

Отзыв официального оппонента

Андрианова Андрея Сергеевича

На диссертационную работу Кена Войцеха Олеговича

«Корреляционная обработка РСДБ-данных в режиме квазиреального времени на графических процессорных устройствах»

Представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия

В диссертационный совет Д 002.067.01

Диссертационная работа посвящена разработке коррелятора для новой широкополосной РСДБ-системы нового поколения, которая должна улучшить качество исследований в области определения внутрисуточных вариаций параметров вращения Земли, получения информации по внутреннему строению Земли и исследования квазаров. Эффективное решение данной задачи требует от коррелятора возможности работы в режиме квазиреального времени. На момент начала работы построение вычислительного кластера для решения данной задачи при помощи существующих корреляторов требовало больших материально-технических затрат для обеспечения требуемого уровня производительности. В то же время, уже появились программируемые видеокарты, архитектура которых хорошо подходит для реализации трудоемких и хорошо параллелизуемых алгоритмов, таких как сопровождение по доплеровскому смещению частоты, быстрое преобразование Фурье, коррекция дробного бита, перемножение и усреднение спектров, т.е. всех тех алгоритмов, которые занимают основное вычислительное время при работе коррелятора. Поэтому тема диссертационной работы является **актуальной**. Диссертантом проведена большая работа по разработке методов и алгоритмов высокоскоростного вычисления взаимокорреляционных функций с использованием GPU, а также, по оценке точности и скорости работы полученного решения.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Она изложена на 119 страницах, включает 9 таблиц и 17 рисунков, список литературы содержит 65 наименований.

Во введении обозначены цели работы, описаны актуальность, научная новизна и практическая значимость исследования. Приводятся основные положения, выносимые на защиту, а также список публикаций и личный вклад автора.

Первая глава посвящена теоретическим основам задачи корреляционной обработки данных РСДБ наблюдений. Рассмотрены основные алгоритмы XF и FX корреляторов, а также методы выделения сигнала фазовой калибровки. Приводится обзор основных современных корреляторов с указанием как технологий, на которых они построены, так и технических требований (число баз, ширины полос, число бит квантования), благодаря которым конкретные технологии были выбраны.

Вторая глава диссертации посвящена реализации алгоритмов корреляционной обработки данных на GPU. Диссертантом реализованы GPU версии алгоритмов выделения сигнала фазовой калибровки, вычисления кросскорреляционных спектров, сопровождения по

доплеровской задержке и коррекции дробного бита. Диссертантом проанализированы различные версии данных алгоритмов, в первую очередь со стороны требований к видеопамети, и обосновано выбран наиболее быстрый в рамках требований к коррелятору РАН и конкретной архитектуре GPU вариант.

Третья глава диссертации посвящена исследованию точности коррелятора, и величины ошибок, вносимых им в величину определяемой задержки. Для исследования использовались модельные данные, полученные при помощи как генератора псевдослучайных чисел, так и при помощи интерферометра с нулевой базой, играющего роль аппаратного генератора шума. В обоих случаях было продемонстрировано, что ошибка, вносимая коррелятором, не превышает 10 пс, что удовлетворяет техническому заданию на коррелятор РАН и что подтверждается, в том числе, результатами метрологической аттестации.

В четвертой главе сравниваются результаты обработки реальных РСДБ сеансов, полученные при помощи коррелятора РАН и коррелятора DiFX, а также относительная скорость работы корреляторов на одних и тех же серверах (при этом коррелятор РАН использует как CPU, так и GPU составляющие кластера, коррелятор DiFX использует только CPU часть). Показано, что результаты обработки двумя различными корреляторами хорошо согласуются между собой, при этом в скорости обработки коррелятор РАН за счет использования GPU имеет ожидаемое преимущество.

По тексту диссертации возникли следующие **вопросы и замечания**:

1. На стр. 19 диссертации сказано “Помимо обработки РСДБ-сеансов, коррелятор обрабатывает мазерные и пульсарные наблюдения”. Однако наблюдения пульсаров и мазеров также могут проводиться в РСДБ режиме. Точнее было бы сказать: “Помимо обработки РСДБ сеансов астрономических источников непрерывного спектра...”
2. Рис 1.1 на стр. 26 приведен в низком разрешении. Нижние индексы у задержек плохо различимы.
3. На стр. 50 приведены значения $+1$ и $+3.3359$ которыми инициализируется массив при переходе от двухбитного представления данных к вещественному. И только на стр. 69 дается пояснение, почему уровни квантования выбраны именно такими. Ссылку на работу [21] стоило бы дать уже на стр. 50.
4. На стр. 54 автор мотивирует свой выбор библиотеки для Фурье CUFFT в том числе тем, что не видит никаких предпосылок к тому, чтобы конкурировать по скорости и точности с Nvidia при самостоятельном написании библиотеки. При этом странно, что точность работы библиотеки CUFFT сравнивается как раз с самостоятельной реализацией DFT на Python. В таком случае логичнее было бы для сравнения использовать другие известные CPU библиотеки, такие как `fftw` или `IPP`. В этом случае в работе помимо оценки точности библиотеки можно было бы привести оценки скорости работы GPU библиотеки относительно наилучших CPU реализаций на конкретном узле, что представляет дополнительный интерес в контексте сравнения скорости работы коррелятора РАН и коррелятора DiFX в Главе 4.
5. На стр. 63 первое предложение второго абзаца несогласовано. Вероятно, пропущен союз.
6. На рис. 3.2 на стр. 72 представлены точки (по задержке и частоте интерференции), по которым осуществлялось исследование точности коррелятора. Возникает вопрос почему

нельзя было использовать для сравнения все возможные пары задержка-частота интерференции? В этом случае Рис 3.2 выглядел бы тривиально (во всех узлах сетки были бы черные точки).

