

УДК 004.4

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.35.4.009](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.35.4.009)

Моделирование мультиагентной подсистемы для решения проблемы управления электропитанием в системе «умного дома»

С.С. Диденко

*Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Российская Федерация*

Резюме. В статье описана архитектура системы домашней автоматизации. Система состоит из двух частей: централизованной, представляющей решение линейных задач и являющейся регулярной сервисной частью, и мультиагентной, отмеченной сингулярной сервисной частью. Для описания поведения элементов регулярной сервисной части вводится понятие служб. Данные службы разделены на три вида: службы конечных пользователей, которые непосредственно обеспечивают комфорт для жителей, промежуточные службы, которые управляют накоплением энергии, и вспомогательные службы, которые производят электроэнергию для промежуточных и конечных пользователей. Для решения проблем, связанных с неопределенностью, предлагается трехслойная архитектура мультиагентной подсистемы: локальный слой, реактивный слой и упреждающий слой. Так же обозначены временные и постоянные службы, и соответствующие им агенты подсистемы для описания поведения в реактивных и упреждающих механизмах. Агенты реактивного механизма ведут себя в соответствии с процессом стимул-реакция с возможностью коммуникации. Роль такого агента заключается в контроле своего уровня удовлетворенности. Если критический уровень удовлетворенности достигнут, агент инициализирует запуск процесса обмена сообщениями. Основным принципом работы упреждающего механизма состоит в том, чтобы разделить проблему на независимые подзадачи. Решение вычисляет прогнозируемый план для каждой подзадачи с использованием алгоритма имитации отжига.

Ключевые слова: умный дом, мультиагентные технологии, управление питанием, распределенные системы, централизованные системы

Для цитирования: Диденко С.С. Моделирование мультиагентной подсистемы для решения проблемы управления электропитанием в системе умного дома. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021;9(4). Доступно по: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=996>
DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.009

Modeling of a multi-agent subsystem for solving the problem of power management in a Smart Home System

S.S Didenko

*Voronezh State Technical University,
Voronezh, Russian Federation*

Abstract: This article describes the architecture of a house automation system. The system consists of two parts: a centralized one, which represents the solution of linear problems and is a regular service part, and a multiagent one, marked with a singular service part. The concept of services is introduced to describe the behavior of the elements of the regular service part. These services are divided into three types: end-user services that directly provide comfort for residents, intermediate services that manage energy storage, and auxiliary services that produce electricity for intermediate and end-users. A three-

layer architecture of a multiagent subsystem is proposed to solve the problems associated with uncertainty: a local layer, a reactive layer, and a proactive layer. Temporary and permanent services are also designated, and their corresponding subsystem agents are used to describe behavior in reactive and proactive mechanisms. The agents of the reactive gear behave following the stimulus-response process with the possibility of communication. The role of such an agent is to monitor their level of current satisfaction. If the critical level of satisfaction is reached, the agent initializes the start of the messaging process. The basic principle of the proactive mechanism is to divide the problem into independent subtasks. The solution calculates the predicted plan for each subproblem using an annealing simulation algorithm.

Keywords: Smart home, multiagent technologies, power management, distributed systems, centralized systems

For citation: Didenko S.S. Modeling of a multi-agent subsystem for solving the problem of power management in a smart home system. *Modeling, optimization, and information technology*. 2021;9(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=996> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.009 (In Russ).

Введение

Население земли ежегодно увеличивается более чем на восемьдесят миллионов человек, поэтому потребности в энергии существенно возрастают.

На жилые и производственные постройки приходится 50 % потребления энергии, и на них же приходится около 25 % парникового эффекта. Жители сталкиваются с переменными тарифами на энергию и некоторыми установочными значениями нагревателей в зависимости от часов и дней, а также установочными значениями тарифов от производителей энергии [5]. Именно в этом разнообразном и динамичном контексте производства и потребления энергии здание, оснащенное системой автоматизации, позволяющей контролировать энергию, приобретает выгодную позицию по сравнению с другими. Системы управления «умным домом» в основном состоят из совокупности датчиков, контроллеров, «умной» бытовой техники, связанных через коммуникационную сеть, позволяющую взаимодействовать в целях управления. Благодаря этой сети может быть реализован механизм управления нагрузкой. Управление нагрузкой позволяет жителям адаптировать энергопотребление к имеющимся энергоресурсам с учетом критериев комфорта пользователей. Например, в периоды пикового потребления, когда используются электростанции, с ограничениями по выбросу высоких количеств CO_2 , и когда цена на энергию высока, можно было бы принять решение отложить некоторые мероприятия по потреблению, уменьшив, например, некоторые установки систем обогрева. Управление нагрузкой тем более интересно, что доступность и цена энергии различаются. Для конечного пользователя управление в контексте динамического ценообразования является довольно сложным процессом. Таким образом, система домашней автоматизации должна достичь компромисса между приоритетами пользователя с точки зрения комфорта и стоимости, удовлетворяя при этом технологические ограничения оборудования. В этом исследовании представляется модель системы домашней автоматизации, которая решает проблему управления питанием в умных домах. Так же описываются общие понятия о системе и рассматривается модель мультиагентной подсистемы, которая решает часть проблемы управления питанием.

