

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор
Объединенного института
ядерных исследований
академик РАН В.А. Матвеев

«24» августа 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации **“Объединенный институт ядерных исследований” (ОИЯИ)** на диссертационную работу **ЧЕРНОВА Василия Геннадьевича «Разработка распределенной системы сбора данных и анализ формы импульса событий на установке “Троицк ню-масс”»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01- Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация В.Г. Чернова посвящена созданию и эксплуатации распределенной системы сбора данных для установки “Троицк ню-масс”. Работа поделена на два больших логических блока.

Первый блок работы посвящен разработке принципов построения распределенной системы сбора с использованием современных методов разработки, таких как: разбиение системы на самостоятельные программы-сервисы, использование единого программно-независимого интерфейса для межсерверного взаимодействия, переход на стандартные транспортные интерфейсы при взаимодействии между сервисами. Описывается структура разработанной системы сбора данных. Приведенные в диссертации примеры работы с системой сбора данных показывают ее гибкость и надежность, а также преимущества, важные для экспериментальных установок: простоту модернизации и масштабирования.

Второй блок посвящен работе по улучшению качества собираемых данных. Одним из ключевых факторов, улучшающих качество, является уменьшение мертвого времени системы считывания сигнала детектора, которое было достигнуто заменой аппаратного выделения параметров сигнала на программную обработку осциллограммы. В диссертации описывается разработанный алгоритм программного разделения наложений сигналов. Также излагаются этапы тестирования алгоритма, которые подтверждают его эффективность и дают точные значения характеристик.

Актуальность работы

Актуальность диссертационной работы определяется успешным внедрением новой системы сбора данных в эксперименте “Троицк ню-масс”. Распределенность новой системы обеспечивает необходимую гибкость, позволяя без изменения кода работать в разных режимах модулей установки, в т.ч. использовать несколько типов считывающей электроники включая прототип детектора TRISTAN.

Разработанный алгоритм разделения наложений сигналов представляет интерес, т.к. имеет низкое мертвое время и не привязан к конкретной форме сигнала. В рамках эксперимента «Троицк ню-масс» его использование уменьшает мертвое время считывание сигнала в 7 раз, тем самым обеспечивая необходимую для поиска стерильных нейтрино скорость счета.

Краткое содержание работы

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируется цель, ставятся задачи работы, излагается научная новизна и практическая значимость представляемой работы.

В первой главе приведен обзор текущих экспериментов по поиску стерильных нейтрино. Кратко описываются основные их типы и методы детектирования.

Во второй главе приводится описание установки «Троицк ню-масс». Рассматриваются основные компоненты установки.

Третья глава посвящена архитектуре новой системы сбора данных. В ней описываются основные компоненты системы, формат сообщений, модель хранения данных. Ключевой особенностью архитектуры новой системы является разбиение на независимые самостоятельные компоненты. К ним относятся: модуль высоковольтной стойки, отвечающий за напряжение спектрометра; модуль детектора, регистрирующий события и управляющий модуль, осуществляющий контроль над системой. Для каждого модуля приведено описание алгоритма работы соответствующей подсистемы и приведен список используемых команд и ответов на них. Основными преимуществами используемого формата данных являются: хранение текстовых и бинарных данных в одном пакете (что приводит к возможности оценки содержимого пакета с помощью обычного текстового редактора), возможность использования одного формата как для хранения, так и для передачи данных.

В четвертой главе описаны два примера расширения системы сбора: интеграция платы Лан10-12PCI и замена модуля считывания сигнала на прототип детектора TRISTAN. В первом случае Черновым В.Г. был написан дублирующий сервер на Python, во втором - программа, симулирующая человеческую работу со стандартным графическим интерфейсом устройства. Данные примеры расширений показывают гибкость архитектуры и возможность работы при практически любых условиях (отсутствует драйвер устройства, изменена модель набираемых данных и т.д.).

Пятая глава диссертации посвящена алгоритмам разделения наложений. В ней описываются: способ записи непрерывной оцифровки сигнала, основные разработанные алгоритмы наложений и метод и результаты тестирования алгоритмов. Наиболее эффективный алгоритм основан на композиции двух способов восстановления параметров события: простое параболическое фитирование пика (для одиночного события) и фитирование суммой двух полных форм события (для наложений). Условием применения второго способа является нарушение временной очередности при восстановлении событий. Такая комбинация дает наиболее точный и устойчивый результат. Тестирование алгоритмов проводилось с помощью написанного генератора сигнала детектора. Форма события для генератора извлекалась из реальных

данных с помощью группировки событий по амплитудам и вычисление средней формы в каждой группе. Проверка генератора осуществлялась сопоставлением гистограмм хи-квадрат отклонений для реальных и сгенерированных данных.

В заключении приведены основные результаты и выводы работы. Приводятся ссылки на код алгоритмов. Все приведенные в заключении положения являются полностью обоснованными и подтвержденными.

Научная новизна

Разработана новая система сбора для установки “Троицк ню-масс”. В основе архитектуры лежит современный подход к созданию программных комплексов - использование независимых сервисов. Аппаратно новая система сбора опирается на использование ПК-контроллеров крейтов КАМАК, в которые устанавливаются программы сервисов.

