

СИСТЕМА КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ ДЛЯ УМНЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ИОТ

CLIMATE CONTROL SYSTEM FOR SMART BUILDINGS BASED ON FUZZY IOT LOGIC

*Al-Dumaini Omar Ahmed Hazea Shaif
V. Velichkin*

Summary. The article develops a temperature and relative humidity control system for automating cooling systems of smart buildings by applying fuzzy logic rules. Temperature and relative humidity are considered as input parameters, the AC mode is considered as an output parameter. A model device is presented where the system receives input data from a temperature and humidity sensor (DHT11) using an Arduino microcontroller, then the received data is analyzed by a control system based on fuzzy logic. The action of the proposed system is considered, where it automatically controls cooling devices when the temperature changes from 0 to 50 °C and relative humidity from 0 % to 90 %. The optimal method of transmitting system data using the ESP8266-12E Node MCU Wi-Fi microcontroller for monitoring and controlling parameters in real time online via the Internet of Things is considered. The results obtained show that the proposed system can be practically applied in smart buildings, provide early warning to the user about changes in remote parameters in real time and at the same time start the cooling system to adapt the temperature regime to the desired one.

Keywords: smart building, IoT, DHT11, Arduino microcontroller, fuzzy logic system, temperature, relative humidity, automatic regulation, microclimate parameters, temperature, energy consumption.

Аль-Думайни Омар Ахмед Хазаеа Шаиф
Аспирант, Московский государственный
строительный университет
aomar3909@gmail.com

Величкин Владимир Александрович
кандидат технических наук, доцент Московский
государственный строительный университет
velichkinva@mgsu.ru

Аннотация. В статье разрабатывается система контроля температуры и относительной влажности для автоматизации систем охлаждения умных зданий с помощью применения правил нечеткой логики. Температура и относительная влажность рассматриваются как входные параметры, режим Ас — как выходной параметр. Представлено устройство модели, где система получает входные данные от датчика температуры и влажности (DHT11) с помощью микроконтроллера Arduino, затем полученные данные анализируются системой управления на основе нечеткой логики. Рассмотрено действие предложенной системы, где она автоматически управляет охлаждающими устройствами при изменении температуры от 0 до 50°C и относительной влажности от 0 % до 90 %. Рассмотрен оптимальный способ передачи данных системы с помощью Wi-Fi микроконтроллера ESP8266-12E Node MCU для мониторинга и управления параметрами в режиме реального времени в режиме онлайн через Интернет вещей. Полученные результаты показывают, что предложенная система может быть практически применена в умных зданиях, обеспечить раннее предупреждение пользователя об изменении удаленных параметров в реальном времени и в то же время запустить систему охлаждения для адаптации температурного режима к желаемому.

Ключевые слова: умное здание, IoT, DHT11, микроконтроллер Arduino, система нечеткой логики, температура, относительная влажность, автоматическое регулирование, параметры микроклимата, температура, энергопотребление.

Для обеспечения работы умных зданий используется огромное количество данных, поставляемых через Интернет вещей (IoT). К IoT может подключиться каждый, в любой точке мира [1]. С расширением IoT и недавним развитием встраиваемых систем, приложения для умных зданий стали более распространенными [2]. Благодаря использованию беспроводных мобильных технологий и датчиков, IoT позволяет подключить миллиарды объектов для сбора данных и их передачи людям по всему миру. Приложения IoT могут использоваться для удаленного мониторинга и управления электроприборами, установленными в здании. Данные о температуре и относительной влажности являются двумя наиболее важными элементами, которые можно контролировать с помощью них. Датчик DHT11 используется для определения данных значений для окружающей среды с хорошим уровнем стабильности

при двухсекундной задержке [4–6]. Он содержит влагуудерживающий компонент, расположенный между двумя клеммами внутри датчика; небольшое изменение влажности приводит к изменению проводимости компонента, что вызывает изменение импеданса между этими клеммами. Также, этот датчик включает в себя термистор, который действует как термозависимый переменный резистор, измеряющий значения температуры. Датчик DHT11 оснащен АЦП (аналого-цифровым преобразователем), благодаря которому входные данные преобразуются в цифровые значения. В этом случае нет необходимости во внешнем АЦП для обработки входных данных на микроконтроллере [7]. Относительная влажность и температура автоматически контролируются с помощью датчиков и микроконтроллеров через системы интеллектуальных зданий на базе IoT. Система управления на основе нечеткой логики является одним

