

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ тематической карты для планирования сети IoT

Е.Зайчик, к.т.н., эксперт ООО "Инфотел"

УДК 621.396, DOI: 10.22184/2070-8963.2017.69.8.22.31

Предлагается для планирования сетей Интернета вещей использовать объемные тематические карты, которые формируются на основе стереологической модели пространства функционирования сетей IoT. Рассмотрены методы и способы формирования объемных тематических карт, а также показаны формы их представления и визуализации.

Переход от постиндустриального общества к информационному требует новых подходов в организации информационного взаимодействия и эффективного использования ресурсов. Основная задача информационного общества заключается в том, чтобы наладить информационное взаимодействие во всех сферах жизни и между всеми устройствами, даже теми, между которыми ранее такое взаимодействие считалось невозможным или ненужным. В пределе можно считать, что любое устройство, которое потребляет какие-либо ресурсы или является значимым для другого устройства или процесса, необходимо включить в контур информационного обмена. Это обеспечит полную управляемость процессами жизнедеятельности, что позволит экономно и эффективно использовать все виды ресурсов.

Выполнение данной задачи необходимо для внедрения реальной цифровой экономики. Она включает не только разработку и продажу ПО, электронных товаров и сервисов, производимых электронным бизнесом и электронной коммерцией, но и внедрение цифровых технологий в производственные процессы (добыча, обработка, контроль качества, транспортировка, использование, утилизация). Специалисты сходятся во мнении, что

цифровая экономика дает увеличение производительных сил и производительности труда.

В программе "Цифровая экономика Российской Федерации" [1] выделено три следующих уровня, которые в своем тесном взаимодействии влияют на жизнь граждан и общества в целом:

- рынки и отрасли экономики (сферы деятельности), где осуществляется взаимодействие конкретных субъектов (поставщиков и потребителей товаров, работ и услуг);
- платформы и технологии, где формируются компетенции для развития рынков и отраслей экономики (сфер деятельности);
- среда, которая создает условия для развития платформ и технологий и эффективного взаимодействия субъектов рынков и отраслей экономики (сфер деятельности) и охватывает нормативное регулирование, информационную инфраструктуру, кадры и информационную безопасность.

Сети Интернета вещей (Internet of Things, IoT) наряду с сетями мобильной и волоконно-оптической связи, системой навигации ГЛОНАСС, системами управления технологическими процессами можно отнести к инфраструктуре цифровой экономики. Эффективные сети IoT, несомненно, будут способствовать ее росту.

По прогнозам аналитиков, к 2021 году в мире будет насчитываться около 28 млрд подключенных устройств, из них более 15 млрд – это устройства "машина-машина" (Machine-to-Machine, M2M) и IoT. Большая доля приложений IoT/M2M ориентирована на доступ в Сеть посредством технологий малого радиуса действия, таких, например, как ныне широко используемых Wi-Fi и Bluetooth и перспективных Zigbee или LoRaWAN. Однако значительная часть таких приложений опирается на глобальные сети, к которым относятся сети мобильной связи [2].

Разработчики ПО для устройств IoT и их пользователи, живущие в больших городах, привыкли воспринимать повсеместную доступность мобильных и Wi-Fi-сетей как нечто само собой разумеющееся. На самом деле, это может быть сопряжено с большими проблемами.

Как показывает реальная жизнь, в перегруженном пространстве (например, в высотном жилом доме или офисном здании) может быть 50–100 сетей Wi-Fi, конфликтующих за одно частотное пространство и мешающих друг другу. Каждый, кто принимал участие в конференциях разработчиков, знает, насколько плохим может быть Wi-Fi-соединение, когда хотя бы 200 разработчиков с ноутбуками, планшетами и мобильными телефонами создают собственные точки доступа в ограниченном пространстве. Очень часто, на конференциях в условиях большого скопления пользователей, хорошие беспроводные модули не могут установить связь из-за шума и конфликтов в сети. В условиях роста количества подключенных к сети устройств надежность сетевого подключения нельзя гарантировать даже в средних по размерам офисных и домашних сетях [3].

