперимент проводился для исследования работы алгоритмов на видеокартах NVIDIA серии GeForce 6-го поколения с DirectX 11, которые являются сравнительно устаревшими. Для исследования использовалась игра The Secret World с максимальными настройками и разрешением экрана 1920x1080. Полученные результаты можно отразить на рис. 2.

Исходя из данных этого эксперимента, можно сделать вывод, что даже на видеокартах предыдущих поколений алгоритм TXAA по-прежнему обеспечивает высокую производительность, сопоставимую с производительностью FXAA.

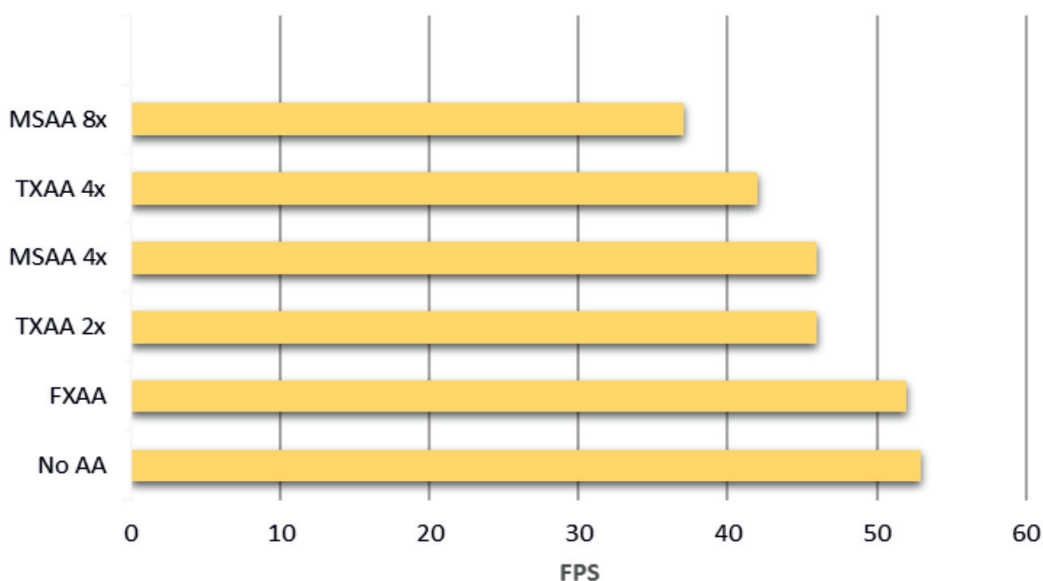


Рис. 1. Производительность алгоритмов сглаживания на современных видеокартах

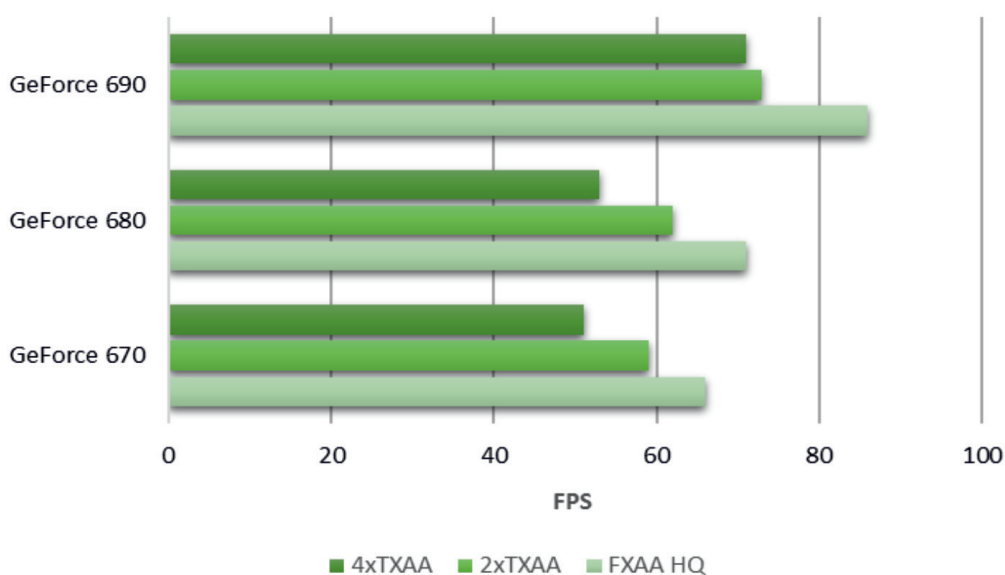


Рис. 2. Производительность алгоритма TХАА на видеокартах предыдущих поколений

В заключение стоит отметить, что технология TХАА поддерживается видеокартами NVIDIA с архитектурой Kepler и Pascal. К числу данных видеокарт относятся, в частности, все версии GeForce, начиная с 6-го поколения, а также GTX TITAN. Серия GeForce является одной из самых популярных в мире, поэтому большинству пользователей скорее всего будет доступна данная технология. Тем не менее данный алгоритм не поддерживается видеокартами производства AMD, что существенно снижает распространенность TХАА. Одной из возможностей развития для TХАА станет поддержка для видеокарт NVIDIA QUADRO архитектуры Fermi. Другим направлением развития может стать устранение или значительное снижение проявления эффекта «замыливания» у данного алгоритма. Несмотря на это на данный момент технология является весьма перспективной. Она особенно подойдет тем пользователям, которые готовы пожертвовать некоторым снижением производительности ради достижения отличного качества графики. Если компания NVIDIA продолжит развивать алгоритм TХАА, то, возможно, он станет одним из самых ключевых алгоритмов антиалиасинга для современной компьютерной графики.

Список литературы

1. Белов Ю.С., Молчанов А.Н., Редько А.В. Современный подход использования перспективной матрицы в компьютерной графике // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 1 (5). – С. 162–172.
2. Дикан И.В., Белов Ю.С. Методы оптимизации под OpenGL // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2014. – № 11 (35). – С. 4.
3. Franklin C. Crow, Communications of the ACM, The Aliasing Problem in Computer-Generated Shaded Images. – 1977. – Vol.20, No. 11. – pp. 799–805.
4. GameWorks | NVIDIA Developer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.nvidia.com/what-is-gameworks> (дата обращения 02.03.2018).
5. Nvidia GameWorks – Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Nvidia_GameWorks (дата обращения: 02.03.2018).
6. Jorge Jimenez, Jose I. Echevarria, Tiago Sousa, Diego Gutierrez, EUROGRAPHICS 2012 / P. Cignoni, T. Ertl, SMAA: Enhanced Subpixel Morphological Antialiasing. – 2012. – Vol. 31, No. 2.
7. Matt Pettineo. A quick overview of msaa [Электронный ресурс] // The Danger Zone: сайт. – URL: <https://mynameismjp.wordpress.com/2012/10/24/msaa-overview/> (дата обращения: 02.03.2018).
8. Temporal anti-aliasing – Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Temporal_anti-aliasing (дата обращения: 02.03.2018).
9. NVIDIA TХАА 3.0 RC1 documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.nvidia.com/gameworks/content/gameworkslibrary/postworks/product.html> (дата обращения: 02.03.2018).
10. Temporal Anti-Aliasing (TХАА) | Technology | GeForce [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geforce.com/hardware/technology/txaa/technology> (дата обращения: 02.03.2018).

УДК 004.08:004.6

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**Попов С.В.***ООО «Научно-внедренческая фирма БП+», Москва, e-mail: s-v-popov@yandex.ru*

Под распределенной информационной системой понимается множество узлов, с каждым из которых ассоциированы пользователь и база данных. Все узлы разбиты на (в общем случае пересекающиеся) подмножества – так называемые кластеры, Пользователь любого узла имеет доступ к базам данных других узлов лишь в пределах кластера, которому все они принадлежат. Следовательно, пользователь обменивается информацией с другими пользователями в пределах одного кластера и может получать информацию сразу из нескольких баз данных также в пределах одного кластера. Так как в общем случае кластеры пересекаются, то один пользователь может принадлежать нескольким кластерам. В статье предлагается способ разбиения множества узлов на кластеры, который позволяет программными средствами реализовать упомянутую методику обмена и переработки данных. Способ состоит в использовании следующих меток узлов информационной системы: каждый узел метится некоторым интервалом единичного n -мерного куба таким образом, что пересечение меток произвольного множества узлов не пусто, тогда и только тогда, когда это множество включено в один кластер. Существует простая процедура порождения меток и проверки множества меток на непустоту. В результате сравнительно просто можно на заданном множестве узлов динамически формировать кластеры, реализуя обмен данными в пределах одного кластера. Приводятся примеры представительного множества распределенных информационных систем, которые описываются как совокупность кластеров с информационным обменом в пределах одного кластера.

Ключевые слова: распределенная информационная система, кластеры, несовместимость узлов, семантика совместимости/несовместимости, граф несовместимости, интервал единичного куба

DISTRIBUTED DATA PROCESSING SYSTEM**Popov S.V.***LLC «Nauchno-vnedrencheskaya firma BP+», Moscow, e-mail: s-v-popov@yandex.ru*

Under the distributed information systems the set of nodes, each of which has an associated user and the database. All nodes are divided into (generally overlapping) subsets, called clusters, any node has access to the databases of other nodes within the cluster to which they belong. Therefore, the user exchanges information with other users within the same cluster and can retrieve information from several databases within the same cluster. As in the General case, the clusters intersect, then one user can belong to multiple clusters. The paper proposes a method of partitioning the multiple nodes into clusters, which allows software to implement the said method the exchange and processing of data. Method is to use the following labels of the nodes of the information system: each node is marked a certain interval of a unit n -dimensional cube in such a way that the intersection of the labels of an arbitrary set of nodes is not empty, then and only then, when this set is included in one cluster. There is a fairly simple procedure of generating the labels and check the labels on many not the void. The result is relatively easy on a given set of nodes to dynamically determine clusters and to implement the exchange of data within the same cluster. Given examples are representative of many distributed information systems, which are described as a set of clusters with the above-mentioned method of information exchange within the same cluster.

Keywords: distributed information system, clusters, the incompatibility of nodes, the semantics of compatibility/incompatibility, graph the incompatibility, the interval of a single cube

В настоящее время явно выраженный тренд развития информационных систем состоит в использовании распределенных систем обработки информации [1, 2]. Их преимущество в том, что они дают возможность каждому пользователю для решения собственных задач подключать дополнительные ресурсы, которыми он в данный момент не обладает. Современные сетевые технологии позволяют реализовать практически любые распределенные системы, не ограничивая возможностей передачи данных между узлами сетей [3, 4]. Еще один аспект, который следует учитывать при разработке и реализации распределенных информационных систем, состоит в обеспечении безопасности хранимых данных и исключении противоречий при извлечении новых данных из имеющихся. В совре-

менных сетях это достигается различными способами: аутентификацией, распределением прав доступа, разбиением сети на подсети, регулированием доступа к данным, механизмами обеспечения целостности и непротиворечивости, используемыми при формировании запросов к разным узлам, и пр. Поэтому при их разработке требуется уделять значительное внимание вопросам безопасности хранения и обработки данных. Здесь безопасность понимается в широком смысле – это не только исключение несанкционированного доступа к данным, но и исключение противоречий при использовании данных из разных узлов информационной системы.

Имеется еще один факт, который необходимо учитывать, когда мы говорим о распределенных информационных системах,

так как уже сейчас наблюдается их большая разновидность. Каждый вид распределенных информационных систем характеризуется своей методикой хранения и обработки данных, не применимой для иных типов. В связи с этим актуален вопрос построения такого способа реализации распределенных информационных систем, который учитывал бы их большое разнообразие в плане адекватного удовлетворения требований к информационному обмену и обработке данных.

Цель работы

В связи с этим цель статьи состоит в описании методики проектирования распределенных информационных систем переработки информации, которая обеспечивает распределение прав доступа пользователей к имеющимся данным по заранее заданным содержательным законам. При этом исключаются технические средства разбиения на подсети или рабочие группы. Все методы распределения доступа реализуются программно, тем самым обеспечивая возможность оперативного изменения параметров доступа к данным. То есть при различных распределениях прав доступа в распределенной информационной системе, возникающих в связи с различными обстоятельствами, происходит лишь перенастройка параметров программного обеспечения.

