

Рентгеновский компьютерный томограф – новый инструмент в распознавании*

А.С. ИНГАЧЕВА^{I,II}, А.В. ШЕШКУС^{III}, Т.С. ЧЕРНОВ^{IV}, Е.Е. ЛИМОНОВА^{IV}, В.В. АРЛАЗАРОВ^{I,IV}

^I Институт проблем передачи информации Российской академии наук, г. Москва, Россия

^{II} Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, г. Москва, Россия

^{III} ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия

^{IV} Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье сформулирована задача томографии, приведен обзор российских производителей узлов, составляющих основу аппаратно-программного томографического комплекса, включая потенциальные вычислительные платформы.

Ключевые слова: компьютерная томография, томографический комплекс, Эльбрус, Байкал, КОМДИВ.

DOI: 10.14357/20790279180510

Введение

Метод компьютерной томографии (КТ) базируется на двух основных дисциплинах – физике и математике. Основной задачей физики является выявление и понимание связи между наблюдаемыми величинами. Действительно, в основе метода КТ лежит свойство материалов ослаблять рентгеновское излучение. Причем разные материалы ослабляют его по-разному. Таким образом, регистрируя прошедшее через объект рентгеновское излучение и анализируя результаты измерения, можно судить о локальном составе исследуемого объекта. Метод томографии – это метод получения послойного изображения внутренней структуры объекта. *tomé* в переводе с древнегреческого языка означает срез, сечение, слой. Разрушающая томография или биотомия основана на физическом выполнении срезов исследуемого объекта. Реконструктивная, или неразрушающая томография представляет собой способ получения информации о распределении некоторого параметра в объекте большей размерности по его проекциям меньшей размерности. За эту часть метода КТ ответственна математика [1, 2]. Такая логика приводит к выводу, что основу метода КТ составляют две части – аппаратная и программная [3]. Аппаратная часть решает задачи, связанные с организацией и проведением измерений. В программной части метода результаты измерений, называемые томографическими проекци-

ями, используются в алгоритмах, применяемых для реконструкции 3D структуры изучаемого объекта. И заключительной фазой является этап распознавания восстановленных изображений, поскольку, как это часто бывает с быстро развивающимися методами, финальным пользователям метода уже хотелось бы использовать его как инструмент измерения. А значит, создателям томографических комплексов приходится решать и задачу поиска в объеме тех объектов, которые требуется измерить.

Поскольку ученые непрерывно пытаются заглянуть внутрь объектов, не разрушая объект физически, и при этом постоянно уменьшают размер разглядываемых деталей (в физическом методе речь идет о пространственном разрешении) и расширяют класс рассматриваемых объектов, то идет постоянное развитие как аппаратной, так и программной частей метода. Появляются новые измерительные схемы [4, 5], совершенствуются лабораторные рентгеновские источники [6] и регистрирующее оборудование. Формулируются все новые и новые исследовательские задачи, надежды на решение которых связывают с методом компьютерной томографии. Одновременно все более широкое применение метода томографии в медицине налагает серьезные ограничения на параметры проводимых измерений, одним из них является получаемая пациентом радиационная нагрузка. Это также влечет за собой развитие аппаратной стороны метода, например, в части фундаментальных исследований свойств новых измерительных узлов

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 17-29-03492).

и схем. В программной части требуются новые алгоритмы реконструкции, способные работать при наличии ограничений, накладываемых на измерения. Поскольку в ближайшем будущем кажется возможным использование промышленных томографов на сверхсложных многоступенчатых технологических линиях для контроля качества 3D объектов, относящихся к государственной или коммерческой тайне, использование в комплексах отечественного решателя выглядит обоснованным.

Данная работа является начальной в цикле работ, посвященных развитию метода томографии в России. В работе даны постановка задачи рентгеновской компьютерной томографии и рассмотрена принципиальная схема измерительной части томографического комплекса, приведен обзор отечественных производителей узлов аппаратной части комплекса, включая потенциальные вычислительные платформы.

1. Задача томографии и принципиальная схема томографического комплекса

Задача рентгеновской компьютерной томографии формулируется следующим образом. По набору измеренных рентгеновских томографических 2D проекций восстановить пространственное распределение изучаемой характеристики объекта. За формирование и сбор проекций ответственна аппаратная часть томографического комплекса – рентгеновского компьютерного томографа. У всех томографов обязательно есть источник излучения, детектор и держатель образца, который расположен на прямой между источником и детектором. Конструкция рентгеновского томографа во многом зависит от назначения прибора. Медицинские томографы сконструированы таким образом, что вращается система излучатель-детектор, называемая гентри, а пациент остается неподвижен. Внутреннее устройство промышленных и лабораторных томографов отличается от медицинских тем, что их конструкция содержит подвижный держатель образца, который вращается с заданным шагом. Принципиальная схема такого томографа представлена на рис. 1. [7].



Рис. 1. Принципиальная схема рентгеновского компьютерного томографа: 1 – источник рентгеновского излучения; 2 – изучаемый объект на гониометрическом держателе; 3 – регистрирующее устройство

Данная принципиальная схема позволяет выделить в аппаратной части томографического комплекса основные этапы формирования набора томографических проекций, которые поступают на вход программной части комплекса: формирование зондирующего излучения и доведение его до исследуемого объекта, сканирование объекта, регистрация ослабленного на объекте излучения и передача данных в вычислительный блок. Каждому из этапов можно поставить в соответствие функциональный узел, состоящий из комплекса устройств.