При массовом внедрении устройств, относящихся к классу IoT и M2M, их плотность размещения может составить до 300 тыс. единиц в соте и до 1 млн устройств на 1 кв. км. Обеспечение соединения в сети устройств, размещенных с такой плотностью, станет новым вызовом для операторов мобильной связи [2].

В решении проблем с доступом к сети IoT можно выделить два подхода:

- разработку устройств и приложений IoT по принципу Offline First;
- обеспечение требуемого качества доступа к сети IoT в результате планирования и построения рациональной структуры сети, которая обеспечивает требуемое качество радиопокрытия и емкость при минимальных затратах.

Указанные подходы не исключают, а гармонично дополняют друг друга. Для снижения рисков, вызванных отсутствием соединения с сетью, некоторые разработчики программного обеспечения

для устройств IoT вынуждены использовать методику разработки Offline First, предусматривающую создание мобильных и web-приложений IoT, которые будут работать без поддерживающей их сети. Возможно, доступны будут не все функции приложения, но потеря и восстановление сетевого подключения при этом должны проходить гладко, не затрагивая конечного потребителя [3].

Однако наряду с методикой разработки приложений Offline First необходимо постоянно улучшать радиопокрытие сетей и решать технические проблемы с доступом, следуя по пути эффективного планирования сетей доступа с учетом максимально возможного количества влияющих факторов. В большинстве случаев используют три основных показателя эффективности планирования и развития сетей: Время – Затраты – Качество. Объективно из трех указанных показателей одновременно улучшить можно только два.

Методология планирования сетей IoT в основном совпадает с методологией планирования мобильных сетей связи, но в то же время должна учитывать ряд специфических аспектов и вызовов, в том числе:

- экспоненциальный рост количества подключений в сетях IoT;
- плотность подключений возрастает до 300 тысяч подключений в соте и до 1 млн на 1 кв. км;
- планирование высоконагруженных сетей IoT требует новых подходов в оценке трафика и определения пропускной способности;
- необходим учет распределения устройств IoT в пространстве;
- сети IoT – важный элемент цифровой экономики, которая будет предъявлять к ним свои показатели качества.

В ходе планирования беспроводных сетей большое значение имеют геоинформационные технологии, которые позволяют формировать большой набор различных тематических карт. Тематические карты наглядно показывают распределение по территории функционирования сети всех факторов и параметров, влияющих на качество ее функционирования, таких как распределение по территории пользователей, уровней радиосигналов, отношения сигнал/помеха, достижимых скоростей приема и передачи информации, количество сот, действующих в данной точке и т.д. На основании анализа тематических карт специалисты по радиопланированию беспроводных сетей формируют рациональную топологию размещения базовых станций и их технические параметры.

