

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

11-2001-180

На правах рукописи

УДК 519.232.2; 519.245

51-7:539.1.05

681.3.01; 681.3.06

Т-463

ТИХОНЕНКО

Елена Александровна

**СОЗДАНИЕ
ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ
И РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ
МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

**Специальность: 05.13.18 — математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 2001

Работа выполнена в Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

Доктор физико-математических наук, Ососков
профессор Геннадий Алексеевич
Кандидат физико-математических наук Кореньков
Владимир Васильевич

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, Томилин
профессор Александр Николаевич
Доктор технических наук, Цупко-Ситников
профессор Всеволод Михайлович

Ведущая организация:

НИИЯФ МГУ

Защита диссертации состоится 23 ноября 2001 г. на заседании Диссертационного совета Д720.001.04 при Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна Московской области).
6 14 часов

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан 19 октября 2001 года.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
кандидат физико-математических наук

Иванченко З.М.Иванченко

Общая характеристика работы

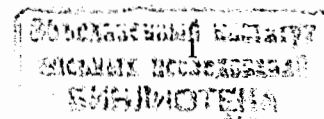
Актуальность темы

Участие в современных физических экспериментах предполагает активное использование средств вычислительной техники и применение различных математических методов в физических исследованиях.

Сотрудники Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) участвуют во многих крупных международных физических экспериментах (в частности, в экспериментах CMS, ATLAS и ALICE на строящемся в ЦЕРН (Швейцария) крупнейшем ускорителе заряженных частиц Большой Адронный Коллайдер (Large Hadron Collider, LHC)), что требует создания информационно-вычислительной среды для этих экспериментов в ОИЯИ для того, чтобы специалисты ОИЯИ имели возможность полноценно сотрудничать со своими коллаборациями, находясь длительное время в ОИЯИ. Требования к компьютеру¹ крупных физических экспериментов очень разнятся в силу узкой специализации программного обеспечения для исследований в рамках этих экспериментов, необходимости поддержки этого программного обеспечения в среде соответствующих операционных систем, а также вследствие различия потребностей в вычислительных, дисковых, архивных и сетевых ресурсах, что определяется спецификой решаемых на конкретных экспериментах задач.

Вычислительно-информационная инфраструктура ОИЯИ в большой степени ориентирована на платформу UNIX. Это хорошо согласуется с общими тенденциями организации компьютеринга для физических экспериментов

¹т.е. к применению программных средств и средств вычислительной техники для целей физических экспериментов



риментов во всем мире. Однако использование множества операционных систем UNIX-платформы (ConvexOS, HP-UX, SPP-UX, Solaris, Linux) очень часто требует определенной адаптации специализированного программного обеспечения физических экспериментов. Многообразие архитектур компьютеров, входящих в состав суперкомпьютерного центра ОИЯИ (СКЦ ОИЯИ), приводит к необходимости исследования, каким образом оптимизировать выполнение тех или иных задач, решаемых в рамках физических экспериментов.

По мере появления в СКЦ ОИЯИ новых ЭВМ необходимо осваивать особенности работы на этих компьютерах для того, чтобы пользователи центра могли решать свои задачи наиболее эффективным образом.

Так, например, для исследования векторно-параллельной ЭВМ Convex-220 была выбрана задача построения генератора случайных чисел на базе клеточного автомата. Эта задача интересна как с точки зрения попытки создания генератора, соответствующего требованиям, предъявляемым к генераторам случайных чисел, так и с точки зрения реализации генератора, производящего вектор случайных величин, на компьютере векторной архитектуры.

Для исследования возможностей параллелизации на суперкомпьютере SPP-2000 была выбрана задача минимизации функционала при построении оптимальной передаточной функции для наиболее точного измерения координаты заряженной частицы в торцевых мюонных детекторах установки CMS. Следует отметить, что проблема минимизации функционалов по параметрам присуща широкому кругу задач обработки экспериментальных данных, где возникает необходимость получения оптимальных оценок подгонки параметров.