2. Отечественные узлы рентгеновских томографических комплексов

Основу аппаратной части метода КТ составляют три узла. Задачей первого является формирование зондирующего рентгеновского излучения и доведение его до объекта. Второй узел отвечает за организацию процедуры сканирования – это может быть регулируемая система, основой которой является держатель образца, или система, осуществляющая и контролирующая перемещение системы излучатель-детектор вокруг исследуемого объекта (гентри). Подвижный держатель образца – устройство, предназначенное для высокоточного поворота образца. Устройство обычно содержит подвижный столик или тонкий стержень для крепления образца, систему двигателей для вращения столика и его перемещения вдоль вертикальной и горизонтальной осей. Оно позволяет достичь точного позиционирования малых объектов в поле сканирования, в отличие от системы гентри, которая используется преимущественно в медицинских томографах. Третий узел – измерительный. Здесь могут применяться, например, детекторы на базе прибора с зарядовой связью (ПЗС). ПЗС-детектор представляет собой охлаждаемую ПЗС-матрицу с оптоволоконной связью и сцинтиллятором. Сцинтиллятор переводит рентгеновское излучение в видимый свет, который фиксируется ПЗС-матрицей. Позиционно-чувствительная аппаратура может быть дополнена энерго-чувствительным (спектрометрическим) оборудованием.

После того, как основные узлы аппаратной части определены вместе с их предназначением, оказывается удобным разделить по географическому принципу отечественных производителей оборудования. Хотелось бы начать с Зеленограда, где под научным руководством проф. МФТИ М. Таубина [6, 8] в рамках федеральной целевой программы «Развитие фармацевтической и медицинской промышленности до 2020 года» [9] ведется разра-

ботка отечественных рентгеновских излучателей для медицинских целей, включая ориентированные излучатели для томографов. Зеленоградская группа компаний «Техиндустрия» [10] разрабатывает и производит рентгентелевизионные системы досмотра BERG. Оборудование BERG разрабатывается и выпускается на производственной базе зеленоградского завода «Квант». Также в Зеленоградском НПП «Доза» производятся фантомы и тест-объекты, необходимые для контроля характеристик рентгеновских аппаратов всех типов и построения новых методик измерений. Они могут найти применение при тестировании вновь создаваемых пакетов программного обеспечения для реконструкции томографических изображений. Отметим также, что НПП «Доза» издает журнал «АНРИ», посвященный проблемам радиационной безопасности. Производимые ООО «Парсек» [11] анализаторы импульсов, ориентированные на получение спектрометрической информации, находят сегодня применение в рентгеноструктурном анализе и медицинской радиологии. Регистрирующие устройства для целей томографии производятся в Дубне. ЗАО НПЦ «Аспект» изготавливает сцинтилляционные блоки для регистрации и определения спектрального состава рентгеновского излучения в диапазоне от 2 до 30 кэВ [12]. Разрабатываемые в ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (Москва) кристаллы сцинтилляторы позволяют эффективно детектировать рентгеновское излучение в диапазоне 5-50 кэВ [13,14]. Разработка и изготовление высокоразрешающих рентгеновских детекторов для получения рентгеновских изображений и томографии сегодня ведется и в ФИАН (Москва) [15].

АО НПП «Буревестник», являющийся одним из крупнейших в мире производителем рентгенолюминесцентных сепараторов для алмазодобывающей промышленности, является правообладателем целого ряда патентов, изобретений и полезных моделей. В качестве примера приведем названия нескольких патентов «Источник импульсного рентгеновского излучения», «Рентгеновский сепаратор минералов», «Рентгенофлуоресцентный анализатор легких элементов» и пр. Сотрудники НПП «Буревестник» обладают неоценимым опытом в создании компонентов каждого из узлов томографа. ЗАО «Техноэксан» г. Санкт-Петербурга, основным учредителем которого является Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, разработаны прецизионные измерительные устройства в виде гибридных интегральных микросхем с повышенным динамическим диапазоном измерения токовых сигналов рентгеновского спектра [16].

Основной деятельностью АО «Светлана-Рентген», созданного на базе ОКБ «Рентгеновские приборы» объединения «Светлана», является разработка, производство и сбыт рентгеновских трубок различного применения [17]. Отметим, что организация процедуры сканирования, которая может проводиться несколькими способами, требует специфических инженерных решений. Приведем несколько примеров того, что решения подобного рода в России существуют и получают новое развитие. В работе Савицкого [18] сказано, что сегодня в России производятся лабораторные томографы для анализа кернов в Зеленограде (Амплитуда РКТ-160 [19]) и в Новосибирске рентгеновский компьютерный томограф керна в пластовых условиях («РКТ-225-ПЛ» [20]). Как сказано на сайте разработчика РКТ-225, в томографе применяется твердотельный рентгеновский детектор.

