

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ СВЯЗИ БЫСТРОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ АНАЛИЗА КОНФИГУРАЦИИ СЕТИ

Блинова О.В.¹, Васьковский С.В.², Рыков Я.В.³
(ФГБУН Институт проблем управления им. В.А.
Трапезникова РАН, Москва)

Предложен новый подход к проектированию беспроводных сетей связи быстрого развертывания при невозможности полного покрытия территории сетью в данных условиях, суть которого заключается в определении оптимальных мест расположения заданных (заранее подготовленных) комплектов сетевого оборудования. При выполнении поиска учитываются заданные маршруты движения абонентов и их скорость. В качестве целевой функции используется суммарный по всем абонентам уровень доступа к сети в зависимости от времени. Рассмотрены также основные существующие методы проектирования беспроводных сетей, возможности их применения и недостатки при использовании в определенном классе задач (быстрое развертывание, неполное покрытие). Для практического применения рассматриваемого подхода создан программный продукт, реализующий разработанную процедуру поиска с применением имитационного моделирования и генетических алгоритмов. Рассмотрен алгоритм работы программного продукта и приведены примеры результатов моделирования. Проведен анализ достоинств и недостатков предлагаемого решения. Задача размещения сетевых устройств в заданных условиях решена впервые, созданный программный продукт не имеет аналогов. Полученные результаты применимы для быстрого проектирования беспроводных сетей связи в областях, где нет покрытия мобильной сетью связи, например, для обеспечения связью спасательных работ или туристических маршрутов в горной местности.

Ключевые слова: беспроводные сети связи, сети связи с неполным покрытием, обеспечение связью спасательных работ, сети связи быстрого развертывания.

1. Введение

¹ Блинова Ольга Викторовна, н.с. (blinova_olga_v@mail.ru)

² Васьковский Сергей Владимирович, к.т.н., с.н.с. (v63v@yandex.ru)

³ Рыков Ярослав Владимирович, вед. инж. по АСУП (yarykov@gmail.com)

Сети связи быстрого развертывания применяются для временного обеспечения связью (мобильной или доступом к сети internet) пользователей, передвигающихся по территории с отсутствующим или неполным покрытием сетью связи. Необходимость быстрого развертывания сети ограничивает возможность проведения полноценного проектирования, которое требует времени для сбора и анализа данных и привлечения соответствующих ресурсов. Поэтому весьма актуально создание универсальных методов и средств, позволяющих максимально упростить задачу проектирования сети связи и сократить время решения этой задачи. Данная статья является продолжением и развитием результатов, приведенных в [2,3,4].

При необходимости создания сети для подключения подвижных абонентов, а тем более для сетей быстрого развертывания, при выборе возможных технологий реализации связи выбор однозначно осуществляется среди беспроводных систем. Чаще всего в той местности, где есть проблемы с обеспечением связи, они возникают в связи с обеспечением необходимых условий для функционирования оборудования, в том числе с обеспечением электропитанием. Погодные условия могут дополнительно усложнять установку и настройку оборудования. Оптимальным решением может быть использование готовых программно-аппаратных комплексов, включающих независимые источники электропитания и сетевое оборудование, специально разрабатываемых для подобных ситуаций. Примерами таких комплексов могут быть системы связи и безопасности особого назначения МИКРАН [10], мобильные станции спутниковой связи [6] Мобильный комплекс диспетчеризации радиосвязи и сопряжения с другими каналами коммутации МИРАН® «Кейс-Ч» [19] и другие подобные решения [18, 15, 1].

Для оптимального использования имеющегося в наличии оборудования и принятии решения о целесообразности привлечения дополнительных технических средств необходимо иметь представление о характеристиках и условиях работоспособности сети в целом с учетом расположения и

движения пользовательских устройств, а не только о характеристиках сетевого оборудования. В некоторых практических задачах, например, при организации связи для участников операций по ликвидации последствий чрезвычайных происшествий, нет возможности заранее провести какие-либо расчеты, замеры, оценки. Характеристики сети должны быть получены быстро, но при расчете необходимо учитывать особенности конкретной ситуации.

2. Методы проектирования беспроводных сетей связи

Рассмотрим существующие инструментальные средства для расчета характеристик беспроводных сетей при их проектировании.

Крупный сегмент задач по проектированию беспроводных сетей – построение корпоративных офисных сетей. Многие корпоративные сети строятся на основе технологии wi-fi. Существуют программные продукты для упрощения и ускорения проектирования таких сетей. Обзор таких программных решений есть в [13, 12]. Большинство подобных задач можно сформулировать как задачи размещения точек доступа с известными характеристиками или выбор и размещение этих точек на некоторой территории так, чтобы обеспечить требуемое качество связи. Примерами подобных моделей являются [17, 16, 14]. Обычно пользовательские задачи требуют бесперебойной и высокоскоростной связи и требования к сети формулируются как полное покрытие заданной области зонами доступа, распределение нагрузки между ними, обеспечение максимальной помехозащищенности, учет материалов стен и перекрытий и особенностей распространения сигнала. Как правило, такие сети проектируются стационарно и рассчитаны на несколько лет работы. Основное внимание уделяется созданию сетей внутри помещений и обеспечению необходимого качества связи, а плотность распределения пользователей представляется достаточно высокой. При этом нет возможности учитывать особенности рельефа местности, траекторий движения отдельных абонентов. Сети с неполным

покрытием территории зонами доступа в большинстве случаев будут учитываться как недопустимые. Таким образом, специфические особенности сетей быстрого развертывания в программных продуктах рассматриваемого сегмента учесть практически невозможно, а большая часть их вычислительных мощностей остается невостребованной. Очевидно, получить практически значимые оценки характеристик работоспособности для сетей быстрого развертывания при использовании этих программных продуктов практически невозможно.