Распределенные информационные системы

Распределенной информационной системой (РИС) называется множество $N = \{1, 2, \dots, n\}$ узлов, i -й узел, $i \in N$, представляет собой пару, первым компонентом которой есть база данных (БД) V_i , а вторым – пользователь u_i . Под базой данных здесь подразумевается как хранилище фактических данных (например, реляционная БД), так и база знаний, которая вместе с фактическими данными содержит утверждения, истинные на имеющихся данных БД V_i (декларативные данные). Эти утверждения используются для получения новых данных, используя средства логического вывода. Тем самым декларативные данные используются в процедурах извлечения новых данных. Помимо этого имеется q подмножеств $N_1 \subseteq N, N_2 \subseteq N, \dots, N_q \subseteq N$, которые назовем *кластерами*. Информационное взаимодействие в такой РИС состоит в том, что пользователь кластера имеет неограниченный доступ к каждой его БД и не имеет доступа к БД тех кластеров, в которые он не входит.

Примеры. Приведем несколько примеров РИС, отметив, что каждая из них ха-

рактеризуется своей методикой обработки информации.

1. *Базы знаний учебного заведения.* Пусть $N = \{1, 2, \dots, n\}$ есть множество узлов, в каждой БД которых хранятся учебно-методические и обучающие материалы по определенной компетенции. А все множество $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ этих БД образует учебно-методическую базу учебного заведения, в котором имеется q специальностей. В рамках одной специальности доступны учебные материалы строго определенных компетенций, и не доступны материалы тех компетенций, которые не предполагаются к использованию их учебными планами. Тогда i -я специальность, $i = 1, 2, \dots, q$, представляет собой совокупность N_i узлов множества N , базы знаний которых определяют учебно-методические материалы, которые необходимо освоить для получения i -й специальности.

2. *Схема документооборота.* Пусть РИС имеет множество узлов $N = \{1, 2, \dots, n\}$, каждый узел $i \in N$ ассоциирован с определенным работником u_i . В РИС имеется q кластеров $N_1 \subseteq N, N_2 \subseteq N, \dots, N_q \subseteq N$. Все работники обмениваются данными: каждый из них имеет возможность создать документ и отослать его другим работникам. Документ метится уникальной подписью работника, который его создал. Документ, сгенерированный работником u_i , рассылается всем работникам РИС, но открывается работниками лишь того кластера, в который входит i -й узел. Тем самым обмен информацией между работниками одного кластера происходит свободно, в то время как обмен данными между разными кластерами не разрешен. Тем самым реализуется распределение доступа к информации в зависимости от специализации пользователей РИС.

3. *Распределенный банк данных.* Пусть $N = \{1, 2, \dots, n\}$ есть множество узлов, с каждым из которых ассоциирована пара: база данных и пользователь, и $N_1 \subseteq N, N_2 \subseteq N, \dots, N_q \subseteq N$ суть множество кластеров. Данные разных кластеров могут быть противоречивыми, поэтому на информационные процессы накладываются определенные ограничения. В рамках такого распределенного банка данных явно выделяются два процесса: помещение информации в БД и извлечение новых данных, исходя из хранящейся в БД информации. При этом как размещение информации, так и извлечение может происходить с использованием нескольких БД, ассоциированных с разными узлами. Что касается помещения новой информации, то пользователь $u_i, i \in N$, может помещать информацию в любую базу кластера, которой

принадлежит узел i . Но при формировании пользователем u_i запросов к распределенной базе данных разрешено использовать данные из любого подмножества БД в точности того кластера, которому принадлежит узел i . Тем самым исключается появление противоречия, так как для БД одного кластера соблюдается непротиворечивость данных. В то же время использование БД из разных кластеров не разрешено, так как в этом случае использование данных из таких БД может привести к противоречию.

4. *Частичный порядок кластеров.* На множестве кластеров одной РИС можно ввести отношение смежности кластеров, сделав ее, в определенном смысле, двухуровневой. Для этого надо ввести дополнительное ребро, по которому будут общаться между собой два кластера K_1 и K_2 . В исходной РИС это ребро отсутствует. Оно вводится лишь для передачи определенной информации между кластерами K_1 и K_2 , фильтруя ее с помощью определенного фильтра. В разных направлениях ребро фильтрует информацию по-разному. Тем самым лишь определенная информация из кластера K_1 будет доступной в кластере K_2 , и наоборот. В разных направлениях передаваемая информация имеет разные характеристики. В итоге реализуется вполне удобный метод защиты информации, циркулирующей между кластерами, делая РИС менее статичной по сравнению с описанными выше.

Итак, задача разработки РИС на заданном множестве узлов состоит в том, чтобы:

1) пользователь мог общаться с другими пользователями только в рамках тех кластеров, которым он принадлежит. Общение с пользователями других кластеров невозможно, только если это не предусмотрено дополнительными средствами РИС в виде дополнительных ребер;

2) пользователю, ассоциированному с узлом $n \in N$, была доступна информация, ассоциированная с узлами $n_1, n_2, \dots, n_m \in N$ только, если последние принадлежат тому же кластеру, что и он. Исключение составляют РИС с дополнительными ребрами, обладающими свойством фильтрации информации.

Тем самым в РИС осуществляется разделение прав доступа пользователей, в зависимости от разбиения ее узлов на кластеры. В предлагаемой далее методике проектирования РИС предполагается, что выделение кластеров происходит путем присвоения меток узлам и описания критерия, позволяющего по любому множеству меток определять, принадлежат ли они одному кластеру. Подобная методика позволяет осуществлять динамическое разбиение

узлов на кластеры, так как присвоение меток узлам и проверка критерия принадлежности узлов одному кластеру осуществляется программными средствами.

Реально РИС задаются путем определения ее узлов с соответствующими БД и пользователями, а затем перечислением всех кластеров. Таким образом, РИС мыслится как пара (N, N^*) , где N есть конечное множество узлов, а $N^* \subseteq 2^N$ – совокупность кластеров, которые суть подмножества множества N . Один узел может входить в несколько кластеров в качестве составной части. Если два узла одновременно не принадлежат никакому кластеру, то они называются *несовместимыми*, в противном случае – *совместимыми*. Содержательно несовместимость узлов может интерпретироваться по-разному: это может быть несовместимость соответствующих баз данных в распределенной системе обработки данных, невозможность пользователей иметь доступ к одним и тем же документам в системе документооборота, запрет на общение пользователей, ассоциированных с узлами РИС, несовместимость разных команд в одном управляющем устройстве и т.п. Два пользователя РИС несовместимы, если они не имеют доступа к одной и той же информации. Более подробно семантика, основанная на несовместимости узлов, описана в [5].

В результате на множестве N задано бинарное коммутативное отношение $InCom \subseteq N \times N$ – описывающее отношение *несовместимости*. Узлы РИС можно представлять как обладающие определенными значениями конечной совокупности элементарных признаков. Поэтому узел мыслится как вектор, каждый его компонент указывает на наличие / отсутствие определенного признака. Признак однозначно соответствует компоненту вектора, разным компонентам соответствуют разные признаки и наоборот. Значения признаков, в свою очередь, бывают *совместимыми* и *несовместимыми*. Разные значения одного признака – *несовместимы*, поэтому они не встречаются в описании одного узла.

По множеству N и отношению $InCom$ построим *граф несовместимости* $GIncom$ с множеством узлов N . Узлы $b_1, b_2 \in GIncom$ смежные тогда и только тогда, когда выполняется отношение $InCom(b_1, b_2)$. Мы несколько усилим понятие кластера РИС: множество N^* – это *совокупность кластеров*, которые суть максимальные подмножества множества N , т.е. к условию $N^* \subseteq 2^N$ добавляется требование, что каждый кластер нельзя расширить за счет добавления какого-либо узла из N .

Введенное определение РИС назовем *содержательным*, так как отношение несовместимости $InCom$ может носить неформальный характер и определяться, исходя из соображений, формулируемых содержательно. Предикат $InCom$ введен, чтобы сделать изложение более формальным.

Нетрудно увидеть, что каждому кластеру $V \in N^*$ в графе $GIncom$ соответствует максимальный пустой подграф G_V , и наоборот, каждому максимальному пустому подграфу графа $GIncom$ соответствует единственный кластер. Таким образом, можно говорить не о кластерах РИС, а о пустых подграфах графа $GIncom$.

Логическая семантика РИС

В [5] введено понятие *логической матрицы*, представляющей КНФ или ДНФ логической функции, строки матрицы соответствуют переменным, а столбцы – соответственно дизъюнктам или конъюнктам. Элементы матрицы суть 0, 1, _ (обозначая соответственно отрицательную литеру, положительную литеру или ее отсутствие). Каждый столбец матрицы с n строками представляет интервал в единичном n -мерном кубе E^n , а совокупность M^* столбцов определяет интервал $I^* \subseteq E^n$: I^* есть пересечение интервалов, определяемых M^* . Поэтому интервал I^* называется *определяемым* подматрицей M^* . В [5] описано, как по графу $GIncom$ построить матрицу с n строками и m столбцами, где $m = |N|$ и она обладает следующими свойствами.

1. Два разных столбца b_1 и b_2 матрицы помечены интервалами σ_1 и σ_2 единичного n -мерного куба, пересечение которых $\sigma_1 \cap \sigma_2$ пусто тогда и только тогда, когда $InCom(b_1, b_2)$. В этом случае столбцы b_1 и b_2 называются *ортогональными*.

2. Каждый пустой подграф $G_0 \subseteq GIncom$, $G_0 = \{b_1, b_2, \dots, b_q\}$ определяет такую подматрицу $M(b_1, b_2, \dots, b_q)$, что определяемый ею интервал в n -мерном единичном кубе не пуст. Для непустых графов определяемые ими интервалы пусты.

Разные способы построения матрицы по графу $GIncom$ дают различные матрицы с разным числом строк, тем самым по-разному определяя интервалы единичного куба. Однако в любом случае отношение $InCom$ элементов множества N описывается логическими терминами, и отношение несовместимости однозначно совпадает с отношением пустоты пересечения интервалов.

Как видно, знание такой матрицы позволяет на логическом уровне ввести кластеры РИС. Для этого достаточно несовместимым узлам поставить в соответствие ортогональ-

ные столбцы. Это можно делать разными способами, что приводит к различным матрицам, характеризующимся разным числом строк, однако с одинаковым отношением ортогональности на столбцах. Наиболее прозрачный метод построения ортогональности состоит в выделении максимальных двудольных подграфов исходного графа и введением соответствующих ортогональных меток.

Построение кластеров по заданным характеристикам

Пусть в РИС надо выделить кластер как совокупность узлов, обладающих заданными характеристиками, причем практически невозможно перечислить в точности все свойства узлов в силу того, что они составляют представительное множество. Однако в данном случае можно воспользоваться содержательным отношением несовместимости, не особенно озадачиваясь его точным формальным представлением. Это есть одно из достоинств предлагаемого метода, когда вместо анализа формальных показателей, используются содержательные соображения. Поэтому в процессе уточнения задача вполне решается, и в конечном итоге удается получить искомым кластер. Для определенности можно считать, что на начальном этапе имеется перечисление некоторых свойств, которые позволяют выделять кластер, обладающий искомыми свойствами, и проектирование РИС состоит в том, чтобы описать все кластеры.

Сформулируем задачу в терминах РИС, для которой задано отношение $InCom$. Содержательно ее элементами могут трактоваться как конкретные сущности, так и признаки, позволяющие однозначно идентифицировать кластер. Поэтому можно полагать, что для элементов РИС задана содержательная семантика в терминах совместимости / несовместимости. Рассматриваемая РИС характеризуется графом $GIncom$, по которому в соответствии с описанной выше процедурой строится логическая матрица M . Теперь задача описания кластера состоит в построении максимального пустого подграфа, узлы которого суть элементы РИС, имеющие содержательную интерпретацию и удовлетворяющие содержательным критериям принадлежности искомого кластеру.