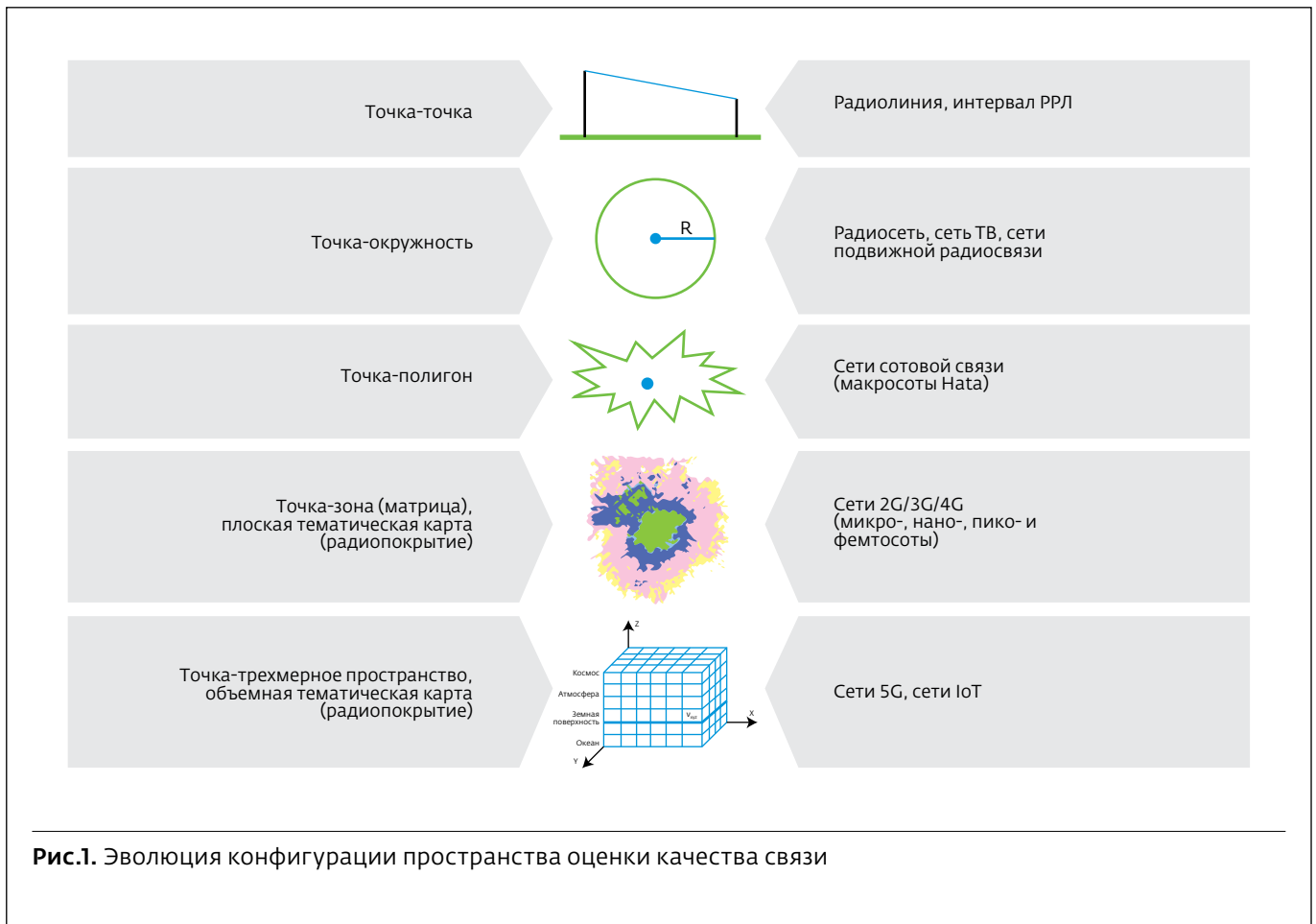


Рис.1. Эволюция конфигурации пространства оценки качества связи

Опыт планирования беспроводных сетей, таких как сети сотовой связи, профессиональной связи, беспроводного ШПД, сети Wi-Fi, показывает, что основная проблема расчета зоны радиопокрытия заключается в наиболее полном и адекватном учете влияния окружающей среды на распространение радиоволн. На различных этапах развития планирования радиосвязи конфигурация пространства оценки качества связи (соединения) изменялась. Кратко рассмотрим эволюцию конфигурации пространства оценки качества связи в беспроводных сетях (рис.1).

На начальном этапе качество связи оценивалось на интервале между передатчиком и приемником. Данная конфигурация "точка-точка" используется и в настоящее время для оценки качества на радиорелейном интервале. С внедрением сетей радиосвязи, сетей телевизионного и радиовещания потребовалось оценить качество связи для большего количества пользователей, и пространство оценки приобрело форму "точка-окружность", так как важно было определить границы зоны действия радиопередатчика при выбранных параметрах. По мере освоения

УКВ-диапазона и применения его для мобильной связи появилась острая необходимость осуществлять частотно-территориальное планирование сотовых и транкинговых сетей и пространство оценки качества связи видоизменилось в форму "точка-полигон или набор полигонов", которые показывают участки с одинаковым расчетным уровнем радиосигнала. Это позволило учитывать неравномерность распределения уровней радиосигналов от множества передатчиков на реальной местности. Широкое внедрение геоинформационных технологий в процессы планирования и оптимизации сотовых сетей привело к тому, что пространство оценки качества связи приняло вид "точка-зона", где зона может иметь вид матрицы, каждый элемент которой характеризуется определенными размерами и координатами.