Более детальное ознакомление со специализированным математическим обеспечением для эксперимента CMS привело к исследованиям, свя-

занным с усовершенствованием алгоритма восстановления трек-сегментов в торцевых мюонных камерах установки CMS.

Таким образом основные аспекты **актуальности работы** можно определить следующим образом:

- ОИЯИ полностью отвечает за проектирование, изготовление и ввод в эксплуатацию торцевых адронных калориметров и передней мюонной станции ME1/1 для установки CMS. ОИЯИ также принимает участие в работах в рамках эксперимента CMS по созданию предливневого детектора и программ физического анализа экспериментальных данных эксперимента CMS. Если иметь в виду использование компьютерных средств, то это необходимо для проводимых в ОИЯИ работ по механическому проектированию, разработке электроники для указанных детекторов, их моделированию, изучению физических процессов и обработке данных с тестовых сеансов на прототипах этих детекторов. Для создания условий полноценного сотрудничества специалистов ОИЯИ в рамках CMS была поставлена задача организации компьютеринга CMS в ОИЯИ.

Дальнейшее участие специалистов ОИЯИ в строящихся на LHC экспериментах (ATLAS, CMS и ALICE), в особенности на действующей фазе ускорителя и установок, требует создания в России регионального информационно-вычислительного центра для LHC. В этом контексте создание информационно-вычислительной среды для эксперимента CMS в ОИЯИ в значительной степени послужило основой для участия ОИЯИ в общероссийском проекте создания в России распределенного регионального информационно-вычислительного центра для LHC.

- На начальном этапе эксплуатации ЭВМ Convex-220 и SPP-2000

были поставлены задачи изучения особенностей работы на этих ЭВМ с точки зрения возможностей векторизации и параллелизации на конкретных практических задачах.

- Для разработки программного обеспечения в экспериментальной и теоретической физике важно наличие быстрого и надежного генератора случайных чисел. Опыт предыдущих усилий в этом направлении показывает безусловное преимущество генераторов случайных чисел, работающих в режиме групповой генерации. Таким образом, была поставлена задача создания генератора случайных векторов на базе клеточного автомата, обладающего удовлетворительными статистическими свойствами.
- Возрастающие требования к высокой эффективности реконструкции траекторий заряженных частиц в координатных детекторах и повышению точности восстановления параметров треков в условиях сильного зашумления данных приводят к выводу, что традиционные методы оценок параметров треков (например, общепринятый метод наименьших квадратов) теряют свои оптимальные свойства. Поэтому становится актуальной задача разработки нового математического и алгоритмического аппарата для оптимальной подгонки параметров треков в подобных условиях.
- Оказание методической поддержки для пользователей СКЦ ОИЯИ (издание пособий и поддержка информационных страниц средствами WWW) дает возможность большому числу специалистов ОИЯИ успешно решать свои задачи на ЭВМ СКЦ ОИЯИ.

Цель работы

В диссертации рассмотрен и решен ряд вопросов, связанных с созданием в ОИЯИ информационно-вычислительной среды для физических экспериментов, а также с решением конкретных практических задач моделирования и обработки данных для физических экспериментов:

- создание информационно-вычислительной среды для эксперимента CMS на стадии строительства данной установки как основы для участия ОИЯИ в организации регионального информационно-вычислительного центра для ЛHC в России на действующей фазе ускорителя ЛHC и физических установок (после 2005 г.);
- исследование возможностей повышения эффективности решения физических задач пользователей на ЭВМ СКЦ ОИЯИ векторной и параллельной архитектуры и оказание методической поддержки пользователям СКЦ ОИЯИ:
 - создание алгоритма и программы для реализации генератора псевдослучайных векторов на базе бинарного двумерного клеточного автомата на ЭВМ Convex-220 и исследование статистических свойств данного генератора;
 - параллельная реализация на ЭВМ SPP-2000 задачи минимизации функционала при обработке экспериментальных данных с прототипа мюонных торцевых камер эксперимента CMS;
- разработка и тестирование робастного подхода для нахождения оптимальных параметров трек-сегментов в мюонных катодно-стриповых камерах эксперимента CMS и оценки пространственного разрешения в них.