Пометим столбцами логической матрицы M соответствующие узла множества N . Метку узла n обозначим $I(n)$, а множество всех меток подмножества $N_1 \subseteq N$ обозначим $I(N_1)$. Пересечение всех меток множества $I(N_1)$ обозначим $\cap I(N_1)$. Введенные метки обладают следующим свойством. Для лю-

бого множества $N_1 \subseteq N$ пересечение $\cap I(N_1)$ не пусто тогда и только тогда, когда множество N_1 принадлежит одному кластеру. Как следствие, получаем, что множество меток кластера определяет непустой интервал. Теперь организуем информационное взаимодействие узлов лишь в случае, если пересечение их меток не пусто. Тем самым информационное взаимодействие узлов осуществляется только в случае принадлежности их одному кластеру. Передача данных между узлами разных кластеров исключается. И получение информации по запросу узла n к базам данных узлов n_1, n_2, \dots, n_m возможно, лишь если пересечение $\cap I(n_1, n_2, \dots, n_m)$ не пусто.

Заключение

Предложена методика проектирования РИС, представляющей собой множество узлов с заданным на нем разбиением на кластеры. Основным требованием к узлам РИС является ограничение на взаимодействие узлов только в рамках одного кластера. Описан метод присвоения меток узлам РИС, представляющих собой интервалы единичного n -мерного куба, который позволяет организовать кластеры так, чтобы метки узлов одного кластера принадлежали одному непустому интервалу единичного куба, а метки узлов из разных кластеров представляли

собой непересекающиеся интервалы. Используя такую разметку узлов РИС, можно легко обеспечить искомую связь узлов лишь в рамках одного кластера. Тем самым легко строится «плоская» РИС, с изолированными друг от друга кластерами. С другой стороны, можно обобщить данную методику и построить «двухуровневую» РИС, когда передача информации между кластерами возможна через определенные фильтры, пропускающие только специфическую информацию. Метод реализуется программно, путем присвоения узлам описанных меток и проверке по ним произвольного подмножества узлов простого критерия непустоты пересечения интервалов. При переопределении структуры РИС, т.е. ином разбиении ее на кластеры, происходит лишь простая перенастройка параметров программы.

Список литературы

1. Миков А.И., Замятина Е.Б. Распределенные системы и алгоритмы. – М.: Интуит.ру, 2012. – 370 с.
2. Таненбаум Э., Ван-Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер, 2013. – 877 с.
3. Федоров А., Мартынов Д. Windows Azure. Облачная платформа Microsoft. Microsoft. – 2012. – 96 с.
4. Черняк Л. Web-сервисы, grid-сервисы и другие // Открытые системы. СУБД. – 2014. – № 12. – С. 20–27.
5. Попов С.В. Синтез предметных областей. Решение одного класса переборных задач. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 96 с.

УДК 535.215.1:621.311

ОТЛИЧИЯ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ СЕРИЙНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сычев В.А.

ТОО «Alatau Service Technologies», Алматы, e-mail: vitaliy.sychev@astech.kz

В данной статье кратко рассмотрены некоторые теоретические аспекты принципа фотоэлектрического преобразования и указан один из основных его параметров – энергия возбуждения электронов. Приведены количественные данные этого параметра для наиболее распространенных материалов и методов изготовления фотоэлектрических преобразователей. Указаны теоретические пределы эффективности такого преобразования (предел Шокли – Квэзье) и приведены примеры практических достижений в отрасли. Приведены ссылки на справочные данные по современным достижениям эффективности фотоэлектрического преобразования. Даны некоторые практические показатели готовых изделий в зависимости от технологии изготовления и применяемых материалов, такие как ток короткого замыкания, напряжение холостого хода, пиковая мощность. Объяснена и обоснована необходимость использования такого параметра, как массовый коэффициент атмосферы для практического использования параметра пиковой мощности. Кратко приведены методы изготовления фотоэлектрических преобразователей и связанные с этим показатели относительной стоимости. Сделаны выводы о целесообразности применения той или иной технологии (монокристаллического, поликристаллического и аморфного кремния) в конкретных условиях и ограничениях. Сделаны выводы о спектральной чувствительности фотопреобразователей для разных технологий и связанной с этим параметром величины эффективности фотопреобразования. Статья может быть полезна в образовательных и ознакомительных целях.

Ключевые слова: ток короткого замыкания, пиковая мощность, предел Шокли – Квэзье, кремний, фотоэлектрические панели, аморфный, поликристаллический, монокристаллический, фотоэлектрический, напряжение холостого хода, массовый коэффициент атмосферы, метаморфный, многопереходный

THE DIFFERENCES IN CHARACTERISTICS OF THE MASS PRODUCTION'S PHOTOELECTRIC CONVERTERS APPLIED FOR SOLAR POWER STATIONS DESIGNING

Sychev V.A.

Alatau Service Technologies ltd., Almaty, e-mail: vitaliy.sychev@astech.kz

In this article, we briefly discuss some theoretical aspects of the principle of photoelectric conversion and indicate one of its main parameters, the excitation energy of electrons. Quantitative data of this parameter are given for the most common materials and methods for manufacturing photoelectric converters. The theoretical limits of the efficiency of such a transformation (the Shockley-Quasier limit) are indicated and examples of practical achievements in the industry are given. Reference is made to reference data on modern achievements of photoelectric conversion efficiency. Some practical indicators of finished products are given depending on the manufacturing technology and materials used, such as short-circuit current, open-circuit voltage, peak power. The necessity of using such a parameter as the mass coefficient of the atmosphere for the practical use of the peak power parameter is explained and justified. The methods of manufacturing photoelectric converters and associated relative cost indices are briefly described. Conclusions are made about the advisability of using this or that technology (monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon) under specific conditions and constraints. Conclusions are drawn about the spectral sensitivity of photoconverters for different technologies and the magnitude of the photoconversion efficiency associated with this parameter. The article can be useful for educational and educational purposes.

Keywords: photoelectric, single-crystal, polycrystalline, amorphous, silicon, photoelectric panels, Shockley – Quasier limit, peak power, short-circuit current, open-circuit voltage, mass atmosphere coefficient, metamorphic, multi-transitive

В последние годы большое значение и популярность приобретают альтернативные источники электроэнергии. Не всегда эта популярность экономически обоснована, но эта область науки и техники имеет огромное значение и большие перспективы. Особенно важно использование таких источников энергии там, где отсутствуют традиционные.

Одним из таких источников являются фотоэлектрические преобразователи (элементы). Основой большинства таких преоб-

разователей являются сплавы химических элементов, формирующих полупроводниковые структуры. Эти фотоэлектрические элементы используют энергию фотонов, излучаемых нашей ближайшей звездой – Солнцем для получения столь знакомой и удобной электрической энергии.

Самыми массовыми фотоэлектрическими преобразователями являются панели, собранные из нескольких (иногда нескольких десятков) единичных элементов, изготовленных из одного из самых распростра-

ненных веществ на планете – кремния (Si). Не такими массовыми, но стоящими упоминания являются германиевые (Ge), арсенид-галлиевые (AsGa), индий-фосфорные (InP) преобразователи и преобразователи на основе теллурида кадмия (CdTe). Последние занимают господствующие позиции на рынке тонкопленочных преобразователей. Разработаны и применяются более сложные методы фотоэлектрического преобразования, но в рамках данной статьи мы их опустим.

Чистый кремний не позволит эффективно преобразовать энергию падающих фотонов в электрическую энергию. Поэтому чистый кристаллический кремний легируют (слегка разбавляют) другими химическими элементами для получения нужной структуры. Сам элемент фотоэлектрического преобразователя состоит из как минимум двух слоев кремния, легированных разными химическими элементами (например, бор (B) и фосфор (P)), создавая таким образом полупроводниковую структуру. Процессу и теоретическим основам такого легирования уделим минимум внимания. А вот метод изготовления рассмотрим подробнее. От них зависят несколько параметров фотоэлектрического преобразователя – общий КПД преобразования, спектральная отдача преобразования, напряжение холостого хода, плотность тока и ток короткого замыкания. От метода изготовления зависит и цена конечного продукта, а следовательно, экономические характеристики преобразования одного вида энергии в другой.

Попробуем описать основные принципы преобразования одного вида энергии в другой и основные методы изготовления каждого вида панелей. Исходя из этого попытаемся определить основные критерии выбора фотоэлектрических преобразователей для конкретных целей.

В солнечных фотопанелях используется фотовольтаический эффект, открытый в 1839 году А.Э. Беккерелем. Этот эффект преобразования одного вида энергии в другой – световой энергии Солнца в электрическую – основан на факте возбуждения электронов кристаллической решетки вещества взаимодействующим с ним фотоном до уровня, при котором электроны смогут перейти на следующий энергетический уровень, покинуть кристаллическую решетку и стать свободным. Свободные электроны под действием внутреннего электростатического поля начинают перемещаться к аноду цепи, а компенсирующий положительный заряд, так называемая «дырка» движется в противоположном направлении. В замкнутой цепи эти заряды рекомбинируют, совершая

работу. Тем самым энергия Солнца (энергия падающих фотонов) превращается в электрическую (энергию движущихся электронов). Поиск наиболее эффективных материалов для такого преобразования ведется в том числе и с учетом спектра излучения нашей звезды, то есть с учетом типичных энергий излучаемых фотонов.

Необходимо пояснить и то, что энергия возбуждения электрона квантуется, то есть для перехода электрона с одного, низкоэнергетического уровня к другому – высокоэнергетическому, требуется определенная, точно известная энергия, выраженная в электрон-вольтах (eV). Если возбуждающий фотон имеет энергию меньше энергии возбуждения электрона, то при их взаимодействии такой электрон останется на своем энергетическом уровне. А энергия фотона уйдет либо на нагрев вещества, либо будет потеряна. В противоположном случае, когда энергия фотона больше энергии возбуждения электрона, такой электрон при взаимодействии перейдет на следующий энергетический уровень, станет свободным (произойдет разделение электрона и «дырки») и сможет участвовать в генерировании электрической энергии. В этом случае мы можем говорить о поглощении энергии фотона и преобразовании его в электрическую. К сожалению избыток энергии фотона будет так же преобразован в тепло. То есть для получения наиболее эффективных фотопреобразователей мы должны использовать материалы, имеющие энергию перехода электронов в возбужденное состояние, равную или близкую (меньшую) энергии большей части фотонов, достигающих Земли. На практике это очень трудно сделать, и мы можем только приблизиться к максимально возможным практическим показателям.

Таким образом, существуют некие рамки эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую, так как с одной стороны, мы имеем достаточно узкий диапазон энергий доходящих до нас фотонов, определяемых «окном прозрачности» атмосферы, а с другой стороны, для массового производства мы используем достаточно дешевые материалы, имеющие узкие рамки энергий возбуждения собственных электронов и сравнительно простые технологии изготовления фотоэлектрических преобразователей.

Максимально достижимый теоретический коэффициент полезного действия фотоэлектрического преобразования для полупроводниковой структуры с одним p-n переходом (наиболее массовый тип фотоэлектрических преобразователей) выведен

совместно Вильямом Шокли и Хансом-Хоакимом Квазье в 1961 году [1] и имеет величину 33,7%. Этот пик достигается при энергии возбуждения электронов вещества в 1,34 eV. Наиболее популярный материал для производства фотоэлектрических преобразователей кремний (Si) имеет энергию возбуждения электронов в 1,12 eV (соответствует длине волны 1107 nm), что приводит к максимальной теоретической эффективности преобразования в 32% [2]. Эта предельная величина, называемая пределом Шокли – Квазье является фундаментальной в отрасли производства фотоэлектрических преобразователей, и ее определение рассматривается как наиболее важное достижение в отрасли. Хотя в более поздних работах максимальный коэффициент эффективности кристаллических кремниевых фотоэлектрических преобразователей оценивается в 29,4% [3]. На рис. 1 показан график зависимости эффективности фотоэлектрического преобразователя от энергии возбуждения электронов вещества.

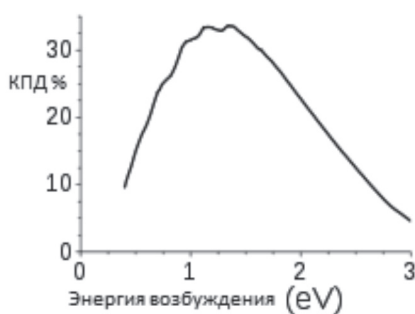


Рис. 1. Зависимость эффективности фотопреобразователей от энергии возбуждения электронов вещества

Для повышения эффективности фотоэлектрического преобразования прибегают к таким методам, как, например, создание многопереходных полупроводников, тем самым увеличивая вероятность поглощения фотонов с более широким диапазоном энергий (каждый p-n переход поглощает энергию «своих» фотонов), или использование фотолюминесцентных покрытий [4], преобразующих «бесполезные» высокоэнергетические фотоны в менее энергетические, но «полезные» (фактически «перекрашивая» их), которые могут быть поглощены нашим материалом. Такие технологии достаточно дороги и используются только там, где эффективность фотоэлектрического преобразования – преобладающий или главный фактор для заданных целей. Например, для космических аппаратов.

