

Применение алгоритма перебора для оптимизации топологии беспроводных сетей

Ай Мин Тайк, С.А. Лупин, Ю.Ф. Вагапов

Аннотация—Рассматривается вопрос параллельной реализации алгоритма полного перебора вариантов для построения оптимальной топологии беспроводной сети. Приведена оценка вычислительной сложности алгоритма и анализ влияния величины дискретности пространства на точность решения задачи топологического проектирования беспроводных сетей. Рассмотрен ряд примеров, иллюстрирующих предлагаемый подход.

Ключевые слова—оптимизация топологии беспроводных сетей; параллельная реализация алгоритма полного перебора вариантов.

I. ВВЕДЕНИЕ

С каждым днем все больше услуг мы получаем в электронном виде, для чего необходим постоянный доступ к сетевым ресурсам. С учетом мобильности только беспроводные технологии в состоянии обеспечить непрерывную доступность всех сервисов. Беспроводную сеть можно определить как сеть, которая обеспечивает передачу данных между абонентскими устройствами, не связанными кабелями.

Беспроводные сети используют радиоволны, что позволяет избежать дорогостоящего процесса прокладки кабелей в зданиях для организации доступа к сетевым приложениям различных мобильных устройств. К основным преимуществам беспроводных сетей по сравнению с проводными можно отнести: мобильность, производительность, простота развертывания и эксплуатации, масштабируемость и низкая стоимость [1].

В зависимости от масштаба выделяют несколько типов беспроводных сетей (рис. 1):

- персональная сеть (WPAN), соединяются устройства, расположенные в пределах досягаемости человека;
- локальная сеть (WLAN), связь двух и более устройств, обеспечивается через точки доступа к более широкому Интернету;
- городская сеть (WMAN), соединяет несколько локальных сетей;
- глобальная сеть (WWAN), большие площади покрытий, такие как соседние города и поселки.

Высокая востребованность беспроводных сетей объясняется как стремительным ростом числа мобильных клиентов, так и простотой организации беспроводного доступа [2]. Технологии беспроводных сетей широко используются во многих областях - мобильная связь, голосовые сообщения, навигационные системы, дистан-

ционное управление, путешествия и развлечения, бизнес, домашние сети, управление организациями.

Беспроводные сети могут обеспечить доступ к услугам в местах, где проводное соединение не может быть создано, например, городские парки и стадионы. При необходимости расширение зоны покрытия сети может быть обеспечено за счет установки дополнительных точек доступа. Для отдельных категорий граждан беспроводные сети формируют совершенно новую профессиональную среду. В первую очередь это относится к врачам и студентам. Врачи получают возможность постоянного мониторинга за состоянием пациентов, а студенты доступ к учебным материалам в любой момент времени.

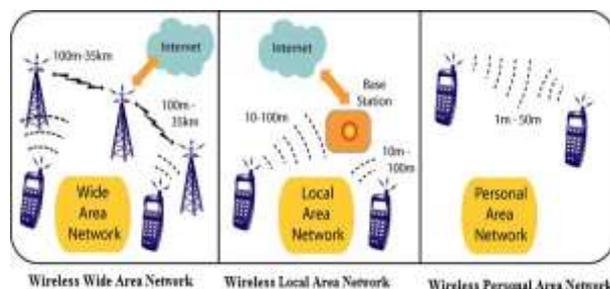


Рис. 1. Типы беспроводных сетей.

Классификация беспроводных сетей может быть основана и на реализуемых в них сервисах. Например, сети GSM лежат в основе цифровой мобильной телефонии, которая широко используется в мире. Предоставление услуг мобильной связи, основанных на технологии GSM, осуществляется в Финляндии еще с 1991 года. С помощью SIM-карт операторы сетей GSM предоставляют пользователям услуги роуминга, если они находятся вне пределов действия своей сети.

II. МОБИЛЬНЫЕ СЕТИ

Беспроводные сети быстро становятся основным типом сетевого доступа для телекоммуникационных услуг. Вычислительная мощность, которой обладают такие мобильные устройства, как смартфоны, вполне достаточна для запуска даже ресурсоемких сетевых приложений [3]. Все современные мобильные устройства оснащены Wi-Fi адаптерами и GPS приемниками. Коммуникации в мобильной системе требуют наличия базовых станций (рис. 2) [4].