Научная новизна

Научная новизна изложенных результатов состоит в следующем:

- ОИЯИ стал первым и оставался единственным с 1996 года до 2000 года в России из институтов-участников эксперимента CMS, где была организована достаточно полная поддержка компьютеринга CMS для стадии конструирования установки, и, тем самым, была подготовлена основательная база для участия ученых ОИЯИ в будущей работе на действующей установке CMS.
- Впервые был реализован генератор случайных чисел на базе двумерного бинарного клеточного автомата, выдающий на каждом такте последовательность случайных векторов.
- Разработан алгоритм и программная реализация робастного фитирования треков в катодно-стриповых камерах, впервые позволяющие получить оптимальные оценки параметров треков в этих камерах, несмотря на сильное загрязнение данных.

Практическая ценность

Практическая значимость диссертационной работы может быть определена следующим образом:

- В 1997 году для проведения перечисленных работ по тематике CMS был создан кластер архитектуры NIS+ из трех SunSparc станций. На Sun-CMS кластере ОИЯИ сотрудниками ЛИТ и ЛФЧ проводилась обработка данных с прототипов детекторов CMS и проводились работы по моделированию физических процессов и установки. Кластер также использовался как архивный сервер для электронных

и механических разработок. Количество пользователей кластера - около 100 сотрудников ОИЯИ, участвующих в эксперименте CMS. В 1997 году был создан информационный WWW-сервер коллаборации RDMS. На сервере содержится информация об основных направлениях деятельности RDMS, различные рабочие материалы и сведения о семинарах, совещаниях и конференциях RDMS. Сервер активно посещается специалистами из разных стран мира (примерно 2000 обращений ежегодно; от 5 до 50 обращений ежедневно.) Заложен определенный фундамент для участия ОИЯИ в создании регионального информационно-вычислительного центра для LHC.

- Реализованный новый генератор случайных векторов на базе бинарного двумерного клеточного автомата успешно использовался в практической задаче SU(2) калибровочной теории на решетке.
- Предложенный вместо метода наименьших квадратов робастный подход позволил получить достоверные оценки параметров треков в катодно-стриповых камерах в условиях сильного загрязнения данных, удовлетворяющие требованиям эксперимента CMS. При этом по простоте реализации предлагаемый подход приближается к методу наименьших квадратов, что также представляет его практическую ценность.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались на научных семинарах: по методам вычислительной и прикладной математики ЛВТА(ЛИТ) ОИЯИ, по вычислительной физике ЛИТ ОИЯИ, по применению вычислительной техники в научных исследованиях ЛВТА(ЛИТ) ОИЯИ, на RMDS

CMS семинарах в ЛФЧ ОИЯИ, а также на следующих совещаниях, школах и конференциях:

1. Convex Metacomputing.
ОИЯИ, Дубна, 24-26 мая 1994 г.
2. Computing Centre of the Next Century.
Krakow, Poland, October 18-21, 1994
3. European Convex Users Conference.
Brussels, Belgium, October 25-27, 1995
4. IV International Workshop on Software Engineering and Artificial Intelligence For High Energy and Nuclear Physics.
Pisa, Italy, April 3-8, 1995.
5. 10th Summer School on Computing Techniques in Physics "High Performance Computing in Science".
Skalsky dvur, Czech Republic, September 5-14, 1995.
6. Second Annual RDMS CMS Collaboration Meeting.
CERN, Geneva, Switzerland, December 16-17, 1996
7. Third Annual RDMS CMS Collaboration Meeting.
CERN, Geneva, Switzerland, December 16-17, 1997
8. Международная летняя школа COMPASS'97.
Прага, Чехия, 16-24 августа 1997 г.
9. Modern Trends in Computational Physics.
ОИЯИ, Дубна, 15-20 июня 1998 г.
10. Conference on Computational Physics.
Granada, Spain, September 2-5, 1998.