Пояснив качественные принципы фотоэлектрического преобразования, можно

указать и на количественные. Основной задачей отрасли производства фотоэлектрических преобразователей был и остается поиск такой комбинации веществ и элементов, при котором коэффициент полезного действия такого преобразования будет максимальным. В данном случае КПД определяется как отношение мощности электрической энергии, вырабатываемой единичной площадью элемента к мощности падающего на такой элемент солнечного света. Стандартным методом измерения является облучение тестового образца световым потоком мощностью 1000 Вт/м², со спектром излучения, соответствующим солнечному. Полученная электрическая мощность, приведенная на 1 м² образца, и будет показателем эффективности. В настоящее время КПД самых современных экспериментальных фотопреобразователей достигает 44% (2012 г. метаморфные материалы с тройным p-n переходом), а наиболее распространенные преобразователи на основе монокристаллов кремния имеют КПД не более 17–20%. В книге [5] приводится графическая таблица от авторитетной исследовательской лаборатории Министерства энергетики США NREL по эффективности преобразования всех известных на сегодняшний момент методов.

Практическим показателем, по которому можно судить об эффективности целой фотоэлектрической панели, является пиковая электрическая мощность W_p при массовом коэффициенте атмосферы 1,5 (AM – air mass) [6, 7]. Этот коэффициент введен для практических целей. Он учитывает наклон оси земли на своей орбите и, соответственно то, что Солнце не светит перпендикулярно земной поверхности в большинстве стран в средних широтах. Этот коэффициент означает полуторное расстояние от поверхности земли до края атмосферы (при отклонении оси «Солнцесповерхность Земли» от нормали в 48,2°). Таким образом учитывается средний уровень поглощения солнечного света атмосферой на средних широтах в течение года. Поэтому пиковая мощность фотопанели, указанная в паспорте как $W_p = 100$ Вт (AM = 1,5), например, на географической широте города Алматы, Республика Казахстан 22 июня в 13 часов (максимально возможный угол солнца над горизонтом), будет составлять 141 Вт, а 22 декабря в то же время (минимально возможный угол солнца над горизонтом в истинный полдень [8]) будет составлять 59 Вт. Но для практических расчетов, учитывая среднегодовую инсоляцию, удобно использовать как раз этот параметр W_p (AM 1,5). На рис. 2 представлена фотография ти-

пичного шильдика монокристаллической фотопанели, где указаны основные электрические параметры – пиковая мощность (P_{max}), пиковый ток (I_{mp}), пиковое напряжением (V_{mp}), ток короткого замыкания (I_{sc}) и напряжение холостого хода (V_{oc}). Указано также, что все технические данные приведены для стандартных условий испытания ($AM = 1,5$, мощность светового потока 1000 Вт/м^2).

Solar Module	
Rated Max Power (P_{max})	100W
Current at P_{max} (I_{mp})	5.36A
Voltage at P_{max} (V_{mp})	18.0V
Short-Circuit Current (I_{sc})	6.11A
Open-Circuit Voltage (V_{oc})	22.4V
All technical data at standard test condition	
AM=1.5 E=1000W/m ² T _c =25°C	

Рис. 2. Типичный шильдик монокристаллической фотопанели производства Китая (фото автора)

Напряжение холостого хода V_{oc} (напряжение без нагрузки при стандартных тестовых испытаниях) указано в вольтах и ток короткого замыкания I_{sc} в амперах. Оба этих параметра напрямую зависят от используемых материалов и технологии изготовления фотоэлектрических преобразователей и указаны в паспорте каждой фотопанели.

В настоящее время в мире для производства массовых серийных фотоэлектрических преобразователей используют три основные технологии их изготовления. Эти технологии применяются для получения монокристаллических, поликристаллических и аморфных фотоэлектрических элементов. В названии каждого из этих видов заключен и метод изготовления. В последнее время можно найти немало статей, опубликованных на интернет-сайтах, где авторы не всегда корректно рекомендуют какой-либо тип фотопанелей как наиболее экономически эффективные. Одни утверждают, что нет лучше монокристаллических панелей, другие – что поликристаллические (или аморфные) лучше работают при низкой освещенности и поэтому предпочтительнее использовать их. Попробуем разобрать все три метода изготовления массовых фото-

электрических преобразователей и присущие им достоинства и недостатки.

Первый метод – естественная кристаллизация расплава кремния в контролируемых условиях. Этот метод, названный по имени его изобретателя – Яна Чохральского, используется для получения монокристалла кремния, который в дальнейшем делится на тонкие пластины, обрабатывается соответствующим образом и служит основой для единичного фотоэлектрического преобразователя [9]. Сложность (высокая температура, постоянный контроль процесса движения заправки, контролируемая атмосфера) и длительность изготовления напрямую влияют на цену готового продукта, поэтому такие фотопреобразователи наиболее дорогие из массовых. Но благодаря химической чистоте, правильной, почти идеальной кристаллической структуре, коэффициент полезного действия таких фотопреобразователей самый высокий среди массовой серийной продукции. Энергия возбуждения в таком материале, как указывалось выше, $1,1 \text{ eV}$. Соответственно, напряжение холостого хода V_{oc} составляет $0,67 \text{ В}$, а плотность тока доходит до 40 mA/cm^2 . Благодаря тому, что готовый кристалл имеет цилиндрическую форму, готовые фотоэлектрические элементы имеют форму квадрата со скошенными краями. В мире 90% фотоэлектрических преобразователей монокристаллические. На рис. 3 представлен вид монокристаллического фотоэлемента. Отличительная особенность – скошенные края, так как такие элементы вырезаются из цилиндрической заготовки.



Рис. 3. Монокристаллический фотоэлемент

Второй метод изготовления, наиболее распространенный для производства поликристаллического кремния – это процесс осаждения поликристаллического кремния из газовой фазы [10, 11]. Этот метод ме-

нее энергоемок и требует меньше времени. Но в итоге получается состав, состоящий из множества микрокристаллов кремния. Дополнительные потери на границах отдельных кристаллов приводят к ухудшению показателей эффективности. Но стоимость фотоэлектрических панелей на базе пластин из поликристаллического кремния ниже. Типичные показатели таких фотопанелей – $V_{oc} = 0,4 - 0,6 \text{ V}$, в зависимости от размеров микрокристаллов; I_{sc} – немного меньше, так же как и плотность тока. Общая эффективность едва более 10%. Готовые фотоэлектрические элементы имеют форму правильного прямоугольника, как на рис. 4.

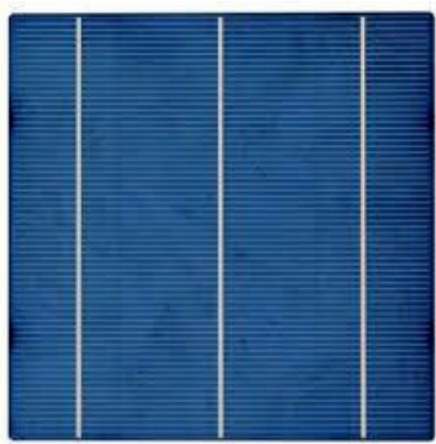


Рис. 4. Поликристаллический фотоэлемент

Третий метод – использование аморфного кремния в виде тонких пленок, нанесенных на практически произвольную подложку, в том числе гибкую [12, 13]. Фотоэлектрические панели с использованием аморфного кремния могут быть в виде большой единой монопанели, как показано на рис. 5, или даже рулонного типа. Обобщенные показатели таких фотопанелей следующие – энергия возбуждения 1,6–1,8 eV, плотность тока 17–18 mA/cm^2 , $V_{oc} = 0,8 \text{ V}$, а общая эффективность 6–8%. Благодаря своим свойствам коэффициент поглощения видимого света аморфного кремния много больше, чем кристаллического, поэтому толщина пленки может быть намного меньше (в десятки раз), но из-за несовершенства кристаллической структуры остальные показатели много меньше. Еще одним эффектом фотоэлектрических панелей на базе тонких пленок является меньшая чувствительность к длинноволновой части спектра и более высокая к коротковолновой. На практике это приводит к интересному эффекту – такие фотоэлектрические панели в пасмурный день или на закате теряют

эффективность медленнее, чем панели на базе кристаллического кремния. Так как более высокочастотное излучение (более высокоэнергетические фотоны) меньше ослабляются облаками и вообще атмосферой. Но общая среднесуточная или среднегодовая эффективность остается низкой и несравнима по этим показателям с монокристаллическими фотопанелями. Это важно указать, так как в некоторых источниках, например [14], говорится о том, что «...при слабом или рассеянном освещении панели из аморфного кремния генерируют до 20% больше энергии...», что не совсем верно. При одинаковой площади массовых серийных фотоэлектрических преобразователей именно монокристаллические генерируют максимальное среднесуточное и среднегодовое количество электроэнергии.



Рис. 5. Фотоэлектрическая панель из аморфного кремния

Таким образом, исходя из качественных показателей каждого вида фотоэлектрических преобразователей, можно сделать общие рекомендации при их выборе для конкретных условий использования. Если есть ограничения по весу или площади или требуется максимальная экономическая эффективность, то для установки фотопанелей для общего бытового использования или генерации больших объемов электроэнергии необходимо рассматривать фотопанели на базе монокристаллов кремния. Для вспомогательных целей электрогенерации, при достаточной площади можно использовать фотопанели на базе поликристаллического или аморфного кремния, или с использованием тонкопленочных покрытий других соединений, например на базе CdTe.

Список литературы

1. Shockley William, Queisser Hans. Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells // *Journal of Applied Physics*. – 1961. – Vol. 32 (March 1961). – P. 510–519; DOI: 10.1063/1.1736034.
2. Ruhle S. Tabulated values of the Shockley–Queisser limit for single junction solar cells // *Solar Energy*. – 2016. – no. 130. – P. 139–147. Bibcode:2016 SoEn..130..139R. DOI:10.1016/j.solener.2016.02.015.
3. Richter A., Hermle M., Glunz S.W. Reassessment of the limiting efficiency for crystalline silicon solar cells // *IEEE Journal of Photovoltaics*. – Oct 2013. – no.3(4) . – P. 1184–1191. DOI:10.1109/JPHOTOV.2013.2270351.
4. Sunovia, EPIR demonstrate optical down-conversion for solar cells / Editor Lillian B. 14.11.2008. URL: <https://solarindustry.com/sunovia-epir-demonstrate-optical-down-conversion-for-solar-cells> (дата обращения: 06.03.2018).
5. Arno Smets, Klaus Jager, Olindo Isabella, Miro Zeman, Rene van Swaaij. *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion // Technologies and Systems*. ISBN-10: 1906860327. ISBN-13: 978-1906860325. UIT Cambridge, 2016. – 462 p.
6. Arthur N. Cox/ *Allen’s Astrophysical Quantities*, 4th ed., ISBN-10: 1461211867, ISBN-13: 9781461211860. Springer, Mar 19, 2015. – 721 p.
7. Reference Solar Spectral Irradiance: ASTM G-173. The ASTM G-173 standard measures solar intensity over the band 280 to 4000 nm. URL: <http://redc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/ASTMG173/ASTMG173.html> (дата обращения: 06.03.2018).
8. Самойлов К.И. *Морской словарь*. – М.-Л.: Государственное Военно-морское издательство НКВМФ Союза ССР, 1941. – 644 с.
9. Czochralski J. Ein neues Verfahren zur Messung der Kristallisationsgeschwindigkeit der Metalle [A new method for the measurement of the crystallization rate of metals] // *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. – 1918. – no. 92. – P. 219–221.
10. Кремний «солнечного качества»: производство в России. – 2009. URL: <http://www.abercade.ru/research/analysis/1920.html> (дата обращения: 06.03.2018).
11. Особенности технологии кремниевых основ для получения поликристаллического кремния / Ю.В. Реков, И.Ф. Червоный, С.Г. Егоров // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2012. – Т. 5, № 8(59). – С. 47–51.
12. Minnaert Ben. *Thin film solar cells: an overview*. Universiteitsbibliotheek Gent. – 2008. Object id: 1854/LU-4238935 handle. Permalink: <https://lib.ugent.be/catalog/pug01:4238935>.
13. Shah A. editor. *Thin-film silicon solar cells*. EPFL Press. – 2010. – 430 p. ISBN-10:1420066749, ISBN-13: 9781420066746.
14. Аморфные солнечные батареи. – 2015. URL: <http://www.solnpanels.com/amorfnye-solnechnye-batarei> (дата обращения: 06.03.2018).

