

Санкт-Петербургский государственный университет

Программная инженерия

Дулетов Дмитрий Евгеньевич

# Разработка системы передачи сообщений в децентрализованной сети подвижных узлов

Отчёт о прохождении производственной практики

Научный руководитель:  
д.ф.-м.н., профессор кафедры СП О.Н. Граничин

Санкт-Петербург  
2024

# Оглавление

<b>1. Введение</b>	<b>3</b>
<b>2. Постановка задачи</b>	<b>5</b>
<b>3. Обзор</b>	<b>6</b>
3.1. Mesh сеть . . . . .	6
3.2. Ad hoc сеть . . . . .	6
<b>4. Система передачи сообщений</b>	<b>8</b>
4.1. Алгоритм работы узла . . . . .	8
<b>5. Реализация</b>	<b>10</b>
<b>6. Заключение</b>	<b>12</b>
<b>Список литературы</b>	<b>13</b>

# 1. Введение

В современном мире развитие технологий и искусственного интеллекта позволяет говорить о возможности создания децентрализованной сети роботов, способных выполнять различные задачи и функции, от автоматизации производства до оказания помощи в решении сложных задач [2]. Такое разнообразие возможностей делает данное направление развития технологий очень перспективным в ближайшем будущем.

Децентрализованная сеть роботов представляет собой группу роботов, взаимодействующих между собой и с окружающей средой без централизованного управления. Каждый робот в такой сети обладает определенной степенью автономности и может принимать решения на основе информации, полученной от других роботов и датчиков. Благодаря этому, такие сети обладают потенциалом для создания эффективных и гибких систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям. [1]

Концепция децентрализованных систем широко применяется в организации роя роботов. Такие сети состоят из множества подвижных узлов, которые взаимодействуют между собой без центрального сервера, что обеспечивает их высокую масштабируемость и устойчивость к сбоям. Подвижные узлы могут быть представлены как квадрокоптеры, так и машинами передвигающимися по земле.

В контексте децентрализованных сетей разработка системы передачи сообщений является актуальной и важной задачей. Узлам необходимо оперативно делиться информацией, чтобы регулировать работу сети. В связи с отсутствием центрального сервера, каждый узел обеспечивает передачу информации и от качества доставки сообщений зависит скорость работы всей сети. [3]

Однако, в связи с большой автономностью узлов, они редко обладают мощными передатчиками и большими вычислительными мощностями. В связи с этим встаёт вопрос о создании системы эффективной передачи сообщений большому количеству адресатов при ограничен-

ных ресурсах.

## 2. Постановка задачи

Целью работы является разработка системы передачи сообщений в децентрализованной сети подвижных узлов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить обзор в области передачи сообщений в крупных сетях.
2. Разработать алгоритм выбора адресатов сообщений.
3. Реализовать систему передачи сообщений.
4. Протестировать систему и провести эксперименты.

## 3. Обзор

Передача сообщений в децентрализованной сети подвижных узлов является очень важной задачей. Поскольку в сети отсутствует центральный узел, не существует единственного сервера, через который можно было бы вести обмен сообщениями. Также система предполагает движение узлов в пространстве, в связи с чем доступность окружающих абонентов может меняться. Последним фактором, ограничивающим систему является вычислительная мощность агентов. Размер сети может быть достаточно большим, вплоть до сотен узлов, и скорость обработки информации не позволяет отправлять сообщение сразу на все узлы внутри нашей сети.

Исходя из этих ограничений рассмотрим несколько подходов к организации системы обмена сообщениями:

### 3.1. Mesh сеть

Mesh сеть предполагает деление сети на кластеры по 8-12 узлов, каждый кластер имеет свою топологию и корневой узел. Корневые узлы связаны между собой для обеспечения общения между кластерами.

Поскольку кластеры не меняются в процессе работы системы, дополнительные операции по изменению топологии не требуются. Однако, такое построение сети ограничивает подвижность узлов, потому что излишнее отдаление конечного узла от корневого может привести к невозможности дальнейшей отправки сообщений и потере узла [6]. Также необходимо обеспечить общение кластеров между собой, для чего необходимо установить передатчики большей мощности в корневые узлы.

### 3.2. Ad hoc сеть

Ad hoc сеть является децентрализованной сетью с динамической топологией. Все узлы сети работают в клиентском режиме, принимая сообщения и пересылая свои. Топология сети строится во время работы,

каждый узел сканирует и добавляет в адресаты ближайшие узлы.

Скорость развёртывания такой сети велика, поскольку построение топологии происходит автоматически. Также отсутствие ключевых узлов увеличивает отказоустойчивость сети [4]. При этом же растут расходы на поддержание топологии сети, поскольку узел должен самостоятельно искать новых абонентов при их появлении и поддерживать актуальность списка адресатов, удаляя из него недоступные больше узлы.

## 4. Система передачи сообщений

Проектируемая система передачи сообщений должна обладать следующими характеристиками:

- Узлы должны передавать небольшие сообщения ближайшим узлам;
- Сообщения имеют высокую частоту и должны иметь низкую задержку, чтобы не терять актуальность;
- Во время работы взаимное расположение узлов может меняться, что влечёт за собой изменение ближайших узлов;
- Актуальность информации узла уменьшается при удалении от него;
- Число узлов в сети может быть настолько велико, что отправка сообщений с необходимой частотой всем узлам одновременно станет невозможной.

