

**Утверждаю**

Проректор по научно-исследовательской работе  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Петрозаводский государственный университет»,  
профессор, доктор технических наук



В. С. Сюнев

"20" февраля 2018 г.

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертацию Бойко Павла Валентиновича  
**«МАКС DSM: Система распределённой общей памяти  
для мультиагентных систем в IoT»,**  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 05.13.11 — математическое и  
программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и  
компьютерных сетей

#### **Актуальность темы выполненной работы**

В диссертационном исследовании, выполненным Бойко Павлом Валентиновичем, рассмотрены проблемы организации взаимодействия в распределенных системах, с учетом специфики мультиагентных систем (МАС) в области Интернета вещей (IoT). Предлагается адаптация концепции распределенной общей памяти к рассматриваемой предметной области для повышения эффективности программирования энергооптимизированных вычислительных устройств. Создание компьютерного инструментария для организации совместной работы групп маломощных устройств является актуальным, что обусловлено, прежде всего, ростом распространенности подобных аппаратных платформ, расширением сферы их применения, а с другой стороны – сложностью организации их совместной работы. Трудоемкость решения задач, связанных с обеспечением свойств масштабирования и отказоустойчивости, на фоне возрастающей потребности обеспечить данные свойства во вновь создаваемых системах, требует разработки и исследования соответствующих программных инфраструктурных решений, их теоретического и экспериментального обоснования.

Одним из возможных подходов к решению данной проблемы является концепция распределенной общей памяти, представляющая собой более высокий уровень абстракции, позволяющий оперировать не отдельными сообщениями, а операциями работы с памятью. Их декомпозиция на операции отправки и приема сообщений происходит прозрачно для пользователя. Данная концепция позволяет



кардинально снизить сложность программирования распределенных систем и расширить сферы их применения. Воплощение этой концепции для применения МАС в IoT-области в рамках диссертационного исследования потребовало от автора создания целостной системы: от построения модели консистентности (согласованности) данных и разработки алгоритмов обеспечения отказоустойчивости до воплощения теоретических решений в программном продукте и интерпретации результатов множественных экспериментов. В основе предлагаемого решения лежат современные требования к МАС в IoT-области, результаты исследований других авторов, эффективное использование физических свойств радиоэфира, а также идеология объектно-ориентированного проектирования, современные техники и возможности языков программирования. В частности, в диссертационном исследовании свойства среды передачи данных учтены в модели консистентности данных и алгоритмах, которые являются основным стержнем предлагаемого решения. Результаты проведенных экспериментов, как на аппаратных стендах, так и на программной модели, имеют практическую ценность и, несомненно, вместе с созданным программным решением, представят интерес для разработчиков МАС в IoT-области.

В соответствии с вышеизложенным, тема диссертационной работы является актуальной.

#### **Новизна исследования и полученных результатов**

Научная новизна работы заключается в адаптации концепции распределенной общей памяти для применения МАС с использованием вычислительного оборудования, характерном для IoT-области с соответствующим развитием теоретических аспектов данной концепции. Можно выделить следующие новые научные результаты.

- Предложена новая модель консистентности. Подобно другим известным решениям, предложенная модель выборочно комбинирует предположения ранее известных моделей, достигая при этом нового результата в рассматриваемой предметной области. Новая модель позволяет повысить производительность программного решения по сравнению с базовой моделью консистентности по выходу, а также закладывает возможность реализации более лаконичного прикладного интерфейса.
- Предложен новый алгоритм ролей и переходов. Алгоритм предназначен для обеспечения отказоустойчивости в изменяющейся системе за счет динамического распределения ролей узлов. Предложенная система ролей и их динамической смены встречается впервые и позволяет при относительно низкой вычислительной трудоемкости (повышающей надежность решения) добиваться высокой отказоустойчивости.



- Сформулированы требования к интерфейсу прикладного взаимодействия с пользователем системы.

Требования выстроены на результатах анализа известных систем и позволяют повысить переносимость и устойчивость к ошибкам прикладного разработчика. Подобная модель требований сформулированы впервые.

- Разработано программное решение МАКС DSM.

Модель, алгоритм и требования к прикладному интерфейсу реализованы в программном решении. Данное решение является новым – первым DSM решением для предложенного семейства аппаратных платформ, обладающим, в том числе, рядом уникальных характеристик по сравнению с DSM решениями для других платформ. Произведенные измерения характеристик являются новыми и представляют практический интерес.

Таким образом, диссертацию Бойко П.В. следует квалифицировать как актуальное исследование для теории распределенного программирования и разработки MAC в IoT-области. В ходе исследования получены результаты, обладающие научной новизной.

