

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 заданных условиях, суть которого заключается в определении оптимальных мест расположения комплектов сетевого оборудования. При поиске целевой функции используются суммарный по всем абонентам уровень доступа к сети в зависимости от времени, к которому возможно добавлять различные коэффициенты для учета особенностей конкретной задачи. Для практического применения рассматриваемого подхода создан программный продукт, реализующий разработанную процедуру поиска с применением имитационного моделирования и генетических алгоритмов. Рассмотрен алгоритм работы приложения и приведены примеры результатов моделирования. Задача размещения сетевых устройств в заданных условиях решена впервые, созданный программный продукт не имеет аналогов. Полученные результаты не сводятся к однозначному решению, но применимы для анализа и исследования задачи быстрого проектирования беспроводных сетей связи в областях, где нет покрытия мобильной сетью связи, 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

Сети связи быстрого развертывания применяются для временного обеспечения связью (мобильной или доступом к сети Интернет) пользователей, передвигающихся по территории с отсутствующим или неполным покрытием сетью связи. Такие

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

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

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

сети могут применяться для обеспечения связью зон ликвидации последствий чрезвычайных происшествий, обеспечения связью туристических и спортивных мероприятий. Решение задачи проектирования беспроводной сети в подобных ситуациях часто осложнено дефицитом времени и возможностей для проектирования, ограниченным набором оборудования, большой протяженностью маршрутов. Авторы рассматривают задачи, в которых обеспечение полного покрытия территории сетью не представляется возможным, но обеспечение эпизодического доступа абонентов к сети является целесообразным. Обеспечение на маршрутах движения определенных зон доступа позволит абонентам передавать необходимые данные и получать рекомендации или указания. Данная статья является продолжением и развитием результатов, полученных в работах [2, 3, 4].

При необходимости создания сети для подключения подвижных абонентов, тем более сетей быстрого развертывания, выбор однозначно осуществляется среди беспроводных систем. Территория, на которой необходимо развернуть сеть, может отличаться сложными условиями – отсутствием электропитания, сложной климатической обстановкой, отсутствием дорог нужного качества. Оптимальным решением может быть использование специально разрабатываемых для подобных ситуаций готовых программно-аппаратных комплексов, включающих независимые источники электропитания и сетевое оборудование. 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 [1, 15, 18].

В рассматриваемых условиях существует проблема правильного размещения сетевого оборудования на местности для максимально эффективного его использования. В ряде ситуаций необходимость создания сети не задана заранее или нет возможности заранее изучить местность и провести расчеты. Возникает нетривиальная задача проектирования сети связи, решение которой должно быть получено в течении короткого промежутка времени. Для быстрого нахождения решения определен-

ного класса задач целесообразно использование программно-инструментальных средств.

Существуют программные продукты, позволяющие упростить и ускорить проектирование беспроводных сетей для офисов и помещений. Обзор таких программных решений есть в [12, 13]. Примерами подобных моделей являются [14, 16, 17]. 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, перекрытий и особенностей распространения сигнала. Как правило, такие сети проектируются стационарно и рассчитаны на несколько лет работы. Эта категория программных продуктов не может быть эффективно применена для разработки сетей связи с неполным покрытием, так как в рамках существующих инструментов невозможно учесть многие критически важные факторы, например, траектории движения отдельных абонентов.

Среди задач с неполным покрытием территории сетями связи можно выделить класс задач по обеспечению связи вдоль транспортных магистралей. Обзор работ по этой теме приведен в статье [4], примерами работ с обеспечением связью линейной траектории являются [5, 7, 9, 11].

