

Выбор протокола приема передачи данных и разработка алгоритма выбора процессорного модуля «мастера» для реконфигурируемой вычислительной сети реального времени

Д. А. Асеев¹, Д. Б. Борзов¹✉, В. С. Титов¹, И. Е. Чернецкая¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: borzovdb@kursknet.ru

Резюме

Цель исследования: Вычислительные сети из множества процессорных модулей существовали уже давно, однако с развитием беспроводных технологий появилась возможность качественной и недорогой реализации идеи реконфигурируемых вычислительных сетей реального времени (РВСПВ). Целью данной работы является выбор беспроводной сети передачи данных для РВСПВ и создание алгоритма динамического выбора процессорного модуля «мастера».

Методы. Методы исследования работы основаны на определениях теории множеств и графов. В частности, за основу взят графо-теоретический подход к распределению, дополненный введением системы критериев реконфигурируемой вычислительной системы реального времени на основе беспроводного протокола передачи данных.

Результаты. В данной работе выбран наиболее подходящий протокол передачи данных для локальной РВСПВ, представлена разработанная математическая модель изменения вычислительной системы реального времени, построенной на беспроводном протоколе и алгоритм выбора процессорного модуля (ПМ) «мастера» РВСПВ. Новизной работы является применение матрицы расстояния для математического описания изменения РВСПВ и ее использование для определения ПМ «мастера» в ВС.

Заключение. Разработанный алгоритм выбора ПМ «мастера» РВСПВ и математическая модель изменения положения ПМ в вычислительной системе реального времени, построенной на беспроводном протоколе, позволяет обеспечить организацию оптимального выбора ПМ «мастера» в реконфигурируемой вычислительной системе. На основании представленной математической модели в дальнейшем представляется возможным создание полноценной математической модели РВСПВ и алгоритма размещения задач в ней.

Ключевые слова: распределенные вычисления; вычислительные системы; беспроводное соединение; матрица расстояний; процессорный модуль.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Выбор протокола приема передачи данных и разработка алгоритма выбора процессорного модуля «мастера» для реконфигурируемой вычислительной сети реального времени / Д. А. Асеев, Д. Б. Борзов, В. С. Титов, И. Е. Чернецкая // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022; 26(4): 132-147. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-4-132-147>.

Поступила в редакцию 30.06.2022

Подписана в печать 24.08.2022

Опубликована 14.10.2022

Selection of the Protocol for Receiving Data Transmission and Development of an Algorithm for Selecting The "Master" Processor Module for a Reconfigurable Real-Time Computer Network

Dmitriy A. Aseev ¹, Dmitry B. Borzov ¹ ✉, Vitaly S. Titov ¹, Irina E. Chernetskaya ¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract

Purpose of research. Computing networks of a plurality of processor modules have existed for a long time, however, with the development of wireless technologies, the possibility of high-quality and inexpensive implementation of the idea of real-time reconfigurable computing networks (RRTCН) has emerged. The purpose of this work is to select a wireless data transmission network for the RRTCН and create an algorithm for the dynamic selection of the "master" processor module.

Methods. The research methods of the work are based on the definitions of the theory of sets and graphs. In particular, a grapho-theoretical approach to distribution is taken as a basis, supplemented by the introduction of a system of criteria for a reconfigurable real-time computing system based on a wireless data transmission protocol.

Results. In this paper, the most suitable data transfer protocol for the local RCSRВ is selected, a developed mathematical model of changing a real-time computing system built on a wireless protocol is presented, and an algorithm for selecting the processor module (PM) of the RCSRВ "master" is developed. The novelty of the work is the use of the distance matrix for the mathematical description of the change in the RRTCН and its use to determine the PM of the "master" in the aircraft.

Conclusion. The developed algorithm for choosing the PM of the "master" RRTCН and the mathematical model of changing the position of the PM in a real-time computer system built on a wireless protocol allows organizing the optimal choice of the PM of the "master" in a reconfigurable computing system. On the basis of the presented mathematical model, in the future, it is possible to create a full-fledged mathematical model of the RRTCН and an algorithm for placing tasks in it.

Keywords: distributed computing, computing systems, wireless connection, distance matrix, processor module.

Conflict of interest: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation. Aseev D. A., Borzov D. B., Titov V. S., Chernetskaya I. E. Selection of the Protocol for Receiving Data Transmission and Development of an Algorithm for Selecting The "Master" Processor Module for a Reconfigurable Real-Time Computer Network. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022; 26(4): 132-147 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-4-132-147>.

Received 30.06.2022

Accepted 24.08.2022

Published 14.10.2022

Введение

Создание реконфигурируемой вычислительной сети, которая могла бы

подстраиваться под разные типы решаемых задач является довольно перспективным способом повышения реальной

производительности вычислительных процессов. В работах многих ученых, занимавшихся данной темой, доказана эффективность данного метода повышения производительности вычислительной сети путём распределения задач между отдельными процессорными модулями (ПМ) [1]. Однако статичная, как правило, топология подобных систем накладывает ряд ограничений, а изменение топологии такой системы довольно трудоемкий и не быстрый процесс. В свою очередь статичность комплекса накладывает ограничения на круг решаемых им задач [2], то есть эффективно выполняются задачи только соответствующей структуры. А это снижает востребованность системы, делает ее узкоспециализированной.