### **Структура и содержание диссертации**

Стиль и характер изложения диссертации во многом определен спецификой концепции распределенной общей памяти и ее основных компонент, выделению и ретроспективному обзору которых уделено основное внимание в первой главе. При этом проведено четкое разделение концепции на модель консистентности, алгоритмы и программную реализацию. Основные сложности применения результатов предыдущих исследований к рассматриваемой предметной области достаточно хорошо представлены в тексте, а их решение последовательно отражено в тексте диссертации.

Первые три раздела первой главы носят вводный характер, в которых не только описывается концепция распределенной общей памяти, но и рассматриваются предпосылки и история ее возникновения, а также вводятся термины, использующиеся в дальнейшем. Последовательно разбираются три ключевых компонента концепции (модель консистентности, алгоритмы, программные реализации) – результаты предыдущих исследований, анализируются их свойства. В этой главе автор отмечает свойства ранее созданных программных решений относительно желаемых свойств решения для рассматриваемой задачи, закладывая, таким образом, основные положения предлагаемого и развиваемого в дальнейшем научно-технического решения. Строгое определение требуемых свойств решения приводится в следующей главе.

Во второй главе исследуются вопросы постановки и решения поставленных задач программной разработки, обоснованию предлагаемых решений. В качестве



программного окружения для создаваемого решения автор изначально определяет отечественную (российскую) операционную систему (ОС) реального времени для микроконтроллеров МАКС (что находит отражение в названии решения). Вместе с тем, предполагается возможность портирования на другие ОС, а большинство предъявляемых требований к решению являются в платформо-независимыми. В ходе формирования требований автор выделяет свойства, характерные для разработки МАС в IoT-области, что находит отражение в определении целевой аппаратной платформы, программного, физического и сетевого окружения, объединенных единой целью: предоставить прикладному программисту эффективный инструмент распределенного программирования, в том числе с использованием современных энергоэффективных вычислительных устройств.

Основные теоретические положения диссертации изложены во второй части второй главы. Данный раздел структурирован в соответствии с выделенными в первой главе компонентами концепции распределенной общей памяти. Построения автора апеллируют к ранее рассмотренным результатам исследований других авторов, элегантно расширяя и дополняя их в соответствии с выделенными специфическими требованиями выбранной предметной области. Большое внимание автор уделяет построению отказоустойчивых алгоритмов, реализация которых представляет собой основную часть программного решения, описанного в третьей главе. Особое внимание уделено проблеме человеко-машинного взаимодействия – требования к прикладному интерфейсу системы, подчас взаимоисключающие, учитывают недостатки множества ранее созданных систем и успешно воплощаются способом, описанным в следующей главе.

В третьей главе рассматриваются вопросы и результаты программной реализации предложенных во второй главе теоретических положений средствами современных информационно-коммуникационных технологий. Первый раздел главы, в котором описана программная реализация прикладного интерфейса, демонстрирует эффективное согласование сформулированных ранее требований за счет техники метапрограммирования, ранее не применявшейся при разработке подобных систем в IoT-области. Особое внимание уделено программной реализации алгоритмов – от функционирования модели консистентности до обеспечения отказоустойчивости; также полностью специфицированы сообщения внутри системы. Целостный взгляд на систему МАКС DSM и ее место в программном окружении обеспечивает построение высокоуровневой архитектуры системы, что представлено в виде диаграммы основных классов в нотации языка моделирования UML.

Возможности практического использования предлагаемого программного решения представлены в отдельной части главы, где описан эксперимент с демонстрацией на примере прикладного ПО для отказоустойчивого распределенного решения простейшей вычислительной задачи с использованием системы МАКС DSM. В дополнение к имитационному моделированию в



эксперименте задействованы реальные аппаратные устройства, для организации взаимодействия которых использовалась система МАКС DSM и экспериментально исследовалась ее эффективность. Выполнена также оценка лаконичности результирующего ПО с использованием системы МАКС DSM и обеспечением свойства масштабируемости. Вопросы производительности рассмотрены в заключительной части главы. Проведены измерения показателей быстродействия на всех уровнях протоколов сетевой модели, в широком диапазоне изменения длины пакета, различном количестве устройств в системе; результаты измерений, выглядящие аномально, отдельно исследованы и причины аномального поведения разъяснены.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций**

Представленные в работе научные положения, выводы и рекомендации, как в теоретической, так и в практической части, являются обоснованными и достоверными; нашли свое подтверждение в опубликованных статьях, полученных экспериментальных данных, произведенном внедрении. Список конференций, на которых докладывались результаты, а также публикации по теме исследования представляются для кандидатской диссертации соответствующими и достаточными.

### **Научная и практическая значимость результатов исследования**

Научная значимость полученных результатов определяется их высокой востребованностью и новизной. Предложенная модель консистентности может использоваться в качестве основы для создания новых, более эффективных распределенных программных решений и новых моделей. Предложенный алгоритм обеспечивает свойство отказоустойчивости, демонстрируя важность понимания физических свойств предполагаемого канала передачи данных для снижения сложности при сохранении эффективности. Требования к интерфейсу высвечивают аспекты, ранее не являющиеся приоритетными. Полученные в диссертационной работе решения представляют научную ценность в плане дальнейшего изучения их возможностей и могут служить фундаментом для создания и развития нового подхода в программировании.