В общем случае зона связи представляет собой совокупность упорядоченных по координатам элементарных площадок пространственного разрешения, в пределах которых показатели качества связи можно считать постоянными [4]. Поэтому при планировании сотовых сетей первых четырех поколений формировали двумерные тематические карты, показывающие

уровни радиосигналов базовых станций, величины отношения сигнал/помеха и т.д. (рис.2). На основе двумерных тематических карт выбирали технические параметры, места размещения, высоты подвеса и ориентацию антенн базовых станций. При этом в расчетах, как правило, использовали одну общую эквивалентную высоту антенны абонентских терминалов (1,5-2 м от уровня земли), что является определенным допущением, так как абоненты могут находиться на различных этажах зданий и сооружений как наземных, так и подземных.

Необходимо отметить, что отличительными особенностями устройств IoT от традиционных терминалов мобильной связи и беспроводного доступа являются:

- микро-миниатюрность;
- узкополосность;
- малая мощность передатчика;
- длительный срок службы источников питания.

Это привело к необходимости разработки специальных технологий радиодоступа, ориентированных на устройства IoT. Применение технологий узкополосной передачи данных, таких как LoRa или NB-IoT в сетях LTE, позволяет обеспечить сетевое соединение нескольким сотням устройств, сконцентрированных в пределах небольшого пространства и на разных высотах.

Кроме того, по оценке экспертов, IoT-сети характеризуются большим количеством устройств, их относительно малой подвижностью, высокой концентрацией в определенных местах и возможным расположением на разных высотах. Это наиболее характерно для устройств IoT, которые располагаются на различных этажах высотных офисных, жилых и торгово-развлекательных комплексов, подземных паркингов, многоуровневых развязок и т.д. Поэтому для эффективного планирования сетей, в которых имеется большое количество распределенных в пространстве элементов, вместо традиционных двумерных карт целесообразно использовать объемные (трехмерные) карты радиопокрытия. В этом случае пространство оценки качества связи будет иметь вид "точка-трехмерное пространство", и расчет уровней радиосигналов в пространстве становится важным методологическим аспектом планирования сети Интернета вещей.

Таким образом, для планирования эффективных сетей IoT требуется уточнение существующей методологии планирования сетей беспроводной связи в части модели пространства функционирования сети и метода прогнозирования зоны функционирования сети и расчета показателей ее качества. При этом на смену понятию "элементарная площадка