Существует ряд задач, в которых полное покрытие рассматриваемой территории зонами доступа не представляется возможным в связи с наличием каких-либо ограничений, чаще всего финансовых. Например, это может быть покрытие точками доступа к мобильному интернету или к сети wi-fi автомобильных или железнодорожных трасс. В таких случаях следует рассматривать линейную траекторию, вдоль которой необходимо обеспечить передачу данных. Обзор работ по этой теме приведен в статье [4], примерами работ с обеспечением связи линейной траектории являются [7, 9, 11, 5].

Подобные задачи возникают при обеспечении связью речного или морского транспорта [8].

При решении задач неполного покрытия территории сетью снижается значимость взаимных помех между сетевыми устройствами, так как они удалены друг от друга. Важным становится выделение критериев размещения точек доступа. Приоритетным может быть размещение в местах наибольшего скопления абонентов (привязка к трафику) или обеспечение связи в каких-либо ключевых точках. Решение таких задач требует большего разнообразия методов и моделей решения, так как постановка задачи и выбор целевых показателей сильно зависят от специфики задачи. Разработка таких моделей так же требует значительного вложения средств и привлечения высококвалифицированных специалистов, проведения исследований и измерений на местности, тестирования оборудования и т.д. Опыт решения таких задач может быть использован для моделирования сетей быстрого развертывания.

3. Специфика и формулировка задачи

Перечисленные задачи обладают рядом общих черт (применение беспроводных технологий, подвижность абонентов, проблемы размещения точек доступа, привязка к траектории движения), но не идентичны, поэтому применяемые решения требуют пересмотра и адаптации с учетом специфики задачи.

В связи с высокой стоимостью разработок моделей беспроводных сетей, в особенности сетей с неполным покрытием территории зонами доступа, модели для расчета характеристик проектируемой сети обычно строятся для крупных и долгосрочных проектов, в которых есть возможность выделить необходимые финансовые и человеческие ресурсы. В условиях необходимости быстрого реагирования на уникальную чрезвычайную ситуацию нет возможности изучить существующие модели, выбрать наиболее близкую по условиям и адаптировать опыт уже решенных задач под существующие условия. Необходим универсальный инструмент, позволяющий быстро строить модель и оценивать работоспособность сети быстрого развертывания с учетом специфических особенностей, присущей каждой конкретной задаче.

Перечислим основные особенности задач по проектированию сетей быстрого развертывания, отличающие их от других задач по проектированию беспроводных сетей:

- сложность условий функционирования и высокие требования к надежности оборудования;
- относительно небольшое число пользователей и невысокая их плотность;
- трудности обеспечения связи между устройствами – ограниченная возможность использования проводной связи, неустойчивое покрытие сети, возникновение большого числа помех, большие расстояния между устройствами;
- сложность формализации задачи;
- большое разнообразие и влияние индивидуальных условий;
- различные требования и критерии качества.

В связи с перечисленными особенностями решение таких задач является сложной задачей и не может существовать единственного универсального решения. К сожалению, на практике часто сводится к одному из двух вариантов: полный отказ от использования сети в связи с невозможностью оценить эффективности и работоспособность возможных вариантов либо ориентация на субъективный опыт одного или нескольких экспертов, и установка сетевых устройств по предварительной оценке «успешности» (работоспособности и возможности выполнять поставленные задачи) и целесообразности рассматриваемого варианта.

Отказ от использования сети приводит к целому ряду негативных моментов, так как альтернативой чаще всего является использование радиосвязи, что делает невозможным передачу изображений и связь с удаленными участниками. В свою очередь, создание сети на основе экспертных оценок может оказаться неудачным в связи с необходимостью учитывать большое количество факторов и недостаточной точностью получаемых таким образом решений, в результате чего возникает высокий риск критических ошибок при моделировании, потери времени на развертывание и попытки настроить и использовать.

Одним из вариантов решения проблемы проектирования сетей быстрого развертывания является разработка программного продукта, позволяющего частично автоматизировать процесс решения задачи о размещении на территории точек доступа к сети с известными характеристиками, который выступил бы помощью экспертам при составлении модели сети и позволял бы учитывать большое количество факторов.

В данной статье изложены результаты построения имитационной модели, позволяющей рассматривать конкретную проблему размещения точек доступа с учетом ряда важнейших факторов удачности их размещения. Также представлен алгоритм для оценки текущего способа размещения оборудования и поиска более успешного способа

При формулировке задачи и построении модели за основу была взята ситуация перемещения в горной местности

(местности со сложным рельефом) туристических групп по маршрутам или спасателей при обнаружении чрезвычайного происшествия. Такой выбор был сделан в связи с реально существующими задачами обеспечения связи при проведении различных мероприятий в ненаселенных горных участках. Горные вершины как препятствия для размещения устройств и техники могут быть легко заменены на другие препятствия, привязанные к конкретному району, рельефу, условиям. Например, это может быть заболоченная местность.

Задача формулируется следующим образом: существует некоторая территория, по которой проходят маршруты движения абонентов. Рельеф местности и маршруты абонентов задаются экспертами как исходные данные. Рельеф известен на основе карт и описаний, маршруты задаются исходя или из проходимости территории, или из специфики решения практической задачи. Примем также, что существует несколько комплектов сетевого оборудования быстрого развертывания, позволяющих за короткое время оборудовать точку доступа к информационной сети с некоторым радиусом (примеры подобных комплексов приведены выше). Необходимо:

1. рассмотреть возможные варианты размещения сетевых устройств относительно местности и траекторий движения

2. выбрать адекватные критерии работоспособности и их необходимых уровень, при достижении которого сеть будет выполнять поставленные задачи.

3. с помощью выбранных критериев оценить существующие варианты размещения, принять решение об их использовании или выбраковке, выбрать подходящий (лучший или любой, обеспечивающий заданный уровень) из множества рассматриваемых вариантов

4. предусмотреть возможность привлечения одного или нескольких дополнительных устройств, и изучить их влияние на рассчитанные характеристики.

5. предусмотреть возможность учета добавления специфических характеристик сети, присущих конкретной задаче.

Разрабатываемая методика должна обеспечивать решение поставленных задач в максимально короткое время без

привлечения специалистов по моделированию сетей связи, обладать понятным интерфейсом и не требовать специального обучения для работы с системой. Ниже рассмотрены особенности реализации программного продукта, созданного в соответствии с поставленными целями и задачами.