Поскольку томографический комплекс является аппаратно-программным, для развития его программной части необходим доступ к так называемым «сырым» результатам измерений, чего зарубежные производители томографов, такие как Koninklijke Philips N.V., Siemens A.G и пр., не допускают. Однако во ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН г. Москва сконструированы, изготовлены и успешно функционируют прототипы томографических комплексов [21, 22]. Для управления и контроля за узлами комплекса, а также для передачи регистрируемых данных используется программное обеспечение, созданное коллективом [23] на базе программного решения Tango Controls [24]. Доступ ко всем частям томографа позволяет не только изучать влияние параметров измерения на качество формирования томографических проекций, строить и тестировать новые эффективные алгоритмы [25], но и использовать уникальные алгоритмы для обработки результатов экспериментов, проводимых в лаборатории [26, 27]. На Курчатовском источнике синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов» оборудована и функционирует станция для проведения томографических измерений [28]. На данной станции также обеспечен доступ к измерительным узлам.

3. Вычислительные платформы

Как для алгоритмов, используемых в аппаратной части, так и для реализации функций программной части томографа нужны вычислительные платформы. В аппаратной части программно должен быть реализован контроль и управление всеми узлами томографа, хранение и осуществление передачи зарегистрированных проекций в

программную часть томографического комплекса. Для программной части вычислительная платформа составляет основное устройство, на котором собственно реализован метод реконструкции 3D структуры изучаемого объекта и методы распознавания восстановленных изображений. Сейчас на рынке представлено несколько отечественных вычислительных платформ.

Например, одной из таких платформ является платформа на базе микропроцессоров архитектуры Эльбрус [30]. Помимо расширенных возможностей параллельного исполнения программ, процессоры Эльбрус обладают высокой энергоэффективностью. Обе эти отличительные характеристики обусловлены тем, что архитектура Эльбрус принадлежит к архитектурам с широким командным словом, т.е. процессор исполняет команды группами, причем внутри каждой группы отсутствуют зависимости и эти команды исполняются параллельно. Каждая такая группа называется широким командным словом. Формирование широких командных слов выполняет оптимизирующий компилятор, благодаря чему с одной стороны возможен более подробный анализ исходного кода, а с другой – нет необходимости включать в состав процессора блоки анализа исполняемого кода, работающие непосредственно во время исполнения программы [31]. Еще одной важной особенностью архитектуры Эльбрус яв-

ляется аппаратная поддержка защиты программ и данных при исполнении. Программы исполняются в едином виртуальном пространстве, реализованном на аппаратном уровне, что минимизирует возможность исполнения вредоносного кода и позволяет выявлять трудно обнаруживаемые на других архитектурах ошибки.

Кроме того, существуют вычислительные платформы на основе российских процессоров Байкал [32]. Это Байкал-Т1, обладающий современной архитектурой MIPS Warrior P-class P5600, и Байкал-М с архитектурой ARM-v8, находящийся в разработке. На основе Байкал-Т1 доступны терминалы (например, «Таволга Терминал» 2BT1) и модули для разработчиков (например, одноплатный компьютер BFK 3.1). Следует обратить внимание на отечественные процессоры КОМДИВ – 32- и 64-битные RISC процессоры с MIPS-совместимой архитектурой [33].

Характеристики последних моделей отечественных процессоров приведены в табл. 1. Можно видеть, что они обладают достаточно современными параметрами и могут быть использованы для решения описанных выше задач.

Таким образом, применение отечественных платформ предоставляет возможность создать полностью отечественное программно-аппаратное обеспечение для отечественного томографического комплекса.

Табл. 1

Основные характеристики последних моделей отечественных процессоров
Эльбрус, Байкал и КОМДИВ

Процессор	Эльбрус-4С	Эльбрус-8С	Байкал-Т1	КОМДИВ-128М
Число ядер общего назначения	4	8	2	2
Тактовая частота, МГц	800	1200	1200	1200
Число операций за такт (на ядро)	до 23	до 25 (8 цел., 12 веществ.)	до 6 (4 цел., 2 SIMD)	нет данных
Технологический процесс	65 нм	28 нм	28 нм	65 нм
Число транзисторов (на процессор)	986 млн.	2,73 млрд.	нет данных	нет данных
L1 кэш (на ядро)	64 КБ данные + 128 КБ команды	64 КБ данные + 128 КБ команды	64 КБ данные + 32 КБ команды	нет данных
L2-кэш	2 МБ (на ядро)	512 КБ (на ядро)	1 Мбайт	512 КБ (на ядро)
L3 кэш (общая)	нет	16 МБ	нет	нет
Ширина SIMD-инструкции	64 бита	64 бита	128 бит	64 бита

Заключение

В данной работе сформулирована задача томографии и дана принципиальная схема томографа. Описаны назначение узлов, составляющих основу аппаратной части томографического комплекса, и их взаимосвязь. Представлен обзор российского рынка производителей узлов, который позволяет сделать следующий вывод. Сегодня в России существуют и развиваются все технологии, требуемые для создания отечественного томографического комплекса, включая вычислительные платформы. Последние необходимы не только для управления измерением и контроля над ним, работы с измеренными данными, объем которых порядка 5-10 Гб, но также для реализации на платформах методов реконструкции 3D структуры и методов распознавания восстановленных изображений.