Статья получена 25 мая 2016.

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 16-07-01055\165 "Адаптация ресурсоемких алгоритмов к распределенной вычислительной среде".

Ай Мин Тайк, аспирант, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»;

С. А. Лупин, профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», (e-mail: lupin@miec.ru);

Ю. Ф. Вагапов, Reader, Glyndwr University, Wrexham, Wales, United Kingdom; e-mail: (y.vagapov@glyndwr.ac.uk).

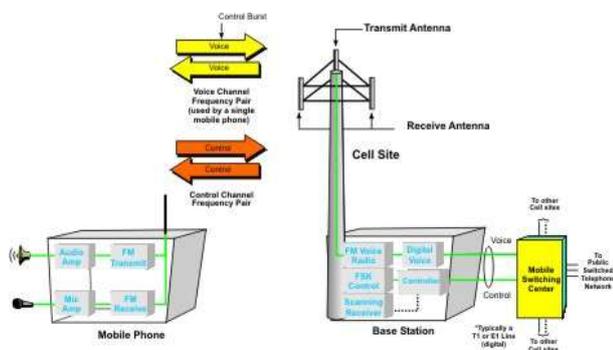


Рис. 2. Передача данных в мобильной сети [4]

БЕСПРОВОДНАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ

Беспроводные сенсорные сети (WSN) могут использовать несколько различных вариантов беспроводных технологий, включая IEEE 802.11 WLANs, Bluetooth и RFID. В настоящее время большинство устройств имеют передатчики низкой мощности, обеспечивающие передачу данных в радиусе от 30 до 200 футов на скорости до 300 Кбит/с. Беспроводные датчики состоят из нескольких основных узлов - сенсоры, модули обработки данных и приемо-передающие устройства.

Область применения сетей беспроводных датчиков очень широкая. Их можно использовать в экологическом и технологическом мониторингах для контроля параметров внешней среды и объектов управления, в системах регулирования движения транспортных средств. Большие перспективы и у беспроводных сенсоров в медицине.

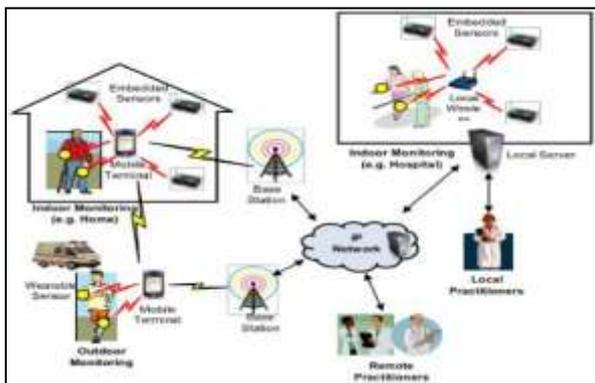


Рис. 3. Медицинская WSN [5]

На рис. 3 показан один из сценариев применения WSNs в медицинской области, где пациенты могут передавать информацию о своем состоянии независимо от местонахождения.

Данные от чувствительных элементов, связанных с телом человека, посылаются в медицинские центры через Интернет. Подобные прикладные области WSNs требуют обеспечения информационной безопасности при передаче данных по открытым каналам связи. Для медицины идентификация и управление доступом к персональным данным одни из главных проблем использования мобильных сетевых топологий [5].

БЕСПРОВОДНАЯ ЯЧЕЙСТАЯ СЕТЬ

Беспроводная ячеистая сеть (WMN) представляет собой сеть связи из узлов, образующих на топологии сет-

ку. Это - также форма беспроводной одноранговой сети. Беспроводные ячеистые сети состоят из клиентов, маршрутизаторов и шлюзов. Клиенты сети это - ноутбуки, сотовые телефоны и другие беспроводные устройства. Маршрутизаторы обеспечивают транспорт данных между клиентами и шлюзами, с помощью которых происходит соединение с интернетом (рис. 4). Беспроводные ячеистые сети используют различные беспроводные технологии, включая стандарты 802.11, 802.15, 802.16. Беспроводная ячеистая сеть позволяет людям, живущим в отдаленных районах, и предприятиям малого бизнеса, работающим в сельских районах, соединять свои сети для получения доступных подключений к интернету.