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

Перечисленные задачи обладают рядом общих черт с задачами построения сетей быстрого развертывания: применение беспроводных технологий, подвижность абонентов, проблемы размещения точек доступа, привязка к траектории движения. Но в рассматриваемом авторами классе задач дополнительно учтен ряд значимых факторов, а именно:

- сложность условий функционирования оборудования и высокие требования к его надежности;
- относительно небольшое число пользователей и невысокая их плотность;
- трудности обеспечения связи между устройствами – ограниченная возможность использования проводной связи, не-

устойчивое покрытие сети, наличие помех, большие расстояния между устройствами;

- сложность формализации задачи и т.д.

Из вышесказанного следует, что решение рассматриваемой авторами задачи не может быть сведено к использованию существующих инструментов, и работы над разработкой новых подходов являются актуальными. Возможный способ решения проблемы проектирования сетей быстрого развертывания с неполным покрытием территории – разработка программного продукта, позволяющего частично автоматизировать процесс решения задачи о размещении на территории сетевого оборудования.

2. Постановка задачи

При формулировке задачи и построении модели за основу была взята ситуация перемещения туристических групп по маршрутам в горной местности (местности со сложным рельефом) или спасателей при обнаружении чрезвычайного происшествия. Такой выбор был сделан в связи с реально существующими задачами обеспечения связи при проведении различных мероприятий в малонаселенной гористой местности. Горные вершины как препятствия для размещения устройств и техники могут быть легко замещены другими препятствиями, привязанными к конкретному району, рельефу, условиям. Например, это может быть болотистая местность.

Задача формулируется следующим образом:

Рельеф местности задан в виде поверхности в декартовых координатах размерами x_0 на y_0 на z_0 . На ортогональной проекции поверхности на горизонтальную плоскость задаются k маршрутов абонентов в виде отрезков, заданных двумя точками, для каждого абонента задана постоянная относительно плоскости скорость движения v_j , $j = 1, \dots, k$. Абоненты движутся по маршрутам циклично. Также даны n комплектов сетевого оборудования с радиусом действия R_i , $i = 1, \dots, n$. Необходимо найти координаты (x_i, y_i) размещения комплектов сетевого оборудования, при которых обеспечивался бы максимальный уровень доступности сети для абонентов. Уровень доступа j -го абонента к i -му узлу в момент времени t задается следующим образом:

$$(1) p_{ij} = e^{-d/2R_i^2}, \quad d = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2,$$

где x_j и y_j – координаты j -го узла в момент времени t .

Выбор целевой функции в данных условиях является нетривиальной задачей. Одним из возможных решений является использование средней вероятности доступа к сети абонентов за некоторый интервал времени, что требует строгости определения и подразумевает невозможность использования каких-либо весовых коэффициентов. Важно отметить, что рассчитываемые значения уровня доступа являются очень приближительными, так как в предлагаемой модели учитываются только расстояния между сетевыми устройствами и абонентами, но нет учета распространения сигнала по сложному рельефу, нет возможности учитывать погодные условия, совместимость оборудования и прочие факторы, влияющие на распространение сигнала и обеспечение связи. В этой связи в качестве целевой функции был выбран условный параметр w , названный «успешностью» конфигурации. В приведенных результатах моделирования он рассчитан следующим образом:

$$(2) w = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k p_{ij},$$

где n – число точек доступа; k – число абонентов; p_{ij} – вероятность доступа j -го абонента к i -й точке доступа.

Для удобства использования полученное значение нормируется следующим образом:

$$(3) W = 5w / (1 + 0,02w).$$

Этот показатель не имеет физического смысла; предполагается, что метод его расчета может выбираться индивидуально в зависимости от задачи. Например, при приоритетной необходимости обеспечить связь конкретному абоненту его вклад в общий показатель «успешности» может быть умножен на некоторый коэффициент, характеризующий уровень приоритета. Если оказывается, что некоторая точка доступа не сможет на практике обеспечить заявленные характеристики, для всех абонентов полученные расчетные уровни доступа к этой точке можно снизить на определенный коэффициент. Таким образом, подстраиваясь под различные индивидуальные условия, пользователь может адаптировать полученные результаты для конкретной задачи с помощью простых коэффициентов. Безусловно,

но, при такой постановке возникает вопрос о значимости получаемых расчетных характеристик. Но авторы ставят перед собой задачу разработки программного продукта, являющегося помощником экспертам на местности, инструментом для экспериментов, позволяющим проследить взаимозависимости разных факторов.