Возможными вариантами размещения оборудования по умолчанию принято все множество точек на местности, за исключением введенных ограничений. При этом в систему добавлено только одно ограничение на размещение оборудования выше порогового значения (сделано предположение, что это вызвано невозможностью техники добраться до горных вершин и пиков). Соответственно задача выбора подходящего варианта размещения может формулироваться как задача оптимизации – поиска такого решения, в котором значение целевой функции будет достигать максимума.

Выбор целевой функции в данных условиях является нетривиальной задачей. В беспроводных сетях с подвижными абонентами сложно оценить такие традиционные метрики как надежность, вероятность доступа к сети, скорость передачи данных, пропускная способность сети, время отклика на запрос или передачи сообщения и т.д., так как эти показатели изменяются при передвижении абонента относительно точки доступа и, особенно, при переключении абонентов между точками. В выбранной постановке задачи абоненты рассматриваются как точки, перемещающиеся с известной скоростью по заданным маршрутам. Возможность для абонента получить доступ к сети формулируется как существование не менее одной точки доступа, радиус действия которой больше, чем расстояние между точкой и абонентом. Вероятность доступа абонента к точке доступа задана следующим образом:

$$(1) \quad d = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2}$$

$$(2) \quad p = e^{-d/2R^2},$$

где x, y – координаты абонента; x^*, y^* – координаты точки доступа; R – радиус действия точки доступа.

В качестве целевой функции был выбран совокупный показатель, на значение которого влияет как надежность сети,

так и вероятность доступа абонента к ней. Полученные значения вероятности суммируются для каждого из абонентов и для каждой точки доступа. То есть если один абонент имеет возможность подключиться сразу к трем точкам доступа, то все три значения будут учтены при расчете:

$$(3) \quad w = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k p_{ij}$$

где n – это количество точек доступа, k – количество абонентов, p_{ij} – вероятность доступа j -того абонента к i -й точке доступа.

Рассчитанная целевая функция является совокупным значением в целом по всем абонентам и точкам доступа, но может иметь смысл так же рассмотрение отдельных показателей по абонентам, за определенные периоды времени и пр., например при выборе из двух похожих по характеристикам конфигураций может быть выбрана та, где более высокий уровень доступа обеспечивается в ключевых точках или определенным абонентам

При необходимости в систему можно добавить ряд дополнительных критериев оценки вариантов размещения, целесообразно учитывать их в виде коэффициентов, влияющих на значение целевой функции. Целевая функция так же может быть изменена полностью, если это обусловлено особенностями задачи.

4. Программная реализация

Для решения задачи был создан программный продукт, решающий сформулированную задачу с использованием генетических алгоритмов и имитационного моделирования. При выборе этого метода были учтены следующие факторы:

1. Нет необходимости находить абсолютный максимум целевой функции. Для практических целей вполне достаточно решения, близкого к оптимальному. Использование генетических алгоритмов позволяет плавно приближаться к максимуму, что позволяет остановиться в поиске в любой

момент, приняв полученное промежуточное решение за конечный результат.

2. Для выбора новых точек размещения оборудования одновременно генетические алгоритмы используют как вероятностные, так и детерминированные правила, что дает значительно больший эффект, чем каждый из этих методов в отдельности.

3. Генетические алгоритмы отличаются низкой вычислительной мощностью и при грамотной формулировке целевой функций и базовых операций позволяют добиться хорошего решения за короткое время.

4. Специфические особенности поставленной задачи хорошо формулируются в терминологии генетических алгоритмов.

Для ввода исходных данных и управляющих параметров сформирован конфигурационный файл. В нем маршруты задаются в виде отрезков, заданных двумя точками (ломанные линии можно задавать несколькими отрезками). Там же указывается число и радиус действия доступных сетевых устройств, а также вероятности кроссинговера, мутации. В рассматриваемом варианте не выполнена привязка рельефа местности к реальным географическим картам.

Для решения поставленных задач и исследования местности на пригодность размещения сетевого оборудования был создан алгоритм создания случайного горного рельефа. Он генерируется при помощи тригонометрических функций, создающих колебания по оси x и y . Для получения правдоподобного рельефа используются три функции, создающие выпуклости различного масштаба, и их сумма определяет генерируемый рельеф. Для наглядности высотность местности обозначена цветовым градиентом от зеленого (низины) к темно-красному цвету (горы) (рис1). При запуске программы генерируется 8 случайных вариантов размещения оборудования. Четыре лучших из них по значению целевой функции выведены на экран.

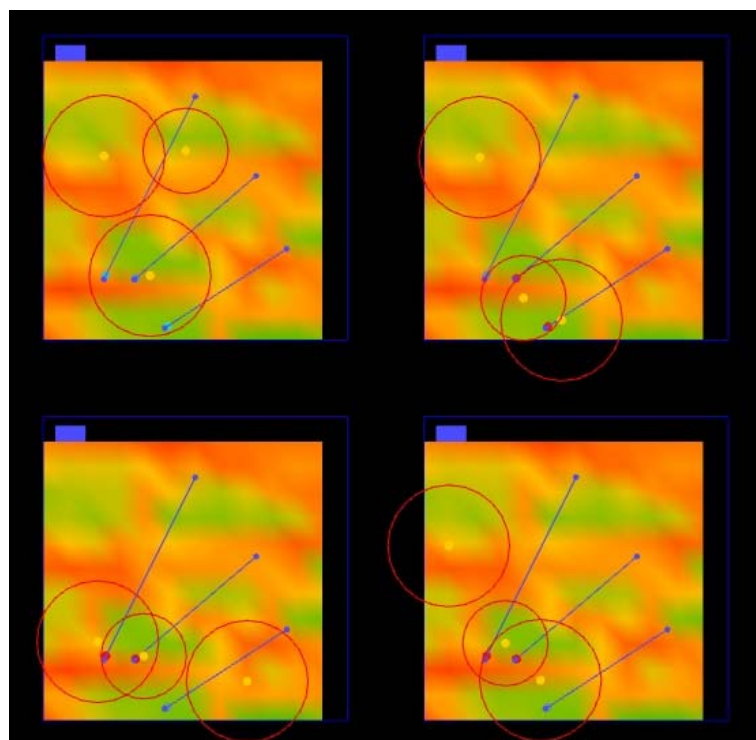


Рис. 1. Начальный вариант размещения оборудования, визуализация исходных данных.