УДК 519.6

ПРОГРАММНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЧЕТОВ ФУНКЦИЙ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСАХ НА ОСНОВЕ СОРТИРОВКИ

Тюшнякова И.А.

Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) РГЭУ (РИНХ), Таганрог,
e-mail: Solovyova_Irina@mail.ru

В статье изложен компьютерный метод применения сортировки для вычисления вычетов функций в действительных полюсах. Задача нахождения вычетов функций в особых точках актуальна сама по себе, кроме того, её решение ведет к вычислению криволинейных интегралов по замкнутому контуру. Рассматриваются функции комплексного переменного, которые имеют в качестве особенностей только конечные полюсы. Полюсы функции и их порядок программно определяются с использованием схем сортировки. В качестве сортировки можно использовать любую устойчивую сортировку со свойствами адресности и обратной адресности. Вычеты функции в полюсах программно определяются последовательным нахождением коэффициентов ряда Лорана. Предложенные алгоритмы проиллюстрированы структурными схемами и примерами программной реализации. В работе приводятся фрагменты листинга программной реализации в среде Delphi на языке Pascal. Описанный метод отличается от известных методов своим построением на базе схем сортировки, а также возможностью распараллеливания. Описанный в статье метод позволяет получить точный результат, помимо этого, существенна возможность программной реализации метода. Метод может использоваться как для непосредственного определения вычетов, так и для вычисления криволинейных интегралов по замкнутому контуру.

Ключевые слова: сортировка, вычеты функций, полюса функций

SOFTWARE DEFINITION RESIDUES OF FUNCTIONS IN THE REAL POLES ON THE BASIS OF THE SORT

Tyushnyakova I.A.

Taganrog Institute named after A.P. Chekhov (branch) Rostov State University of Economics,
Taganrog, e-mail: Solovyova_Irina@mail.ru

The article describes a computer method of applying sorting to calculate the residues of functions in real poles. The problem of finding the residues of functions at singular points is actual in itself, in addition, its solution leads to the calculation of curvilinear integrals over a closed contour. We consider functions of a complex variable that have only finite poles as singularities. The poles of a function and their order are programmed using the sorting schemes. As sorting, you can use any stable sorting with the properties of targeting and reverse targeting. The deductions of the function at the poles are programmed by the sequential finding of the coefficients of the Laurent series. The proposed algorithms are illustrated by structural diagrams and examples of software implementation. In the work fragments of listing of software implementation in the environment of Delphi in Pascal language are given. The described method differs from known methods by its construction on the basis of sorting schemes, as well as the possibility of parallelization. The method described in the article makes it possible to obtain an accurate result, in addition, the possibility of software implementation of the method is essential. The method can be used both for direct determination of residues and for calculating curvilinear integrals over a closed contour.

Keywords: sorting, residues of function, poles of functions

Задача определения вычетов функций в особых точках актуальна сама по себе, кроме того, её решение ведет к вычислению криволинейных интегралов по замкнутому контуру. Будем рассматривать функции комплексного переменного, у которых в качестве особенностей выступают только конечные полюсы, и искать вычеты функций в этих полюсах.

Вычет функции в любой конечной изолированной особой точке равен коэффициенту C_{-1} при первой отрицательной степени в разложении функции в ряд Лорана в окрестности этой точки [1], т.е. при $\frac{1}{z - z_0}$

для z_0 , принадлежащей области комплексных чисел: $res_{z_0} f(z) = C_{-1}$. По теореме Лора-

на [2, 3] о разложении аналитической функции в кольце в ряд по целым степеням имеет

$$\text{место равенство } f(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n (z - z_0)^n .$$

Поскольку рассматриваются функции, имеющие в качестве особенностей только полюсы z_0 , то в выколотой окрестности точки z_0 ряд Лорана функции $f(z)$ содержит конечное число членов с отрицательными степенями [4]. То есть, если z_0 – полюс n -го порядка, то

$$f(z) = \frac{C_{-n}}{(z - z_0)^n} + \frac{C_{-n+1}}{(z - z_0)^{n-1}} + \dots + \frac{C_{-1}}{z - z_0} + C_0 + C_1(z - z_0) + \dots$$

Задача состоит в программном вычислении коэффициента C_{-1} . Очевидны соотношения

$$\left. \begin{aligned} C_{-n} &= \lim_{z \rightarrow z_0} f(z)(z - z_0)^n, \\ C_{-n+1} &= \lim_{z \rightarrow z_0} \frac{f(z)(z - z_0)^n - C_{-n}}{z - z_0}, \\ C_{-n+2} &= \lim_{z \rightarrow z_0} \frac{f(z)(z - z_0)^n - C_{-n} - C_{-n+1}(z - z_0)}{(z - z_0)^2}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} (*)$$

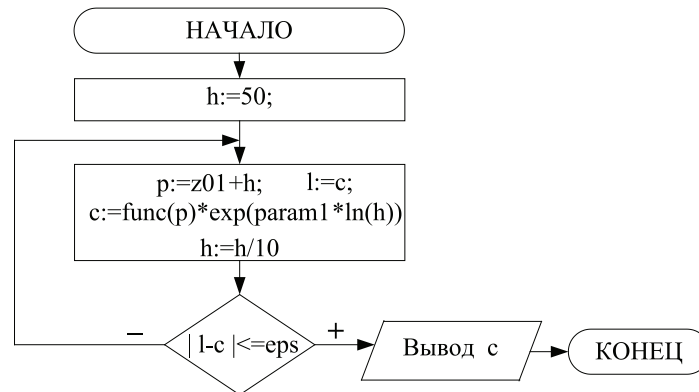


Рис. 1. Структурная схема алгоритма нахождения коэффициентов ряда Лорана с использованием предельного перехода

Последовательное вычисление всех отрицательных коэффициентов ряда Лорана рекуррентно приведет к нахождению C_{-1} . Реализацию предельного перехода алгоритмически предполагалось [5] осуществить следующим образом (рис. 1).

В данном алгоритме используются следующие обозначения: $z01$ – полюс исходной функции $func(z)$, переменная $param1$ определяет порядок полюса $z01$, eps – наперед заданная погрешность вычислений.

Однако таким образом можно точно вычислить лишь коэффициент ряда Лорана с наименьшей отрицательной степенью $C_{-param1}$. Вычисление следующего коэффициента таким же образом (заменяя лишь выражение для переменной C на выражение, определяющее $C_{-param1+1}$) дает шесть верных цифр после десятичной точки. Каждый последующий коэффициент вычисляется с большей погрешностью, чем предыдущий; ошибка накапливается, в результате оказывается невозможным точно вычислить вычет функций в полюсах, порядок которых выше второго.

С целью преодоления возникшей трудности предлагается алгоритм приближенного нахождения коэффициентов ряда

Лорана, базирующийся на использовании сортировки:

1. На основе сортировки [6, 7], по изложенной в [8, 9] схеме вычисления полюсов комплексных функций находятся все полюсы z_0 функции $f(z)$, а также их порядок n [10, 11].

2. Для определения вычета функции в первом из найденных полюсов z_k порядка $k1$ вычисляются необходимые коэффициенты $C_{-k1}, C_{-k1+1}, \dots, C_{-2}, C_{-1}$ из (*) при повторном применении схемы вычисления полюсов исходной функции (уже без учета порядка) в месте спуска к наименьшему значению в окрестности локализованной точки при достаточном сужении области поиска вокруг уже определенного полюса. Иными словами, искомые коэффициенты вычисляются по данной схеме непосредственно по виду выражений, стоящих под знаком предела из (*), по ходу циклического приближения значения z к заново вычисляемому значению z_0 .

3. Пункт 2 повторяется для каждого из найденных полюсов, пока не будет определен вычет во всех полюсах.

Программная реализация пункта 2 опирается на алгоритм, представленный на рис. 2.

Как отмечалось выше, область поиска полюсов нужно ограничить небольшой окрестностью вокруг уже известного полюса, что и отражено в блоке описания констант:

$$\begin{aligned} \text{eps}0 &= \text{zz} * \text{g}; \text{x}00 = \text{z}0 - \text{eps}0 / \text{g}; \\ \text{x}11 &= \text{z}0 + \text{eps}0 / \text{g}. \end{aligned}$$

В ходе численного эксперимента было установлено, что численные значения константы *eps0* и граничных точек окрестности поиска *x00*, *x11* зависят друг от друга. Эту зависимость определяет коэффициент *g*, введенный в блоке описания констант. Значение коэффициента *g* может быть варьировано в рамках значений от 10^{-424} до 10^{-9} , что не влияет на точность результата и позволяет произвольно сужать или расширять окрестность поиска.

Значение множителя *zz* константы *eps0* подобрано эвристически в ходе численного эксперимента, оно варьируется в зависимости от порядка полюсов. Однако выбранные значения *zz*, приведенные в каждом случае в примере 1, остаются постоянными для различных функций, которые имеют одинаковый порядок полюсов.

Приближения к коэффициенту ряда Лорана, который вычисляется по соответствующим формулам из (*), запоминаются в массиве *vv*, после чего искомым коэффициент представляется как среднее арифметическое значений первых десяти элементов этого массива.

Замечание. Заметим, что весовой одночлен является необходимой компонентой для вычисления порядка полюсов функций в случае отсутствия информации о количестве полюсов, поскольку возможен случай единственности полюса. Отсутствие весовой функции может повлиять на правильность определения порядка полюса, но никак не на само значение полюса. Поэтому использование весового одночлена является излишним при вычислении вычетов функций в полюсах.

Описанный метод ниже иллюстрируется на примере.

Пример. Вычислить вычет функции $f(z) = \frac{5}{(z+1)^3 \left(z + \frac{2}{3}\right)}$ в полюсе, имеющем порядок, отличный от 1.

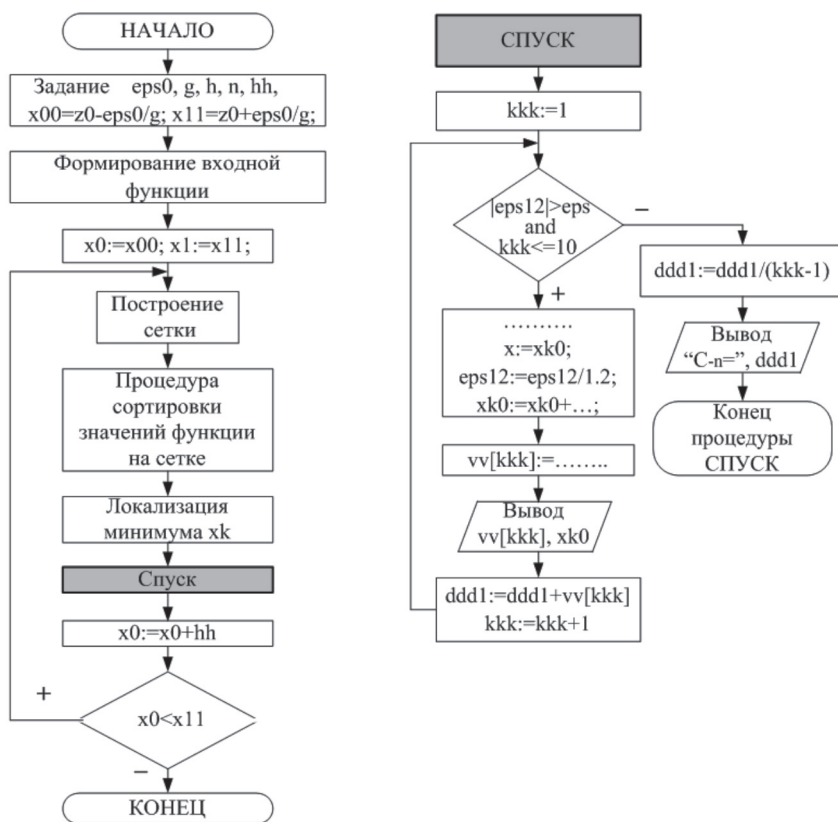


Рис. 2. Упрощенная структурная схема алгоритма приближенного вычисления коэффициента ряда Лорана в окрестности точки $z = z_0$

Отметим, что представление исходной функции в таком виде, когда обратная к ней задана разложением на множители, используется с целью иллюстрации, для сравнения результатов работы программы с очевидными значениями полюсов. Исходная функция может быть представлена в виде любой дробно-рациональной функции.