В связи с поставленными ограничениями была предложена система обмена сообщениями на основе ad hoc с вероятностным выбором адресатов. Все узлы работают в клиентском режиме, получая, обрабатывая и отправляя сообщения. Узел периодически сканирует систему на наличие новых адресатов, динамически обновляя топологию. При отправке сообщения узел выбирает абонентов случайно, используя рандомизацию.

### 4.1. Алгоритм работы узла

На каждой итерации узел выполняет следующие операции:

- Считывает данные с внутренних детекторов и корректируя курс;
- Принимает входящие сообщения, добавляя отправителя в список потенциальных адресатов, если его там нет;



- Пересчитывает курс, опираясь на данные, полученные во входящих сообщениях;
- Отправляет свой курс заданному числу адресатов, выбираемых случайно из списка всех адресатов. Шанс выбрать адресата тем выше, чем выше наша уверенность в нём;
- Изменяет коэффициенты уверенности адресатов.

Данный подход позволяет быстро обновлять топологию сети и отправлять данные с минимальной задержкой. К минусам данного подхода можно отнести вероятностный подход к распространению информации, однако высокая частота отправки сообщений позволяет допустить потери связей между узлами.

## 5. Реализация

Для реализации был выбран протокол ESP-Now, разработанный Espressif для популярного модуля ESP-32. Данный протокол позволяет передавать сообщения длиной не более 250 символов в режиме Peer-to-Peer соединения, используя Wi-Fi модуль. При таком способе передачи время задержки гораздо ниже, чем при использовании классического способа [5]. ESP-Now позволяет отправлять сообщения для конкретного получателя, отправлять широковещательные запросы для поиска потенциальных абонентов и получать сообщения, адресатом которого является модуль.

Функция вызова при получении сообщения в ESP-Now задаётся при помощи `esp_now_register_recv_cb`, которая позволяет обрабатывать сообщения. При получении сообщения мы проверяем есть ли отправитель в нашем списке адресатов. Если нет, вызываем функцию поиска новых адресатов. Если отправитель уже есть в списке, мы увеличиваем его коэффициент доверия, поскольку только что получили от него сообщение. После этого мы корректируем свой курс в зависимости от присланного курса и коэффициента доверия.

В цикле мы с нужной частотой инициализируем отправку сообщения. Текущий курс записывается как текст сообщения. После этого из списка случайным образом выбирается определённое, заданное константой, количество адресатов. Если в списке меньше адресатов, выбираются они все. Шанс выбрать адресата тем больше, чем больше наша уверенность в нём. После этого сообщение последовательно отправляется всем выбранным адресатам, а уверенность в них немного понижается. Это позволяет избежать ситуаций, при которых сообщения будут отправляться одним и тем же получателям.

При получении сообщения от незнакомого адресата и раз в некоторое время узел посылает системный широковещательный сигнал при помощи функции `esp_now_send` с адресом `broadcastAddress` [8]. В ответ на него все узлы отправляют ответ со своим адресом. Для каждого ответа если адрес ещё не внесён в список адресатов, он добавляется

туда и все коэффициенты доверия обновляются в зависимости от RSSI ответа.

## 6. Заключение

В рамках производственной практики были выполнены следующие задачи:

1. Выполнен обзор в области передачи сообщений в крупных сетях.
2. Разработан алгоритм выбора адресатов сообщений.
3. Реализована отправка сообщений нескольким адресатам при помощи ESP-Now.

## Список литературы

- [1] Lundberg I.D., Decentralized communication. How to send messages to unresponsive clients in a chat network.// Bachelor's thesis. – 2015. - С. 1 – 25.
- [2] Довгаль В.А., Интеграция сетей и вычислений для построения умной системы управления роем дронов как сетевой системы управления.// Научный журнал "Вестник АГУ". - Вып. 1 (296). – 2022. - С. 62 – 76.
- [3] Paulo Chainho, Steffen Drusedow, Ricardo Lopes Pereira, Ricardo Chaves, Nuno Santos, Decentralized Communications: Trustworthy Interoperability in Peer-To-Peer Networks.// Altice Labs, Deutsche Telekom AG. – 2017.
- [4] Navid Alibabaei, Wireless Mesh Networks: a comparative study of Ad-Hoc routing protocols toward more efficient routing.// Master Thesis. – 2019.
- [5] Eridani, Dania Rochim, Adian Cesara, Faiz. Comparative Performance Study of ESP-NOW, Wi-Fi, Bluetooth Protocols based on Range, Transmission Speed, Latency, Energy Usage and Barrier Resistance. // International Seminar on Application for Technology of Information and Communication, 2021. - с. 322-328.
- [6] J. Jun, M.L. Sichitiu, The nominal capacity of wireless mesh networks.// IEEE Wireless Communications, vol 10. – 2003. - С. 8 - 14.
- [7] Dimitrios J Vergados, Natalia Amelina, Yuming Jiang et al., Toward optimal distributed node scheduling in a multihop wireless network through local voting.// IEEE Transactions on Wireless Communications. — 2017. — Vol. 17, no. 1. — P. 400–414.
- [8] [https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/network/esp\\_now.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/network/esp_now.html), дата обращения 03.03.2024

- [9] Omar Sami Oubbati, Mohammed Atiquzzaman, Pascal Lorenz et al., Routing in flying ad hoc networks: Survey, constraints, and future challenge perspectives .// IEEE Access. — 2019. — Vol. 7. — P. 81057–81105.