Для наглядности и удобства изучения предлагаемых конфигураций реализовано трехмерное представление с возможностью поворачивать изображение и изменять угол наклона, так же возможно увеличить одну выбранную конфигурацию (рис 2).

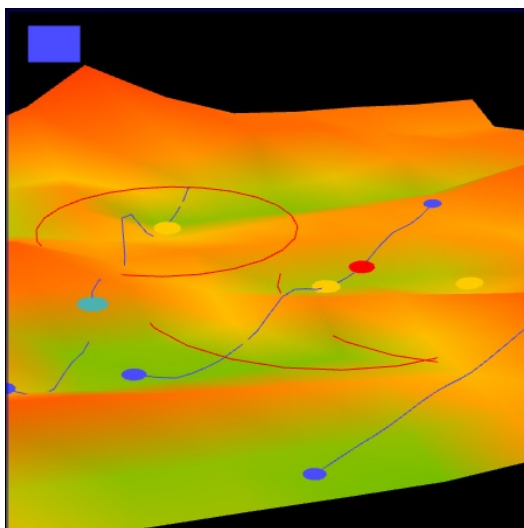


Рис.2 Сгенерированная конфигурация в 3-х мерном представлении.

Для использования генетических алгоритмов необходимо определить физический смысл базовых понятий: популяции, особи, хромосомы, а также смысл процедур кроссовера и мутации. Популяцией является множество сгенерированных вариантов размещения сетевого оборудования, особью – один такой вариант, хромосомой – множество координат размещения сетевых устройств. Для процедуры кроссовера выбираются две удачные конфигурации и на основе их координат размещения точек доступа выбираются новые координаты, средние между координатами родителей. Для процедуры мутации одна из координат одной из точек доступа меняется на случайную величину (точка доступа смещается на случайное расстояние в случайную сторону). Возникновение мутаций позволяет получить большее разнообразие конфигураций. Для формирования нового поколения рассматриваются все конфигурации (и родительские и дочерние), и лучшие из них по значению целевой функции попадают в следующую популяцию, размер популяции остается неизменным.

В связи с непрерывным движением абонентов значения целевой функции не могут непрерывно увеличиваться, и их изменения связаны с точкой нахождения абонента на маршруте. Это может привести к ошибкам при оценке качества той или иной конфигурации, поэтому для дополнительной иллюстративности в систему добавлен показатель w_0 , который учитывает как текущее значение целевой функции, так и предыдущие значения (до 80-го) с геометрически убывающими весами.

После запуска программы и генерации начальных вариантов размещения оборудования для каждой из точек доступа определяется вектор возрастания целевой функции (приближения к абонентам). Точки доступа плавно перемещаются по найденному вектору. Таким образом каждая из конфигураций стремится к возможному максимуму. Подчеркнем – при выбранной целевой функции размещение всех сетевых устройств в одном и том же месте даст хорошие результирующие значения, хотя очевидно, что для практических целей выгоднее не накладывать зоны доступа друг на друга, а распределить их между маршрутами. Для предотвращения такого эффекта введена «отталкивающая» функция, которая действует для близлежащих точек доступа на увеличение расстояния между ними и значение («сила отталкивания») которой возрастает при их приближении друг к другу.

Полученный в результате описанных выше процедур алгоритм поиска оптимального расположения точек доступа представлен на рис.3.

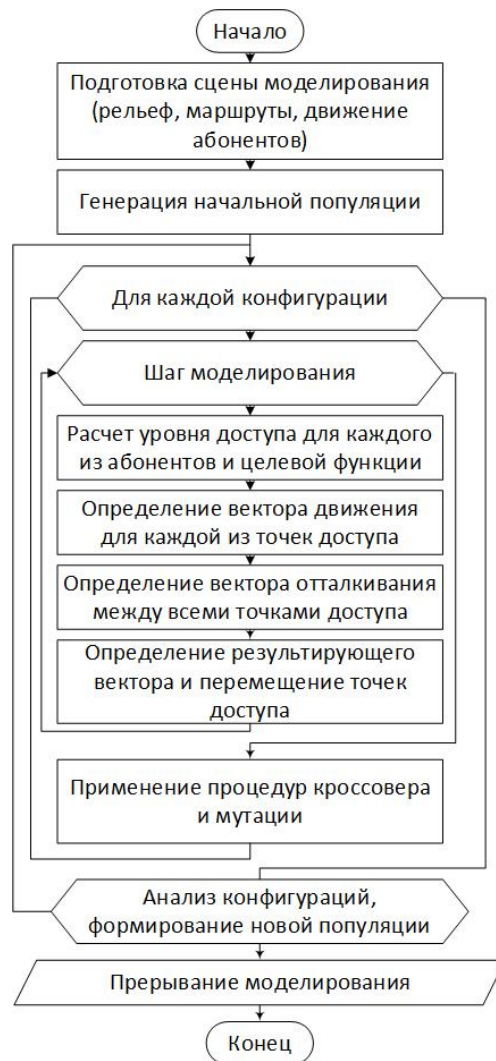


Рис.3. Блок-схема алгоритма

Для оценки и анализа полученных конфигураций результаты моделирования заносятся в таблицы данных. Сводная таблица содержит номер записи, время в секундах от начала моделирования и сведения о четырех лучших

конфигурациях – их id и значение целевых функций. Так же в системе есть возможность отображения последней операции, связанной с конфигурацией (начальная или возникшая в результате мутации или кроссинговера). Сортировка конфигураций осуществляется раз в 5 секунд, поэтому иногда у первой конфигурации не максимальное значение целевой функции. Пример результирующей таблицы для приведенной выше конфигурации приведен в табл. 1. Значительная часть промежуточных записей скрыта для сокращения объема таблицы. Значение функции w0 не рассчитывается до тех пор, пока не наберется объем исторических записей – это можно увидеть по первым строкам таблицы.