Определим все полюсы исходной функции и их порядок. Как и прежде, изменения произойдут лишь в блоке описания констант и функций:

На вход программы, полный текст которой представлен в [5], подается функция, нули которой совпадают с полюсами исходной функции $f(z)$, она получена при помощи простейших алгебраических преобразований обратной функции к $f(z)$ к виду

$$\left| \frac{1}{f(x, y)} \right|^2 = u^2(x, y) + v^2(x, y),$$

где

$$u(x, y) = 3x + x^4 - 5y^2 - 11xy^2 + y^4 + \frac{2}{3} + 5x^2 + \frac{11}{3}x^3 - 6x^2y^2,$$

$$v(x, y) = 10xy + 4x^3y - \frac{11}{3}y^3 + 11x^2y - 4xy^3 + 3y.$$

В качестве весовой используется произвольно выбранная функция $\rho(x, y) = (x - 1,052)^2 + y^2$. Результаты работы программы приведены в таблице.

Результаты вычисления полюсов функции $f(z) = \frac{5}{(z+1)^3 \left(z + \frac{2}{3}\right)}$ с учетом их порядка

Действительная часть полюса	Мнимая часть полюса	Порядок полюса	Значение обратной функции
-1.00E+0000	1.05E-1332	3	0.00E+0000
-6.66E-0001	1.05E-1332	1	0.00E+0000

Мнимая часть полученных полюсов настолько мала (порядка 10^{-1332}), что будем считать ее нулем и далее возможно использовать программу вычисления действительных нулей функций из [12, 13].

По условию задачи, необходимо вычислить вычет функции $f(z)$ в первом полюсе $z = -1$. Данный полюс имеет порядок 3, поэтому коэффициенты ряда Лорана имеют следующий вид:

$$C_{-3} = \lim_{z \rightarrow z_0} f(z)(z - z_0)^n, \quad C_{-2} = \lim_{z \rightarrow z_0} \frac{f(z)(z - z_0)^3 - C_{-3}}{z - z_0},$$

$$C_{-1} = \lim_{z \rightarrow z_0} \frac{f(z)(z - z_0)^3 - C_{-3} - C_{-2}(z - z_0)}{(z - z_0)^2}.$$

Фрагмент листинга программы на языке Pascal [14, 15] для вычисления коэффициента C_{-3} – раздела описания констант и функций и спуска к наименьшему значению в окрестности локализованной точки:

```

.....
const eps=1.1e-444; g=1e-19; eps0=1e-18*g;
h=eps0/(2*1024/20); n=1024; nn=trunc(n/2); hh=n*h; tt=64; np=4;
{область поиска полюсов}
x00=-1-eps0/g; x11=-1+eps0/g; .....
kkk:=1;
{Вычисление коэффициентов Лорана одновременно при спуске}
{к наименьшему значению в окрестности локализованной точки}
while (abs(eps12) > eps) and (kkk <= 10) do begin x:=xk0;
minx(x,min,ee); eps12:=eps12/1.2; xk0:=xk0+ee*hx-eps12; vv[kkk]:=sqr(xk0+1)*(xk0+1)*f(xk0);
Writeln ('C(-n)=' ,vv[kkk], ' ,xk0,' ,func(xk0,korx,r,param));
ddd1:=ddd1+vv[kkk]; kkk:=kkk+1; end; ddd1:=ddd1/(kkk-1); writeln ('!!!!C(-n)=' ,ddd1);
eps13:=eps0/1.2; x:=xk0+ee*hx+eps12; xk1:=xk1+eps12;end; .....
Результат работы программы:
C<-n>=-1.500000000000000E+0000.

```

Вычисленные коэффициенты C_{-3} заносятся в массив vv , на выходе программы представлено среднее арифметическое значений первых десяти элементов этого массива. Значение C_{-3} для функции $f(z)$ вычислено «абсолютно» точно (с точностью до формата представления выводимых значений). Как показал численный эксперимент, коэффициент с наименьшей отрицательной степенью всегда удается вычислить с такой точностью.

Для вычисления коэффициента C_{-2} ряда Лорана функции $f(z)$ необходимо в блоке описания констант положить $eps0=1e-10*g$ и заменить фрагмент программы, в котором осуществляется вычисление коэффициентов Лорана одновременно при спуске к наименьшему значению в окрестности локализованной точки:

```
while (abs(eps12) > eps) and (kkk<=10) do begin x:=xk0; minx(x,min,ee);
eps12:=eps12/1.2; xk0:=xk0+ee*hx-eps12; vvv[kkk]:=(sqr(xk0+1)*(xk0+1)*f(xk0)+15)/(xk0+1);
Writeln ('C(-n+1)=' ,vvv[kkk], ' ', xk0, ' ',func(xk0,korx,r,param));
ddd2:=ddd2+vvv[kkk]; kkk:=kkk+1; end; ddd2:=ddd2/(kkk-1); writeln('!!!!C(-n+1)=' ,ddd2);
```

Результат работы программы:

$C<-n+1>=-4.49999999783160E+0001.$

Этот результат можно считать вычисленным сравнительно точным (по сравнению с $C_{-2} = -45$).

Численный эксперимент показал, что для наиболее точного вычисления последнего коэффициента C_{-1} изменения следует внести в блок описания констант: $eps0=1e-5*g$, а фрагмент, в котором осуществляется вычисление коэффициентов Лорана одновременно при спуске к наименьшему значению в окрестности локализованной точки изменить на

```
while (abs(eps12) > eps) and (kkk<=10) do begin x:=xk0; minx(x,min,ee);
eps12:=eps12/1.2; xk0:=xk0+ee*hx-eps12;
vvv[kkk]:=(sqr(xk0+1)*(xk0+1)*f(xk0)+15+44.9999999783160*(xk0+1))/sqr(xk0+1);
Writeln ('C(-n+2)=' ,vvv[kkk], ' ', xk0, ' ',func(xk0,korx,r,param));
ddd2:=ddd2+vvv[kkk]; kkk:=kkk+1; end; ddd2:=ddd2/(kkk-1);
writeln('!!!!C(-n+2)=' ,ddd2); goto 777;
```

Результат работы программы:

$C<-n+2>=-1.34993781725914E+0002.$

Приближение этого значения к истинному ($C_{-1} = -135$) достаточно грубое – с точностью до 10^{-2} . Увеличить точность вычисления вычета C_{-1} в этом варианте метода не удалось. А поскольку чем выше порядок полюса, тем большая погрешность вычислений будет накапливаться, данным способом можно вычислить вычеты функций в точках полюсов с порядком не выше третьего.

Значения коэффициентов ряда Лорана, вычисленных фактически без погрешности, можно получить, реализовав следующий алгоритм.

1. Определяются все полюсы z_k функции $f(z)$ с учетом их порядка на основе изложенного метода.
2. Для определения вычета функции в первом из найденных полюсов z_0 порядка n точно вычисляется коэффициент ряда Лорана C_{-n} с наименьшей отрицательной степенью способом, описанным выше.
3. Для вычисления коэффициентов C_{-n+k} (где $k = 1, 2, \dots, n-1$) формируется функция

$$f_k(z) = f(z) - \frac{C_{-n}}{(z - z_0)^n} - \frac{C_{-n+1}}{(z - z_0)^{n-1}} - \dots - \frac{C_{-n+k-1}}{(z - z_0)^{n-k+1}},$$

правая часть которой поступает в блок формирования входной функции только после предварительного преобразования ее к виду неприводимой рациональной дроби.

4. Пункты 2–3 повторяются для всех найденных полюсов до тех пор, пока не будет установлен вычет в каждом полюсе.

Описанный способ нахождения коэффициентов ряда Лорана и, на его основе, вычетов функции в полюсах представляется наиболее рациональным, несмотря на алгебраические преобразования, так как он позволяет получить точный результат, помимо этого, существенна возможность программной реализации этих преобразований ввиду их простоты. Рекуррентное вычисление последующих коэффициентов ряда Лорана через предыдущие описанным способом с априори заданной точностью позволяет определить необходимое количество коэффициентов при отрицательных степенях ряда Лорана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-07-00100).

Список литературы

1. Маркушевич А.И. Краткий курс теории аналитических функций. – М.: Мир, 2009. – 423 с.
2. Лунц Г.Л., Эльсгольд Л.Э. Функции комплексного переменного с элементами операционного исчисления. – М.: Ленанд, 2017. – 314 с.
3. Свешников А.Г., Тихонов А.Н. Теория функций комплексной переменной. – М.: Физматлит, 2010. – 336 с.
4. Карасев И.П. Теория функций комплексного переменного. – М.: Физматлит, 2008. – 216 с.
5. Ромм Я.Е., Тюшнякова И.А. Применение сортировки для поиска нулей и особенностей функций с приложением к идентификации плоских изображений: учебное пособие. – Таганрог, 2009.
6. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных. – М.: ДМК-Пресс, 2016. – 272 с.
7. Заика И.В., Тюшнякова И.А. Обзор методов сортировки // Научный взгляд в будущее. – 2016. – Т. 2, № 1 (1). – С. 206–211.
8. Ромм Я.Е., Гуревич М.Ю., Белоконова С.С., Соловьева И.А. Вычисление нулей и полюсов функций на основе устойчивой адресной сортировки с приложением к поиску и распознаванию // Проблемы програмування. – 2004. – № 2–3. – С. 462.
9. Ромм Я.Е., Заика И.В., Тюшнякова И.А. Локализация экстремумов и нулей функций на основе сортировки в приложении к анализу устойчивости // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–4. – С. 718–723.
10. Ромм Я.Е., Соловьева И.А. Распараллеливаемый метод вычисления нулей многочленов в произвольной области комплексной плоскости // Депонированная рукопись № 210-B2005 14.02.2005.
11. Ромм Я.Е., Тюшнякова И.А. Метод вычисления собственных значений матриц на основе сортировки в приложении к распознаванию изображений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2006. – № 1. – С. 11–20.
12. Romm Y.E., Zaika I.V. Numerical sorting-based optimization as applied to general differential and nonlinear equations // Cybernetics and Systems Analysis. – 2011. – Т. 47, № 2. – С. 316–329.
13. Заика И.В. Разработка и исследование схем оптимизации на основе алгоритмов сортировки с приложением к идентификации экстремумов решений дифференциальных уравнений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог: ТРТУ, 2007.
14. Лукин С.Н. Turbo Pascal 7.0. – М.: Диалог-МИФИ, 2015. – 384 с.
15. Фаронов В.В. Turbo Pascal. – СПб.: Питер, 2007. – 367 с.

УДК 004.415.2

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Штырова И.А., Виштак Н.М.

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Балаково, e-mail: irina-shtyrova@mail.ru

В современных условиях актуальным вопросом является информатизация медицинских учреждений с целью обеспечения доступности медицинских услуг и повышения качества обслуживания пациентов. Постоянно увеличивающийся объем данных, связанных с работой учреждений здравоохранения, требует широкого внедрения в их работу современных компьютерных технологий. Одной из актуальных задач в данном направлении является обеспечение учета пациентов медицинского учреждения, как имеющих полис обязательного медицинского страхования, так и не имеющих его. В настоящее время в учреждениях здравоохранения внедрены информационные системы, предоставляющие возможность учета пациентов с полисом обязательного медицинского страхования. Необходимо разработать информационную систему, интегрированную в имеющуюся медицинскую информационную систему и позволяющей вести учет пациентов медицинского учреждения, не имеющих полис обязательного медицинского страхования, что позволит оптимизировать процессы взаиморасчетов медицинского учреждения с областным бюджетом и предоставления более полных отчетов о деятельности медицинского учреждения. На первом этапе создания информационной системы учета пациентов медицинского учреждения необходимо провести анализ существующих медицинских информационных систем и разработать модель информационной системы, отображающую функциональную и логическую структуру данной системы.