В следующих работах этого цикла, посвященного развитию метода томографии в России, будет сказано об отечественных производителях продуктов программной части комплекса, сформулирована задача распознавания восстановленных изображений, для решения которой сильнейшим инструментом являются искусственные нейронные сети. Представлена взаимосвязь нейронных сетей и основы томографии – преобразования Радона, дискретным аналогом которого является преобразование Хафа. В завершении будет показано, как информация, содержащаяся непосредственно в томографических проекциях, может помочь в решении задачи распознавания.

Литература

1. Natterer F. The Mathematics of Computerized Tomography, Springer Vieweg, 1986
2. Вопросы кибернетики. Математические проблемы томографии. Сб. статей под ред. И.М. Гельфанда и С.Г. Гиндикина. Москва, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1990
3. Чукалина М.В., Бузмаков А.В., Николаев Д.П., Чуличков А.И., Каримов М.Г., Расулов Г.А., Сенин Р.А., Асадчиков В.Е. Рентгеновская микротомография на лабораторном источнике: техника измерений и сравнение алгоритмов реконструкции // Измерительная техника, №2, 2008. с. 19-24
4. Chukalina M., Zaitsev S., Simionovici A., Vanegas C.J. Two X-ray fluorescence microtomography experimental set ups: standard and confocal collimator apparatus. Spectrochimica Acta. Part B. 6-7, 62, 2007, 544-548.
5. Goswami M., Shakya S., Saxena A., Munshi P. Optimal Spatial Filtering Schemes and Compact Tomography Setups. Journal Research in Nondestructive Evaluation, 27(2), 2016, 69-85.
6. Taubin M.L., Chesnokov D.A. and Pavlov A.A. Cathodes for medical purpose X-ray tubes. 3rd International Conference on X-ray Technique IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf Series 808(2017) 012004.
7. Асадчиков В.Е., Бузмаков А.В., Савельев С.В. Рентгеновская микротомография // Фундаментальные науки – медицине: Биофизические медицинские технологии: Монография: В 2-х т.: Т. 1 с 390-445/ Под ред. А.И. Григорьева и Ю.А. Владимиров. – М.: МАКС Пресс, 2015. с.392.
8. Таубин М.Л., Ясколко А.А., Чесноков Д.А. Оценка температуры фокусного пятна анодов мощных рентгеновских трубок // Медицинская техника №5, 2017 / с. 18-20
9. Nano news net, сайт о нанотехнологиях, <http://www.nanonewsnet.ru/news/2014/v-zelenograd-planiruyut-proizvodit-rentgenovskie-izluchatelidlya-tomografov>
10. Техиндустрия, aspect-bez.ru
11. Парсек, спектрометрические АЦП, <http://www.parsek.ru/ru/index.html>
12. Закрытое акционерное общество Научно-производственный центр «АСПЕКТ», <http://aspect.dubna.ru/new/page.php?page=430>
13. Ivanov I.A., Karimov D.N., Snetkov I.L., Palashov O.V., Kochurikhin V.V., Masalov A.V., Fedorov V.A., Ksenofontov D.A., Kabalov Y.K. Study of the influence of Tb-Sc-Al garnet crystal composition on Verdet constant // Optical Materials. 2017. V. 66. P.106-109.
14. Антонов Е.В., Багдасаров Х.С., Буташиин А.В., Каневский В.М., Набатов Б.В., Федоров В.А. Кристаллы YAG:Yb для широкоапертурных лазеров и усилителей // Перспективные материалы. 2012. №6. С. 23-26.
15. Bogolubov E., Bugaenko O., Kuzin S., Mikerov V., Monitch E., Monitch A. & Pertsov A. (2005). CCD detectors for fast neutron radiography and tomography with a cone beam. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 542(1-3), 187-191.
16. Нерсисян Н.С., Шевелев А.Е., Чугунов И.Н., Хилькевич Е.М., Гин Д.Б., Полуновский И.А., Дойников Д.Н., Найденов В.О., Городков И.В. Нейтронный ЛИН-аттенюатор для гамма-спектрометра ИТЭР // Успехи прикладной физики. 2016. Т. 4. № 3. С. 294-300.
17. Куликов Н.А., Баженова О.Б., Сербин В.А. Завод рентгеновских приборов – ЗАО «СВЕТЛА-

