

В результате проведенных научных исследований в отчете представлены фундаментальные положения самоадаптации прикладного программного обеспечения (ПО). В рамках проекта решаются задачи, связанные с разработкой математических моделей и методов самоадаптации программных систем. На третьем этапе проекта (2020 г.) разработаны концептуальные основы и методы реализации адаптивного поведения прикладных программных систем, включая математическую модель адаптивной программной системы прикладного назначения, принципы верификации состояний адаптивных программных систем, концепции рефлексивной адаптации, runtime-адаптации и адаптации на основе наблюдения за информационной средой. Разработан метод рефлексивной адаптации прикладной программной системы на основе технологии интеллектуального анализа (Data Mining) больших данных (Big Data). Детализированный перечень результатов, полученных на втором этапе выполнения проекта (2020 год):

1. Комплексный метод самоадаптации прикладных программных систем путем интеграции концепций и методов рефлексивной адаптации, runtime-адаптации и адаптации на основе наблюдения за информационной средой, а также технологий интеллектуального анализа данных, машинного обучения и Big Data.
2. Универсальный метод синтеза адаптивных программных систем прикладного назначения.
3. Математическая модель адаптивной программной системы прикладного назначения, полученная путем гиперграфовой формализации моделей изменчивости, описывающих предметную область и компонентный состав системы с точки зрения внутренних взаимосвязей и динамики изменений отдельных компонентов на протяжении жизненного цикла. Отличительными особенностями модели являются ее инвариантность к предметной области и типу программной системы, а также возможность алгоритмизации основных процессов адаптации. Модель служит базисом для реализации методов самоадаптации и верификации текущего состояния программной системы.
4. Оригинальная концепция адаптивного поведения прикладных программных систем, основанная на идее применимости основных механизмов адаптации высокоорганизованных живых систем к программным системам прикладного назначения. Самоадаптивная программная система охватывается тремя уровнями рефлексивной обратной связи: уровнем отдельных компонентов, уровнем групп компонентов и общесистемным уровнем. Каждый контур рефлексии обеспечивается своей моделью изменчивости, отвечающей за выбор текущих конфигураций компонентного и системного уровней. Общая координация разноуровневой совокупности моделей изменчивости и потоков поведенческих данных осуществляется модулем анализа поведенческой информации. Этот модуль не всегда является подсистемой системного уровня. Возможны и более гибкие архитектурные вариации, когда каждый отдельный компонент имеет свою собственную подсистему поведенческого анализа.
5. Методы реализации адаптивного поведения прикладных программных систем, основанные на предложенных концептуальных положениях, включающие метод рефлексивной адаптации прикладной программной системы на основе технологий интеллектуального анализа (Data Mining), больших данных (Big Data) и метод runtime-адаптации прикладной программной системы на основе алгоритмов машинного обучения и теории графов.

Предложенный метод рефлексивной адаптации прикладной программной системы на основе технологий интеллектуального анализа (Data Mining) и больших данных (Big Data) основан на рефлексивной трехконтурной обратной связи, охватывающей уровни отдельных программных компонентов, функциональных групп компонентов и всю систему в целом. Неструктурированный поток больших данных (поведенческой программной статистики) накапливается и хранится в распределенном виде с целью последующей обработки, мониторинга, классификации, кластеризации и анализа средствами специального модуля интеллектуального анализа программного поведения.

Предложенный метод runtime-адаптации построен на совместном использовании технологии машинного обучения с подкреплением (Model-based подход) и технологии моделирования изменчивости. Это позволит программным системам, с одной стороны, оперативно реагировать на непредвиденные обстоятельства внешней среды (к числу которых относятся, например, сбои в работе аппаратуры), а с другой стороны, не ограничивать адаптивное ПО узкой областью применения (это могут быть и сферы сложной real-time автоматики, и системы искусственного интеллекта, и программные тренажеры, и обучающее ПО в системах e-learning, и компьютерные игры, и многое другое). Основные этапы метода: определение модели пространства состояний системы с помощью составления и формализации диаграммы характеристик; генерация множества возможных состояний системы в соответствии с моделью пространства состояний; определение множества действий (функциональных переходов между состояниями); цикл Model-Based обучения с подкреплением на основе интеллектуального алгоритма Q-обучения.

Функционирование и алгоритмизация данных методов опирается на гиперграфовый формализм предложенной математической модели.

6. Метод верификация состояний адаптивной программной системы прикладного назначения, работающий с предложенной математической моделью и отличающийся инвариантностью к предметной области и типу системы и способный находить и исправлять ошибки в генерируемых в процессе выполнения состояниях программы без участия человека. Это позволяет снизить затраты на сопровождение программы и повысить ее надежность и отказоустойчивость.

7. Метод самоадаптации прикладной программной системы на основе наблюдения за информационной средой с использованием технологии Big Data. Предложенный метод позволяет накапливать и анализировать огромные массивы поведенческой программной статистики и окружающей ее информационно-вычислительной среды, использовать экспертные мнения самих пользователей программ для настройки самоадаптивного поведения, а также генерировать новые состояния системы на протяжении всего периода ее функционирования.

Полученная поведенческая статистика и пользовательские отчеты подвергаются автоматическому разбору с последующим построением семантической сети из программных характеристик, с помощью которой, в дальнейшем, генерируются новые системные конфигурации. Для синтеза семантической сети предложено использовать методы латентно-семантического и дистрибутивно-статистического анализа, в качестве модели изменчивости системы выступает модель характеристик. Разработанный метод позволит системе самостоятельно (без перекомпиляции исходного кода) выявлять и исправлять собственные объективные недостатки в процессе функционирования, изменять системную структуру и поведенческие сценарии, а также подстраиваться под отдельные категории пользователей.

8. Научные публикации в рецензируемых научных зарубежных и отечественных изданиях, а также в журналах из перечня ВАК РФ.

Проведены исследования путей практического использования достигнутых результатов. В частности, предложены способы применения компонентов прикладного ПО с элементами самоадаптации в сферах управления социально-экономическими системами (самоадаптация на основе социального профилирования отдельных персон и социальных групп), медицины, электронного обучения E-Learning (разработка самоадаптивных обучающих 3D-компонентов и виртуальных тренажеров) и проектирования облачных адаптивных web-сервисов.