11. High Performance Computing on Hewlett-Packard Systems.
Zurich, Switzerland, October 14-16, 1998
12. Computing in High Energy Physics.
Padova, Italy, February 7-11, 2000.
13. CMS Heavy Ion Meeting.
St.Petersburg, PNPI, June 11-14, 2000.
14. Modern Trends in Computational Physics.
ОИЯИ, Дубна, 24-29 июля 2000 г.
15. Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ.
Новороссийск, 18-23 сентября 2000 г.

Структура и объем диссертации

Диссертация объемом 94 страницы состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 2 таблицы, 25 рисунков и список литературы из 89 ссылок.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 14 работ.

Содержание диссертации

Во введении обосновывается актуальность темы и приводится краткое содержание диссертации.

Первая глава, написанная по материалам работ [1, 2, 3, 4], посвящена вопросам создания в ОИЯИ информационно-вычислительной среды для

участия ОИЯИ в проектах на LHC.

В разделе 1.1 изложена задача организации компьютинга CMS в ОИЯИ и сформулированы общие принципы организации компьютинга для этого эксперимента в объеме, необходимом для осуществления в ОИЯИ работ по сотрудничеству в рамках CMS.

В разделе 1.2 излагается, каким образом была в ОИЯИ создана информационно-вычислительная среда для эксперимента CMS на стадии строительства установки.

В разделе 1.3 очерчен круг проблем, которые потребуется решить для участия ОИЯИ в создании регионального информационно-вычислительного центра для LHC в России в контексте уже созданной для этого основы в ОИЯИ.

Вторая глава, написанная по материалам работ [5, 6, 7, 8, 9, 10], посвящена вопросам повышения эффективности использования ЭВМ СКЦ ОИЯИ для решения физических задач и вопросам оказания методической помощи пользователям СКЦ ОИЯИ.

В разделе 2.1 излагается векторная реализация генератора псевдослучайных чисел на базе двумерного бинарного клеточного автомата на ЭВМ Convex-220. Описаны два правила поведения клеточных автоматов, которые выбраны для генерации случайных чисел.

В подразделе 2.1.1 описаны алгоритм предлагаемого генератора и статистические тесты для проверки удовлетворительности качества генератора.

В подразделе 2.1.2 описан метод вложенных диаграмм для проверки многомерных случайных последовательностей, который был использован помимо стандартных тестов проверки качества генератора.

В подразделе 2.1.3 содержатся сведения о результатах тестовых испытаний генератора, в том числе в задаче $SU(2)$ калибровочной теории

на решетке, а также о особенностях векторной реализации алгоритма генератора на языке Fortran 77 с использованием встроенных в него операторов Fortran 90.

В разделе 2.2 описана параллельная реализация на ЭВМ SPP-2000 задачи минимизации функционала при обработке данных с мюонных торцевых камер установки CMS.

В подразделе 2.2.1 содержится постановка задачи точного восстановления заряда заряженных частиц в мюонных торцевых камерах.

В подразделе 2.2.2 изложена программная реализация задачи минимизации функционала на ЭВМ SPP-2000, а также сравнительные результаты счета данной программы в рамках операционных систем SPP-UX 5.2.1 и Solaris 2.5.1.

В разделе 2.3 излагается, каким образом осуществлялась методическая поддержка работы пользователей на ЭВМ СКЦ ОИЯИ.

Третья глава, написанная по материалам работ [11, 12, 13, 14], посвящена решению задачи повышения эффективности восстановления мюонных треков с помощью робастного подхода, позволяющего получить оптимальные оценки параметров трек-сегментов в мюонных катодно-стриповых камерах установки CMS.