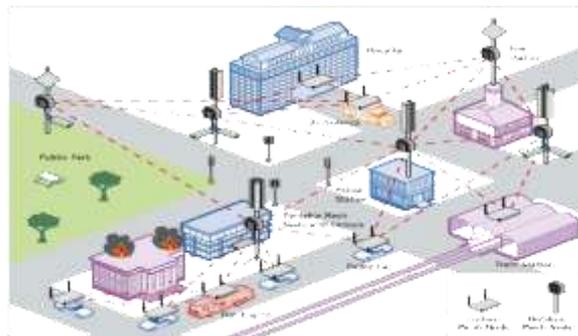


Рис. 4. Беспроводная ячеистая сеть

III. ДИЗАЙН ТОПОЛОГИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Беспроводная сеть должна отвечать различным, зачастую противоречивым, требованиям возможных пользователей. Поэтому создание беспроводных сетей связано с решением целого ряда оптимизационных задач.

Вот лишь некоторые из параметров, которые нужно учитывать при синтезе проектного решения:

- количество пользователей сети и их статус;
- типы мобильных и стационарных устройств, обслуживаемых сетью;
- какие сервисы необходимы пользователям;
- какая скорость соединения необходима для их поддержки;
- необходимость пространственной локализации зоны доступа.

На качество предоставляемых в беспроводной сети услуг оказывают влияние не только характеристики используемого оборудования, но и его пространственное расположение, определяемое на этапе топологического проектирования.

Топология беспроводной сети формируется из трех фрагментов:

Соединение точка - точка (point-to-point) используется для соединения двух сетей, например, двухточечный мост связывает два здания с разными сетями.

Соединение точка - множество точек (point-to-multipoint) используется для соединения трех и более LAN, например, нескольких населенных пунктов.

Одноранговая сеть - независимая локальная сеть, не имеющая защитной инфраструктуры, в которой все станции связаны непосредственно друг с другом.

На этапе топологического проектирования сети решается задача пространственного распределения элементов, формирующих каналы связи. С формальной

точки зрения это оптимизационная задача и для решения используются различные алгоритмы оптимизации. В качестве критериев оптимальности могут использоваться такие параметры, как стоимость оборудования, уровень обеспеченности населения доступом к сетевым службам, равномерность сигнала в зоне покрытия.

IV. СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ СЕТИ

Широкое применение при решении задач оптимизации находят генетические алгоритмы, одна из сильнейших эвристик, основанная на принципе естественного отбора. Генетический алгоритм может быть применен для решения множества оптимизационных задач, которые плохо подходят для стандартных алгоритмов оптимизации, особенно в тех случаях, когда целевая функция не является непрерывной, не дифференцируемая, стохастическая или существенно нелинейная, т.е. значение ее производной в некоторых точках слишком большое. Пример успешного применения модифицированных генетических алгоритмов для проектирования WSN приведен в [6]. Предложенный алгоритм находит оптимальное расположение узлов сети, обеспечивающее минимизацию энергии, потребляемой сенсорами для передачи сообщений. В работе исследованы различные подходы к формированию решения, в том числе и объединение датчиков в кластеры для снижения вычислительной сложности алгоритма.

Существенным недостатком генетических алгоритмов можно считать сложность их адаптации к решаемой задаче.

Значительно большей универсальностью обладают алгоритмы перебора (brute force algorithm), но до последнего времени их широкому использованию мешала их высокая вычислительная сложность. Появление многоядерных процессоров и ускорителей позволяет снизить остроту этой проблемы и расширить область применения алгоритмов перебора.

Для использования алгоритма перебора задача синтеза топологии сети может быть сформулирована следующим образом:

1. Пусть имеется конечное множество элементов сети $\{A_N\}$, для которых определено множество возможных позиций $\{P_K\}$. На практике число позиций много больше числа элементов: $K \gg N$.

2. Необходимо найти распределение элементов $\{A_N\}$ по позициям $\{P_K\}$, обеспечивающее экстремум некоторого функционала F . Решение задачи формируется в виде N -мерного вектора $\{D_N\}$, элементы которого принадлежат $\{P_K\}$:

$$\{D_N\} = (P_1, \dots, P_N), P_i \in \{P_K\}, \forall i = 1, N \quad (1)$$

$$F(D_N) \rightarrow \max(\min) \quad (2)$$

В общем случае задача может быть и многокритериальной.