7. На стр. 86 в двух верхних строках две опечатки.

8. На стр. 93 утверждается, что в программной архитектуре DiFX межблочный обмен данными происходит в формате вещественных чисел, в отличие от коррелятора РАН. Это не совсем так. В архитектуре DiFX передача исходных данных между потоками происходит в виде битовых потоков, распаковкой которых в вещественные числа занимается непосредственно каждый вычислительный поток. В вещественном виде в DiFX по сети передаются только усредненные взаимокорреляционные спектры.

9. Сравнение производительности корреляторов РАН и DiFX в работе проведено для идеализированного случая, в котором тестируется только вычислительная часть алгоритма. Между тем, в реальной задаче корреляционной обработки данных зачастую узким местом является не вычислительная мощность кластера, а система ввода-вывода и пропускная способность сети, особенно при большом числе станций. Тем более, что при оценке производительности коррелятора DiFX диссертант столкнулся со случаем т.н. утилизации сети Infiniband. Хотелось бы увидеть анализ проблемы производительности коррелятора и масштабируемости кластера в том числе и с этой стороны.

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации. Текст диссертации написан достаточно ясно, все полученные результаты обоснованы и изложены корректно.

Научная новизна представленных в диссертации результатов обеспечивается тем, что впервые в мире для задачи корреляции данных были использованы специализированные графические процессоры, архитектура которых хорошо подходит для реализации трудоемких и хорошо параллелизуемых алгоритмов. В результате появилась возможность проведения непрерывных круглосуточных РСДБ наблюдений. Также впервые в мире для оценки качества работы коррелятора был использовано не только прямое сравнение с результатами других корреляторов, но и осуществлено тестирование на программном макете интерферометра.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Все результаты диссертации, выносимые на защиту, обоснованы.

Достоверность положений, выносимых на защиту, полученных результатов и выводов диссертации обеспечивается результатами проведенного сравнения с существующими корреляторами, апробацией на авторитетных российских и международных конференциях и публикациями в высокорейтинговых изданиях, а также результатами метрологической аттестации. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Практическая значимость работы определяется разработанным программным обеспечением, позволившим обрабатывать данные VGOS-интерферометра в режиме реального времени. Данное программное обеспечение используется при обработке данных РСДБ-комплекса "Квазар-КВО", в настоящее время обработано более 7000 сессий наблюдений. Полученные результаты в точности определения задержки определяют несомненную **научную значимость** диссертации.

Полнота представления результатов. Все результаты, полученные в диссертации, нашли отражение в 7 научных статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК. В

трех статьях диссертант является первым автором. Результаты диссертации неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях. Все статьи написаны в соавторстве, что объясняется большой сложностью проведенных работ, что, в свою очередь, потребовало вовлечения большого количества специалистов. Во всех работах личный вклад соискателя четко обозначен.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Работа соответствует заявленной специальности. Результаты диссертации опубликованы в журналах из списка ВАК.

Заключение. Исследование выполнено на высоком научном уровне, полученные новые результаты имеют как теоретическое, так и практическое значение, и способствуют развитию радиоастрономии в РФ. Стоит отметить существенный вклад диссертанта в разработку программных компонент коррелятора РАН, на котором к настоящему времени были обработаны данные более 7000 РСДБ наблюдений по программе оперативного вычисления поправок к Всемирному времени.

В соответствии со сказанным выше, можно сделать вывод, что диссертация В.О. Кена «Корреляционная обработка РСДБ-данных в режиме квазиреального времени на графических процессорных устройствах» является научно-квалификационной работой, соответствующей критериям Положения о присуждении ученых степеней ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия», а ее автор, Кен Войцех Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

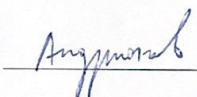
Официальный оппонент

Андрианов Андрей Сергеевич, кандидат физико-математических наук, высококвалифицированный научный сотрудник Астрокосмического центра Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук»

Почтовый адрес: Россия, 117997, Москва, ГСП-7, Профсоюзная, 84/32, Астрокосмический центр, А.С. Андрианову

Тел: +7 (495) 333-21-56

Электронная почта: andrian@asc.rssi.ru

 (Андрианов А.С.)
18.03.2021

Подпись Андрианова А.С. заверяю – Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук» Колобов А.В.



(Колобов А.В.)