Разработан оригинальный алгоритм разделения наложений, использующий форму отдельного события. При этом сам алгоритм не привязан к конкретной форме сигнала и может быть автоматически подстроен под другую форму, используя только набранные осциллограммы. В рамках эксперимента “Троицк ню-масс” было достигнуто мертвое время порядка 0.9 мкс при длине сигнала 6 мкс и цене одного канала оцифровки 320 нс.

Практическая значимость и рекомендации к использованию

Модульность новой системы сбора значительно упростила работу по модернизации системы считывания сигнала, обеспечив возможность независимой разработки и тестирования. Также модульность позволила легко проводить временные замены компонент системы, что было использовано при работе с прототипом детектора TRISTAN.

Использование разработанных алгоритмов по разделению наложений в рамках эксперимента «Троицк ню-масс» уменьшило мертвое время считывания в 7 раз и обеспечило возможность работы на скоростях счета вплоть до 50-60 кГц, что позволило проводить измерения бета-спектра в широком диапазоне и с большой статистикой.

Структура диссертации и ее оформление

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений. Полный объем диссертации составляет 125 страниц, включая 49 рисунков и 13 таблиц. Список литературы содержит 56 наименований. Содержание диссертации полно и точно отражено в автореферате.

Достоверность полученных результатов

Правильность выбора сервисной архитектуры для системы сбора данных продемонстрирована Черновым В.Г. на примере описанных в работе расширений системы. Они показывают простоту замены модулей. Также по примерам видно, что выбранная архитектура позволяет писать разные модули на разных языках

программирования, в разных операционных системах, проводить независимое тестирование и независимую разработку. Такие действия практически невыполнимы в классической монолитной архитектуре.

Разработанные алгоритмы разделения наложений были всесторонне протестированы в работе с помощью созданного генератора сигнала детектора. Генератор, в свою очередь, был протестирован на реальных данных по сопоставлению гистограмм хи-квадрат отклонений. Использование генератора также позволило получить точные метрики качества работы алгоритмов.

Апробация результатов

Результаты диссертации докладывались на VII и VIII межинститутских молодежных конференциях «Физика элементарных частиц и космология», международной конференции «The XXI International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists» и ряде научных семинаров в ИЯИ и КИТ, Карлсруэ.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Разработка и тестирование всех программных компонентов, а также подготовка к публикации материалов по разделению событий проводилась непосредственно В. Г. Черновым. Он принял активное участие в 6 сеансах работы установки «Троицк ню-масс» и внес существенный вклад в полученные на установке результаты.

Замечания по работе

В целом диссертация написана ясно и адекватно освещает цели, методы и результаты проделанной работы. В качестве недостатков, не снижающих значимости полученных результатов, можно отметить следующие:

1. В силу большого объёма представленного материала автору не всегда удаётся полностью раскрыть те или иные особенности системы, объяснить выбор того или иного подхода, не всегда соблюдается связность изложения.
2. Наличие в тексте большого числа терминов, понятных только узким специалистам.

Заключение

Диссертационная работа Чернова В. Г. «Разработка распределенной системы сбора данных и анализ формы импульса событий на установке “Троицк ню-масс”» выполнена на высоком профессиональном уровне. Основные результаты диссертации доложены на международных конференциях. Личный вклад автора не вызывает сомнения.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Чернов Василий Геннадьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.01 - «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертация Чернова В. Г. заслушана и одобрена на научном семинаре Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина Объединенного института ядерных исследований 21 мая 2020 года, в результате рассмотрения замечаний к отзыву не поступило.

Директор ЛФВЭ ОИЯИ
член-корреспондент РАН

В. Д. Кекелидзе

Отзыв составил:

ведущий научный сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ
кандидат физико-математических наук
Тел.: +7(496) 771-30-20
e-mail: Yuri.Petukhov@ihep.ru

Ю. П. Петухов

Сведения о ведущей организации:

Международная межправительственная организация
Объединенный институт ядерных исследований

Адрес организации:

141980, Российская Федерация, Московская обл., г Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6.
тел.: +7 (49621) 6-50-59
e-mail: post@jinr.ru

Объединенный институт ядерных исследований

Публикации:

- J. Novy and others Pilot run of the new DAQ of the COMPASS experiment J. Phys. Conf. Ser. 8 664 082042 (2015)
- M. Bodlak, V. Frolov, V. Jary, S. Huber, I. Konorov, D. Levit, J. Novy, R. Salac, M. Virius Development of new data acquisition system for COMPASS experiment Nucl. Part. Phys. Proc. 273-275 976-981 (2016)
- P. Agnes and others The Electronics and Data Acquisition System for the DarkSide-50 Veto Detectors JINST 11 12 P12007 (2016)
- M. Abolins and others The ATLAS Data Acquisition and High Level Trigger system JINST 11 06 P06008 (2016)
- A. Isupov VME-based DAQ system for the Deuteron Spin Structure setup at the Nuclotron internal target station EPJ Web Conf. 204 10003 (2019)
- P. Agnes and others The Electronics, Trigger and Data Acquisition System for the Liquid Argon Time Projection Chamber of the DarkSide-50 Search for Dark Matter JINST 12 12 P12011 (2017)