

УДК 519.711.3

# МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЕМ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ АГЕНТАМИ

**О.Ю. Марьясин**

*Ярославский государственный технический университет*

Россия, 150023, Ярославль, Московский пр-т, 88

E-mail: [maryasin2003@list.ru](mailto:maryasin2003@list.ru)

**Ключевые слова:** микроклимат, энергосбережение, мультиагентная система, продукционная база знаний, AnyLogic, CLIPS.

**Аннотация:** Рассмотрена задача энергоэффективного управления инженерными системами зданий. Для решения данной задачи предлагается использовать мультиагентный подход. В системе используются агенты различных типов: локальные агенты, зональные агенты, агенты-люди. Интеллектуальные зональные агенты решают задачу определения реакции системы управления на изменение предпочтений и поведения людей. Выполнена реализация модели мультиагентной системы управления с интеллектуальными агентами в системе AnyLogic совместно с популярной оболочкой для создания экспертных систем CLIPS. Численные эксперименты показали возможность применения предложенного подхода для управления инженерными системами зданий.

## 1. Введение

Современные тенденции снижения стоимости потребительской электроники и микропроцессорной техники и повышения уровня автоматизации и интеллектуализации инженерных систем зданий дают возможность совершенствования систем управления инженерным оборудованием зданий (Building Management System – BMS). В частности, вместо традиционных ПИД-регуляторов с изменением задания по температурным графикам, для управления тепловым режимом помещений могут использоваться более сложные алгоритмы автоматического и оптимального управления. Таким образом, с одной стороны, системы управления инженерным оборудованием зданий становятся все более интеллектуальными. Они могут длительное время функционировать в автоматическом режиме в соответствие со своими целями и задачами. С другой стороны, человек, действуя на основе своих предпочтений, может оказывать активное влияние на работу инженерных систем.

Учесть указанные моменты можно при рассмотрении современного здания как мультиагентной системы (Multi-Agent Systems - MAS), в которой существует множество агентов, имеющих индивидуальное поведение и характеристики. Мультиагентным системам, в настоящее время, уделяется повышенное внимание [1]. В зарубежной прессе можно найти уже достаточно много работ, посвященных применению мультиа-

гентного подхода для управления микроклиматом и энергосбережением зданий [2,3]. В большинстве работ люди рассматриваются как один из внешних факторов, то есть человеку там отводится лишь пассивная роль. Однако люди могут активно влиять на энергопотребление и микроклимат помещений, включать и выключать электроприборы и оборудование, изменять режимы и даже противодействовать работе автоматических систем. Выявление предпочтений людей и правильная реакция на их действия, вот задачи, которые необходимо решить BMS. Решение этих задач требует привлечения методов искусственного интеллекта и глубокого машинного обучения.

## 2. Мультиагентная система управления зданием с интеллектуальными агентами

На основе анализа различных источников автором была предложена архитектура мультиагентной системы управления зданием [4]. Состав агентов мультиагентной системы включает: локальных агентов, зональных агентов, агентов-людей, центральных агентов, агентов поставщиков, агентов внутренней и внешней среды. Ключевыми элементами MAS являются локальные и зональные агенты. Локальный агент может быть связан с конкретным оборудованием, например, термостатом и локальной системой регулирования, реализующей, например, ПИД-закон регулирования температурой. Локальный агент всегда привязан к конкретному помещению. Кроме того, локальный агент привязан к конкретным видам энергоресурсов и по каждому из них имеет определённый лимит. Владельцем локального агента может быть или другой локальный агент или зональный объект. Для выполнения своих операций локальный агент может получать информацию (сообщения) от внутреннего и внешнего агентов. Локальный агент также может получать команды (сообщения) от агента человека, от зонального агента и от другого локального агента.

Зональные агенты также привязаны к одному или нескольким помещениям. Особенностью зонального агента является наличие процедур выявления предпочтений человека и оптимизации микроклимата и энергосбережения. Зональный агент может получать информацию от локальных агентов, от внутреннего и внешнего агентов, от агентов людей, от своего центрального агента, от других зональных агентов. Особенностью центрального агента является наличие процедуры координации зональных агентов, а также функций по взаимодействию с агентами поставщиками. Центральный агент может получать информацию от зональных агентов, от агентов людей, от агентов поставщиков, от других центральных агентов. У каждого агента есть своя функция полезности, которую агент стремится максимизировать.