За последние два десятилетия беспроводные системы обмена данными, благодаря увеличению скорости и стабильности успели уже вытеснить из жизни множество традиционных средств связи и передачи информации. Что, в свою очередь, способно дать новый толчок развитию реконфигурируемых вычислительных систем.

Современные технологии беспроводной передачи данных, такие как 5G и WIFI 6, достигли такой скорости передачи данных, которая превышает скорость в локальных сетях Ethernet, при этом не требуя прокладки сотен метров кабелей к стационарным компьютерам, удешевляя процесс построения сетей.

Материалы и методы

Беспроводная сеть (БС) – сеть, основанная на беспроводном принципе, основой которого служит протокол [3, 4]. В нем описывается такая информация, как адресация, маршрутизация, топология и многое другое, что необходимо для развертывания сети. Благодаря тому, что системы с беспроводным соединением мобильны, а их пропускная способность не уступает некоторым проводным соединениям, они получили широкое распространение – нашли свое место как в повседневной жизни, так и в промышленности, и даже в военной технике [4]. По существующей динамике развития сетей видно, что в ближайшем будущем беспроводные сети вытеснят проводные [3, 4].

Далее будут рассмотрены протоколы беспроводной передачи данных для локальной вычислительной сети.

1. Bluetooth позиционировался для связи таких устройств, как цифровая и офисная техника, игровые устройства. На сегодняшний день данный протокол используется большей частью устройств.

Для функционирования Bluetooth разработчиками был выбран свободный от лицензирования частотный диапазон ISM 2,4-2,4835 ГГц. Данный протокол может работать в двух режимах: SCO (Synchronous Connection Oriented) – синхронный; ACL (Asynchronous Connectionless) – асинхронный. Первый режим устанавливает симметричное соединение «точка-точка» и применяется для передачи речи в системах hands-

free. В синхронном режиме скорость передачи составляет 64 Кбит/с [5]. Вторым режимом может работать как в симметричном, так и в асимметричном способе соединения «Точка – много точек». Для обмена данными используются пакеты информации определенного формата. Пакет данных начинается с 72-битного кода доступа, который необходим для осуществления синхронизации между устройствами. Заголовок пакета, идущий следом, состоит из 54 бит. Он хранит контрольную сумму блока и параметры, такие как повторная передача блока данных. Последней идет сама передаваемая информация, объем которой колеблется от 0 до 2745 бит [5]. Bluetooth использует метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты и двухуровневую частотную модуляцию с фильтром Гаусса. Скачки подразумевают то, что весь доступный диапазон частот разбит на несколько подканалов с шириной в 1 МГц. Канал – это псевдослучайная последовательность скачков по 23 или по 79 подканалам диапазона. Происходит это каждые 625 мкс. Переключения подканалов в приемнике и источнике происходит одновременно. Связать устройства по этому протоколу можно в пределах от 10 до 100 метров друг от друга, даже если устройства в разных помещениях. На 2019 г. последняя версия стандарта Bluetooth 5.0. Скорость передачи составляет до 100 Мб в секунду.

Новая версия протокола Bluetooth 5.1, отличительная особенность которой

формулируется как максимальная точность поиска. Таким образом разработчики раскрывают все новые возможности данной технологии, и тем самым поддерживают к ней интерес [6].

2. UWB – это стандарт широкополосной беспроводной связи, функционирующий на коротких расстояниях в диапазоне частот от 3,1 до 10,6 ГГц. [3]. Скорость передачи данных составляет до 480 Мбит/с. Основная идея данной технологии заключается в испускании последовательности сверхкоротких импульсов. Они распределены по широкому участку спектра. Длина таких сигналов менее 0,5 нс, а период колеблется от 10-1000 нс. Информация кодируется полярностью и взаимным расположением сигналов. В результате достигается высокая суммарная мощность и скорость передачи данных при низком энергопотреблении [8].

3. ZigBee рассчитан на сети малой мощности с ячеистой топологией. Он хорошо подходит для наблюдения. Сенсоры, соединенные ZigBee, мало потребляют, а потому способны работать необходимое время на автономных источниках питания [9]. Сеть, построенная на данном протоколе, содержит следующие три типа устройств: координатор; маршрутизатор; оконечное устройство. Координатор создает сеть, определяя для нее частоту канала и идентификатор – PAN ID. Для каждого сетевого узла он хранит информацию и может им управлять. Маршрутизатор строит пути передачи сообщений от

устройства к устройству. При необходимости координатор и маршрутизатор могут выполнять функции источника, приемника и ретранслятора сообщений.

Оконечное устройство является источником или приемником сообщений, т.к. не участвует в управлении сетью и ретрансляции сообщений [10]. Для передачи данных протокол использует радиоканал. Большинство ZigBee-оборудования работает на частоте 2,4 ГГц. Она обеспечивает наибольшую пропускную способность, которая достигает 250 Кбит/с. Дальность при этом невелика – в помещении 10-20 метров [3].