Тестирование модели с использованием данной целевой функции привело к выявлению следующего недостатка: эффективным получается постановление всех сетевых устройств в одном месте, что явно противоречит практической значимости. Для устранения отмеченного недостатка в модель были добавлены ограничение на размещение устройств выше определенного уровня и функция отталкивания сетевых устройств друг от друга, рассчитываемая на каждом шаге моделирования по формуле

$$(4) \quad b = 0,4e^{-0.004l_j} \left(\frac{100}{1+0,25l_j} \right).$$

Значения ограничений подобраны эмпирически, они не учитываются при расчете значений целевой функции, но влияют на совершаемое перемещение сетевого устройства.

Целью моделирования является максимизация значения целевой функции W . Ее значение рассчитывается на каждом шаге моделирования, на основе полученных значений выполняется шаг (смещение сетевых устройств), процесс продолжается до остановки моделирования. В процессе моделирования точки доступа смещаются непрерывно, решение о использовании подвижных точек доступа и построении маршрута их движения или о выборе стационарного места размещения принимает эксперт на основе полученных результатов.

3. 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 и остановиться в поиске в любой момент, приняв полученное промежуточное решение за конечный результат.

2. Для выбора новых точек размещения оборудования генетические алгоритмы одновременно 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. Особенности поставленной задачи хорошо формулируются в терминологии генетических алгоритмов.

Для ввода исходных данных и управляющих параметров сформирован конфигурационный файл. В нем маршруты определены в виде отрезков, заданных двумя точками (ломаные 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) (рис. 1). При запуске программы генерируется 8 случайных вариантов размещения оборудования. Четыре лучших из них по значению целевой функции выводятся на экран.

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

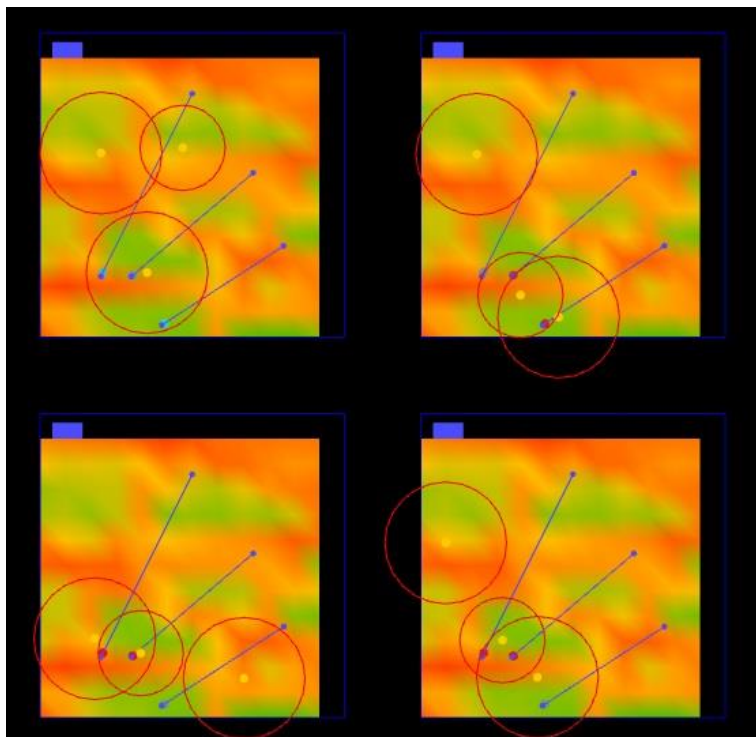
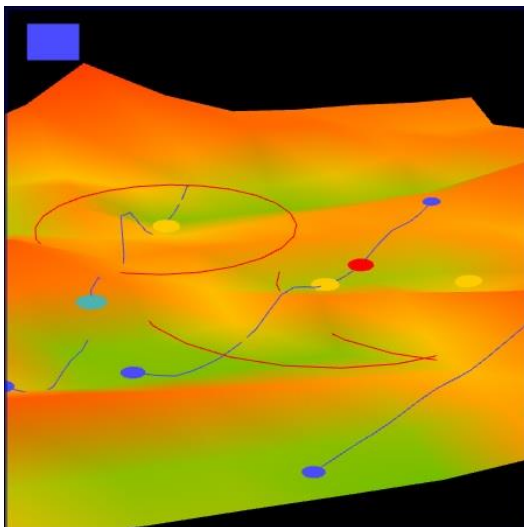