- НА-РЕНТГЕН» // Петербургский журнал электроники. 2008. № 2-3. С. 167-176.
18. *Савицкий Я.В.* Современные возможности метода рентгеновской томографии при исследовании керна нефтяных и газовых месторождений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 14(15), 2015, 28-37
 19. *НТЦ «Амплитуда»*, <http://amplituda.ru/catalog/petrofizika/oborudovanie/laboratornyye-issledovaniya-kerna/rkt-160-rentgenovskiy-tomograf-kerna/>
 20. *Геологика.* Рентгеновский компьютерный томограф керна в пластовых условиях «РКТ-225-ПЛ», <http://www.geologika.ru/13-produkty/rentgenovskij-analiz/34-rentgenovskij-kompyuternyj-tomograf-kerna-v-plastovykh-usloviyakh-rkt-225-pl>
 21. *Асадчиков В.Е., Бабак В.Г., Бузмаков А.В., Дорохин Ю.П., Глаголев И.П., Заневский Ю.В., Зрюев Н.В., Кривонос Ю.С., Мамич В.Ф., Мосейко Л.А., Мосейко Н.И., Мчедlishvili Б.В., Савельев С.В., Сенин Р.А., Смыков Л.П., Тудоси Г.А., Фатеев В.Д., Черненко С.П., Черемухина Г.А., Черемухин Е.А., Чуличков А.И., Шилин Ю.Н., Шишков В.А.* Рентгеновский дифрактометр с подвижной системой излучатель-детектор // Приборы и техника эксперимента, 3, с. 99-107 (2005).
 22. *Асадчиков В.Е., Бузмаков А.В., Золотов Д.А., Сенин Р.А., Геранин А.С.* Лабораторные рентгеновские микротомографы на монохроматическом излучении. Кристаллография, 2010. т. 55. № 1. с. 167–176.
 23. *Бузмаков А.В., Ингачева А.С., Чукалина М.В., Золотов Д.А., Вацюк А.В., Дорина К.О., Ичалова Д.Е., Матавина П.В., Марданов Р.Р., Опарин А.Н., Соболев В.А., Caselle M., Chilingaryan S., Balzer M., Baumbach T., Асадчиков В.Е.* Новый аппаратно-программный комплекс с многопользовательским доступом для проведения томографических измерений // Сборник материалов Восьмого международного научного семинара и Шестой международной молодежной научной школы-семинара «Современные методы анализа дифракционных данных и актуальные проблемы рентгеновской оптики», 22 июня – 02 июля 2016 г., Великий Новгород, с. 30-31.
 24. *Matthew Chalmers.* ESRF news, March (2013) <http://www.esrf.eu/Instrumentation/news/Tangocontrolsystm>
 25. *Прун В.Е., Бузмаков А.В., Николаев Д.П., Чукалина М.В., Асадчиков В.Е.* Вычислительно эффективный вариант алгебраического метода компьютерной томографии // Автомат. и телемех., 2013, № 10, 86–97
 26. *Фокин Е.А., Савельев С.В., Гулимова В.И., Асадчиков В.Е., Сенин Р.А., Бузмаков А.В.* Морфогенез и пространственная организация компонентов эпифиза человека при болезни Альцгеймера, шизофрении и алкоголизме. Архив патологии, 2006, Т.68, №5, С.20-22.
 27. *Золотов Д.А., Бузмаков А.В., Ширяев А.А., Асадчиков В.Е.* Рентгеновская компьютерная томография естественных алмазов и содержащихся в них микровключений // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. №9 с. 3-8.
 28. *Сенин Р.А., Хлебников А.С., Вязовецкова А.Е., Блинов И.А., Голубицкий А.О., Казаков И.В., Воробьев А.А., Бузмаков А.В., Асадчиков В.Е., Шишков В.А., Мухамеджанов Э.Х., Ковальчук М.В.* Модернизированная станция «рентгеновская топография и микротомография» на курчатовском источнике синхротронного излучения // Кристаллография. 2013. Т. 58. № 3. С. 510.
 29. *Ганьжа, Д.* 2016. IBS расширяет свой портфель гиперконвергентных решений // Журнал сетевых решений LAN, (6), pp.2-6а.
 30. *Ким А.К., Перекатов В.И., Ермаков С.Г.* Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства «Эльбрус»: [для вузов по направлению подготовки 230100 «Информатика и вычислительная техника»]. Учебное пособие. Питер, 2013.
 31. *Ким А.К., Бычков И.Н. и др.* Российские технологии «Эльбрус» для персональных компьютеров, серверов и суперкомпьютеров // Современные информационные технологии и ИТ-образование, М.: Фонд содействия развитию интернет-медиа, ИТ-образования, человеческого потенциала «Лига интернет-медиа», 2014, № 10, с. 39-50.
 32. *Baikal electronics*, высокопроизводительные энергоэффективные процессоры, <https://www.baikalelectronics.ru/products/TI/>
 33. *Богданов П.Б., Сударева О.Ю.* Производительность процессоров КОМДИВ на ряде типовых расчетных задач // Информационные технологии и вычислительные системы – 2017 – № 4 – с. 104-111.

Ингачева Анастасия Сергеевна. Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН. Младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 36. Область научных интересов: поли- и монокроматическая рентгеновская компьютерная томография и анализ полученных данных КТ.

E-mail: ingacheva@gmail.com

Шешкус Александр Владимирович. ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник-программист. Количество печатных работ: 18. Область научных интересов: глубокое обучение, компьютерное зрение, проективно-инвариантная сегментация изображений.

E-mail: astdcall@gmail.com

Чернов Тимофей Сергеевич. Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Программист 1 категории. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 19. Область научных интересов: системный анализ, системное программирование, распознавание образов, оценка качества изображений.

