

« У Т В Е Р Ж Д А Ю »

Директор ФГБУН Институт проблем  
управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
академик РАН



Д.А. Новиков

« 01 » 02 2024 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Сартасова Станислава Юрьевича «Управление энергопотреблением процессора на основе стохастической оптимизации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

#### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность диссертационного исследования Сартасова С.Ю. обусловлена бурным ростом роли мобильных устройств, роботов, БПЛА, сетей сенсоров и других устройств с автономным источником питания в большинстве отраслей экономики. При этом решение задачи увеличения времени автономной работы таких устройств имеет прямое и непосредственное влияние на экономическую эффективность их применения.

#### 2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке его автором стратегии управления рабочей частотой центрального процессора, основанной на использовании рандомизированных алгоритмов стохастической оптимизации, которая оптимизирует энергопотребление при сохранении достаточного объема вычислительной мощности. Научная новизна диссертационного исследования раскрывается в следующих теоретических и практических результатах:

- систематизированы подходы к оптимизации энергопотребления различных компонентов мобильных устройств, дано описание существующих стратегий и подходов к управлению частотой центрального процессора; описаны проблемы, возникающие при

использовании этих стратегий для современных процессоров, построенных по гетерогенной архитектуре;

- предложена классификация подходов к измерению и оценке энергопотребления мобильных устройств и отдельных компонентов; на основе данных о простое ядер процессора предложена и обоснована модель оценки энергопотребления центрального процессора, обладающего гетерогенной архитектурой;

- дано описание рандомизированных алгоритмов стохастической оптимизации, показана их теоретическая состоятельность; предложены целевые функции, учитывающие производительность и энергопотребление для указанных алгоритмов, зашумленные наблюдения которых осуществляются на каждой итерации; введены понятия стоимости исполнения и обобщенной стоимости исполнения и обоснована целесообразность их применения в управлении частотой центрального процессора;

- описана методология и приведены результаты воспроизводимых экспериментов на физических мобильных устройствах, демонстрирующих состоятельность предлагаемых стратегий при использовании различных стратегий диспетчеризации задач операционной системы.

Результаты диссертационного исследования доведены до набора исходных кодов модулей управления частотой процессора для операционной системы Android, которые могут быть использованы для повышения энергоэффективности мобильных и иных автономных устройств.

### **3. Значимость полученных автором результатов для науки и практики**

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования состоит в получении нового научного знания о сферах применимости рандомизированных алгоритмов стохастической оптимизации, в успешной интерпретации задачи управления частотой центрального процессора как задачи трекинга оптимальной точки нестационарного функционала, а также в формулировке понятия обобщенной стоимости исполнения как основы для стоимостных моделей оценки качества исполнения вычислительных задач.

Практическая значимость исследования состоит: в разработке методологических основ экспериментов по оценке энергоэффективности различных стратегий управления компонентами мобильных устройств, разработке метода оценки энергопотребления процессора, который может быть распространен и на другие компоненты, а также в разработке подхода по созданию стратегий энергоэффективного управления устройством на основе понятия обобщенной стоимости исполнения.

#### **4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Выводы и предложения, полученные в диссертационном исследовании, могут быть рекомендованы к использованию:

- организациями, занимающимися разработкой мобильных операционных систем, мобильных устройств, беспроводных сенсоров, БПЛА, автономных роботов;
- высшими учебными заведениями при изучении дисциплин, связанных со стохастическим программированием, разработкой мобильных приложений и операционных систем, разработкой БПЛА по программам основного и дополнительного высшего образования (в частности, в МГУ, МФТИ, СПбГУ, СПбГПУ, Томском государственном университете).

#### **5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Диссертационная работа С.Ю. Сартасова соответствует требованиям обоснованности и достоверности выносимых на защиту научных положений. Объективность применяемых методов исследования, достоверность его теоретической и методологической базы (включающих в себя работы отечественных и зарубежных специалистов), а также практическая апробация этих результатов обуславливают достоверность и обоснованность сделанным выводов, положений и рекомендаций.