из наиболее подходящих методов искусственного интеллекта для управления состоянием выхода в зависимости от входных параметров [8]. Нечеткая логика становится очень популярной благодаря простому способу реализации человеческого подхода к управлению, зависящего от правильной математической модели [9]. Она обладает рядом преимуществ, позволяющих управлять нелинейными сложными системами, а также математически трудно представимыми системами [8]. Благодаря наличию специализированного инструментария нечеткой логики, выполнение контроллера нечеткой логики в среде программирования MATLAB является популярным подходом [9], [10].

На сегодняшний день программная система Arduino является хорошим аппаратным обеспечением и проста в использовании, поскольку имеет небольшой вес, компактный дизайн и поддерживает интерфейс для датчиков цепи. Эти возможности делают систему эффективной, простой в использовании и точной [11].

Чтобы обеспечить беспроводную связь с Arduino, необходимо включить в состав чипа ESP8266-12E Node MCU Wi-Fi, который является недорогим микроконтроллером системы на кристалле, с открытым исходным кодом для создания IoT-платформ [12].

В этой статье мы предлагаем разработку и реализацию системы контроля температуры и относительной влажности для автоматических умных зданий на базе микроконтроллера Arduino с использованием нечеткой логики. Система нечеткой логики используется для принятия решений через набор правил, которые применяются к входным параметрам, полученным от датчика DHT11sensor, и управляет системой охлаждения через выход Ac mode. Разработанная система также может отслеживать входные данные и управлять выходом в режиме онлайн через IoT с помощью микроконтроллера ESP8266 12— E Node MCU.

Система управления играет важную роль во многих приложениях с обратной связью. Она способна контролировать, управлять и влиять на условия работы динамических систем для обеспечения лучшей работы замкнутого контура. Условия рабочего состояния обычно связаны с выходными параметрами [11]. В данной работе представлена замкнутая система управления температурой и относительной влажностью с использованием контроллера нечеткой логики на примере микроконтроллера Arduino UNO, который управляет выходом системы охлаждения через релейный модуль. Кроме того, данные ввода/вывода могут контролироваться и управляться пользователем через ESP8266-12E Node MCU с помощью приложения ThingSpeak путем изменения относительного времени работы реле в соответствии с рабочим циклом для выходного сигнала.

Предлагаемая умная система управления температурой и относительной влажностью воздуха в здании состоит из четырех основных частей. Это чувствительный датчик температуры и относительной влажности (DHT11), микроконтроллер Arduino Uno, микроконтроллер ESP8266-12E Node MCU и контроллер нечеткой логики.

Сначала датчик собирает данные из окружающей среды здания и отправляет их на микроконтроллеры Arduino Uno и ESP8266-12 Node MCU. Диапазон значений температуры и относительной влажности устанавливается в пределах от 0°C до 50°C и от 0 % до 90 % соответственно. Эти входные данные анализируются и обрабатываются нечетким логическим контроллером для получения желаемых выходных значений режима Ac, которые управляют системой охлаждения путем включения реле на определенное время работы при соблюдении заданных условий.

MCU ESP8266-12E Node загружает данные ввода-вывода в реальном времени через Wi-Fi соединение на облачный сервер IoT по протоколу HTTP, а также генерирует набор данных для ThingSpeak. Любой, кто проверяет состояние системы управления зданием через веб-сайт, должен войти в систему, используя идентификатор пользователя и пароль для доступа, что обеспечивает безопасность данных.