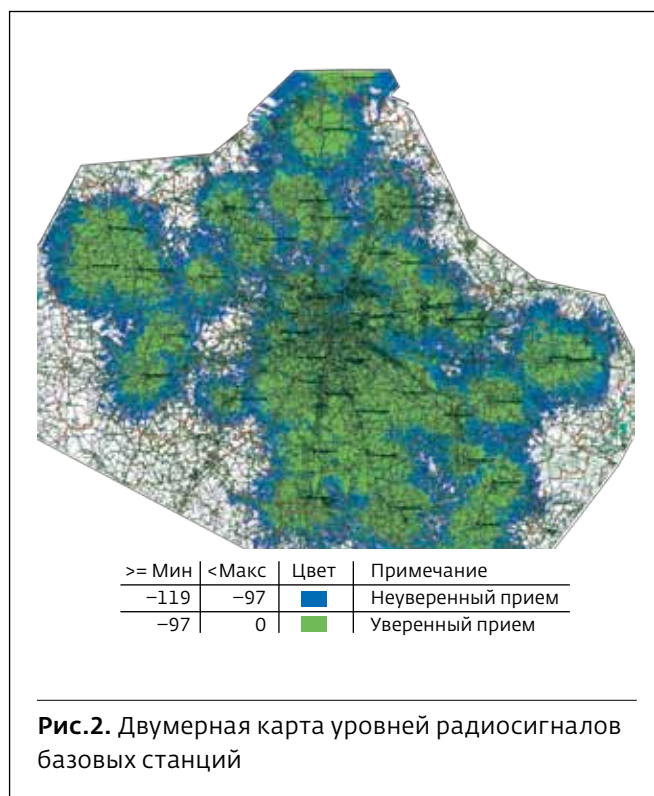


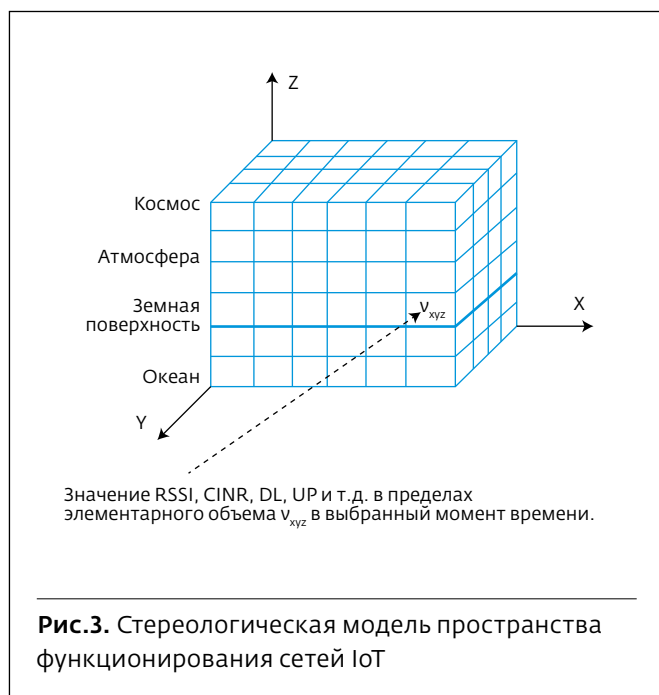
Рис.2. Двумерная карта уровней радиосигналов базовых станций

пространственного разрешения" [4] приходит термин "элементарный объем (ЭО) пространственного разрешения".

С целью адекватного учета большого количества распределенных в пространстве IoT устройств при планировании сети необходимо использовать объемные тематические карты (ОТК) (радиопокрытия, интерференции, трафика и т.д.), которые целесообразно формировать на основе стереологической модели пространства функционирования сетей IoT и метода стереологического анализа пространственного распределения показателей качества функционирования сложных систем [5]. Стереологическая модель является структурной основой ОТК.

Графически стереологическая модель пространства функционирования сетей IoT представляется в виде упорядоченной по выбранной системе координат (X, Y, Z) совокупности элементарных объемов пространственного разрешения $\{v(x, y, z)\}$, описывающих конкретные множества свойств $\{S_i(t)\}_{xyz}$ и характеристик $\{H_{ij}(t)\}_{xyz}$ сетей IoT внутри ограничиваемого ими пространства определенного размера (рис.3).

Принадлежащие каждому элементарному объему множество свойств $\{S_i(t)\}_{xyz}$ и множество характеристик этих свойств $\{H_{ij}(t)\}_{xyz}$ определяются с учетом влияния максимально возможного количества факторов и условий окружающей среды. Например, принадлежащее некоторому элементарному объему



$\{v(x,y,z)$ свойство $\{S(t)\}_{xyz}$, определяемое как максимальная скорость передачи информации на линии "вниз", рассчитывается с учетом таких влияющих факторов, как наличие препятствий на трассах распространения радиоволн полезного и мешающих сигналов и т.д. Так же для каждого элементарного объема может быть определено свойство, именуемое качеством голосовой связи. Данное свойство может иметь такие характеристики как отношение сигнал/помеха, вероятность установления голосового соединения, оценка качества звучания речи по шкале MOS и т.д. При этом указанные характеристики качества голосовой связи в ЭО определяются с учетом влияния других объемов, но только тех, которые действительно имеют возможность влиять на эти свойства и характеристики.

Таким образом, стереологическая модель позволяет эффективно формализовать информацию о распределении показателей качества функционирования сети IoT в пространстве и представить эту информацию в виде, удобном для программной обработки на компьютере, с целью адекватного учета всех воздействующих факторов при синтезе и анализе вариантов топологии размещения и технических характеристик элементов сети на этапе планирования. Если стереологическая модель является структурной основой объемной карты, то метод стереологического анализа является функциональной основой ОТК.