В разделе 3.1 ставится задача восстановления мюонных треков в тяжелых фоновых условиях и обосновывается необходимость привлечения робастного метода для решения данной задачи.

В разделе 3.2 описывается математический подход, разработанный для решения задачи получения оптимальных параметров при восстановлении мюонных треков.

В разделе 3.3 приведен сравнительный анализ результатов, полученных с использованием традиционного МНК и робастного метода. Полученные результаты определенно доказывают необходимость использова-

ния робастного подхода для фитирования треков и достоверной оценки пространственного разрешения CSC.

В заключении приведены основные результаты работы.

Результаты, выносимые на защиту

В диссертации изложены результаты исследований, выполненных в Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований в период с 1994 года по 2001 год. Основными результатами диссертации являются:

1. В рамках работ по созданию информационно-вычислительной среды для физических экспериментов был создан информационно-вычислительный кластер для эксперимента CMS, программная среда которого соответствовала требованиям данного эксперимента; была проведена работа по поддержке и адаптации специализированных программных продуктов в этой среде. Создан информационный www-сервер для освещения участия российских институтов и стран-участниц ОИЯИ в эксперименте CMS. Была проделана большая редакторская и организационная работа по созданию структуры сервера и наполнению его информацией. Структура сервера и качество представления информации получили высокую оценку экспертов CERN. Тем самым при большом личном вкладе автора диссертации были созданы необходимые условия для проведения в ОИЯИ работ по сотрудничеству в рамках CMS, которые требуют привлечения компьютерных средств. Создание информационно-вычислительной среды для эксперимента CMS стало главным фундаментом для участия ОИЯИ в российском проекте по организации регионального информационно-вычислительного центра для LHC в России, в

разработке которого автор принимает большое участие.

2. Разработан новый генератор псевдослучайных векторов на базе двумерного клеточного автомата, имеющий удовлетворительные статистические качества. Приведены результаты статистических испытаний генератора на базе стандартных статистических тестов (теста на монотонность, теста интервалов, проверке на корреляцию и проверке на длину периода), а также с помощью метода вложенных гистограмм. Генератор успешно использовался в задаче вычисления теплоемкости в точке кроссовера для SU(2) калибровочной теории на решетке, что продемонстрировало, в частности, отсутствие корреляций высокого порядка.
3. Параллельная реализация на ЭВМ SPP-2000 задачи минимизации функционала при обработке экспериментальных данных с прототипа мюонных торцевых камер установки CMS для точного определения заряда не только позволила решать более эффективно эту ресурсоемкую задачу, но также изучить оптимизирующие возможности транслятора Exemplar Fortran 77, что имело важное методическое значение на начальном этапе эксплуатации данной ЭВМ в ОИЯИ.
4. Методическая поддержка, оказываемая пользователям ЭВМ СКЦ ОИЯИ, отражена в изданном руководстве для пользователей, а также на информационных страницах <http://www.jinr.ru/~unixinfo>.
5. Разработан и протестирован робастный метод для нахождения оптимальных параметров трек-сегментов в мюонных катодно-стриповых камерах эксперимента CMS и оценки пространственного разрешения камер в условиях сильного зашумления данных. Результаты

сравнительного анализа результатов, получаемых с помощью традиционного метода наименьших квадратов и предлагаемого робастного метода определенно доказывают необходимость использования робастного подхода для решения данной задачи. К достоинствам разработанного подхода, что и представляет его практическую ценность, можно отнести сочетание высокой эффективности оценок параметров с удобством и простотой предлагаемого метода фитирования.