4. Insteon – протокол прост и надежен по ряду причин. Во-первых, для обмена данными он использует как беспроводную, так и проводную связь. Они дублируют друг друга и применяются одновременно. Проводная сеть – это электропроводка здания. Сигнал передается на частоте 131,65 КГц, поэтому не создает помех для устройств, находящихся в доме и так же использующих электросеть. Беспроводная сеть – радиоволны на частотах 869,85 и 915 МГц. Дальность действия в пределах 50 метров, скорость передачи данных 38 Кбит/с. [11]. Во-вторых, данный протокол поддерживает ячеистую топологию сети, не зависимо от того, какая среда передачи используется. Каждое устройство является и приемником, и передатчиком. Когда узел получает пакет данных, он тут же пересылает его всем остальным точкам в зоне досягаемости [11]. В-третьих, сеть строится без цен-

трального контролера. Он желателен, но не обязателен. В-четвертых, протокол не накладывает ограничения на количество устройств сети. Теоретически можно соединить до 16,7 миллиона точек.

5. Z-Wave – протокол для дистанционного управления устройствами домашних сетей. В России данный протокол работает на частоте 869.0 МГц. В зависимости от поколения скорость передачи может составлять 9.6 кбит/с, 42 кбит/с и 100 кбит/с. Сеть Z-Wave может включать в себя более 200 устройств, однако на практике установка более 30-ти не выгодна. Дальность действия антенны может составлять до 30 метров [3]. Каждое отдельное устройство в сети может использоваться в качестве передатчика, если устройство, на которое подается команда, не находится в зоне прямой досягаемости. Однако низкая скорость передачи данных не позволяет эффективно обмениваться какой-либо информацией, помимо простых команд.

6. ANT – разрабатывался для маломощных устройств с автономным питанием (устройства с малым током потребления). Пакеты, которые отправляют устройства по ANT, относительно короткие. Протокол обеспечивает связь двух устройств, одно из которых – сенсор, собирающий и передающий данные, второе – данные принимает. Связь может образовываться и между задействованными устройствами. Например, устройство, которое передает данные, может принимать их от другого [3].

Данный протокол применяется для соединения различных датчиков. Максимальная скорость обмена данными составляет 1 Мбит/с [3].

7. RuBEE – протокол двухсторонней беспроводной связи в местной региональной сети с использованием длинноволнового диапазона (LW) и пакетов данных не более 128 байт [3]. RuBee работает как трансивер, похожий на двухстороннюю рацию, но использует магнитные волны, а не радиоволны. В кодах RuBee есть возможность отслеживать время. В их наличии есть батарея и статическая память. Кроме того, метки RuBee могут быть оснащены датчиками, проводить учет и хранить их информацию. RuBee networked работает в режиме точка-точка. Если узлы сети ориентированы на малое потребление энергии, то необходимым условием является применение Стандарта IEEE P1902.1, который описывает работу на низкочастотной несущей (131 кГц) [13].

8. RFID (англ. Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) – технология, позволяющая бесконтактно обмениваться информацией, используя радиочастотное излучение. Данные считываются или записываются на транспондеры или RFID-метки. Метки RFID представляют собой небольшие запоминающие устройства. В это хранилище записывается уникальный номер и хранится необходимая информация до тех пор, пока она не попадет в определенную зону, формируемую считывателем RFID. Он получает

информацию. Считыватель передает энергию пассивной метке. Когда необходимое ее количество будет накоплено, начнется отправка данных. Эта технология работает на расстоянии от нескольких миллиметров до сотен метров, в зависимости от типа считывателя и архитектуры метки.

9. Стандарт X10 определяет методы и протоколы передачи управляющих сигналов для электронных модулей, к которым подключена бытовая техника с использованием традиционной электропроводки или беспроводных каналов [3, 15]. Каждое устройство сети снабжено адресом, состоящим из двух символов. Он, как и команды кодируется и передается в двоичном виде. Для передачи пакетов используется частота 120 кГц. Сигнал длится 1 мс. Данные передаются, когда напряжение достигает нулевой отметки. Начало передачи отмечается стартовым кодом – 1110, далее следует адрес и команда. Приемник слушает сеть в течение 6 мс. Если сигнал был, то устройство воспримет его как двоичную единицу. Отсутствие данных – это двоичный ноль.

10. Wi-Fi – это технология для организации локальных беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Скорость передачи данных зависит от протокола:

- 802.11b – до 11 Мбит/с;
- 802.11g – до 54 Мбит/с;
- 802.11n – до 300 Мбит/с;
- 802.11ac – до 3.39 Гбит/с;
- 802.11ax – до 11 Гбит/с.

Радиус действия Wi-Fi сети – до 100 метров [16].

Принцип работы данной технологии основан на передаче зашифрованных сигналов с помощью сверхвысоко-частотных волн на небольшие (десятки метров) расстояния. Стандартная схема сети Wi-Fi включает как минимум одну точку доступа (так называемый инфраструктурный режим) и как минимум одного клиента. В этом случае точка доступа преобразует информацию в радиоволны и распространяет их с помощью антенны. Получатель-клиент получает информацию и выполняет обратное преобразование. Также, если точка доступа не используется и клиент подключен «напрямую» через сетевой адаптер, сеть может работать в режиме «точка-точка». Точка доступа отправляет идентификатор сети (SSID) с помощью специального служебного пакета со скоростью 0,1 Мбит/с каждые 100 миллисекунд. Поэтому минимальная скорость передачи данных для Wi-Fi составляет 0,1 Мбит/с. Поскольку клиент знает SSID сети, он видит, сможет ли он подключиться к этой точке доступа через специальный пакет [18].