Материалы и методы

В данной статье используются понятия потребляемой и производимой энергии. Каждый момент использования электрической энергии описывается количеством

потребляемой / произведенной электроэнергии, которая обозначается как SRV и может поддерживаться одним или несколькими приборами.

Жилье с бытовой техникой направлено на обеспечение комфорта для жителей благодаря службам, которые можно разделить на три вида: службы конечных пользователей, которые непосредственно обеспечивают комфорт для жителей, промежуточные службы, которые управляют накоплением энергии, и вспомогательные службы, которые производят электроэнергию для промежуточных и конечных пользователей. Вспомогательные службы занимаются поставкой электроэнергии благодаря преобразованию первичной энергии в электроэнергию. Генераторы на основе топливных элементов, поставщики фотоэлектрической энергии, поставщики сетевой энергии относятся к этому классу. Промежуточные службы, как правило, представляются аккумуляторами энергии. Среди служб конечного пользователя можно найти такие известные службы, как стирка одежды, подогрев воды, отопление отдельных помещений, приготовление пищи в духовке и освещение.

Служба с индексом i , обозначаемым как SRV_i , преобразует энергию для удовлетворения потребностей пользователя с помощью одного или нескольких устройств. Служба квалифицируется как постоянная, если потребление / производство ее энергии охватывает весь временной диапазон плана распределения энергии, такой как обслуживание отопления, в противном случае она называется временной службой, такой как приготовление пищи или стирка.

Временная служба характеризуется продолжительностью и желаемым временем окончания операции. Ее гибкость обусловлена возможностью сдвига времени работы, то есть переноса или отсрочки обслуживания.

Постоянная служба характеризуется количеством потребляемой или произведенной энергии. Гибкость этой службы обусловлена возможностью изменения количества потребляемой / произведенной энергии в течение всех периодов (уменьшение или увеличение потребления, или производства энергии в данный момент времени).

Важным вопросом в проблемах домашней автоматизации является неопределенность, которую необходимо учитывать. Например, солнечные лучи, уличная температура воздуха или услуги, запрашиваемые жителями, точно не известны. Для решения этой проблемы в данной статье предлагается трехслойная архитектура: локальный слой, реактивный слой и упреждающий слой.

Упреждающий слой отвечает за планирование конечных пользователей и служб поддержки с учетом прогнозируемых событий и затрат, чтобы максимально избежать использования реактивного слоя. Для расчета упреждающих планов необходима различная прогнозируемая информация о будущих запросах пользователей, а также о доступных энергетических ресурсах и затратах. Этот слой имеет медленную динамику и включает в себя модели прогнозирования. Предположим, что заданный диапазон времени для прогнозирования потребностей в энергии обычно 24 часа. Обозначается период выборки упреждающего слоя Δ . Реактивный уровень направлен на адаптацию упреждающих планов к фактическим запросам и условиям окружающей среды. Период отбора проб реактивного слоя ниже, чем Δ . Управление в реальном времени осуществляется на локальном уровне. Все энергетические службы в зданиях должны быть четко обозначены, чтобы надлежащим образом участвовать в этом механизме управления. Службы прогнозирования участвуют на упреждающем уровне, а иные службы появляются в виде помех на реактивном уровне. Службы прогнозирования можно разделить на изменяемые или неизменяемые. Служба квалифицируется как изменяемая система домашней автоматизации, если система автоматизации способна

изменять свое поведение (например, время запуска). Не поддающиеся изменению службы появляются в качестве ограничений в механизме прогнозирования, когда изменяемые службы связаны с переменными принятия решений на уровне прогнозирования. Службы также могут рассматриваться как постоянно изменяемые, например, заданные значения температуры в системах отопления помещений. С другой стороны, службы могут быть дискретно модифицируемыми, например, прерывание стирки.

Формулировка задачи управления энергией содержит как поведенческие модели с дискретными и непрерывными переменными, дифференциальные уравнения, так и модели качества с нелинейностями, такими как в модели PMV Фангера.