E-mail: chernov@isa.ru

Лимонова Елена Евгеньевна. Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Математик. Количество печатных работ: 16. Область научных интересов: обработка изображений, распознавание образов на мобильных устройствах. E-mail: limonova@smartengines.biz

Арлазаров Владимир Викторович. Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Кандидат технических наук. Заведующий лабораторией. ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия. Количество печатных работ: 30. Область научных интересов: искусственный интеллект, машинное обучение, системы распознавания, информационные технологии. E-mail: vva777@gmail.com

X-ray computed tomography scanner – a new tool in recognition

A.S. Ingacheva^{I,II}, A.V. Sheshkus^{III}, T. S. Chernov^{IV}, E.E. Limonova^{IV}, V.V. Arlazarov^{I,IV}

^I Institute for Information Transmission Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^{II} Federal Scientific Research Centre “Crystallography and Photonics” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^{III} LLC “Smart Engines Service”, Moscow, Russia

^{IV} Institute for Systems Analysis, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The method of computed tomography (CT) is a hardware-software nondestructive diagnostic method. The area of its application is quite extensive. It spreads from medicine for preclinical visualization of problem areas, monitoring of surgical intervention, or monitoring the dynamics of results of such intervention to usage in industrial tomographic imaging for the control of finished products, in flaw detection for monitoring the quality of permanent joints or for testing products at different technological stages during creation of new technological processes. CT is also an important tool for conducting the latest scientific research. The hardware part of the method is a measuring system, which includes a line of nodes. The program part of the CT method is independent, full and necessary. The modular principle used in software development allows for the development of versions for various computing platforms. And the final phase is the stage of recognizing the reconstructed images, because, as it often happens with rapidly developing methods, the final users of the method would like to use it also as a measurement tool. So, we have to solve the problem of searching in the probed volume of interesting objects, determine their position, dimensions and describe the form. Information taken directly from tomographic projections, could help in this. The article formulates the problem of tomography, provides an overview of Russian manufacturers of nodes that form the basis of the hardware-software tomographic system, including potential computing platforms.

Keywords: *computed tomography, tomography system, Elbrus, Baikal, KOMDIV.*

DOI: 10.14357/20790279180510

References

1. *Natterer, F.*, The Mathematics of Computerized Tomography, Springer Vieweg, 1986
2. *Voprosy kibernetiki*. Matematicheskiye problemy tomografii [Questions of cybernetics. Mathematical problems of tomography.]. Sb. statey pod. red. I.M. Gel'fanda i S.G. Gindikina. Moskva, Nauchnyy sovet po kompleksnoy probleme "Kibernetika" [Sat. articles under. Ed. I.M. Gelfand and S.G. Gindikin. Moscow, Scientific Council on the Complex Problem "Cybernetics"], 1990.
3. *Chukalina M.V., Buzmakov A.V., Nikolayev D.P., Chulichkov A.I., Karimov M.G., Rasulov G.A., Senin R.A., Asadchikov V.Ye.* Rentgenovskaya mikrotomografiya na laboratornom istochnike: tekhnika izmereniy i sravneniye algoritmov rekonstruktsii [X-ray microtomography on a laboratory source: measurement technique and comparison of reconstruction algorithms] // *Izmeritel'naya tekhnika* [Measuring techniques], N. 2, 2008, p. 19-24.
4. *M. Chukalina, S. Zaitsev, A. Simionovici, C.J. Vanegas.* Two X-ray fluorescence microtomography experimental set ups: standard and confocal collimator apparatus. *Spectrochimica Acta. Part B*. 6-7, 62, 2007, 544-548.
5. *M. Goswami, S. Shakya, A. Saxena, P. Munshi.* Optimal Spatial Filtering Schemes and Compact Tomography Setups. *Journal Research in Nondestructive Evaluation*, 27(2), 2016, 69-85.
6. *M.L. Taubin, D.A. Chesnokov, and A.A. Pavlov.* Cathodes for medical purpose X-ray tubes. 3rd International Conference on X-ray Technique IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf Series 808(2017) 012004.
7. *V.E. Asadchikov, A.V. Buzmakov, S.V. Savel'yev.* Rentgenovskaya mikrotomografiya [X-ray microtomography] // *Fundamental'nyye nauki – meditsine: Biofizicheskiye meditsinskiye tekhnologii: Monografiya: V 2-kh t.: T. 1 c 390-445/ Pod red. A.I. Grigor'yeva i YU.A. Vladimirova.* [Fundamental sciences for medicine: Biophysical medical technologies: Monography: In 2 volumes: V. 1 p. 390-445 / Ed. A.I. Grigorieva and Yu.A. Vladimirova] – Moscow: MAX Press, 2015. p. 392.
8. *M.L. Taubin, A.A. Yaskolko, D.A. Chesnokov.* Otsenka temperatury fokusnogo pyatna anodov moshchnykh rentgenovskikh trubok [Estimation of the temperature of the focal spot of the anodes of powerful X-ray tubes]. *Meditsinskaya tekhnika* [Medical technology], N. 5, 2017 / p. 18-20
9. *Nano news net*, <http://www.nanonewsnet.ru/news/2014/v-zelenograde-planiruyut-proizvodit-rentgenovskie-izluchateli-dlya-tomografov>
10. *Tehindustriya*, aspect-bez.ru
11. *Parsek, spectrometric ADCs*, <http://www.parsek.ru/ru/index.html>
12. *Closed Joint-Stock Company Research and Production Center "ASPECT"*, <http://aspect.dubna.ru/new/page.php?page=430>
13. *I.A. Ivanov, D.N. Karimov, I.L. Snetkov, O.V. Palashov, V.V. Kochurikhin, A.V. Masalov, V.A. Fedorov, D.A. Ksenofontov, Y.K. Kabalov.* Study of the influence of Tb-Sc-Al garnet crystal composition on Verdet constant // *Optical Materials*. 2017. V. 66. P.106-109.
14. *Antonov E.V., Bagdasarov K.H.S., Butashin A.V., Kanevskiy V.M., Nabatov B.V., Fedorov V.A.* Kristally YAG: Yb dlya shirokoaperturnykh lazerov i usiliteley [YAG: Yb crystals for wide-aperture lasers and amplifiers] // *Perspektivnyye materialy* [Perspective materials], 2012. N. 6. p. 23-26.
15. *Bogolubov, E., Bugaenko, O., Kuzin, S., Mikerov, V., Monitch, E., Monitch, A., Pertsov, A.* (2005). CCD detectors for fast neutron radiography and tomography with a cone beam. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 542(1-3), 187-191.
16. *Nersesyan N.S., Shevelev A.E., Chugunov I.N., Khil'kevich E.M., Gin D.B., Polunovskiy I.A., Doynikov D.N., Naydenov V.O., Gorodkov I.V.* NEYTRONNYY LIH-ATTENYUATOR DLYA GAMMA-SPEKTROMETRA ITER [NEUTRON LIH-ATTENUATOR FOR THE ITER GAMMA-SPECTROMETER]. *Uspekhi prikladnoy fiziki* [Advances in applied physics]. 2016. V. 4. N. 3. p. 294-300.
17. *Kulikov N.A., Bazhenova O.B., Serbin V.A.* ZAVOD RENTGENOVSKIYKH PRIBOROV – ZAO «SVETLANA-RENTGEN» [FACTORY OF X-RAY INSTRUMENTS – CJSC "SVETLANA-X-RAY"]. *Peterburgskiy zhurnal elektroniki* [Petersburg Journal of Electronics]. 2008. N. 2-3. P. 167-176.
18. *Savitskiy YA.V.* Sovremennyye vozmozhnosti metoda rentgenovskoy tomografii pri issledovanii kerna neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy [Modern possibilities of the X-ray tomography method in the study of cores of oil and gas fields]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo Universiteta. Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining]. 14(15), 2015, 28-37.
19. *NTTS "Amplituda"*, <http://amplituda.ru/catalog/petrofizika/oborudovanie/laboratornye->