Как только две точки доступа с одинаковым SSID находятся в пределах досягаемости, приемник может выбрать одну из них на основе информации об уровне сигнала.

Wi-Fi был выбран в качестве беспроводного протокола из-за его оптимальных свойств: 1) рабочая скорость передачи данных $S_{раб} = 1200-1400$

Мб/с, максимальная скорость передачи данных $S_{мах} = 5$ Гб/с ; 2) позволяет создавать эффективную корпоративную сеть, что позволит реализовать полностью связанное соединение.

РВСРВ – это множество процессорных модулей, связанных между собой беспроводным протоколом. Подобную систему наиболее полно можно описать неориентированным графом, для непосредственной связи узлов друг с другом используют полносвязные топологии, представленные на рис. 1, известной также под названием топологии «максимальной группировки» или «топологии клика» каждый узел напрямую соединен со всеми остальными узлами сети.

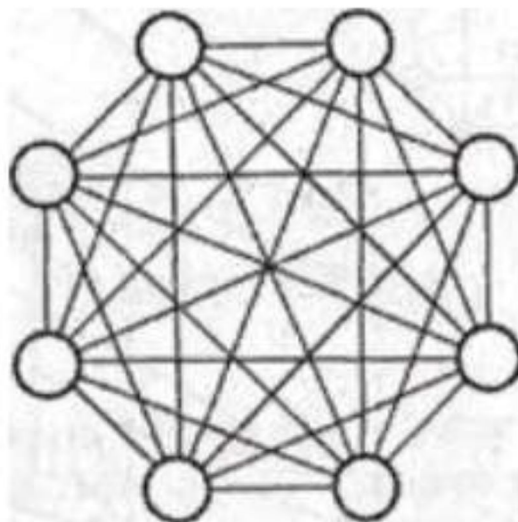


Рис. 1. Полносвязное соединение

Fig. 1. Full connection

Эта топология самая быстрая, так как обмен информацией между узлами идет напрямую. Данные системы надежны – при выходе из строя одного из узлов, система продолжит работу без существенных изменений. Но большие ($N > 20$) системы на такой топологии

строить не стоит из-за квадратичного роста числа связей с низкой загрузкой. Это экономически не выгодно. Кроме того, каждая операция передачи требует, чтобы узел проверял состояние всех входов $N-1$, поэтому в топологиях с максимальной группировкой нет значительного повышения производительности. Для ускорения этой операции все входные данные следует анализировать параллельно. Это усложняет конструкцию узла. Однако данная топология наиболее хорошо описывает РВСРВ, где количество ПМ может меняться.

В связи с тем, что в динамической ВС на беспроводном протоколе из-за возможности перемещения ПМ относительно друг друга одним из важнейших показателей, необходимых для распределения задач между модулями, будет являться скорость обмена данными между отдельными ПМ [19].

Для примера возьмём модель из 5 ПМ, выраженную неориентированным графом, где вершины – это номера ПМ, а рёбра связи между ПМ со значениями уровня сигнала WI-FI от 1 до 4 (рис. 2).

Построение реконфигурируемой вычислительной системы реального времени подразумевает выполнение определенных действий, которые направлены на составление матрицы расстояний MP $A_{N \times N}$ и выбор «мастера» сети [7]. При этом матрица содержит информацию о расстоянии между процессорными модулями, которые в на-стоящий момент

находятся в системе, а «мастер» обеспечивает их взаимодействие (обмен данными, контроль маршрутизации и т.д.).

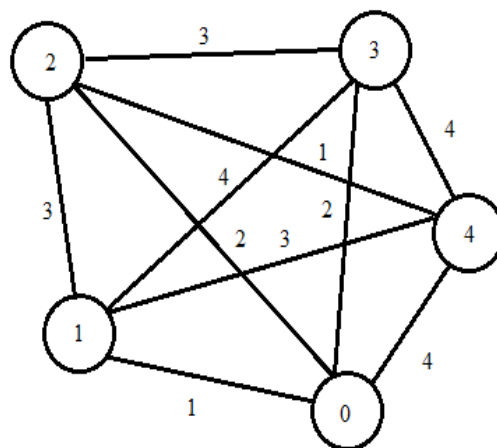


Рис. 2. Граф вычислительной системы

Fig. 2. Computing system graph

Для получения матрицы расстояний целесообразно рассчитать коэффициент расстояния (КР), так как уровни сигнала не могут точно отражать скорость обмена данными между ПМ. Воспользуемся таблицей MCS стандарта Wi-Fi и на основе показателя силы сигнала RSSI и используемого частотного канала [20].

$$КР = -F * RSSI, \quad (1)$$

где F – номер канала; $RSSI$ – значение силы сигнала.

В результате расчётов получились коэффициенты КР, представленные в табл. 2.

В итоге граф вычислительной системы приобретает следующий вид, представленный на рис. 3.