Рабочая модель предлагаемой системы выглядит так:

- Датчик DHT11 — недорогой, высоконадежный 4-контактный датчик. Вывод 1 — это Vcc, а вывод 2 — это вывод данных, который получает данные извне и отправляет их на микроконтроллер Arduino. Датчик обнаруживает изменения параметров окружающей среды и отправляет их на один из цифровых входных контактов Arduino. Последний имеет 14 цифровых входов/выходов, шесть из которых могут быть использованы в качестве выводов широтно-импульсной модуляции (ШИМ).
- Цифровое значение входных данных обрабатывается в микроконтроллере Arduino Uno, который регулирует работу интеллектуальной системы управления с помощью нечеткого логического контроллера, смоделированного с помощью файла FIS MATLAB, который реализован на микроконтроллере Arduino путем преобразования файла FIS в файл скетча среды программирования C с заголовочным файлом и использованием библиотеки eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library), поддерживающей метод Мамдани.
- Система охлаждения управляется с помощью ШИМ-сигнала, генерируемого микроконтроллером Arduino. ШИМ может использоваться для объяснения аналогового, цифрового и PWM (аналоговый входной сигнал, воспроизведенный

из цифрового выходного сигнала). Этот сигнал используется для определения времени работы реле в режиме ВКЛ/ВЫКЛ. Длительность работы реле регулируется в зависимости от рабочего цикла с диапазоном от 0 % до 100 %. Рабочий цикл означает определенное время, в течение которого импульс включен в течение цикла работы реле.

- Полученные датчиком входные значения в реальном времени необходимо передавать на облачный сервер IoT. Для этого требуется сеть связи Wi-Fi, подключаемая к MCU ESP8266-12E Node. Этот модуль имеет один аналоговый и двенадцать цифровых выводов ввода/вывода. Он определяет изменения в данных ввода/вывода в реальном времени и непрерывно передает их реальному пользователю для мониторинга и управления по мере необходимости через платформу ThingSpeak с сайта www.ThingSpeak.com или <https://exponenta.ru/thingspeak>. Этот веб-сервис обеспечивает анализ данных с открытым исходным кодом на платформе MATLAB с полным доступом к профилю и предоставляет простой способ просмотра и анализа данных, собранных полевыми устройствами, на облачном сервере IoT. Одновременно эти данные в реальном времени выводятся на последовательный монитор Arduino IDE.

Принципиальная схема нечеткой логической системы управления состоит из трех основных компонентов: фаззификации, фаззи-инференционной системы и дефаззификации [13].

Фаззификация. Нечеткие входы в нечеткую систему управления отображают нечеткие множества; эти множества описывают различные интервалы, которые принадлежат входам. При фаззификации получают значения степени принадлежности в диапазоне от 0 до 1.

Фаззи-инференционная система. На этом этапе мы получаем выходные сигналы в соответствии с заданными входами системы. Для нечетких управляющих входов используется треугольная функция членства, а для выхода — трапециевидная функция членства. Для определения правил и значений принадлежности нечеткого вывода необходимо знать рабочие диапазоны входного датчика DHT11.

Дефаззификация. Генерируются конкретные нечеткие выходные значения, полученные в результате работы системы вывода для управления значениями температуры и относительной влажности, а также настройки режима работы системы охлаждения.

Для получения точных результатов нечеткой системы семь нечетких множеств (холодный, прохладный, нор-

мальный, теплый, горячий, очень горячий) выбраны для входной температуры в диапазоне от 0°C до 50°C, а пять лингвистических нечетких множеств (очень низкий, низкий, нормальный, высокий и очень высокий) выбраны для относительной влажности от 0 % до 90. Семь нечетких множеств, (крайне низкий (EL), очень низкий (VL), низкий (L), нормальный (N), высокий (H), очень высокий (VH) и крайне высокий (EH)), используются для выходной переменной режима Ас от 0 до 3.

После этого генерируются нечеткие правила, построенные по типу IF-THEN с операцией AND. Из разработанных нечетких наборов входных переменных общее количество возможных правил составит $7 \times 5 = 35$ правил, которые используются для обучения нечеткой системы (см. Таблицу 1). Для принятия решений в соответствии с правилами модели используется метод Мамдани Тип-1.