Рис. 1. Начальный вариант размещения оборудования, визуализация исходных данных

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.



*Рис. 2. Сгенерированная конфигурация
в трёхмерном представлении*

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 текущее значение целевой функции и предыдущие значения (до 80-го) с убывающими весами.

После запуска программы и генерации начальных вариантов размещения оборудования для каждой из точек доступа определяется вектор возрастания целевой функции (приближе-

ния к абонентам). Точки доступа перемещаются по найденному вектору небольшими случайными по модулю шагами. Таким образом каждая из конфигураций стремится к возможному максимуму. Значения вектора отталкивания рассчитываются для каждого из сетевых устройств по отношению ко всем остальным, найденные значения суммируются, результирующий вектор складывается с шагом перемещения согласно целевой функции, проверяется соответствие ограничению по высоте и после этого выполняется перемещение сетевого устройства. Если планируемый шаг приведет к нарушению ограничения, сетевое устройство не перемещается.

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 целевой функций, а также функции W_0 , обладающей «инерцией» и позволяющей лучше оценить динамику изменений. Также 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 значение целевой функции не максимально. Форма результирующей таблицы для приведенной выше конфигурации приведена в таблице 1.

Табл. 1. Форма сводной таблицы по лучшим конфигурациям

n	Time	1st place			2nd place			3rd place			4th place		
		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

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 четырёх 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. Форма этой таблицы представлена ниже (таблица 2.) 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 их скорости. По данным этой таблицы легко видеть, какой уровень доступа обеспечивается каждому из абонентов в конкретный момент времени.

Таблица 2. Сведения о конфигурации

	People Coords			Node Coords			Signal Power			Dist To Nearest Node			
Time	Person 0	Person 1	Person 2	Node 0	Node 1	Node 2	Pers 0	Pers 1	Pers 2	Pers 0	Pers 1	Pers 2	
00,00	1500; 1000;	2000; 200;	1000; 1000;	1213; 139;	2325; 641;	1584; 2941;		1,351	1,593	1,079	901	548	887
11,06	1569; 1059;	2131; 285;	1116; 1233;	1287; 701;	1830; 799;	1533; 2891;		1,868	1,481	1,611	368	595	559
22,04	1634; 1113;	2252; 364;	1224; 1449;	1283; 710;	1855; 907;	1542; 2903;		1,86	1,387	1,572	303	673	741
33,03	1698; 1168;	2375; 443;	1333; 1666;	1283; 731;	1842; 1183;	1512; 2900;		1,869	1,19	1,632	144	911	702

Моделирование и добавление новых данных в таблицы продолжается до тех пор, пока пользователь не прервет программу. На рис. 3 можно заметить, что предложенное расположение точек доступа обеспечивает покрытие значительной части маршрутов, а различия между конфигурациями становятся значительно меньше.