Таблица 1. Индексы MCS**Table 1.** MCS indices

MCS	4		3		2		1	
	20 MHz		40 MHz		80 MHz		160 MHz	
	Ско- рость, Мб/с Speed Mb/s	RSSI, д Б	Ско- рость, Мб/с Speed Mb/s	RSSI, д Б	Ско- рость, Мб/с Speed Mb/s	RSSI, д Б	Ско- рость, Мб/с Speed Mb/s	RSSI, д Б
0	13	-82	27	-79	58.5	-76	117	-73
1	26	-79	54	-76	117	-73	234	-70
2	39	-77	81	-74	175.5	-71	351	-68
3	52	-74	108	-71	234	-68	468	-65
4	78	-70	162	-67	351	-64	702	-61
5	104	-66	216	-63	468	-60	936	-57
6	117	-65	243	-62	526.5	-59	1053	-56
7	130	-64	270	-61	585	-58	1170	-55
8	156	-59	324	-56	702	-53	1404	-50
9			360	-54	780	-51	1560	-48

Таблица 2. Коэффициенты расстояния**Table 2.** Distance coefficients

MCS	F			
	4	3	2	1
0	328	237	152	73
1	316	228	146	70
2	308	222	142	68
3	296	213	136	65
4	280	201	128	61
5	264	189	120	57
6	260	186	118	56
7	256	183	116	55
8	236	168	106	50
9		162	102	48

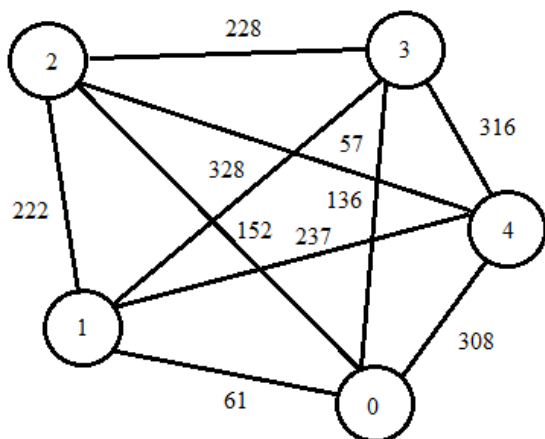


Рис. 3. Граф РВСРВ с коэффициентами расстояния

Fig. 3. RRTCН Graph with Distance Coefficients

По полученным данным построим матрицу расстояний МР ($A_{5 \times 5}$), элементы которой являются значениями множества рёбер $R \{61, 222, 228, 316, 308, 152, 57, 237, 328, 136\}$, соединяющих вершины $V \{0, 1, 2, 3, 4\}$.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 61 & 152 & 136 & 308 \\ 61 & 0 & 222 & 328 & 237 \\ 152 & 222 & 0 & 228 & 57 \\ 136 & 328 & 228 & 0 & 316 \\ 308 & 237 & 57 & 316 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Мастер выбирается из условий:

1) $r = \min \{ \sum_{i,j=0}^N r_{i,j} \}$, где N – количество ПМ, r_{ij} – значения МР;

2) $r_n = \text{count}(r_{\max})$, где r_{\max} – максимум по строке. При выполнении условия $r_M < r_n$;

3) $G_M > G_{PM}$, где G_M – коэффициент усиления антенны мастера, G_{PM} – коэффициент усиления антенны процессорного модуля, претендующего на роль мастера. Условие 1 является необходимым и достаточным, 2 и 3 условия используются как дополнительные, когда первое условие не выявило мастера.

Алгоритм выбора мастера из набора устройств составлен по заданным условиям и представлен на рис. 4.

Алгоритм, представленный на рисунке 4 состоит из нескольких шагов:

1. По каждой строке матрицы расстояний (МР) считается сумма. Высчитывается максимум во всей МР.

2. Из полученных сумм выбирается минимальная. Если минимальных сумм несколько, то есть несколько претендентов на роль мастера, тогда проверяется следующее условие.

3. Из тех устройств, у кого сумма по строке в МР минимальна, считается количество максимумов, которые найдены на первом шаге. Сравнивается этот показатель. У кого максимумов меньше, тот становится мастером. Если же и это не выявило мастера, выполняется 4 шаг.

4. Для тех устройств, у которых минимум максимумов в строке, сравнивается коэффициент усиления антенны. Устройство с самым большим коэффициентом становится мастером.

Для составления матрицы расстояний необходимо знать уровень сигнала. Этот показатель, наравне с физическим расстоянием, влияет на скорость передачи данных, а вычисляется он при подключении устройства к точке доступа. В свою очередь расчет расстояния между устройствами – процесс трудоемкий, и дает не точный результат (десятки метров). Поэтому в МР будет записываться КР, как было написано выше, а не физическое расстояние.