Метод стереологического анализа пространственного распределения показателей качества функционирования сети IoT как функциональная основа

объемной карты, заключается в определении совокупности элементарных объемов пространства функционирования сети, в которых величина выбранного показателя качества Q_i выше требуемого значения $Q_{i\text{тp}}$. Одним из достоинств этого метода является то, что в связи с ограниченной величиной ЭО все характеристики свойств $H_{ij}(t)$ данного объема можно считать постоянными или равномерно распределенными по всему объему. Это позволяет вместо вероятностных методов расчета выбранных показателей качества использовать детерминированные методы и математический аппарат, например, операции с матрицами. В рамках предлагаемого метода для каждого ЭО рассчитываются характеристики $H_{ij}(t)$ различных свойств (факторов) $S_i(t)$, влияющих на показатель качества функционирования устройств IoT внутри ЭО, а затем выполняется ранжирование элементарных объемов по этим показателям качества. Это позволяет выделять ЭО, в которых показатели качества ниже требуемых, и принимать меры по доведению их до нормы.

Если в некотором ЭО v_a размещена базовая станция (БС) А, то множество всех ЭО $\{v(x,y,z)\}$, в которых сигнал от БС А недостаточен для качественного соединения, должны иметь характеристику свойства "вероятность установления соединения с базовой станцией А", равную минимальному значению. Другой пример: если источник мешающего сигнала В, находящийся в ЭО v_b , создает в ЭО v_a уровень помехи, мешающий установлению качественного соединения, то данный ЭО v_a должен иметь характеристику свойства "уровень мешающего сигнала", равную уровню помехи. Для осуществления адекватного моделирования распространения радиоволн и выполнения расчетов каждый ЭО также должен содержать параметры, описывающие рельеф и местные предметы в пределах данного объема. В дополнение к этому каждый ЭО должен иметь характеристики по количеству абонентов (величины создаваемой ими нагрузки) внутри ЭО.

В процессе применения ОТК при планировании сети IoT для обработки полученных результатов по методу стереологического анализа предполагается реализация следующих операций:

- анализ распределения в пространстве значений выбранного показателя качества функционирования сети IoT;
- вычисление средних значений выбранного показателя качества в пределах ЭО (линейное и квадратичное усреднение);
- построение гистограмм распределения значений выбранного показателя (характеристик) по множеству всех элементарных объемов пространства функционирования сети IoT;

- сравнение рассчитанных и измеренных выбранных показателей качества и определение величины их ошибки по всем ЭО методами линейной регрессии, расчет коэффициента корреляции;
- анализ нескольких показателей качества в выбранной совокупности элементарных объемов.

По сути, метод стереологического анализа представляет собой совокупность способов пространственного комбинирования результатов, полученных известными методами, с целью обретения информации нового качества.

Теоретические исследования и практическая деятельность показывают, что обоснованность любого решения в значительной мере зависит от количества учитываемых факторов и рассматриваемых вариантов решения. Если не осуществлять глубокий семантический и прагматический анализ информации, то в первом приближении можно принять обратно пропорциональную зависимость качества решения от числа (или доли) противоречивых факторов в общем объеме информации. При планировании сетей IoT данная закономерность проявляется особенно остро.

ОТК, построенная на основе стереологической модели, позволяет уменьшить число учитываемых факторов (в том числе неопределенных и противоречивых), влияющих на рассматриваемый элементарный объем. Это происходит за счет уменьшения размеров ЭО пространства функционирования сети IoT, в пределах которого оценивается влияние противоречивых факторов, что позволяет при формировании карты применить детерминированные модели и методы расчета показателей эффективности, с учетом ограниченного числа реально воздействующих на данный ЭО факторов. Очевидно: чем меньше ЭО, тем меньше число учитываемых факторов, но тем больше размерность расчетной задачи по количеству объемов.

Для устранения данного противоречия при формировании ОТК требуется разработка методики

обоснования рационального размера ЭО для получения результата расчета выбранной характеристики $N_{ij}(t)$ объема требуемой точности. Такая методика должна позволить управлять параметрами оперативности и адекватности (с точки зрения точности) получения результата расчета показателя качества.