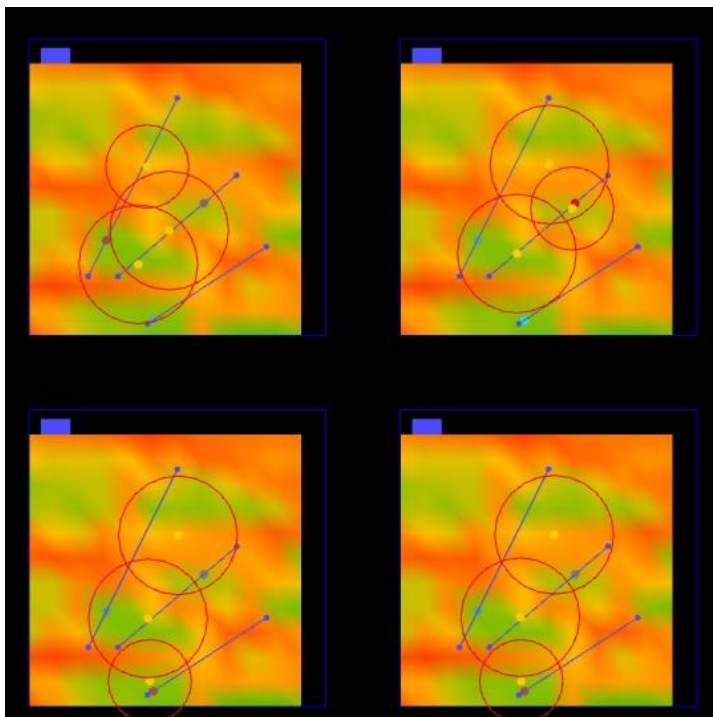
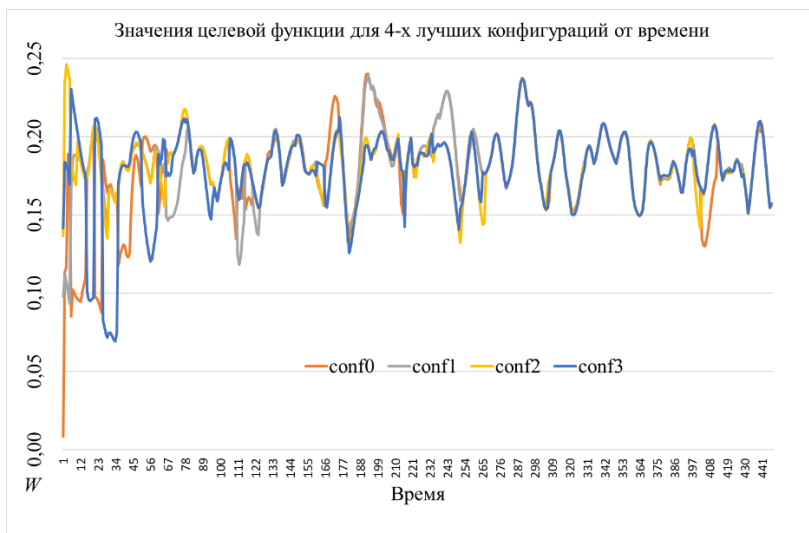


Рис. 3. Результат моделирования

Изменения уровня доступа в зависимости от времени можно отследить на рис. 4. Видно, что первые две минуты моделирования различия между конфигурациями заметны, а значение целевой функции быстро растет. Затем различия между конфигурациями становятся минимальными, и изменения в уровне доступа больше связаны с движением абонентов, чем с изменением положения сетевых устройств.

Поиск оптимального значения целевой функции ведется непрерывно, моделирование не сводится к конкретному результату, а, скорее, служит инструментом для иллюстрации возможных мест расположения сетевых устройств и обеспечиваемого уровня доступа.