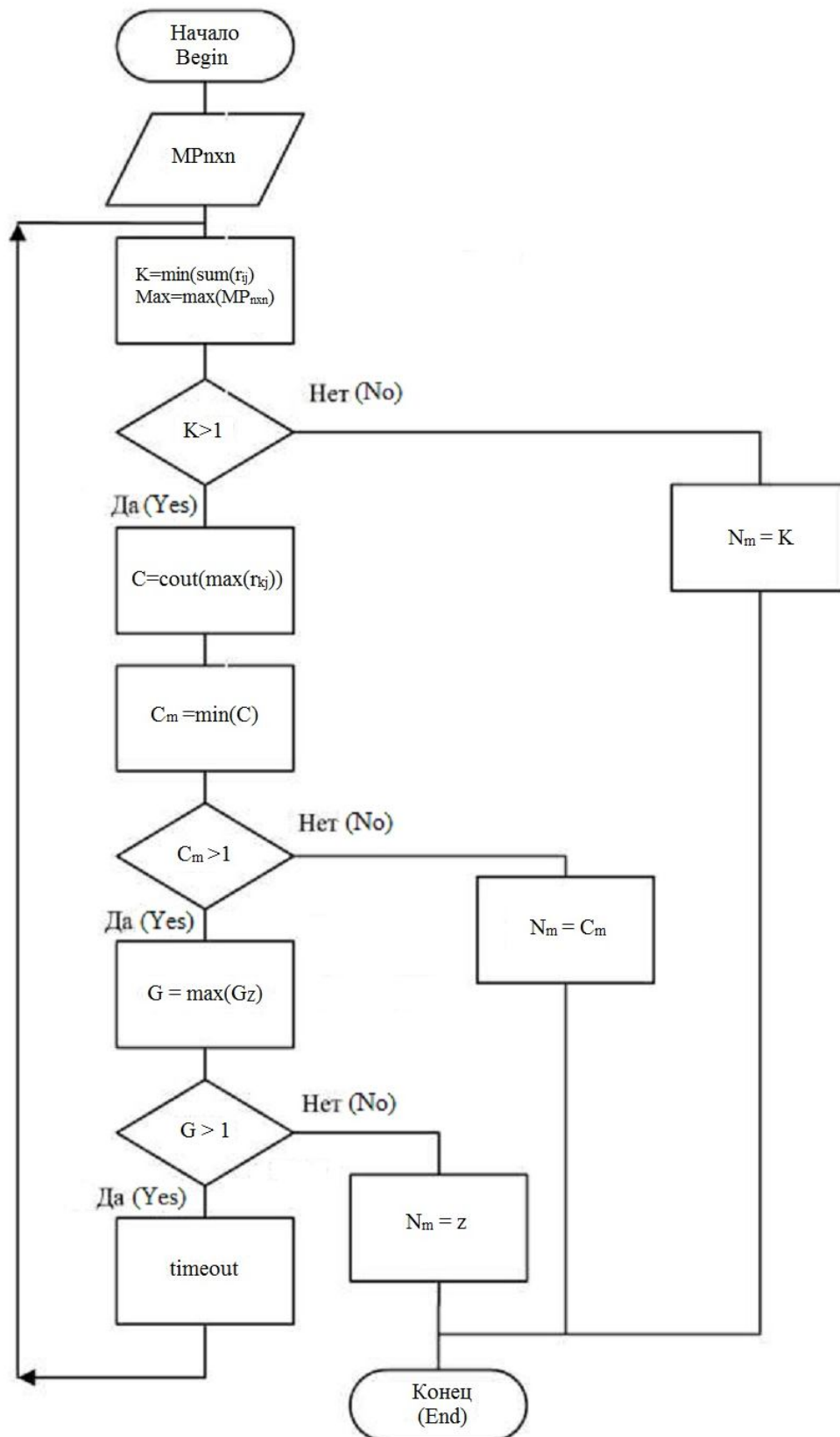


Рис. 4. Алгоритм выбора «мастера»

Fig. 4. "Master" Selection Algorithm

Результаты и их обсуждение

Таким образом, методика построения реконфигурируемой вычислительной системы реального времени состоит из следующих шагов: 1. За время ожидания в системе фиксируется количество активных устройств. 2. Составляется матрица расстояний из КР. 3. Выбирается мастер. Следует отметить, что процессорные модули работают в режиме точки доступа. Каждый ПМ при

активном wi-fi начинает строить РВСРВ. На первом шаге каждому устройству, подключающемуся к системе, присваивается идентификатор, уникальный в пределах настоящей системы. На протяжении времени ожидания процессорные модули обмениваются служебными пакетами (рис.5), содержащими идентификаторы ПМ, коэффициент усиления антенны и массив информации.

Идентификатор пакета	Идентификатор устройства	G	Массив информации
----------------------	--------------------------	---	-------------------

Рис. 5. Служебный пакет обмена

Fig. 5. Service exchange package

Идентификатор пакета – принимает значение *exchang*, идентификатор устройства – номер устройства, присвоенный при появлении ПМ в системе. Массив информации имеет вид:

$$\text{dev}[N]=\{\{id_i;sig_i \dots id_n;sig_n\}\}, \quad (3)$$

где *id* – идентификатор процессорного модуля; *sig* – коэффициент расстояния; *G* – коэффициент усиления антенны.

<i>exchang</i>	1	{1;308}, {2;256}, {4;48}	1,5
----------------	---	--------------------------	-----

Например:

На шаге 2 после обмена пакетами у каждого ПМ сформируется матрица расстояний. Например:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 308 & 183 & 128 \\ 308 & 0 & 183 & 48 \\ 183 & 256 & 0 & 256 \\ 128 & 48 & 142 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Кроме того, составится табл. 3:

Таблица 3. Коэффициент усиления антенн

Table. 3. Antenna gain

id	G
0	1
1	2
2	1.5
3	3

Первый столбец в табл. 3 – идентификатор устройства – *id*, второй столбец коэффициент усиления антенны – *G*.