Ключевые слова: медицинская информационная система, учет пациентов медицинского учреждения, функциональная модель, модель данных

EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF THE INFORMATION SYSTEM OF THE MEDICAL INSTITUTION

Shtyrova I.A., Vishtak N.M.

Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, e-mail: irina-shtyrova@mail.ru

In modern conditions, the current issue is informatization of medical institutions with the aim of ensuring the availability of medical services and improving the quality of patient care. The constantly increasing volume of data related to the work of healthcare institutions requires the widespread introduction of modern computer technologies into their work. One of the urgent tasks in this direction is to ensure that the patients of the medical institution are registered as having a compulsory medical insurance policy and who do not have it. At present, information systems are being introduced in healthcare facilities that provide an opportunity to register patients with a compulsory health insurance policy. It is necessary to develop an information system integrated into the existing medical information system and allow keeping records of patients of a medical institution that do not have a compulsory health insurance policy, which will allow to optimize the processes of mutual settlements of the medical institution with the regional budget and provide more complete reports on the activities of the medical institution. At the first stage of creating an information system for recording patients of a medical institution, it is necessary to analyze existing medical information systems and develop an information system model that reflects the functional and logical structure of the system.

Keywords: medical information system, patient records of a medical institution, functional model, data model

Информатизация лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) является первостепенной задачей, стоящей перед современной отечественной медициной. Имеющиеся на сегодняшний день длинные очереди и бумажный документооборот в медицинском обслуживании сильно усложняют доступ к необходимым услугам.

В настоящее время в составе медицинской информационной системы (МИС) регионального фрагмента единой государственной информационной системы здравоохранения Саратовской области функционирует прикладная информационная система «БАРС. Здравоохранение – МИС».

Вся информация об обращениях пациентов к специалистам в поликлинике фиксируется в программе «Взаиморасчеты ЛПУ со СМО (поликлиника/стационар)». После того, как пациент был зарегистрирован в базе данных прикрепленного населения, он с помощью подсистемы «Электронная регистратура» может записываться на прием к специалисту удаленно через домашний компьютер, либо через инфомат, установленный в холле поликлиники. Все посещения за день с указанием всех данных о пациенте, данные о поставленном диагнозе и исходе лечения заносятся в информационную систему. В конце месяца программист проверяет все внесенные посещения на пересечения

с другими поликлиниками и формирует отчеты. Таким образом, данная система позволяет вести учет пациентов медицинского учреждения. Однако данная информационная система предназначена исключительно для учета пациентов, имеющих полисы ОМС. При этом в медицинском учреждении имеется необходимость фиксирования посещений пациентов, не имеющих медицинских полисов обязательного медицинского страхования, так как обслуживание таких пациентов в медицинских учреждениях производится за счет областного бюджета. К таким пациентам относятся работники МЧС, УВД, МВД, ГИБДД, военкомата.

Классификация информационных систем медицинских учреждений

Информационные системы в здравоохранении классифицируются на основе иерархического принципа, что предполагает их соответствие структуре здравоохранения, в которой условно выделяют следующие уровни:

- клинический принят как базовый уровень;
- уровень поликлиник, стационаров и других медицинских учреждений;
- профильные и специализированные медицинские службы, региональные органы управления здравоохранением рассматриваются как территориальный уровень;
- федеральные учреждения и органы управления определены как федеральный уровень.

Информационные системы каждого уровня классифицируем по целям и задачам, то есть по их функциональному назначению.

Медико-технологические информационные системы (МТИС) базового уровня предназначены для информационного обеспечения принятия решений в профессиональной деятельности врачей различной квалификации: врачей-клиницистов, гигиенистов, лаборантов и других. МТИС по видам решаемых задач условно разделим:

- на информационно-справочные;
- консультативно-диагностические системы;
- приборно-компьютерные системы;
- АРМ врача.

МИС уровня лечебно-профилактических учреждений предназначены для интеграции информационных потоков в единую систему и обеспечивают автоматизацию деятельности всех специалистов учреждения. При этом предполагается четырехуровневая иерархическая система построения АИС:

- первый уровень – автоматизация диагностического обследования пациентов (переход к МТИС) [1, 2];

- второй – внедрение АРМ врача [3, 4];
- третий – автоматизированные лечебно-диагностические и управленческие системы для поддержки медико-технологических процессов подразделения (отделения, лаборатории) [5];

- четвертый – интегрирует все предыдущие уровни и представлен МИС ЛПУ [6, 7].

На основании государственной программы Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)» [8] все медицинские учреждения должны пройти информатизацию и перейти к электронному контролю за качеством и доступностью медицинских услуг, предоставляемых гражданам РФ.

«БАРС. Здравоохранение – МИС» [9] представляет собой универсальное решение для автоматизации деятельности медицинских учреждений. Система позволяет посредством автоматизации процессов в поликлиниках и стационарах осуществлять обмен данными между ЛПУ, а также централизованный сбор показателей со всей подведомственной сети, для мониторинга и принятия управленческих решений. Включает в себя подсистемы: «БАРС. Стационар» и «БАРС. Поликлиника», посредством которых осуществляется автоматизация соответствующей группы ЛПУ. «БАРС. Поликлиника», входящая в «БАРС. Здравоохранение – МИС», предназначена для объединения в единую информационную среду административных, лечебно-диагностических процессов в поликлинике. Система позволяет получать оперативную и достоверную информацию обо всех фактах оказания медицинской помощи, вести электронные медицинские карты пациентов, оптимизировать работу поликлинических отделений и автоматически по данным системы формировать статистическую и аналитическую отчетность.

На рис. 1 изображена классификация информационных систем в сфере здравоохранения субъекта Российской Федерации с помощью комплекса «БАРС. Здравоохранение», которое включает в себя множество подпрограмм.

Функциональная модель информационной системы

На первом этапе разработки информационных систем учета и мониторинга проводят исследование и формализацию бизнес-процессов, уделив особое внимание моделированию потоков данных [10–12]. Наиболее удобным для описания информационных и материальных потоков является использование методологии DFD.

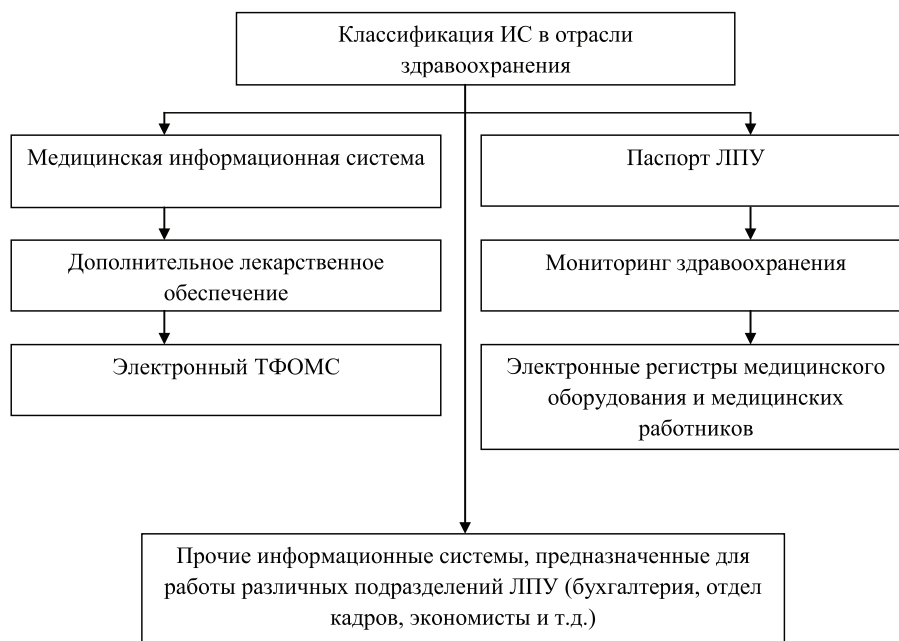


Рис. 1. Классификация ИС здравоохранения

Диаграмма, отображающая всю работу ИС учета пациентов, представлена на рис. 2. На ней отображены две внешние сущности: пациенты и врачи, от которых изначально поступает конкретная информация.

Пациент подает сведения для прикрепления его к поликлинике, территориально относящейся к месту жительства пациента, затем данная информация обрабатывается и добавляется в БД зарегистрированных пациентов. Информацию о взятых и уволенных врачах подает отдел кадров поликлиники, на основании чего программист делает поправки в БД врачей.

Вся хранимая информация отображается в системе «Электронная регистратура» как информация о расписании врачей и как логин и пароль для входа в систему для пациентов.

Вся информация о записанных пациентах подается медицинскими регистраторами врачам, которые ведут прием, после чего вся информация о принятых пациентах подается операторам ЭВМ, которые обрабатывают эту информацию в программе «Учет посещений пациентов». После выполнения учета посещений пациентов программист оформляет отчеты по посещаемости.

На рис. 3 представлена диаграмма DFD организации записи на прием к врачу через электронную регистратуру, которая описывает весь процесс записи на прием к врачу.

Внешней сущностью здесь выступает пациент, который обращается к базе данных электронной регистратуры путем ввода

личных данных. После ввода личных данных система проверяет наличие пациента в БД прикрепленного населения, после чего либо выдает ошибку, либо разрешает вход в систему.

Далее пациент выбирает ЛПУ, к которому прикреплен, выбирает специализацию, врача и записывается на прием путем выбора даты и времени, которое предоставляет регистратура. Программа информирует пациента об успешной записи на прием и печатает талон.

На рис. 4 изображена диаграмма IDEF3, которая показывает суть осуществления учета посещений пациентов.

Сначала производится ввод данных в БД, затем происходит проверка, есть ли данный пациент в базе данных или нет, затем удаление пересечений с другими поликлиниками, так как не допускается, чтобы один и тот же пациент находился в нескольких поликлиниках одновременно. После всех проведенных операций программистом формируется отчет обо всех принятых пациентах.

Модель данных

На следующем этапе проводим построение логической структуры данных, хранящихся в информационной системе учета пациентов. Для этого целесообразно использовать методологию IDEF1X [13, 14]. На рис. 5 представлена диаграмма IDEF1X, которая отображает логическую структуру данных информационной системы учета пациентов медицинского учреждения.