Табл. 1. Сводная таблица по лучшим конфигурациям

		1st place			2nd place			3rd place			4th place		
n	Time	id	w	w0	id	w	w0	id	w	w0	id	w	w0
1	0,00	0	0,17	nan	1	0,12	nan	2	0,09	nan	3	0,20	nan
2	1,06	0	0,20	nan	1	0,20	nan	2	0,11	nan	3	0,24	nan
3	2,04	0	0,19	nan	1	0,20	nan	2	0,12	nan	3	0,24	nan
4	3,03	0	0,19	nan	1	0,20	nan	2	0,12	nan	3	0,22	nan
5	4,02	0	0,18	nan	1	0,20	nan	2	0,12	nan	3	0,21	nan
6	5,00	3	0,18	nan	1	0,20	nan	0	0,12	nan	2	0,20	nan
7	6,00	3	0,17	nan	1	0,20	nan	0	0,13	nan	2	0,19	nan
8	6,98	3	0,17	nan	1	0,19	nan	0	0,13	nan	2	0,18	nan
9	7,96	3	0,16	0,16	1	0,19	0,19	0	0,14	0,13	2	0,17	0,18
10	8,95	3	0,16	0,16	1	0,18	0,19	0	0,13	0,13	2	0,17	0,18
11	9,93	1	0,15	0,16	3	0,18	0,19	0	0,13	0,13	2	0,16	0,18
12	10,92	1	0,14	0,16	3	0,19	0,19	0	0,14	0,13	2	0,15	0,18
13	11,90	1	0,14	0,16	3	0,18	0,19	0	0,14	0,13	2	0,15	0,18
14	12,89	1	0,13	0,16	3	0,18	0,19	0	0,13	0,13	2	0,14	0,18
15	13,88	1	0,13	0,16	3	0,18	0,19	0	0,14	0,13	2	0,14	0,18
.....													
.....													
145	143,59	0	0,20	0,18	1	0,20	0,18	3	0,19	0,17	2	0,19	0,18

146	144,57	0	0,20	0,18	1	0,20	0,18	3	0,20	0,17	2	0,20	0,18
147	145,56	0	0,20	0,18	1	0,20	0,18	3	0,20	0,17	2	0,20	0,18
148	146,54	0	0,20	0,18	1	0,20	0,18	3	0,20	0,18	2	0,20	0,18
149	147,53	2	0,19	0,18	0	0,19	0,18	1	0,19	0,18	3	0,19	0,18
150	148,52	2	0,19	0,18	0	0,19	0,18	1	0,19	0,18	3	0,19	0,18
151	149,50	2	0,18	0,18	0	0,18	0,18	1	0,18	0,18	3	0,18	0,18
152	150,49	2	0,18	0,18	0	0,18	0,18	1	0,18	0,18	3	0,18	0,18
153	151,59	2	0,18	0,18	0	0,18	0,18	1	0,18	0,18	3	0,18	0,18
154	152,60	3	0,18	0,18	2	0,18	0,18	1	0,18	0,18	0	0,18	0,18

Результирующей таблицы недостаточно для получения подробных сведений об уровне доступа, который реально обеспечивается абоненту, и о координатах расположения сетевых устройств. Для просмотра этих сведений формируется таблица для каждой из 4-х лучших конфигураций. Все сформированные таблицы совместимы с продуктами Microsoft Office и могут быть перенесены в эти или другие программные продукты для дальнейшей обработки, например, построения графиков уровня доступа в зависимости от расположения. Таблица, описывающая конкретную конфигурацию, содержит номер записи, время моделирования, координаты всех абонентов, координаты всех сетевых устройств, уровень доступа, обеспечиваемый каждому абоненту, и расстояние до ближайшей к нему точки доступа. Примером такой таблицы служит табл. 2. Для наглядности приведен фрагмент формируемой таблицы, т.е. часть строк скрыта, что обозначено многоточием. Таблицы 1 и 2 совместимы по номеру записи и времени моделирования и при необходимости их можно объединить. Время моделирования указано программное, но оно синхронизируется с реальным временем движения абонентов по скорости их движения. По данным этой таблицы легко видеть какой уровень доступа обеспечивается каждому из абонентов в конкретный момент времени. Исходя из приведенных данных в целом по лучшим конфигурациям и конкретно по каждой можно получить другие необходимые данные путем расчетов после перенесения в ms excel.