Многие функции зональных и центральных агентов могут быть формализованы и связаны с решением соответствующих задач управления. Так например, задача минимизации потребления энергоносителей при соблюдении требуемых параметров комфорта проживания людей может быть представлена формально как задача оптимального управления микроклиматом и энергопотреблением здания [5]. Формализация других функций, таких как выявление предпочтений людей, может быть связана со значительными сложностями. Для реализации данных функций автор предлагает привлекать методы искусственного интеллекта. В частности для определения реакции системы управления на изменение предпочтений и поведения людей предлагается использовать продукционную модель знаний. Данная продукционная модель

включает различные сценарии поведения людей и управления инженерным оборудованием в определенных ситуациях, относящихся к сфере действия конкретного агента. Таким образом, агенты могут использовать для управления мини-экспертные системы продукционного типа, что позволяет называть таких агентов интеллектуальными.

Возможность выявления предпочтений людей сильно зависит от возможностей обмена информацией между человеком и BMS. Автором рассматриваются следующие варианты организации обмена информацией:

1. Получение информации о предпочтениях в результате интерактивного обмена информацией.
2. Автоматическое получение информации о параметрах состояния человека.
3. Получение информации о предпочтениях в результате наблюдения за поведением человека.

В первом варианте информация о предпочтениях человека может быть получена от самого человека через специальное мобильное приложение для смартфона или планшета, или посредством комнатных мониторов или панелей управления, выпускаемых сегодня в широком ассортименте различными фирмами. В этом случае человек может передавать информацию о своих предпочтениях, например об уровне теплового комфорта в значениях параметра PMV [6] или в относительных единицах (теплее, холоднее и т.д.). При этом для регулярного получения информации BMS может периодически, ненавязчиво посылать сообщения пользователям на мобильные устройства или на экраны комнатных мониторов. Такой вариант обмена информацией может найти наиболее широкое использование.

Во втором варианте предпочтения человека определяются автоматически на основе информации о параметрах состояния человека, таких как температура одежды (тела), пульс, положение тела и других, от носимых устройств (фитнес-браслеты, «умные часы») или с помощью «умной одежды» [7]. Информация о параметрах состояния человека может использоваться для определения уровня комфортности. Например, в [7] данные о температуре одежды пользователей используются для определения PMV с помощью искусственной нейронной сети. Данный вариант обмена информацией может применяться для отдельных категорий пользователей: спортсменов, больных в лечебных учреждениях, работников вредных производств, использующих спецодежду и других.

Получение информации о предпочтениях в результате наблюдения за поведением человека является наиболее сложной задачей. Выявление предпочтений и привычек требует длительного наблюдения (в том числе видеонаблюдения, где это возможно) за поведением человека. Данная задача может быть решена с использованием методов глубокого машинного обучения.

### **3. Компьютерная модель мультиагентной системы с интеллектуальными агентами**

Авторами была разработана компьютерная модель мультиагентной системы управления зданием в системе AnyLogic [8]. Одной из основных причин, по которой была

выбрана система AnyLogic, это то, что она поддерживает технологию агентного моделирования, а также включает пешеходную библиотеку для моделирования движения пешеходов (людей) в физическом пространстве. Пешеходная библиотека AnyLogic позволяет моделировать поведение людей внутри здания.

Состав агентов модели включает локальных агентов системы отопления, вентиляции и кондиционирования (Heating, Ventilation, & Air Conditioning – HVAC), локальных агентов системы освещения, локальных агентов энергоснабжения, зональных HVAC агентов и центральных HVAC агентов. Кроме этого, для описания поведения людей в модели был создан тип агента человека, расширяющий класс Пешеход пешеходной библиотеки. Все параметры, переменные, функции и диаграммы, относящиеся к конкретному типу агентов, расположены на соответствующих диаграммах агентов. Фрагмент диаграммы для зонального HVAC агента показан на рис. 1. На данном фрагменте показана часть переменных и функций агента, а также его главная диаграмма действий. Диаграмма действий включает опрос и получение информации от локальных HVAC агентов, опрос и получение информации о предпочтениях от агентов людей, определение реакции системы управления на изменение предпочтений и поведения людей, выполнение функций оптимального управления и выдачу команд управления в адрес локальных HVAC агентов. Взаимодействие между агентами модели осуществляется с использованием механизма сообщений.