Такая постановка задачи позволяет реализовать алгоритм перебора как многопоточное приложение. Результаты решения тестовой задачи, подтверждающие эффективность такого подхода представлены ниже. В качестве критериев оптимальности решения используется мини-

мальная стоимость оборудования и уровень доступа населения к услугам сети.

Входные параметры задачи заданы в виде списка координат населенных пунктов и численности населения в них.

V. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Синтез оптимальной топологии беспроводной сети можно рассматривать, как задачу определения такого пространственного местоположения каналообразующих активных элементов, которое обеспечивает экстремум некоторого функционала. Точность нахождения значения функционала зависит от точности задания координат антенн, которая в предлагаемом подходе будет определяться шагом координатной сетки. В рассматриваемых ниже примерах в качестве критериев оптимальности решения используются две оценки - стоимость оборудования и уровень обеспеченности населения доступом к услугам сети. Легко заметить, что эти критерии противоречат друг другу. Поэтому задачу синтеза топологии можно отнести к задачам многокритериальной оптимизации, для линеаризации которой может быть использован метод свертки или метод главного критерия. В рассматриваемом примере в качестве главного критерия используется уровень доступа к услугам сети, а стоимость решения выступает вторичным критерием. Отметим, что в проводимом исследовании основной акцент делается на вычислительные аспекты решаемой оптимизационной задачи, а не на формирование критериальных функций. Алгоритм перебора инвариантен по отношению к ним, поскольку использование фиксированного шага приводит к формированию на плоскости ограниченного числа позиций, что переводит задачу в класс задач дискретной оптимизации [7,8].

Алгоритм перебора рассматривает все варианты решения и выбирает из них то, которое соответствует экстремуму критериальной функции. Именно это и обеспечивает инвариантность алгоритма по отношению к критериальным функциям. В рассматриваемой задаче вычислительная сложность алгоритма будет определяться как $O(K^N)$. Вычисление значения функционала производится F в каждой точке (K^N) -мерного пространства решений, что и обеспечивает нахождение оптимума.

Рассмотрим пример, доказывающий возможность использования алгоритма перебора на практике.

В качестве каналообразующего оборудования используется два типа антенн. Одна направленная (DA, тип А) с дальностью связи $R_{\max} = 8$ км и стоимостью 300\$, а другая ненаправленная (ODA, тип В) с дальностью связи $R_{\max} = 4$ км и стоимостью 100\$ (параметры условные).

Заданы координаты центров населенных пунктов и количество проживающего в них населения (таблица 1). Искомое решение может содержать до трех антенн – $N = 3$. Число позиций, которые могут занимать антенны, задается числом шагов M_x и M_y , на которые разбиваются пространство по осям X и Y . Для простоты эти числа равны: $M_x = M_y = M$. При этом число позиций антенны будет равно $K = M^2$.

Таблица 1. Расположение населенных пунктов

Город	X	Y	Население
1	4,2	17,7	500
2	4,5	17,8	100
3	4,9	17,5	100
4	3,8	4,5	500
5	4,1	4,7	100
6	3,5	4,6	100
7	16,5	3,8	500
8	16,7	3,6	100
9	16,3	4,2	100

На рисунке 5 представлено графическое отображение рассматриваемой задачи.

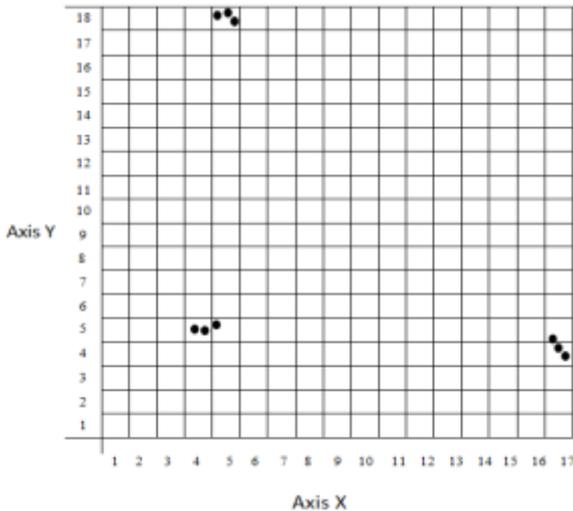


Рис. 5. Расположение населенных пунктов

Определим критерии оптимальности пространственного расположения антенн. При этом будем учитывать следующие параметры:

1. Мощность сигнала P , принимаемого приемником, обратно пропорциональна квадрату расстояния (R) между ним и антенной:

$$P_i(R) = P_i^0 / R^2 \quad (3)$$

2. Передача информации между узлами сети возможна при условии:

$$R \leq R_{max} \quad (4)$$

3. Задано множество городов $\{T_L\}$, характеризующихся координатами местоположения (X, Y) и количеством жителей (C):

$$T_i = (X_i, Y_i, C_i) \quad (5)$$

В рассматриваемом примере в качестве главного критерия оптимальности возможно использование одного из следующих выражений:

1. Максимизация числа жителей, обеспеченных доступом к сети:

$$F_1 = \sum_{i=1}^L D(T_i) \cdot C_i \rightarrow \max \quad (6)$$

Где $D(T_i) = 1$ если расстояние между городом T_i и любой из антенн меньше R_{max} .

2. Максимизация числа жителей, обеспеченных высоким уровнем сигнала антенны:

$$F_2 = \sum_{i=1}^L P(T_i) \cdot C_i \rightarrow \max \quad (7)$$

При использовании нескольких антенн, выбирается максимальное значение мощности сигнала.

3. Максимизация минимального уровня сигнала сети, принимаемого жителями:

$$F_3 = \min(P(T_i)), \forall i = 1, L \rightarrow \max \quad (8)$$

Оценку варианта размещения антенн формирует город, имеющий минимальное значение уровня сигнала F_3 .

4. Минимизация стоимости каналаобразующего оборудования:

$$F_4 = \sum_{i=1}^N \text{cost}(A_i) \rightarrow \min \quad (9)$$

В этом случае выбирается вариант, имеющий минимальную стоимость оборудования. В рассматриваемых примерах критерий F_4 является вспомогательным.

Таблица 2. Результаты работы приложения (последовательная реализация)

N	M	F ₁			F ₂		
		ODA	DA	Time (sec)	ODA	DA	Time (sec)
1	10	700	1400	0.006	491.5	736.7	0.007
	20			0.007	667.7	738.6	0.008
	30			0.008	685.4	739.1	0.011
	40			0.011	682.1	738.7	0.013
	50			0.012	676.3	738.9	0.014
	60			0.014	683.2	739.1	0.016
	70			0.017	685.4	738.9	0.019
	80			0.019	684.7	739.0	0.022
	90			0.022	685.4	739.2	0.024
	100			0.023	685.1	739.0	0.028
2	10	1300	2000	0.03	529.3	758.9	0.03
	20	1400	2100	0.36	712.9	867.6	0.393
	30			1.79	733.3	896.5	1.88
	40			5.62	731.6	899.2	5.86
	50			13.67	726.7	897.5	14.20
	60			28.38	734.2	906.9	29.55
	70			52.47	736.9	911.0	54.87
	80			89.69	736.6	911.8	93.14
	90			143.24	737.7	913.7	149.48
	100			218.28	737.6	914.3	228.64

Вычислительная сложность подсчета всех этих критериев близка.

Финансовые затраты на реализацию варианта решения являются вторичным критерием и минимизируются в случае равенства главного критерия.

В таблице 2 представлены результаты решения описанного выше примера с помощью последовательного приложения.

Поскольку вычислительная сложность задачи определяется как $O(M^{2N})$, для небольшого числа антенн ее решение возможно и с помощью последовательного приложения, что и демонстрируют представленные результаты. Для двух антенн алгоритм позволяет получить лучшее решение по критерию F_1 , максимально возможное значение которого, равно суммарному числу жителей – 2100.