Работы, положенные в основу диссертации

1. I.Golutvin, V.Korenkov, A.Lavrent'ev, R.Pose, E.Tikhonenko. CMS Computing Support at JINR. *Communication of the JINR*, **D11-98-122**, Dubna: JINR, 1998, 10 p.
2. В.В.Кореньков, В.В.Мицын, Е.А.Тихоненко. Участие ОИЯИ в организации регионального информационно-вычислительного центра для ЛНС в России. *Сообщение ОИЯИ*, **P11-2001-24**, Дубна: ОИЯИ, 2001, 8 с.
3. В.В.Кореньков, В.В.Мицын, Е.А.Тихоненко. Концепция GRID: на пути к глобальному информационному обществу XXI века. *Сообщение ОИЯИ*, **P11-2001-58**, Дубна: ОИЯИ, 2001, 10 с.
4. В.В.Кореньков, Е.А.Тихоненко. Организация вычислений в научных отраслях.// *Открытые системы*, N.2, 2001, с. 30-35.
5. Г.А.Ососков, Е.А.Тихоненко "Новый генератор случайных чисел на базе двумерного клеточного автомата.// *Математическое моделирование*, Т.8, N12, 1996, с. 77-84; Препринт ОИЯИ, **E11-95-198**,

Дубна: ОИЯИ, 1995.

6. G.A.Ososkov, E.A.Tikhonenko, A.M.Zadorozhny. On Experience of testing of New Random Number Generator on the Base of 2D-Cellular Automaton.//*Book of Abstracts of the 10th Summer School on Computing Techniques in Physics "High Performance Computing in Science"*, Skalsky dvur, Czech Republic, 1995, 2 p.
7. G.A.Ososkov, E.A.Tikhonenko. New Random Number Generator on the Base of 2-D Binary Cellular Automaton.// *Proc. of Fourth Intern. Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert Systems in High Energy and Nuclear Physics*, Singapore, World Scientific, 1995, pp. 635-640.
8. V.Korenkov, G.Ososkov, E.Tikhonenko, A.Zadorozhny. CONVEX C-220 Vector Implementation of a New Random Number Generator on the Base of Cellular Automata.// *Proc. of ECUC'95*, Brussels, Belgium, 1995, 4 p.
9. V.Korenkov, V.Palichik, E.Tikhonenko. On Experience of SPP-2000 Usage for Solving of Minimization Tasks in Data Processing for CMS Muon Detector Prototypes.// *Proc. of HIPER'98*, Zurich, Switzerland, 1998, pp. 228-231.
10. В.В.Галактионов, Н.И.Громова, В.В.Мицын, А.П.Сапожников, Е.А.Тихоненко.// *Руководство для пользователей ЭВМ CONVEX*. **P11-95-221**, Дубна, 1995, 67 с.
11. G.Ososkov, V.Palichik, E.Tikhonenko. Robust Technique with Sub-Optimal Weight Function for Track Fitting in CMS Muon Strip Chamber.// *Europhysics Conference Abstracts*, Vol. **22F**, European Physical

Society, Granada, Spain, 1998, pp. 323-324; Computer Physics Communications, **121-122(1999)**, 1999, p.709.

12. I.A.Golutvin, Y.T.Kiriouchine, S.A.Movchan, G.A.Ososkov, V.V.Palichik, E.A.Tikhonenko. Robust estimates of track parameters and spatial resolution for CMS muon chambers. //Computer Physics Communications, **126(2000)**, 2000, pp. 72-76.
13. И.А.Голутвин, Ю.Т.Кирюшин, С.А.Мовчан, Г.А.Ососков, В.В.Пальчик, Е.А.Тихоненко. Робастные оптимальные оценки параметров трек- сегментов мюонов в катодно-стриповых камерах эксперимента CMS. //Препринт ОИЯИ **P13-2001-147**, Дубна: ОИЯИ, 2001, 21 с.
14. I.Golutvin, S.Movtchan, G.Ososkov, V.Palichik, E.Tikhonenko. Optimal Choice of Track Fitting Procedure for Contaminated Data in High-Accuracy Cathode Strip Chambers.// Proc. of CHEP'2000, Padova, Italy, 2000, pp. 128-131.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 августа 2001 года.