Достоверность полученных экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения научных исследований. Теоретические результаты базируются на достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин, сопряженных с предметом исследования диссертации. Автором использованы статистические и аналитические материалы, техническая документация, а также научные труды по теме диссертации, опубликованные российскими и зарубежными авторами.

Основные положения, выносимые на защиту, прошли успешную апробацию в рамках научных конференций российского и международного уровней.

#### **6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом**

В первой главе диссертации поставлена задача оптимизации энергопотребления мобильного устройства в целом и его отдельных компонентов в частности, сделан обзор существующих программных и аппаратных стратегий по решению этой задачи, дано понятие о регулировании частоты центрального процессора как способа регулирования его энергопотребления и описаны известные стратегии регулирования, исследованы способы измерения и оценки энергопотребления процессора и предложена новая модель оценки

энергопотребления, учитывающая время простоя отдельных ядер и гетерогенную архитектуру.

Во второй главе дано определение основных понятий теории рандомизированных алгоритмов стохастической оптимизации, сделано описание алгоритма одновременно возмущаемой стохастической аппроксимации, перечислены теоретические результаты, характеризующие оценки этих алгоритмов в задаче трекинга оптимальной точки нестационарного функционала, формализована задача энергоэффективного управления частотой процессора как задача трекинга оптимальной точки нестационарного функционала, разработаны целевые функции для алгоритма одновременно возмущаемой стохастической аппроксимации, введено понятие стоимости исполнения программы и описаны различные стратегии получения зашумленных наблюдений.

В третьей главе диссертации перечислены технические аспекты программирования регуляторов частоты процессора на основе описанных в предыдущей главе алгоритмов, описаны эксперименты по оценке качества работы разработанных регуляторы и приведены результаты проведения этих экспериментов и интерпретация этих результатов.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационного исследования.

#### **7. Замечания по тексту диссертационной работы**

1. В описании эксперимента, установившего нелинейную зависимость потребляемого тока от числа активных ядер, используется синтетический тест, который мало обращается к оперативной памяти в связи с использованием кэша ядра. Произойдет ли изменение в наблюдаемой зависимости, если тест будет более активно обращаться к оперативной памяти, например, при работе с быстрым преобразованием Фурье?

2. Хотя упоминание гиперпоточности (hyper-threading) присутствует в первой главе, в описании экспериментальной части упоминание об этом подходе отсутствует. Представляется полезным упомянуть о влиянии гиперпоточности на разработанные стратегии регулирования частоты.

3. В работе имеются неизбежные стилистические неточности и иные огрехи редакционного характера, в том числе при оформлении списка литературы.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

#### **8. Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати**

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, изложены в восьми опубликованных научных работах общим числом 10,28 п.л. (из них авторские – 2,68 п.л.),

в том числе в двух статьях в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и Высшего образования РФ, в пяти работах, приравниваемых к ним и индексируемых в международных базах данных и системах цитирования (Scopus, Web of Science), и в одном свидетельстве о регистрации программы на ЭВМ.

### **9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа Сартасова Станислава Юрьевича является завершенной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой решена задача оптимизации энергопотребления центрального процессора мобильного устройства, построенного по гетерогенной архитектуре, с помощью рандомизированных алгоритмов стохастической оптимизации. Работа выполнена на высоком научном уровне, хорошо структурирована, изложение материала соответствует целям и задачам исследования. Автореферат правильно и полно отражает основные положения диссертации.

Диссертационная работа соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а ее автор Сартасов Станислав Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных. Пункты 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не нарушены.

Диссертационная работа заслушана и рассмотрена, отзыв обсужден и одобрен на заседании Лаборатории № 7 Адаптивных и робастных систем им. Я.З. Цыпкина ИПУ РАН 29 января 2024 г., протокол № 2.

Доктор физико-математических наук,  
профессор РАН,  
заведующий Лабораторией № 7 ИПУ РАН

Хлебников М.В.