Для критерия F_2 можно также оценить точность получаемых решений. В отличие от F_1 этот критерий учитывает уровень принимаемого в городе сигнала, что дает возможность для сети с одной антенной использовать аналогию с задачей определения центров масс пространственно распределенных объектов. Тогда в качестве ха-

рактические характеристики массы объектов выступает число жителей населенных пунктов. Для расположения населенных пунктов соответствующего табл. 1, координаты оптимального положения антенны будут равны: $X=8,2$ и $Y=8,7$. Такой расчет будет справедлив в том случае, если в этом положении антенна (ODA) может обеспечить видимость всех поселков. Используемые антенны такими параметрами не обладают, поэтому такой подход применялся только в процессе отладки приложения. При изменении параметров антенны ($R_{max} = 15$ км) алгоритм находит решение, совпадающее с расчетом.

Конечно, на практике размерность задачи топологического проектирования сети выше, поэтому мы проанализировали возможность реализации алгоритма и на параллельной платформе. В качестве аппаратной платформы для реализации многопоточного параллельного приложения был использован ускоритель *Intel Xeon Phi*.

Intel Xeon Phi является многоядерным сопроцессором с общей памятью. Модель 7120P, которая используется в экспериментах, содержит 61 ядро [9]. Можно использовать две модели взаимодействия с сопроцессором:

- offload: приложение выполняется на хосте и части кода выгружаются на сопроцессор;
- native: код выполняется изначально на сопроцессоре, весь код и зависимости должны быть загружены на устройство. Этот метод использован в экспериментах.

Каждое ядро имеет собственные L1 и L2 кэши, работает на частоте 1.2 GHz, и может поддерживать до 4 потоков с циклическим переключением. Весь сопроцессор может поддерживать 244 аппаратных параллельных потока, достигаемых на вычислениях с двойной точностью производительности 1.2 TFLOPS. На каждом ядре L2 кэш имеет размер 512 KB, а L1 кэш имеет размер 32 KB для команд и данных. L2 кэш обеспечивает режим когерентности и позволяет передавать данные между ядрами через внутреннюю кольцевую сеть. Максимальная полоса пропускания шины памяти составляет 352 GB/s.

Локализация данных и использование векторных операций определяют эффективность использования сопроцессора. Технология Intel Advanced Vector Extensions (AVX) обеспечивает выполнение 16 операций одинарной или 8 операций двойной точности за такт.

Основное внимание при этом уделялось времени решения задачи и масштабируемости приложения (табл.3). Многопоточное приложение разрабатывалось и отлаживалось в среде *Intel Parallel Studio 2015* на языке C++ с использованием библиотеки *OpenMP*. Распределение нагрузки между ядрами ускорителя осуществлялось с помощью функции *omp parallel for*.

В таблице 3 и на рисунке 6 представлены результаты проведенных исследований. При низкой вычислительной нагрузке ($M=10$) параллельная реализация алгоритма неэффективна, поскольку накладные затраты на создание множества потоков превышают выигрыш по времени вычислений. Однако уже при $M \geq 20$ параллельная реализация алгоритма обладает практически линейной масштабируемостью.

Это делает возможным ее практическое использование для оптимизации топологии беспроводных сетей.

Таблица 3 Результаты работы приложения на Xeon Phi ($N=3$, критерий F_1)

M	Cores	Time (sec)	M	Cores	Time (sec)
10	5	0.2327	30	5	162.71
	10	0.1332		10	78.22
	15	0.1085		15	52.15
	20	0.0898		20	41.01
	25	0.0842		25	35.04
	30	0.0956		30	26.12
	35	0.0865		35	25.09
	40	0.0922		40	22.32
	45	0.0921		45	19.49
	50	0.0834		50	17.35
	55	0.0909		55	16.77
60	0.0907	60	14.53		
20	5	13.91	40	5	972.4
	10	6.87		10	449.13
	15	4.70		15	311.16
	20	3.46		20	231.11
	25	2.91		25	200.42
	30	2.49		30	154.99
	35	2.19		35	138.82
	40	1.91		40	122.23
	45	1.65		45	106.27
	50	1.62		50	101.41
	55	1.50		55	86.56
60	1.34	60	85.99		
50	5	3381.03			
	10	1714.13			
	15	1161.62			
	20	915.38			
	25	695.94			
	30	575.67			
	35	508.83			
	40	433.48			
	45	384.66			
	50	351.03			
	55	318.32			
60	305.77				