- issledovaniya-kerna/rkt-160-rentgenovskiy-tomograf-kerna/
20. *Geology*, X-ray computed tomography core in the formation conditions “RKT-225-PL”, <http://www.geologika.ru/13-produkty/rentgenovskij-analiz/34-rentgenovskij-kompyuternyj-tomograf-kerna-v-plastovykh-usloviyakh-rkt-225-pl>
 21. *VE. Asadchikov, V.G. Babak, A.V. Buzmakov, YU.P. Dorokhin, I.P. Glagolev, YU.V. Zanevskiy, N.V. Zryuyev, YU.S. Krivonosov, V.F. Mamich, L.A. Moseyko, N.I. Moseyko, B.V. Mchedlishvili, S.V. Savel'yev, R.A. Senin, L.P. Smykov, G.A. Tudosi, V.D. Fateyev, S.P. Chernenko, G.A. Cheremukhina, Ye.A. Cheremukhin, A.I. Chulichkov, YU.N. Shilin, V.A. Shishkov*. “Rentgenovskiy difraktometr s podvizhnoy sistemoy izluchatel'-detektor” [X-ray diffractometer with a mobile radiator-detector system] // *Pribory i tekhnika eksperimenta* [Devices and experimental technique], 3, c. 99-107 (2005)
 22. *VE. Asadchikov, A.V. Buzmakov, D.A. Zolotov, R.A. Senin, A.S. Geranin*. Laboratornyye rentgenovskie mikrotomografy na monokhromaticheskom izluchении [Laboratory X-ray microtomographs on monochromatic radiation]. *Kristallografiya* [Crystallography], 2010. v. 55. n. 1. p. 167–176.
 23. *A.V. Buzmakov, A.S. Ingacheva, M.V. Chukalina, D.A. Zolotov, A.V. Vatsyuk, K.O. Dorina, D.E. Ichalova, P.V. Matavina, R.R. Mardanov, A.N. Oparin, V.A. Sobolev, M. Caselle, S. Chilingaryan, M. Balzer, T. Baumbach, VE. Asadchikov*. Novyy apparatno-programmnyy kompleks s mnogopol'zovatel'skim dostupom dlya provedeniya tomograficheskikh izmereniy [New hardware-software complex with multi-user access for tomographic measurements] // *Sbornik materialov Vos'mogo mezhdunarodnogo nauchnogo seminar i Shestoy mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy shkoly-seminara “Sovremennyye metody analiza difraktsionnykh dannyykh i aktual'nyye problemy rentgenovskoy optiki”* [Collected materials of the Eighth International Scientific Seminar and the Sixth International Youth Scientific School-Seminar “Modern Methods for Analysis of Diffraction Data and Actual Problems of X-ray Optics”], 22 June – 02 July 2016., Velikiy Novgorod, pp. 30-31.
 24. *Matthew Chalmers*. ESRF news, March (2013) <http://www.esrf.eu/Instrumentation/news/Tangocontrolsystem>
 25. *VE. Prun, A.V. Buzmakov, D.P. Nikolayev, M.V. Chukalina, VE. Asadchikov*. Vychislitel'no effektivnyy variant algebraicheskogo metoda komp'yuternoy tomografii [Computationally effective variant of the algebraic method of computed tomography] // *Avtomat. i telemekh.* [Automation and Remote Control], 2013, N. 10, 86–97
 26. *Fokin E.A., Savel'yev S.V., Gulimova V.I., Asadchikov V.E., Senin R.A., Buzmakov A.V.* Morfogenez i prostranstvennaya organizatsiya konkretnykh epifiz cheloveka pri bolezni Al'tsgeymera, shizofrenii i alkogolizme [Morphogenesis and spatial organization of concretions of the human epiphysis in Alzheimer's disease, schizophrenia and alcoholism]. *Arkhiv patologii* [Archive of pathology], 2006, v.68, N. 5, p. 20-22.
 27. *D.A. Zolotov, A.V. Buzmakov, A.A. Shiryayev, VE. Asadchikov*. Rentgenovskaya komp'yuternaya tomografiya yestestvennykhalmazov i sodержashchikhsya v nikh mikrovlaknyucheniy [X-ray computed tomography of natural diamonds and microinclusions contained in them] // *Poverkhnost'. Rentgenovskie, sinkhrotronnyye i neytronnyye issledovaniya* [Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies]. 2009. N. 9, p. 3-8.
 28. *Senin R.A., Khlebnikov A.S., Vyazovetsko-va A.E., Blinov I.A., Golubitskiy A.O., Kazakov I.V., Vorob'yev A.A., Buzmakov A.V., Asadchikov V.E., Shishkov V.A., Mukhamedzhanov E.KH., Koval'chuk M.V.* MODERNIZIROVAN-NAYA STANTSIIYA “RENTGENOVSKAYA TOPOGRAFIYA I MIKROTOMOGRAFIYA” NA KURCHATOVSKOM ISTOCHNI-KE SINKHROTRONNOGO IZLUCHENIYA [MODERNIZED STATION “X-RAY TOPOGRAPHY AND MICROTOMOGRAPHY” ON THE KURCHATOV SOURCE OF SYNCHROTRON RADIATION] // *Kristallografiya* [Crystallography]. 2013. V. 58. N. 3. p. 510.
 29. *Gan'zha, D.* 2016. IBS rasshiryayet svoystvo portfel' giperkonvergentnykh resheniy [IBS is expanding its portfolio of hyper-convergent solutions] // *Zhurnal setevykh resheniy LAN* [LAN Networking Log], (6), pp.2-6a.
 30. *Kim A.K., Perekatov V.I., Ermakov S.G.* Mikroprotsessory i vychislitel'nye komplekсы semeystva «El'brus» [Microprocessors and computing systems of the Elbrus family]. — SPb.: Piter, 2013. — 272 C.
 31. *Kim A.K., Bychkov I.N. et al.* Rossiyskietekhnologii “El'brus” dlya personal'nykh komp'yutero-rov, serverov i superkomp'yutero-rov [Russian Technologies “Elbrus” for personal computers, servers and supercomputers] // *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovanie*,