Учитывая широкий спектр приборов и быстрые изменения в технологии, а также их прямое влияние на поведение, довольно сложно определить линейную модель, подходящую для всех служб (например, в случае с солнечным водонагревателем с использованием термоциркуляции). В других случаях доступ к поведенческой модели может быть запрещен производителем приборов. Тогда нам нужно общее решение для предоставления некоторых услуг.

Мультиагентные технологии имеют ряд преимуществ по сравнению с централизованным подходом: открытость, масштабируемость и способность управления в условиях неопределенности. Система автоматизации управления питанием строится из двух частей: централизованной части, представляющей решение линейных задач, отмеченной регулярной сервисной частью, и мультиагентной части, отмеченной сингулярной сервисной частью.

Комфорт пользователя. В домашней автоматизации комфорт пользователя является одним из наиболее важных аспектов, которые следует учитывать. Понятие комфорта может быть непосредственно связано с понятием функции удовлетворения. Поскольку понятие комфорта не является универсальным, мы представим различные функции удовлетворения для каждой услуги, и они будут зависеть от желаний пользователей. Например, один пользователь будет удовлетворен, если температура в его гостиной будет между 20°C и 22°C , в то время как другой пользователь может предпочесть, чтобы она была между 19°C и 20°C . Функция удовлетворения характеризует чувства пользователя по отношению к услуге и довольно близка к понятию личного удовлетворения, описанному в [6]. Функции удовлетворения были также определены для каждой службы (потребители энергии и поставщики энергии).

Удовлетворенность по отношению к услуге будет выражаться функцией, определенной в интервале $[0; 100\%]$, где ноль является «неприемлемым» и 100% «идеальным». Этот подход можно рассматривать как степень принадлежности к удовлетворенному целому в размытой логике.

Функция удовлетворенности может быть оценена временной службой с помощью кусочно-линейной функции, которая зависит от временного сдвига в предлагаемой услуге по отношению к конечному времени, желаемому пользователем. Функция удовлетворенности также может быть оценена постоянной службой с помощью кусочно-линейной функции, которая зависит от характерной переменной обслуживания. Например, функция удовлетворения для услуги отопления зависит от переменной температуры.

Результаты

В этой части статьи представлен способ моделирования мультиагентной подсистемы, предложенный для решения проблемы управления питанием. Сперва описывается моделирование агентов для временных и постоянных агентов, затем представляется поведение агентов в реактивных и упреждающих механизмах. Знание

агента [7, 8] включает в себя внутренние знания и некоторые общие знания. Общие знания представляют собой информацию, которой обмениваются агенты. Эти знания могут быть смоделированы с помощью:

- профиля мощности $\Pi=(P_{i,k},\dots,P_{i,k+1})$, который представляет потребляемую мощность / производство (отрицательную / положительную) службой в течение периода от k до $k+1$, где l представляет собой перспективу для обработки проблемы распределения энергии;
- значения функции удовлетворенности, зависящей от переменной (например, переменной энергии, поставляемой источником энергии).

Моделирование временных агентов. Внутренние (частные) знания временного агента могут быть смоделированы с помощью:

- переменной, зависящей от времени окончания операции обслуживания AET_i , где AET_i – это фактическое время окончания обслуживания;
- функции удовлетворения, которая зависит от разницы между фактическим временем окончания AET_i и требуемым временем окончания RET_i , а также от самого раннего времени окончания EET_i и последнего времени окончания LET_i , как показано на Рисунке 1;
- поведенческой модели (конечный автомат), используемой для определения потребления / производства энергии для оказанной услуги. В этой части определяются этапы работы службы. Общая продолжительность временной службы составляет $\Delta_i = n_i \times \Delta$; $n_i \in N$.

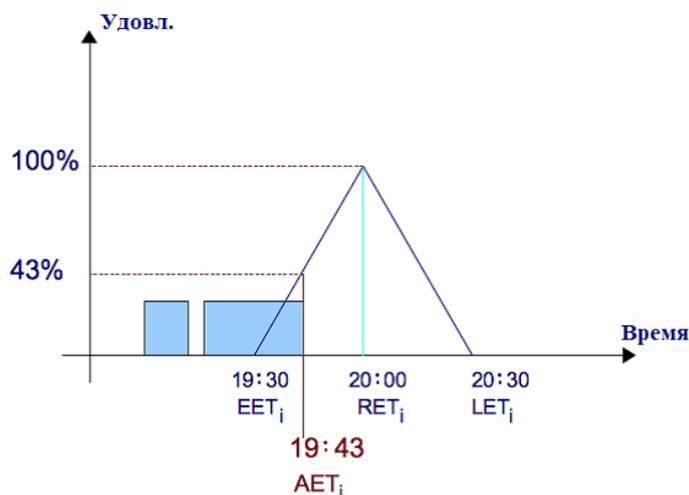


Рисунок 1 – Функция службы удовлетворенности
 Figure 1 – Service satisfaction function