На шаге три считается сумма элементов каждой строки матрицы *A*. По матрице из формулы (4) получаются следующие данные:

$$r_{\text{sum}_0} = 491, r_{\text{sum}_1} = 612, \\ r_{\text{sum}_2} = 581, r_{\text{sum}_3} = 318.$$

По условию 1 мастером становится 3-процессорный модуль.

Параллельно расчетам ПМ, по мере того, как система продолжает обмени-

ваться пакетами, данные матрицы расстояний обновляются и сравниваются с текущими данными. Если мастер меняется, то текущий мастер завершает начатую операцию, отправляет задание источнику, если успел его запросить, и пока новый мастер уже выполняет свою функцию, он будет продолжать функционировать как обычный процессорный модуль.

Выводы

В ходе работы был выбран протокол беспроводной связи для РВСРВ, а также предложен алгоритм выбора ПМ

мастера для РВСРВ на полносвязной топологии, проиллюстрирован пример работы алгоритма на основе случайных данных об уровне сигнала wi-fi для системы из пяти ПМ.

Новизной работы является применение матрицы расстояния для математического описания изменения РВСРВ и ее использование для определения ПМ мастера в ВС.

В дальнейшем на основе материалов работы представляется возможным создание полноценной математической модели РВСРВ и алгоритма размещения задач в ней.

Список литературы

1. Плещинский Н.Б., Плещинский И.Н. Многопроцессорные вычислительные комплексы. Технологии параллельного программирования. Казань: Изд-во КФУ, 2018.
2. Мелехин В.Ф. Вычислительные машины, системы и сети. М.: Изд-во «Academia», 2017.
3. Колыбельников А. И. Обзор технологий беспроводных сетей // Труды МФТИ. 2012. Т. 4. № 2: 3-29.
4. Закалюжный А.А. Развитие беспроводных сетей как средство контроля и управления удаленными системами // Молодой исследователь Дона. 2018; №4: 46–51.
5. Скачков М. К. Что такое Bluetooth и как он работает? // Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи. 2022. URL: <http://1234g.ru/blog-of-wireless-technologies/about-bluetooth/что-такое-bluetooth-i-kak-on-rabotaet>.
6. Bluetooth (IEEE 802.15.1). [<https://www.kipis.ru/>] // Контрольно-измерительные приборы и системы; 2018. URL: https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=46384.
7. Методика и алгоритм построения вычислительной сети на основе беспроводного протокола / Д. Б. Борзов, А. А. Чернышев, А. С. Сизов, Ю. В. Соколова // Труды МАИ. 2021; № 121. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=162667>.
8. Haraz O. Ultra-Wideband Antennas and Components. Assuit: Assuit University; 2013.
9. Khursheed A.R., Manish K. A Review on ZigBee Based Remote Sensing and Controlling System // International Research Journal of Engineering and Technology. 2016. Vol. 03. Is. 06.

10. Sridevi D., Kumaravel A., Gunasekaran S. A ZigBee Based Security System for Supporting Children with Autism // IRE Journals. 2019. Vol. 2. Is. 11.
11. Жогов Н. Insteon: «умный» дом своими руками // Электронные данные; 2014. URL: <http://www.ferra.ru/review/smarthome/SmartHome-Insteon.htm>.
12. Гришанков В. Технология ANT – что это такое в телефоне? // AndroidLime. 2019. URL: <https://androidlime.ru/ant-technology-what-is-it-on-the-phone>.
13. Real-Time Wireless Armory Automation and Security Armory. 2018. URL: <https://www.ru-bee.com/Arms/index.html>.
14. RFID-технология. Все о радиочастотной идентификации // PCT-inventory. 2020. URL: <http://www.rst-invent.ru/about/technology>.
15. Что такое ZigBee, Z-Wave и Insteon? Стандарты домашней автоматизации // . Конференции Интернет Вещей. 2015. URL: <https://iotconf.ru/ru/article/chto-takoe-zigbee-z-wave-i-insteonstandartidomashney-avtomatizatsii>.
16. Технологии и стандарты Wi-Fi. Скорость интернета в Wi-Fi сети // Livebusiness. 2019. URL: <http://wimax.livebusiness.ru/tags/WI-FI/>.
17. Топологии сетей WiFi // Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи. 2019. URL: <http://1234g.ru/wifi/topologii-setej-wifi>.
18. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2020.
19. Липницкий В. А., Сергей А. И., Спичекова Н. В. Научнотехнические задачи, связанные с бинарными матрицами // Цифровая обработка сигналов и теория кодирования: материалы научно-технического семинара. Минск, 2018. С. 43-47.
20. Coleman D.D., Westcott D.A. CWNA Certified Wireless Network Administrator Study Guide: Exam CWNA-107, 5th Edition. Durham: Sybex. 2018.