- M.: Fond sodeystviya razvitiyu internet-media, IT-obrazovaniya, chelovecheskogo potentsiala “Liga internet-media” [Modern Information Technologies and IT Education, Moscow: Foundation for the Promotion of Internet Media, IT Education, Human Capacity “League of Internet Media”], 2014, No. 10. 39-50.
32. *Baikalelectronics*, <https://www.baikalelectronics.ru/products/T1/>
33. *P.B. Bogdanov, O.J. Sudareva*. The KOMDIV microprocessors performance on a number of typical computational problems // Journal of Information Technologies and Computing Systems – 2017 – V. 4 – p. 104-111.

A.S. Ingacheva Obtained master’s degree of Higher School of Economics (National Research University) at computer science faculty in 2015. Now is a PhD student in the same place. Since March 2013 has worked as a junior researcher in the X-ray reflectivity laboratory of the Shubnikov Institute of Crystallography RAS. Research interests: poly- and monochromatic X-Ray computed tomography and analysis of obtained CT data. E-mail: ingacheva@gmail.com

A.V. Sheshkus LLC “Smart Engines Service”, Prospekt 60-Letiya Oktyabrya, 9, Moscow, 117312, Russia. E-mail: astdcall@gmail.com

T.S. Chernov Institute for Systems Analysis, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. Programmer of the 1st category. E-mail: chernov@isa.ru

E.E. Limonova. Institute for Systems Analysis, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, mathematician, programmer in Smart Engines. Number of publications: 16. Research interests: image processing, pattern recognition on mobile devices. E-mail: limonova@smartengines.biz

V.V. Arlazarov. PhD in Computer Science, head of laboratory of Institute for Systems Analysis, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. CEO in Smart Engines, pr. 60-letiya Oktyabrya, 9, Moscow, 117312, Russia. E-mail: vva777@gmail.com