Моделирование агентов. Внутренние (частные) знания агента могут быть смоделированы на основе:

- служебной переменной (например, переменной температуры для службы отопления);
- модели поведения, используемой для описания непрерывных изменений в деятельности службы, таких как отопление или кондиционирование воздуха, в зависимости от потребляемой мощности и других контекстуальных величин. Эту модель можно описать как систему дифференциальных уравнений;
- функции удовлетворенности, которая зависит от переменных состояния, моделирующих поведение службы.

Реактивный механизм. Агенты реактивного механизма ведут себя в соответствии с процессом стимул-реакция с возможностью коммуникации (отправка / получение сообщений). Роль агента здесь заключается в следующем:

- он постоянно контролирует свой уровень текущей удовлетворенности (например, значение температуры для службы отопления с помощью физического датчика);
- когда его уровень удовлетворенности падает ниже заданного уровня (критическая удовлетворенность), он предупреждает других агентов (отправка / получение сообщений);
- когда он получает ответы на свои собственные запросы, выбирает наиболее интересные предложения.

Агент проверяет свой уровень удовлетворенности на каждом повторяющемся этапе своего бесконечного цикла. Уровень неотложности соответствует критическому удовлетворению следующего цикла и определяет реактивный период по отношению к градиенту кривой удовлетворенности. Агент отслеживает свой уровень удовлетворенности и, если критический уровень удовлетворенности достигнут, инициализирует запуск процесса обмена сообщениями.

Упреждающий механизм. Проблема интеллектуального управления питанием в зданиях может быть разделена на подзадачи с участием различных агентов, поскольку, как правило, жители большую часть времени не используют свои устройства. Основной принцип состоит в том, чтобы разделить всю проблему на независимые подзадачи, а затем решить каждую подзадачу независимо, чтобы найти решение для всей проблемы. Преимущество этого метода заключается в уменьшении сложности всей задачи, которая зависит от количества периодов для каждой подзадачи и от количества устройств. Когда вся проблема разделена на подзадачи, каждая подзадача не включает в себя все услуги (например, некоторые жители пылесосят утром, а не вечером). Поскольку количество рассматриваемых периодов в подзадаче меньше, чем количество периодов всей проблемы, сложность решения подзадач ниже, чем сложность решения всей проблемы сразу. Решение вычисляет прогнозируемый план для каждой подзадачи с использованием алгоритма имитации отжига. Основные принципы этого заключаются в следующем: поиск решения начинается с первого результата, найденного на этапе распределения энергии. На каждой итерации решающий агент уменьшает интервал удовлетворенности (например, на 5 % за каждый раз) и отправляет другим агентам данные с наилучшими реализациями (в соответствии с комбинацией критериев стоимости и комфорта); агенты вычисляют окружение реализации, отправленной решающим агентом, генерируя заданное число реализаций, соответствующих интервалу удовлетворенности. Когда решающий агент получает реализации, он выбирает реализации, которые нарушают ограничения как можно меньше. Поиск прекращается, когда собранные данные реализации не нарушают глобальные ограничения мощности и когда глобальное удовлетворение сошлось. Поскольку число реализаций, соответствующих интервалу удовлетворенности, очень велико, агент генерирует случайным образом эти реализации, соответствующие удовлетворенности при выполнении элементарного шага из реализации, выбранной решающим агентом на предыдущей итерации, зная, что реализация агента не будет сгенерирована и дважды отправлена решающему агенту.

Заключение

В статье описана архитектура системы домашней автоматизации. Система состоит из двух частей: централизованной, представляющей решение линейных задач и являющейся регулярной сервисной частью, и мультиагентной части, отмеченной