*Рис. 4. Изменения значений целевой функции
в зависимости от времени*

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. Но хотя конечное решение не будет предложено, полученные результаты имеют практическую ценность. Перемещение сетевых устройств спустя первые несколько минут моделирования ограничивается некоторой областью, решение о размещении устройств в конкретных координатах может быть принято эмпирически с учетом полученных результатов и технических возможностей, не отраженных в модели. Возможно проведение дополнительного моделирования с фиксированными координатами сетевых устройств для расчета обеспечиваемого уровня доступа и выбора из нескольких вариантов. Программа может быть использована для решения о целесообразности привлечения дополнительного оборудования путем проведения моделирования с другим количеством сетевых устройств. Если сетевое оборудование возможно передвигать, может быть принято ре-

шение о траектории его перемещения. Например, это может быть автомобиль с готовым к работе сетевым оборудованием, и его маршрут будет организован с учетом результатов моделирования и технических возможностей, например, наличия дорог. Достоинствами модели являются также низкая вычислительная сложность и, как следствие, быстрое получение результатов.

В ходе дальнейшей работы предполагается реализовать возможность загрузки рельефа с помощью карт и учитывать помехи при распространении сигнала. Используемые функции в некоторых экспериментах могут привести к наличию абонентов, не обеспеченных связью, находящихся на удаленном маршруте, так как в соответствии с выбранной функцией выгоднее увеличить надежность связи для близкорасположенных абонентов. Будут выполнены дополнительные исследования и эксперименты по эффективности использования других целевых функций.

Пользовательский интерфейс 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. Предполагается доработка интерфейса.

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

Одно из направлений практического применения сетей описанного вида – 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 Интернет. 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 связи и ко-

ординации как между участниками, так и между ними и спасательными службами, а в случае необходимости – экспертами. Все вышеперечисленное позволит сократить время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в малонаселенных районах и повысить безопасность проводимых мероприятий.

6. 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. Для решения задачи используются известные методы моделирования (генетические алгоритмы, имитационное моделирование), их применение к данной задаче и все полученные результаты являются новыми.

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.
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.
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 доро-*

- гах // Итоги Второй конференции “Технологии мобильной и беспроводной связи. Тренды и перспективы”. – 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* // Proc. of the Second Int. Conf. on Information and Communication Technology for Competitive Strategies. – 2016. – P. 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. – Vol. 47, No. 3. – P. 120–127.
 13. BUDIMIR D., SHELKOVNIKOV B.N. *CAD for broadband wireless access design* // Proc. of the IEEE 5th Int. Conf. on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service (TELSIKS-2001). (Cat. No. 01EX517). – IEEE, 2001. – Vol. 2. – P. 525–528.

14. DALMASSO I. et al. *WiMAX networks for emergency management based on UAVs* // IEEE First AESS European Conference on Satellite Telecommunications (ESTEL-2012). – IEEE, 2012. – P. 1–6.
15. DOWN R. SCHEINERT S. *Internet base station: US patent 7117015*. – 2006.
16. HANNIKAINEN M., HAMALAINEN T.D., VANHATUPA T. *Genetic algorithm to optimize node placement and configuration for WLAN planning* // IEEE 4th Int. Symposium on Wireless Communication Systems. – IEEE, 2007. – P. 612–616.
17. KALIKA L. et al. *Node placement method within a wireless network, such as a wireless local area network* : US patent 7539495. – 2009.
18. KASPRZYK M.Z., OTTO K. *Wireless Communication Apparatus for Emergency Situations* : US patent 13708911. – 2013.
19. <https://landcomm.ru/dokumentacija/11383/>.

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

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

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

Yaroslav Rykov, V.A. Trapeznikov 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 is proposed by the conditions when it is impossible to cover fully the territory with a network. The essence of this approach is to determine the optimal locations of specified sets of network equipment prepared in advance. When performing the search, the specified routes of subscribers and their speed are taken into account. The target function uses the time- depended total network access level for all subscribers. 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 simula-

tion 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 software product created 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

DOI: 10.25728/ubs.2021.90.6

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Я.И. Квинто.*

Поступила в редакцию 15.10.2020.

Опубликована 31.03.2021.