References

1. Pleshchinskij N.B., Pleshchinskij I.N. *Mnogoprocessornye vychislitel'nye komplekсы. Tekhnologii parallel'nogo programmirovaniya* [Multiprocessor computing systems. Technologies of parallel programming.]. Kazan', 2018.
2. Melekhin V.F. *Vychislitel'nye mashiny, sistemy i seti* [Computers, systems and networks]. Moscow, Academia Publ., 2017.
3. Kolybelnikov A.I. Obzor tekhnologij besprovodnyh setej [Review of technologies of wireless networks]. *Trudy MFTI = Proceedings of MIPT*. 2012, vol. 4, no. 2, pp. 3-29.
4. Zakalyuzhny A.A. Razvitie besprovodnyh setej kak sredstvo kontrolya i upravleniya udalennymi sistemami [Development of wireless networks as a means of control and management of remote systems]. *Molodoj issledovatel' Dona = Young Researcher of Don*, 2018, no.4, pp. 46–51.

5. Skachkov M.K. Что такое Bluetooth i kak on rabotaet? [What is Bluetooth and how does it work?] *Portal o sovremennykh tekhnologiyah mobil'noj i besprovodnoj svyazi [Portal about modern technologies of mobile and wireless communications]*. Available: <http://1234g.ru/blog-of-wireless-technologies/about-bluetooth/chto-takoe-bluetooth-i-kak-on-rabotaet>.

6. Bluetooth (IEEE 802.15.1). *Kontrol'no-izmeritel'nye pribory i sistemy [Test & Measuring Instruments and Systems]*. Available: https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=46384. (in Russ)

7. Borzov D. B., Chernyshev A. A., Sizov A. S., Sokolova Yu. V. Methodology and algorithm for building a computer network based on a wireless protocol. *Trudy MAI = Proceedings of MAI*, 2021, no. 121. Available: <https://trudymai.ru/published.php?ID=162667>.

8. Haraz O. Ultra-Wideband Antennas and Components. Assuit: Assuit University; 2013.

9. Khursheed A.R., Manish K. A Review on ZigBee Based Remote Sensing and Controlling System. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2016, vol. 03, is. 06.

10. Sridevi D., Kumaravel A., Gunasekaran S. A ZigBee Based Security System for Supporting Children with Autism. *IRE Journals*, 2019, vol. 2, is. 11.

11. Zhogov N. Insteon: «umnyj» dom svoimi rukami [Insteon: "smart" home with your own hands]. *Elektronnyye dannye [Electronic data]*. Available: <http://www.ferra.ru/review/smarthome/SmartHome-Insteon.htm>.

12. Grishankov V. Tekhnologiya ANT – chto eto takoe v telefone? [ANT technology - what is it in the phone?] *AndroidLime*. 2019. Available: <https://androidlime.ru/ant-technology-what-is-it-on-the-phone>.

13. Real-Time Wireless Armory Automation and Security. *Armory*. 2018. Available: <https://www.ru-bee.com/Arms/index.html>.

14. RFID-tekhnologiya. Vse o radiochastotnoj identifikacii [RFID technology. All about RFID]. *PCT-inventory*. 2020. Available: <http://www.rst-invent.ru/about/technology>.

15. Что такое ZigBee, Z-Wave i Insteon? Standarty domashnej avtomatizacii [What are ZigBee, Z-Wave and Insteon? Home automation standards]. *Konferencii Internet Veshchej [Internet of Things conferences]*. 2015. Available: <https://iotconf.ru/ru/article/chto-takoe-zigbee-z-wave-i-insteonstandartidomashney-avtomatizatsii>.

16. Tekhnologii i standarty Wi-Fi. Skorost' interneta v Wi-Fi seti [Technologies and standards of Wi-Fi. Internet speed in Wi-Fi network]. *Livebusiness*. 2019. Available: <http://wimax.livebusiness.ru/tags/WI-FI/>.

17. Topologii setej WiFi [Topology of WiFi networks]. *Portal o sovremennyh tekhnologiyah mobil'noj i besprovodnoj svyazi* [Portal about modern technologies of mobile and wireless communications]. 2019. Available: <http://1234g.ru/wifi/topologii-setej-wifi>.

18. Olifer V., Olifer N. *Komp'yuternye seti. Principy, tekhnologii, protokoly* [Computer networks. Principles, technologies, protocols]. St. Petersburg, Piter Publ., 2020.

19. Lipnitskiy V.A., Sergey A.I., Spichekova N.V. [Scientific and technical problems associated with binary matrices]. *Cifrovaya obrabotka signalov i teoriya kodirovaniya: materialy nauchno-tekhnicheskogo seminara* [Digital signal processing and coding theory: materials of a scientific and technical seminar]. Minsk, 2018. С. 43–47 (In Russ).

20. Coleman D.D., Westcott D.A. CWNA Certified Wireless Network Administrator Study Guide: Exam CWNA-107, 5th Edition. Durham: Sybex; 2018.

Информация об авторах / Information about the Authors

Асеев Дмитрий Альбертович, аспирант кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dmaseev@rambler.ru

Dmitriy A. Aseev, Post-Graduate Student of the Computer Science Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dmaseev@rambler.ru

Борзов Дмитрий Борисович, доктор технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: borzovdb@kursknet.ru

Dmitry B. Borzov, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Computer Science Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: borzovdb@kursknet.ru

Титов Виталий Семенович, доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vt.swsu@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0241-582X>

Vitaly S. Titov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Computer Science Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vt.swsu@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0241-582X>

Чернецкая Ирина Евгеньевна, доктор технических наук, доцент, завкафедрой вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: white731@yandex.ru

Irina E. Chernetskaya, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Computer Science Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: white731@yandex.ru