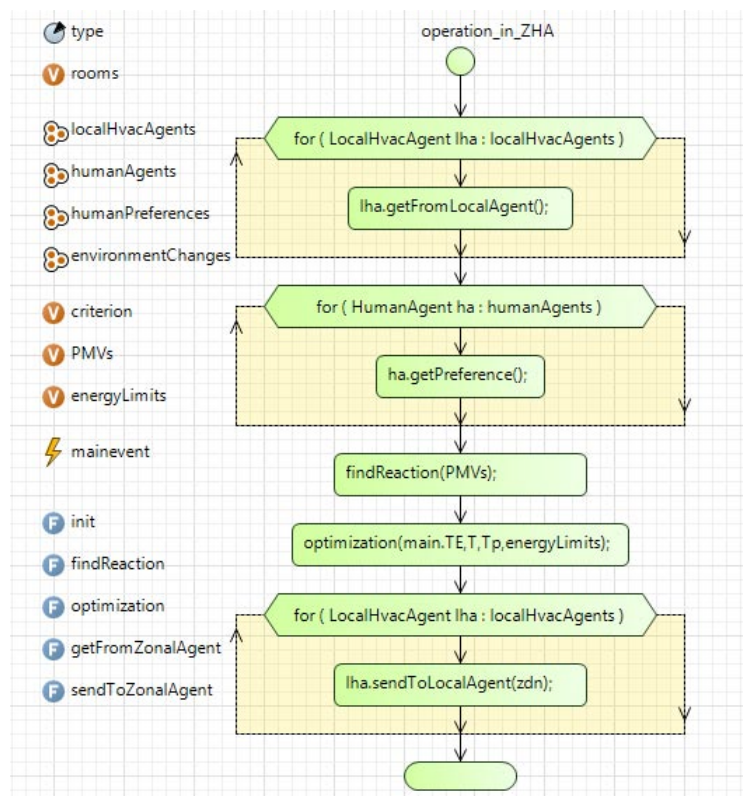


Рис. 1. Фрагмент диаграммы для зонального HVAC агента

Для определения реакции системы управления зданием на изменение предпочтений и поведения людей был разработан набор продукционных моделей, включающих список фактов и правил, относящихся к функциям зональных HVAC агентов. Для реализации продукционной модели знаний и машины вывода использовалась

популярная оболочка для создания экспертных систем CLIPS [9]. Взаимодействие системы AnyLogic с CLIPS было организовано посредством внешней Java библиотеки с использованием механизма CLIPS Java Native Interface (CLIPSJNI). Данные о предпочтениях людей в виде значений показателя PMV, а также данные об изменении окружающей обстановки передаются зональным HVAC агентом из AnyLogic во внешнюю Java библиотеку. Java библиотека преобразует полученную информацию в символьные строки, являющиеся текстовым представлением фактов CLIPS и с помощью функции assert-string добавляет их в список фактов. Полученные экспертной системой результаты передаются обратно в AnyLogic и используются зональным HVAC агентом для формирования команд локальным HVAC агентам или изменения параметров решения задачи оптимального управления микроклиматом.

## 4. Заключение

Таким образом в результате работы были определены методы выявления предпочтений людей и показаны возможности использования мультиагентной системы с интеллектуальными агентами для управления инженерными системами зданий. Интеллектуальность агентов заключается в использовании ими методов искусственного интеллекта для определения реакции системы управления зданием на изменение предпочтений и поведения людей. Проведённые исследования показали перспективность применения мультиагентного подхода с интеллектуальными агентами при создании BMS.

## Список литературы

1. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (Обзор) // Новости искусственного интеллекта. 2008. № 2. С. 64-116.
2. Klein L., Kwak J., Kavulya G., Jazizadeh F., Becerik-Gerber B., Varakantham P., Tambe M. Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multiagent systems // Automation in Construction. 2012. Vol. 22. P. 525-536.
3. Wang Z., Wang L., Dounis A.I., Yang R. Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings // Applied Energy. 2012. Vol. 99. P. 247-254.
4. Марьясин О.Ю. Проектирование мультиагентной системы управления зданием с использованием онтологий // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, № 3. С. 296-304.
5. Марьясин О.Ю., Колодкина А.С. Управление тепловым режимом зданий с использованием прогнозирующих моделей // Вестник СамГТУ. 2017. № 1. С. 122-132.
6. Кувшинов Ю.Я. Основы обеспечения микроклимата зданий. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. 200 с.
7. Марьясин О.Ю., Игнатов М.С., Акимов А.А. Нейро-нечеткая система регулирования микроклимата помещения с использованием параметров состояния человека // Труды XXX Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» ММТТ-30. Санкт-Петербург, 30 мая - 2 июня 2017 г. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 129-134.
8. AnyLogic – инструмент многоподходного имитационного моделирования. <http://www.anylogic.ru/>
9. CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. <http://www.clipsrules.net/>