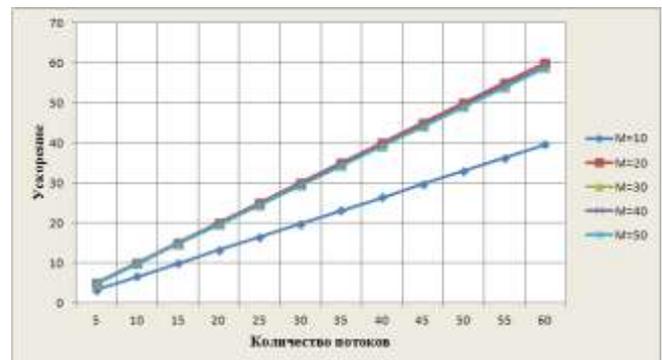


Рис. 6. Масштабируемость приложения

При необходимости алгоритм может быть реализован в итерационной форме, тогда на каждой итерации шаг поиска будет уменьшаться. Критерием окончания вычислений будет выступать достигнутая точность решения.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные примеры подтверждают возможность применения алгоритма перебора для определения местоположения каналаобразующих элементов беспроводных сетей. Алгоритм инвариантен по отношению к кри-

териальным функциям, что позволяет изменять цели оптимизации без существенной перестройки приложения.

Использование алгоритма перебора вариантов для решения оптимизационных задач теоретически позволяет находить решение во всех случаях, когда оно существует. Существенным недостатком метода является его высокая вычислительная сложность. При небольших значениях параметров M и N задачу можно решать, используя мощные рабочие станции, но при больших значениях необходимо переходить к многопоточной реализации алгоритма.

В качестве платформы для параллельной реализации алгоритма могут быть использованы ускорители Intel Xeon Phi.

Кроме того, снизить вычислительную сложность задачи топологического проектирования можно за счет фрагментации топологии. В этом случае решение будет получено, как совокупность множества локально-оптимальных вариантов топологий. Эффективность такого подхода будет исследована в ходе дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Navpreet Kaur, Sangeeta Monga. Comparisons of Wired and Wireless Networks // International Journal of Advanced Engineering Technology, DAV University, Jalandhar, India, April-June, 2014

[2] Ibrahim Al Shourbaji. An Overview of Wireless Local Area Networks // Computer Networks Department, Jazan University, Jazan 82822-6649, Saudi Arabia, March, 2013

[3] Eduard Heindl. Mobile Network, E-Business Technology, Shirin Faghihi No.232493

[4] Lawrence Harte, David Bowler. Introduction to Mobile Telephone Systems, 1G, 2G, 2.5G, and 3G Technologies and Services. Book Depository

[5] Gustavo S. Quirino, Admilson R.L. Ribeiro, Edward David Moreno. Asymmetric Encryption in Wireless Sensor Networks // Universidade Federal de Sergipe, Brasil

[6] Amol P Bhondekar, Vig Renu, Madanlal Singla, C. Ghanshyam, Pawan Kapur. Genetic Algorithm Based Node Placement Methodology For Wireless Sensor Networks // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009, Vol I, Hong Kong

[7] S. Lupin, Aye Min Thike, Hein Tun, O. Kostrova. Topology Optimisation of Wireless Internet Infrastructure // Proceedings of the NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, St.Petersburg, Russia, 2016

[8] Ю. Г. Евтушенко, М. А. Посыпкин. Метод неравномерных покрытий для решения задач многокритериальной оптимизации с гарантированной точностью. // ЖВМиМФ, 2013, том 53 (2), С. 209-224

[9] Optimization and performance tuning for Intel Xeon Phi™ coprocessors, part 2: Understanding and using hardware events — Intel developer zone, 2012, [Accessed: 2016-07-22]. [Online]. Available:<https://software.intel.com/en-us/articles/optimization-and-performancetuning-for-intel-xeon-phi-coprocessors-part-2-understanding>

The Implementation of Brute Force Algorithm for Topology Optimization of Wireless Networks

Aye Min Thike, S.A. Lupin, Y.F. Vagapov

Abstract—This paper discusses the optimization approach, based on the brute force algorithm, in the context of wireless networks' topology optimization. We estimated the computational complexity of the algorithm and analyzed the influence of the discreteness of the space on the accuracy of the topological design of wireless networking. Some examples are given to demonstrate the efficiency of approach.

Keywords—topology optimization of wireless networks; parallel realization of brute force algorithm.