Таблица 2. Сведения о конфигурации

n	e	People Coords			Node Coords			Signal Power			Dist To Nearest Node		
		Person 0	Person 1	Person 2	Node 0	Node 1	Node 2	Pers 0	Pers 1	Pers 2	Pers 0	Pers 1	Pers 2
0	0,00	1500; 1000;	2000; 200;	1000; 1000;	1213; 139;	2325; 641;	1584; 2941;	1,351	1,593	1,079	901	548	887
1	1,06	1569; 1059;	2131; 285;	1116; 1233;	1287; 701;	1830; 799;	1533; 2891;	1,868	1,481	1,611	368	595	559
2	2,04	1634; 1113;	2252; 364;	1224; 1449;	1283; 710;	1855; 907;	1542; 2903;	1,86	1,387	1,572	303	673	741
3	3,03	1698; 1168;	2375; 443;	1333; 1666;	1283; 731;	1842; 1183;	1512; 2900;	1,869	1,19	1,632	144	911	702
4	4,02	1763; 1223;	2496; 523;	1441; 1883;	1265; 728;	1916; 1250;	1486; 2907;	1,821	1,109	1,579	155	930	791
5	5,00	1828; 1279;	2619; 602;	1550; 2101;	1239; 735;	1962; 1353;	1480; 2902;	1,774	0,992	1,587	154	998	804
6	6,00	1893; 1334;	2742; 682;	1659; 2319;	1228; 728;	2067; 1421;	1460; 2901;	1,716	0,925	1,552	194	1001	615
7	6,98	1958; 1389;	2864; 761;	1768; 2537;	1238; 742;	2123; 1507;	1426; 2896;	1,679	0,843	1,504	203	1051	497
8	7,96	2022; 1444;	2986; 841;	1876; 2753;	1203; 732;	2257; 1560;	1439; 2854;	1,614	0,796	1,374	262	1024	449
9	8,95	2087; 1499;	3109; 920;	1985; 2971;	1236; 733;	2371; 1555;	1972; 2638;	1,741	0,806	1,295	289	973	334
10	9,93	2153; 1555;	3232; 1000;	2095; 3190;	1250; 742;	2501; 1555;	2114; 2856;	1,597	0,801	1,169	348	917	335
11	10,92	2218; 1610;	3355; 1080;	2204; 3409;	1195; 742;	2616; 1560;	2187; 3199;	1,405	0,772	1,139	401	881	211
12	11,90	2283; 1665;	3477; 1160;	2313; 3626;	1150; 729;	2734; 1586;	2289; 3514;	1,271	0,755	1,109	458	857	114
13	12,89	2348; 1721;	3600; 1240;	2422; 3845;	1133; 736;	2864; 1607;	2408; 3777;	1,177	0,756	1,073	529	822	69
14	13,88	2412; 1775;	3721; 1319;	2469; 3938;	1166; 739;	2982; 1633;	2482; 3945;	1,119	0,757	1,064	587	804	15
15	14,87	2478; 1831;	3845; 1399;	2359; 3719;	1222; 721;	2991; 1773;	2380; 3699;	1,149	0,674	1,128	517	932	28
26	265,5	2943; 2226;	2904; 788;	1748; 2497;	2518; 2132;	2727; 1474;	2203; 2857;	2,027	1,162	1,771	435	709	581
26	266,5	3014; 2286;	3038; 875;	1629; 2258;	2455; 2063;	2806; 1484;	2208; 2866;	1,91	1,233	1,555	601	652	839
26	267,5	3078; 2341;	3159; 953;	1521; 2043;	2428; 1982;	2927; 1520;	2175; 2859;	1,796	1,289	1,314	742	613	908
26	268,5	3142; 2396;	3281; 1033;	1413; 1826;	2457; 1887;	3103; 1609;	2141; 2852;	1,718	1,337	1,012	788	604	1046
26	269,5	3208; 2451;	3404; 1112;	1304; 1608;	2563; 1780;	3241; 1683;	2068; 2859;	1,617	1,408	0,71	769	593	1271
27	270,5	3273; 2507;	3527; 1193;	1194; 1388;	2798; 1759;	3439; 1761;	2071; 2850;	1,626	1,507	0,385	764	575	1646
27	271,5	3338; 2562;	3650; 1272;	1085; 1171;	3002; 1704;	3655; 1839;	3133; 2538;	2,344	1,739	0,17	206	567	1990

27	272,5	3403;	3772;	1023;	3152;	3815;	3422;						
2	2	2617;	1352;	1046;	1705;	1781;	2497;	2,272	1,918	0,099	122	431	2229
27	273,5	3467;	3894;	1131;	3227;	3927;	3537;						
3	0	2672;	1431;	1262;	1799;	1821;	2534;	2,266	1,928	0,114	155	391	2164
27	274,4	3467;	3983;	1239;	3285;	3987;	3586;						
4	9	2672;	1489;	1479;	1887;	1828;	2563;	2,308	1,93	0,136	161	339	2086
27	275,4	3402;	3861;	1348;	3193;	3913;	3499;						
5	7	2617;	1409;	1696;	1856;	1791;	2552;	2,342	1,884	0,221	116	385	1852
27	276,4	3337;	3738;	1457;	3005;	3736;	3430;						
6	6	2562;	1330;	1914;	1858;	1741;	2505;	2,386	1,806	0,388	108	411	1549
27	277,4	3273;	3617;	1565;	2767;	3529;	3384;						
7	4	2507;	1251;	2130;	1924;	1644;	2432;	2,391	1,706	0,635	134	403	1220
27	278,4	3208;	3495;	1673;	2592;	3333;	3287;						
8	3	2452;	1172;	2347;	2052;	1593;	2382;	2,438	1,569	0,887	105	451	965
27	279,4	3144;	3373;	1782;	2463;	3182;	3167;						
9	2	2397;	1092;	2565;	2176;	1598;	2350;	2,498	1,422	1,106	52	541	784
28	280,4	3079;	3250;	1891;	2391;	3064;	3067;						
0	0	2342;	1012;	2782;	2305;	1606;	2377;	2,55	1,269	1,245	37	622	692

Моделирование и добавление новых данных в таблицы продолжается до тех пор, пока пользователь не прервет программу. По результатам моделирования видно, что значения целевой функции и уровень доступа для абонентов увеличивается с временем моделирования, однако через 2-3 минуты моделирования устойчивый рост целевой функции прекращается и колебания ее значений связаны с движением абонентов. На рис. 3 можно заметить, что предложенное расположение точек доступа обеспечивает покрытие значительной части маршрутов, а различия между конфигурациями становятся значительно меньше.