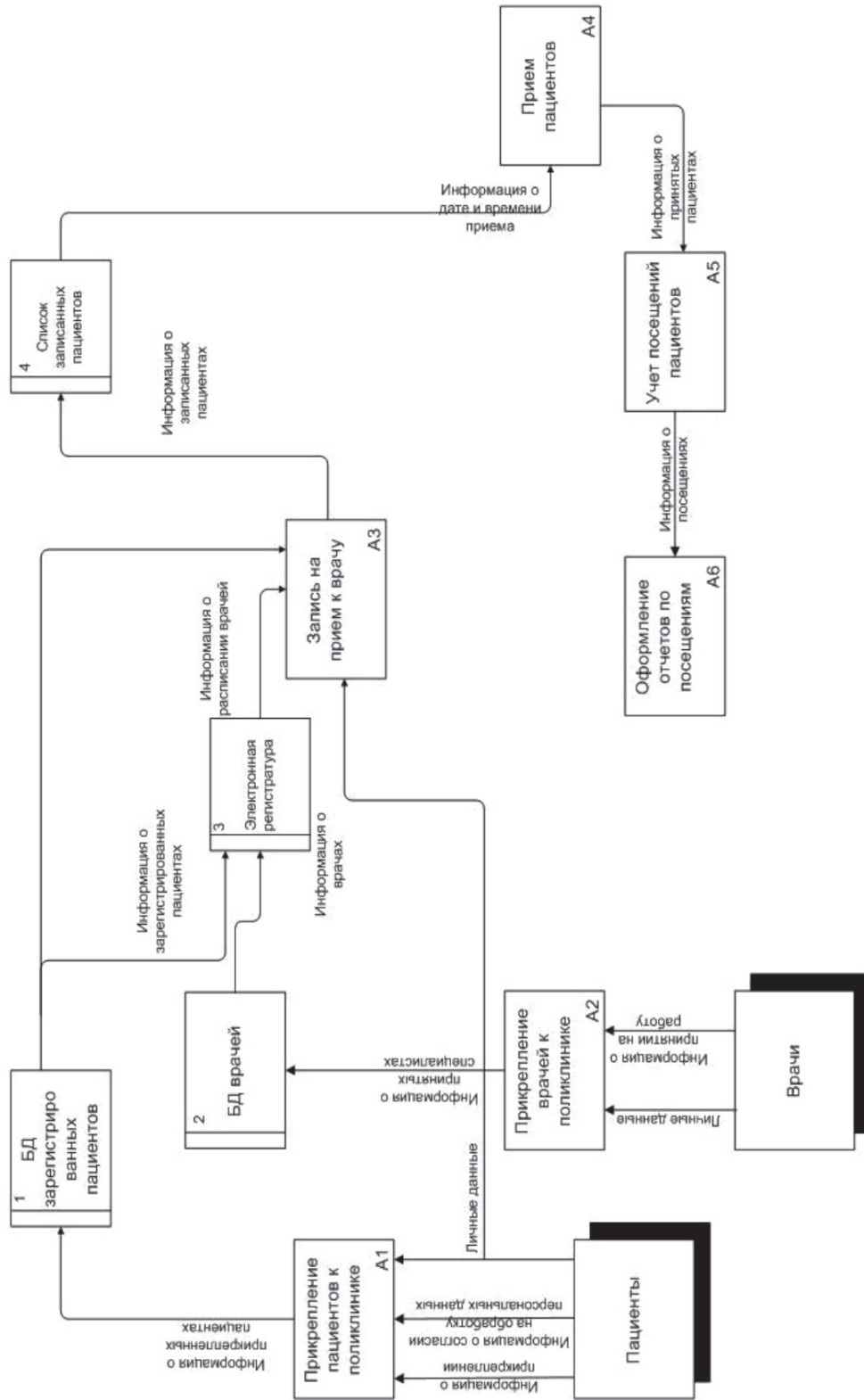


Рис. 2. Диаграмма DFD организации работы ИС учета пациентов

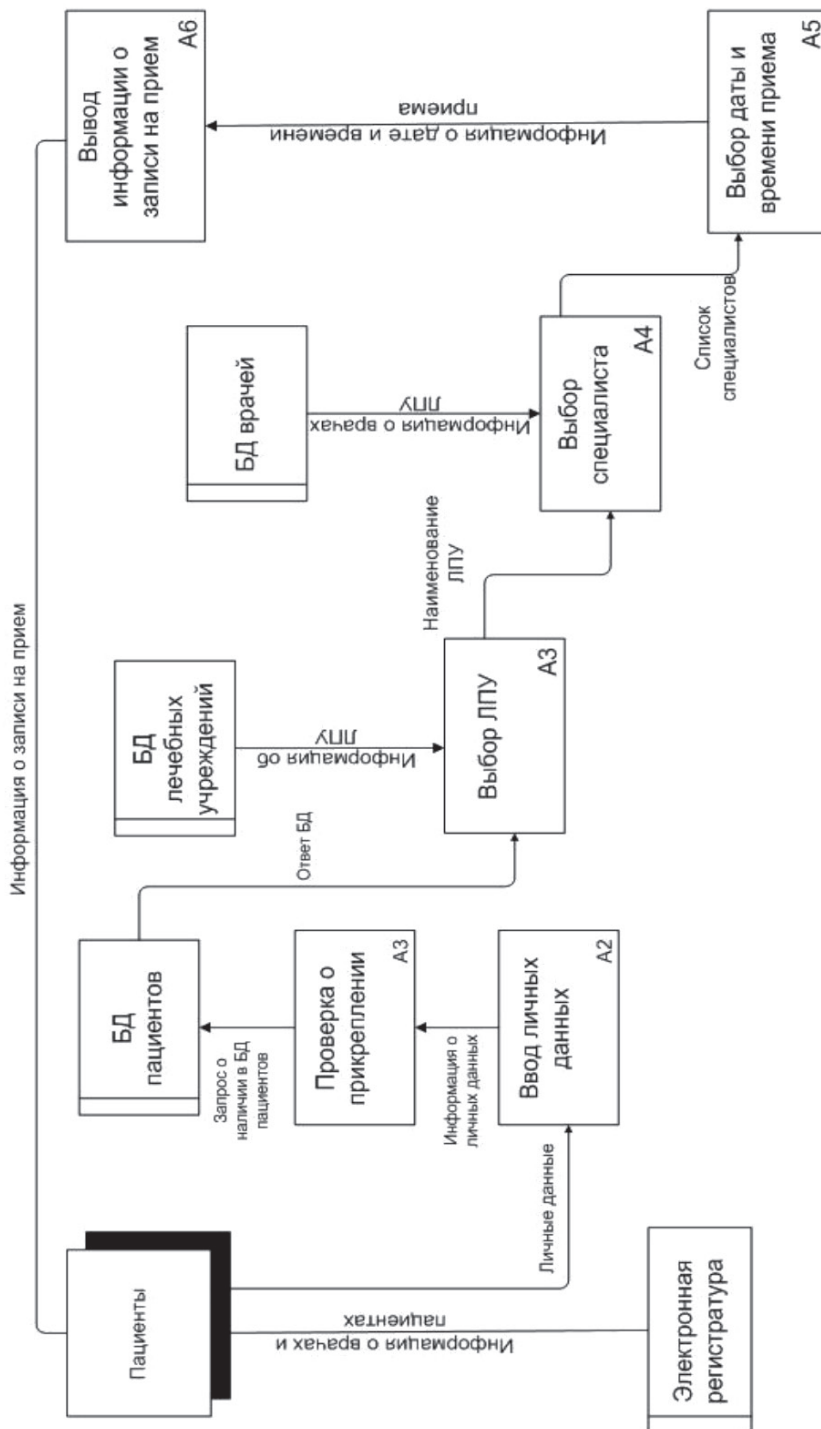


Рис. 3. Диаграмма DFD организации записи на прием к врачу через электронную регистратуру

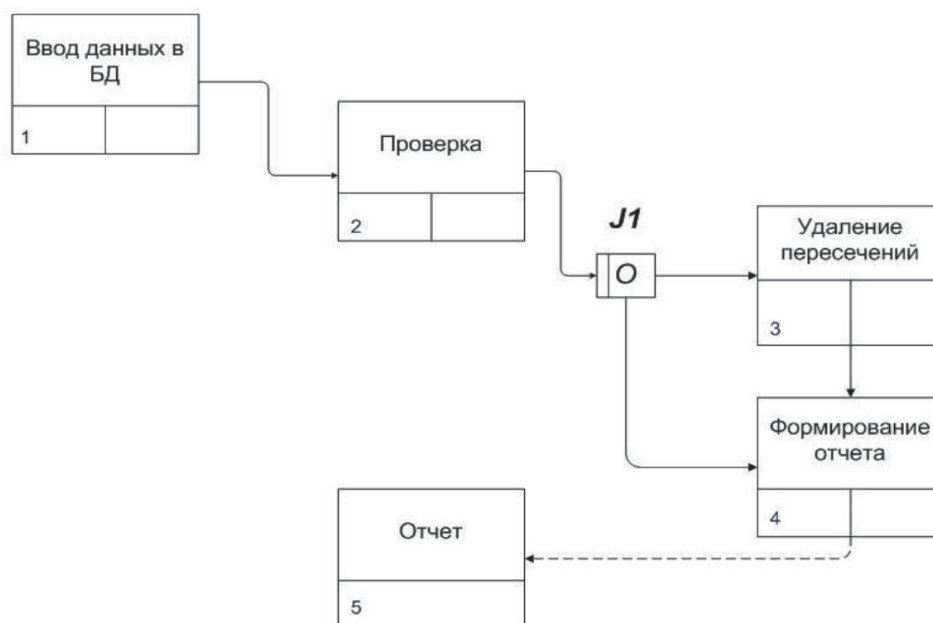


Рис. 4. Диаграмма IDEF3 учета посещений пациентов



Рис. 5. Диаграмма IDEF1X

В данном случае на диаграмме IDEF1X присутствуют такие сущности, как врач, пациенты, посещения, специальность, исход лечения, диагнозы. Все сущности объединены между собой при помощи внешних ключей и образуют связь «один-ко-многим».

Сущность «Врач» имеет следующий набор атрибутов: фамилия, имя, отчество.

Обладает первичным ключом «Код врача» и внешним ключом «Код специальности», унаследованный от сущности «Специальность». Сущность «Специальность» имеет атрибуты «Код специальности», являющийся первичным ключом, и «Название специальности». Сущность «Пациент» обладает такими атрибутами, как «Код пациента»,

являющийся первичным ключом, «Фамилия», «Имя», «Отчество», «Дата рождения», «Адрес».

Сущность «Диагноз» имеет первичный ключ «Код диагноза» и атрибут «Название диагноза». Сущность «Исход лечения» имеет первичный ключ «Код исхода лечения» и атрибут «Наименование исхода лечения». Сущность «Посещения» имеет следующий набор атрибутов: первичный ключ «Код посещения», «Дата начала лечения», «Дата окончания лечения», «Количество обращений», «Номер больничного листа», а также внешние ключи, унаследованные от родительских сущностей: «Код пациента», «Код врача», «Код диагноза», «Код исхода лечения».

Приведенная структура данных позволяет хранить всю необходимую информацию о посещении пациентом медицинского учреждения и является оптимальной.

Заключение

Таким образом, применение функционального моделирования позволило проанализировать процессы, происходящие в медицинском учреждении при учете пациентов, не имеющих полисы ОМС. Построенная модель является основой для создания информационной системы, обеспечивающей автоматизацию учета пациентов медицинского учреждения, не имеющих полисов ОМС, интегрируемой в медицинскую информационную систему «БАРС. Здоровоохранение».

Список литературы

1. Компьютерная программа для анализа цифровых МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника / Н.Е. Комлева [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 192–195.
2. Автоматизированная система медицинской диагностики заболеваний с учетом их динамики / М.Л. Жмудяк [и др.] // Ползуновский вестник. – 2006. – № 1. – С. 95–106.

3. Программный комплекс поддержки принятия решений медицинской диагностики заболеваний с использованием стабиллометрической платформы / Н.Е. Антонова [и др.] // Программная инженерия. – 2014. – № 11. – С. 44–48.

4. Юрьев В.К. Автоматизированная система профилактических осмотров детского населения. / В.К. Юрьев, В.В. Юрьев, А.С. Симаходский // Здоровоохранение Рос. Федерации. – 1993. – № 8. – С. 20–22.

5. Глазков В.П. Использование нейросетевого компенсатора для стабилизации движения полуавтоматических протезируемых систем / В.П. Глазков, А.А. Большаков, А.А. Кулик // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 1. – С. 13–17.

6. Бояджян В.А. Автоматизированная информационная система поликлиники / В.А. Бояджян [и др.] // Информатизация в деятельности медицинских служб. – 1992. – № 4.1. – С. 84–89.

7. Емалетдинова Л.Ю. Автоматизированные информационные системы управления в учреждениях здравоохранения / Л.Ю. Емалетдинова, Г.И. Куценко. – Воронеж: ВГТУ, 1999. – С. 46–54.

8. Государственная программа Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)»: постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 313. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162184/4b6b1ec3d9a61a8204d8fdc520469db8e0d aa367/ (дата обращения: 20.01.2018).

9. «БАРС. Здоровоохранение – МИС»: Краткое описание. – Казань, 2013. – 7 с.

10. Виштак О.В. Разработка функциональной модели информационно-аналитической системы вузовского центра дополнительного образования / О.В. Виштак, И.А. Штырова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2011. – № 1–3. – С. 36–40.

11. Штырова И.А. Проектирование информационно-аналитической системы вузовского центра дополнительного образования / И.А. Штырова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 2. – С. 263–266.

12. Виштак Н.М. Информационная система поддержки мониторинга результативности обучения / Н.М. Виштак, Е.А. Яковлева // Современные технологии в атомной энергетике: сборник трудов научно-практических конференций: в 3 т. – 2016. – С. 109–112.

13. Виштак О.В. Автоматизация мониторинга качества в системе дополнительного профессионального образования / О.В. Виштак, И.А. Штырова // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2017. – № 5. – С. 14–17.

14. Михеев И.В. Система мониторинга образовательного процесса вузовского центра дополнительного образования / И.В. Михеев, О.В. Виштак // ММТТ. – 2013. – № 13–2 (59). – С. 210–212.