Практическая значимость заключается в расширении сферы использования концепции распределенной общей памяти, ее адаптации к сфере МАС и IoT-области. Результаты демонстрируют упрощение процесса создания отказоустойчивых распределенных решений благодаря: удачной базовой концепции, эффективной адаптации к рассматриваемой предметной области и новому подходу к построению интерфейса прикладного взаимодействия с пользователем. Внедрение полученных научно-технических результатов показывает их практическую значимость и позволяет рекомендовать их



применение в других прикладных областях.

Описываемые в работе результаты имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли технических наук в области разработки программного обеспечения для условий IoT.

### **Рекомендации по использованию результатов**

Результаты и выводы диссертационной работы могут быть использованы в научных и научно-производственных организациях, связанных с тематикой многопроцессорных систем, распределенным программированием, организацией беспроводного взаимодействия устройств, мультиагентными системами, IoT-технологиями. В силу ориентированности решения, на данном этапе его развития, на российского потребителя, ввиду глобального увеличения спроса на многопроцессорные и распределенные решения, особый интерес возможен со стороны российских производителей микропроцессоров, телекоммуникационного оборудования и пр. Так как полученные результаты нацелены на распределенные системы, сферу МАС – рекомендуется внедрение в компаниях, создающих беспилотные технологии группового взаимодействия.

Рекомендуемые производственные компании для внедрения – ГК «Геоскан», ПАО «КАМАЗ», АО «МЦСТ», АО «ПКК Миландр», НТЦ «Модуль», АО НПЦ «Элвис», АО «Ангстрем», ПАО «Микрон» и др.

На основе полученных результатов могут быть подготовлены учебные программы по распределенному программированию, изучению возможностей современного отечественного аппаратного и программного обеспечения, что особенно актуально в связи со взятым правительством России курса на импортозамещение.

Рекомендуемые образовательные учреждения для использования полученных результатов в учебном процессе и научных исследованиях в области IoT-технологий и робототехнике:

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ);
- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ);
- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ);
- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ);



- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (ЮФУ);
- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ);
- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ).

Полученные результаты также рекомендуется использовать в НИОКР на базе российских научных организаций, занимающимися исследованиями в области многоагентных систем и интеллектуальных Интернет-технологий.

### **Замечания**

По сути и форме изложения текста диссертации следует сделать следующие замечания:

- следовало бы вынести из введения и сконцентрировать разъяснение ориентированности предлагаемого решения на сферу МАС и IoT-области;
- термин «концепция», используемый для описания одного из результатов, представляется чрезмерным и используется скорее в философском, чем в научном или инженерном смысле;
- представляется целесообразным отражение в диссертации результатов сравнения характеристик производительности протокола системы МАКС DSM с функционально близкими сетевыми протоколами;
- представление результатов работы в автореферате иногда чрезмерно сжато и упрощено, что затрудняет их восприятие в отрыве от текста диссертации.

Отмеченные выше замечания не снижают значимости полученных в диссертации результатов и не подвергают сомнению ее актуальность и научную новизну.

### **Заключение**

Диссертационная работа Бойко П.В. является законченной научно-квалификационной работой, свидетельствует о разносторонней эрудиции и научной зрелости автора и содержит новые научные и практические результаты по актуальным вопросам разработки распределенных приложений в IoT-области.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, соответствует всем требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, в том числе п.9 (абзац 2), а ее автор заслуживает присвоения искомой степени кандидата технических наук.



Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедр «Теория вероятностей и анализ данных» и «Информатика и математическое обеспечение» по результатам заслушивания Бойко Павла Валентиновича в рамках научного семинара по проблемам повсеместных вычислений 20 февраля 2018 г.

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой  
теории вероятностей и анализа данных,  
профессор,  
доктор технических наук



А.А. Рогов

Заведующий кафедрой  
информатики и математического  
обеспечения, доцент,  
кандидат технических наук



Ю.А. Богоявленский

**Сведения о составителях отзыва:**

Фамилия, имя, отчество: Рогов Александр Александрович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петрозаводский государственный университет", институт математики и информационных технологий

Должность: заведующий кафедрой теории вероятностей и анализа данных

Почтовый адрес: 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, каб. 268

Телефон: +7 8142 71-96-06

E-mail: rogov@petrsu.ru

Фамилия, имя, отчество: Богоявленский Юрий Анатольевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петрозаводский государственный университет", институт математики и информационных технологий

Должность: заведующий кафедрой информатики и математического обеспечения

Почтовый адрес: 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, каб. 217

Телефон: +7 8142 71-10-84

E-mail: ybgv@cs.karelia.ru