сингулярной сервисной частью. Распределенная система, основанная на методах многоагентного подхода, может иметь преимущества перед централизованным подходом в плане масштабируемости, открытости, прогнозирования, эффективного использования методов решения задач в условиях неопределенности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kaushik Chowdhury, Dave Cavalcanti, Tommaso Mazza, Chittabrata Ghosh. *Modeling and Simulation of Smart and Green Computing Systems. IEEE Computer Society*.2012;9(45).
2. Svanes D. *Context-Aware Technology: A Phenomenological Perspective. Human Computer Interaction, Special issue on context-aware computing*. Lawrence Erlbaum Associates.2001;1.
3. Oliveira G. D., Jacomino M., Ploix D. L. H. S., *Optimal power control for smart homes*, in: 18th IFAC World Congress, Milan, Italy.2011;1.
4. Abras S., Ploix S., Pesty S., Jacomino M., *A multi-agent home automation approach for power management*, in: *Proceedings of the 1st IFAC Workshop on Convergence of Information Technologies and Control Methods with Power Plants and Power Systems*, Cluj-Napoca, Romania.2017;1:51-53.
5. Lucidarme P., Simonin O., Liégeois A., *Implementation and evaluation of a satisfaction/altruism based architecture for multi-robot systems*, in: *IEEE International Conference on Robotics and Automation. 794 Hussein Joumaa et al. / Energy Procedia* 6.2011;1:786–794.
6. Cintuglu M.H. and Mohammed O. A., “*Simulation of digitalized power system using pmu and intelligent control*,” in *Proc. IEEE Industry. Applications Society Annual Meeting*.2013;1:1-8.
7. Sun Q., Yu W., Kochurov N., Hao Q., and Hu F., “*A multi-agent-based intelligent sensor and actuator network design for smart house and home automation*,” *Journal of Sensor and Actuator Networks*.2013;1:557–588.
8. Siddiqui U. and et al., “*Elastic jade: Dynamically scalable multi agents using cloud resources*,” in *Proc. Second Int Cloud and Green Computing (CGC) Conf*. 2012;2:267-172.
9. Abras S., Pesty S., Ploix S., Jacomino M., *Advantages of mas for the resolution of a power management problem in smart homes, PAAMS10*.2010.
10. Britz J., Frey J., and Alexandersson J., “*Bridging the gap between smart home and agents*,” in *Proc. Int Intelligent Environments (IE) Conf*, 2014;1:31–38.
11. Wacks K., *The impact of home automation on power electronics*, in: *Applied Power Electronics Conference and Exposition*.2018.

REFERENCES

1. Kaushik Chowdhury, Dave Cavalcanti, Tommaso Mazza, Chittabrata Ghosh. *Modeling and Simulation of Smart and Green Computing Systems. IEEE Computer Society*.2012;9(45).
2. Svanes D. *Context-Aware Technology: A Phenomenological Perspective. Human Computer Interaction, Special issue on context-aware computing*. Lawrence Erlbaum Associates.2001;1.
3. Oliveira G. D., Jacomino M., Ploix D. L. H. S., *Optimal power control for smart homes*, in: 18th IFAC World Congress, Milan, Italy.2011;1.
4. Abras S., Ploix S., Pesty S., Jacomino M., *A multi-agent home automation approach for power management*, in: *Proceedings of the 1st IFAC Workshop on Convergence of Information Technologies and Control Methods with Power Plants and Power Systems*, Cluj-Napoca, Romania.2017;1:51-53.

5. Lucidarme P., Simonin O., Li'egeois A., *Implementation and evaluation of a satisfaction/altruism based architecture for multi-robot systems*, in: *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 794 Hussein Joumaa et al. / *Energy Procedia* 6.2011;1:786–794.
6. Cintuglu M.H. and Mohammed O. A., “*Simulation of digitalized power system using pmu and intelligent control*,” in *Proc. IEEE Industry. Applications Society Annual Meeting*.2013;1:1-8.
7. Sun Q., Yu W., Kochurov N., Hao Q., and Hu F., “*A multi-agent-based intelligent sensor and actuator network design for smart house and home automation*,” *Journal of Sensor and Actuator Networks*.2013;1:557–588.
8. Siddiqui U. and et al., “*Elastic jade: Dynamically scalable multi agents using cloud resources*,” in *Proc. Second Int Cloud and Green Computing (CGC) Conf*. 2012;2:267-172.
9. Abras S., Pesty S., Ploix S., Jacomino M., *Advantages of mas for the resolution of a power management problem in smart homes*, *PAAMS10*.2010.
10. Britz J., Frey J., and Alexandersson J., “*Bridging the gap between smart home and agents*,” in *Proc. Int Intelligent Environments (IE) Conf*, 2014;1:31–38.
11. Wacks K., *The impact of home automation on power electronics*, in: *Applied Power Electronics Conference and Exposition*.2018.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Диденко Сергей Сергеевич, аспирант кафедры Автоматизированных и Вычислительных Систем Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Российская Федерация.
email: didenkoserj2009@gmail.com

Didenko Sergey Sergeevich, Post-graduate Student of the Department of Automated and Computational Systems, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 20.06.2021; одобрена после рецензирования 26.07.2021; принята к публикации 06.10.2021.

The article was submitted 20.06.2021; approved after reviewing 26.07.2021; accepted for publication 06.10.2021