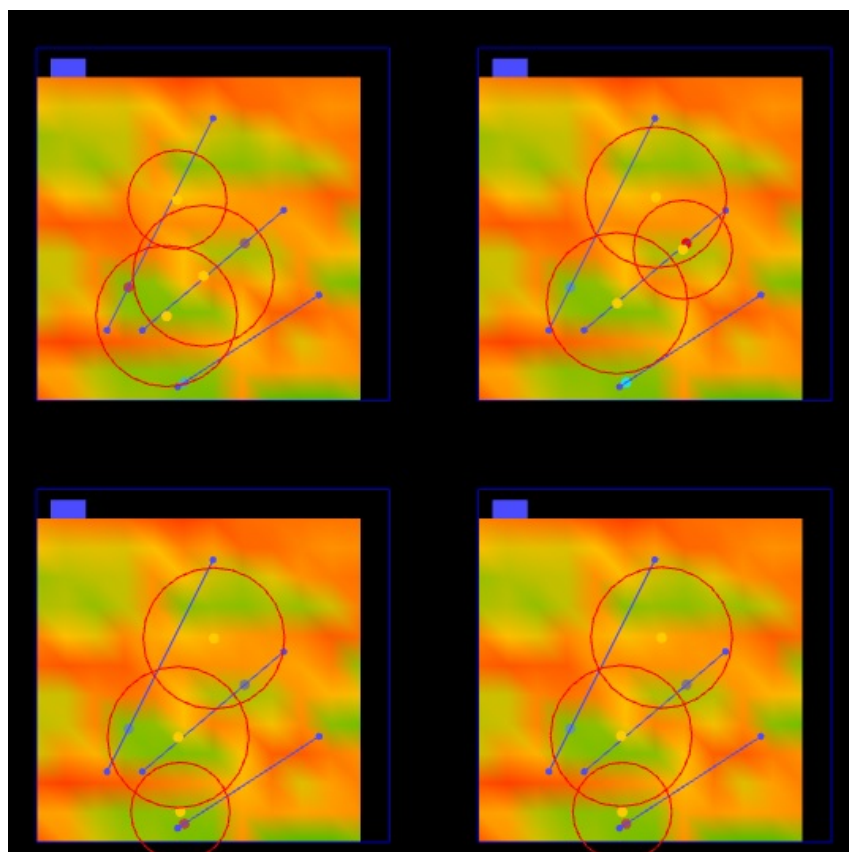


Рис.3 Результат моделирования

5. Выводы и оценка результатов

В связи с непрерывным движением абонентов решение не сводится к конкретному минимуму, точки доступа будут продолжать свое движение в зависимости от расположения абонентов. Целью моделирования является предложение возможных вариантов размещения с наглядной иллюстрацией обеспечиваемого уровня доступа. В зависимости от полученных результатов может быть принято решение о размещении

оборудования в конкретных координатах (возможно проведение дополнительного моделирования с фиксированными координатами сетевых устройств для расчета обеспечиваемого уровня доступа), привлечении дополнительного оборудования (возможно добавить еще одну или несколько точек доступа и провести дополнительное моделирование для сравнения). Если сетевое оборудование возможно передвигать может быть принято решение о маршрутах движения. Например, это может быть автомобиль с готовым к работе сетевым оборудованием и маршрут его движения будет организован с учетом результатов моделирования и технических возможностей, например, наличия дорог.

К недостаткам предложенного решения можно отнести отсутствие конкретного результата при моделировании, неочевидность используемой целевой функции, отсутствие возможности загрузки рельефа с помощью карт и его учета при распространении сигнала. Целевая функция дополняется силой отталкивания сетевых устройств друг от друга, причем параметры последней получены эмпирически. Используемые функции в некоторых экспериментах могут привести к наличию абонентов, не обеспеченных связью, на удаленном маршруте, так как согласно значениям функции выгоднее увеличить надежность связи для близкорасположенных абонентов. Требуется дополнительные исследования и эксперименты по эффективности использования разных целевых функций.

Так же пользовательский интерфейс сейчас ограничен просмотром конфигураций в 2d или 3d представлении и отображением таблиц результатов. Все настройки и ввод исходных данных осуществляются в конфигурационном файле, что требует внимания и некоторого опыта работы. Требуется доработка пользовательского интерфейса.

Программное приложение было разработано в среде Microsoft visual studio на языке C++. Выбор среды разработки обоснован ее универсальностью и широкими возможностями для разработки, а также популярностью, надежностью, удобным интерфейсом и большим количеством удобных средств отладки кода.

Одно из направлений практического применения сетей описанного вида являются поисково-спасательные, исследовательские или спортивные мероприятия, проводимые в горной местности. В связи с особенностями рельефа плотность населения в таких областях очень невысока, что делает нецелесообразной установку вышек сотовой связи, достаточных для покрытия территории сетью мобильной связи и доступом к сети Internet. В большом количестве туристических маршрутов (это место проведения спортивных мероприятий и зачастую связанных с ними спасательных операций) мобильная связь отсутствует полностью или присутствует только на отдельных точках маршрута. Для обеспечения участников связью используется либо спутниковая связь, либо коротковолновые радиостанции. Первый вариант используется редко в связи с высокой стоимостью как устройств, так и доступа к сети. Второй вариант может только обеспечить связь участников между собой на некотором радиусе, но не может обеспечить возможность оперативно сообщить контактными лицам информацию о состоянии группы или о необходимости дополнительной помощи. Использование беспроводной сети быстрого развертывания может скомпенсировать указанные проблемы. Существуют технические средства, позволяющие разворачивать подобные сети и их использование перспективно, но сложность проектирования и оценки работоспособности таких сетей затрудняет их практическое применение. Разработанный программный продукт ориентирован на быструю оценку возможности использования сети в конкретных условиях, что позволит чаще и эффективнее применять беспроводные сети быстрого развертывания. Это приведет к уменьшению числа мероприятий, не обеспеченных связью, улучшению координации между участниками, улучшению связи между участниками мероприятий и спасательными службами и, в случае необходимости, экспертами. Все вышеперечисленное позволит сократить время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в малонаселенных районах и повысить безопасность проводимых мероприятий. Для практического применения разработанного программного продукта необходима дальнейшая работа над ликвидацией указанных

выше недостатков и расширением возможностей программы по учету различных условий, но полученные результаты позволяют сделать выводы что работа актуальна и будет востребована, а выбранный способ ее решения позволяет в короткие сроки получить значимые результаты.