Таблица 1.
35 нечетких правил для управления системой охлаждения

Влажность, %	Температура, °C					
	холодная 0–7°C	прохладная 8–15°C	нормальная 16–21°C	теплая 21–25°C	горячая 26–30°C	очень горячая >30°C
очень низкая менее 30 %	EL	VL	VL	N	N	H
низкая 30–50%	EL	VL	L	N	H	VH
нормальная 50–70 %	EL	VL	L	N	H	VH
высокая 70–85%	VL	L	L	N	VH	EH
очень высокая более 85 %	L	L	N	H	EH	EH

Таблица 2.
Результаты ввода-выхода и условия выхода разработанного симулятора фаззи-инференционной системы

Вход		Выход	
Температура, °C	Влажность, %	Режим Ас	Состояние режима Ас
8	72	0.73	низкий
21	61	1	низкий
25	49	1.5	нормальный
28	62	2.1	высокий
33	47	2.5	очень высокий
40	34	2.5	очень высокий
46	90	2.9	крайне высокий

Оценка системы нечеткой логики после обучения проводится с помощью редактора моделирования Matlab FIS, а некоторые значения результатов моделирования ввода/вывода представлены в таблице (2).

Таким образом, в данном исследовании представлен прототип автоматической интеллектуальной системы охлаждения с использованием Интернета вещей (IoT). Данное исследование позволяет интегрировать реле с микроконтроллерной платой для управления строительными приборами из различных удаленных мест

в режиме реального времени. Преимущество разработанной системы заключается в сокращении потерь энергии и человеческих усилий за счет использования нечеткого логического контроллера для принятия решения о соответствующем состоянии работы. Данные ввода-вывода в реальном времени могут быть отправлены и сохранены на облачном сервере IoT для мониторинга и управления через ThingSpeak. Эти параметры можно просматривать и анализировать, нанося их на график для использования в будущем анализе, чтобы помочь пользователям более эффективно управлять системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gonzalez-Torres M. et al. Overview of information on energy consumption of buildings: trends, uses, fuels and driving forces // Energy reports. 2022. Vol. 8, pp. 626–637.
2. Mir U. et al. Energy consumption management in smart buildings and houses: modern approaches, hypothetical solutions, open questions and tasks // IEEE Access. 2021. Vol. 9, pp. 94132–94148.
3. Khalil M. et al. Machine Learning, Deep Learning and Statistical Analysis for Predicting energy consumption of buildings — a systematic review // Engineering applications of artificial intelligence. 2022. Vol. 115, p. 105287.
4. Anastasiadou M., Santos V., Diaz M. S. Machine learning methods focused on energy characteristics of buildings: analysis of dimensions and methods // Buildings. 2021. Vol. 12, No. 1, p. 28.5
5. Iwayemi A., Wang W., Zhou S. Energy consumption management in intelligent buildings. In Energy management systems; ed.; IntechOpen: Rijeka, Croatia, 2011; Chapter 6.
6. Ambrosiak A., Chojecki A. Optimization module of the PID controller using a fuzzy self-adjusting PSO for a supply and exhaust system in continuous operation // Engineering applications of artificial intelligence. — 2023. Vol. 117, p. 104485.
7. McDowell R., Montgomery R. Fundamentals of HVAC control systems // Elsevier Science: Amsterdam, the Netherlands, 2008.
8. Izhikevich E.M. Dynamic systems in neuroscience: the geometry of excitability and rupture // Massachusetts Institute of Technology Publishing House, 2007.
9. Ahmed K. et al. Probabilistic inference using neural networks with stochastic bursts on a neurosynaptic processor // International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) 2016. IEEE, 2016. pp. 4286–4293.
10. Nyrkov A. et al. Mathematical models for solving problems of ensuring the reliability of marine systems // Achievements in the field of systems, control and automation, 2018. pp. 387–394.
11. Nyrkov A. et al. Problems of identification and tracking during qualimetric checks in distributed control systems of drilling platforms, Conference of young researchers in the field of electrical engineering and electronics IEEE NW Russia 2016 (EIconRusNW), St. Petersburg, 2016. pp. 641–645.
12. Maliutov D.M. et al. Estimation of the covariance matrix for modeling interest rate risk using smooth and monotonic regularization // IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing, 2016. T 10, pp. 1006–1014.
13. Pradityo F., Suranta N. Indoor air quality monitoring and management system based on the Internet of Things and fuzzy logic // 7th International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT) 2019. IEEE, 2019. pp. 1–6.