Заключение

В статье рассмотрен программный продукт, разработанный авторами для быстрого решения проблемы проектирования беспроводных сетей связи. Задача формулируется как поиск мест размещения сетевых устройств с известными характеристиками для обеспечения связью абонентов, перемещающихся по заданным маршрутам при невозможности полного покрытия территории сетью связи. Задача не была решена в такой постановке, при поиске оптимальных координат размещения устройств используются известные методы моделирования (генетические алгоритмы, имитационное моделирование), их применение к данной задаче является новым результатом. Полученные результаты имеют практическую и научную ценность, но имеют ряд недостатков.

Литература

1. БАЛИЦКИЙ В. С. И ДР. *Мобильная станция видеомониторинга и связи.* – 2010
2. БЛИНОВА О.В., ВАСЬКОВСКИЙ С.В., ФАРХАДОВ М.П. *Оценка надежности системы связи с подвижными узлами.* // Датчики и системы. 2018. № 5. С. 3-8. 2018
3. БЛИНОВА О.В., ВАСЬКОВСКИЙ С.В., ФАРХАДОВ М.П. *Взаимосвязь подвижных абонентов и стационарных узлов связи при известных характеристиках движения* // Датчики и системы. 2017. № 3. С. 3-8. 2017
4. БЛИНОВА О.В., ВАСЬКОВСКИЙ С.В., ВОРОНЦОВ Ю.А., ФАРХАДОВ М.П. *Информационная система с подвижными узлами связи* // Датчики и системы. 2015. № 12 (198). С. 24-28.

5. БОРИСОВ Ю. Ю. *Система с ретрансляцией емкости как средство обеспечения широкополосного доступа в малых населенных пунктах, на автомобильных и железных дорогах*/Итоги Второй конференции “Технологии мобильной и беспроводной связи. Тренды и перспективы”, С. – 2014.
6. БУТРОВ В. А. И ДР. *Некоторые аспекты построения и организации сетей спутниковой связи специального назначения* //Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2008. – Т. 107. – С. 55-59.
7. ВИШНЕВСКИЙ В. М., КРИШНАМУРТИ А., КОЗЫРЕВ Д. В., ЛАРИОНОВ А. А., ИВАНОВ Р. Е. *Методы исследования и проектирования широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей* // T-Comm. 2015. №5. С. 9-15.
8. ГЛУЩЕНКО Е. А., ЮРИН И. В. *Применение современных интернет-технологий на водном транспорте* //Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. – 2011. – №. 1 (9). С. 54-58
9. ИВАНОВ Р. Е., МУХТАРОВ А. А., ПЕРШИН О. Ю. *Задача оптимального размещения заданного множества базовых станций беспроводной сети связи с линейной топологией* //Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2019. – №. 4. – С. 39-45.
10. КУН Г. Р. , ЧИКИН А. Е. *Перспективы развития приборостроения в условиях импортозамещения на базе ао" нпф" микран"* //Метрология в радиоэлектронике. – 2016. – С. 5-8.
11. AGRAWAL S., MISRA A. K., TYAGI N. *Seamless VANET connectivity through heterogeneous wireless network on rural highways* //Proceedings of the Second International Conference on Information and Communication Technology for Competitive Strategies. – 2016. – С. 1-5.
12. ANDRUSENKO J., KASCH W. T., WARD J. R. *Wireless network modeling and simulation tools for designers and*

- developers* //IEEE Communications Magazine. – 2009. – T. 47. – №. 3. – C. 120-127.
13. BUDIMIR D., SHELKOVNIKOV B. N. *CAD for broadband wireless access design* //5th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service. TELSIS 2001. Proceedings of Papers (Cat. No. 01EX517). – IEEE, 2001. – T. 2. – C. 525-528.
 14. DALMASSO I. ET AL. *WiMAX networks for emergency management based on UAVs* //2012 IEEE First AESS European Conference on Satellite Telecommunications (ESTEL). – IEEE, 2012. – C. 1-6.
 15. DOWN R. SCHEINERT S. *Internet base station : nam. 7117015 CIIA*. – 2006.
 16. HANNIKAINEN M., HAMALAINEN T. D., VANHATUPA T. *Genetic algorithm to optimize node placement and configuration for WLAN planning* //2007 4th International Symposium on Wireless Communication Systems. – IEEE, 2007. – C. 612-616.
 17. KALIKA L. ET AL. *Node placement method within a wireless network, such as a wireless local area network* : пат. 7539495 CIIA. – 2009.,
 18. KASPRZYK M. Z., OTTO K. *Wireless Communication Apparatus for Emergency Situations* : заяв. пат. 13708911 CIIA. – 2013.
 19. <https://landcomm.ru/dokumentacija/11383/>

DESIGN RAPID DEPLOYMENT COMMUNICATION NETWORKS USING THE NETWORK CONFIGURATION ANALYSIS SOFTWARE APPLICATION

Blinova Olga, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, research associate (blinova_olga_v@mail.ru).

Vaskovsky Sergey, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc., senior researcher (v63v@yandex.ru).

Rykov Yaroslav, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, control engineer (yarykov@gmail.com).

Abstract: A new approach to the design of rapid deployment wireless communication networks when it is impossible to fully cover the territory with a network in these conditions is proposed. the essence of this approach is to determine the optimal locations of specified (pre-prepared) sets of network equipment. When performing the search, the specified routes of subscribers and their speed are taken into account. The target function uses the total network access level for all subscribers, depending on the time. The main existing methods of designing wireless networks, their application possibilities and disadvantages when used in a certain class of tasks (rapid deployment, incomplete coverage) are also considered. For practical application of the considered approach, a software product has been created that implements the developed search procedure using simulation and genetic algorithms. The algorithm of the software product operation is considered and examples of simulation results are given. The advantages and disadvantages of the proposed solution are analyzed. The problem of placing network devices in the specified conditions is solved for the first time, the created software product has no analogues. The results obtained are applicable for rapid design of wireless communication networks in areas where there is no mobile network coverage, for example, to provide communication for rescue operations or tourist routes in mountainous areas.

Keywords: wireless communication networks, communication networks with incomplete coverage, providing communication for rescue operations, rapid deployment communication networks.

УДК + 004.7 + 004.9

ББК 32.972.5