Для формирования объемной тематической карты (радиопокрытия) необходимо решить ряд специфических задач, которые включают:

- уточнение методов прогноза ослабления радиосигналов на трассе распространения, так как высоты антенн базовых станций и абонентов становятся примерно одинаковыми;
- обеспечение плавного перехода от outdoor-моделей к indoor-моделям распространения радиосигнала и наоборот;
- расчет уровня сигнала в пределах элементарного объема с заданными координатами X, Y, Z . При этом координата Z может иметь абсолютную или относительную величину. Относительная величина Z , по сути, определяет высоту антенны абонента над уровнем земли;
- увеличение объемов расчетов и размеров объемных тематических карт радиопокрытия в геометрической прогрессии в зависимости от размера ЭО приводит к необходимости использования концепции обработки Больших данных (Big Data) и обмена результатами расчетов между операторами;
- оптимизация размера элементарного объема с целью получения результата расчета требуемого качества с точки зрения точности и затрат времени.

Наиболее просто формирование объемной (трехмерной) тематической карты радиопокрытия реализуется путем объединения расчетов уровней радиосигнала в точках с определенными географическими координатами и на разных высотах.

В зависимости от целей планирования сети IoT можно использовать два способа формирования объемной тематической карты:

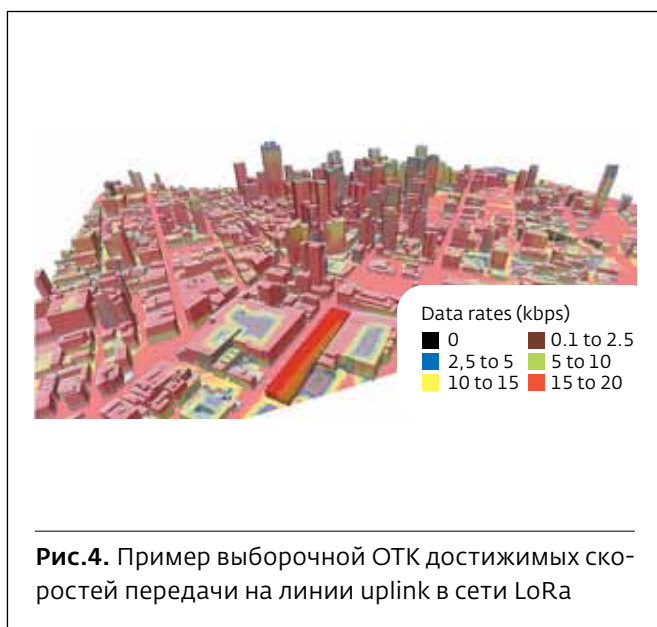


Рис.4. Пример выборочной ОТК достижимых скоростей передачи на линии uplink в сети LoRa

- полной ОТК путем расчета показателей качества сети IoT во всех элементарных объемах пространства, как indoor, так и outdoor. Данный способ полезен при планировании сети связи с летательными или подводными аппаратами, которые в принципе, могут находиться в любой точке пространства;
- выборочной ОТК путем расчета показателей качества сети IoT только в выбранных элементарных объемах пространства, например, в indoor-пространстве и в outdoor-пространстве на ограниченной высоте.

На рис.4 показан пример выборочной объемной тематической (трехмерной) карты достижимых скоростей передачи в сети LoRa на линии Uplink для городского пространства Сан-Франциско [6]. Она получена с использованием программы Planet и наглядно показывает достижимую скорость передачи при размещении устройств сети LoRa на различных высотах в городских условиях.

Отображение и анализ полной и выборочной объемной тематической карты существующими трехмерными визуальными средствами достаточно примитивны и позволяют увидеть характеристики элементарных объемов, расположенных только на внешних плоскостях пространства функционирования сети IoT (для indoor-пространства это внешние плоскости зданий и сооружений).

Для того чтобы заглянуть внутрь "черного ящика" пространства функционирования сети, можно использовать послойные способы отображения и анализа полной и выборочной объемной тематической карты в вертикальной и горизонтальной плоскостях. На рис.5 показан вариант двумерного (послойного)

отображения тематической карты уровня радиосигнала сети LTE-M в горизонтальной плоскости на уровне первого и третьего этажей, рассчитанной для центра Санкт-Петербурга с использованием программы ONEPLAN [7, 8].

В случае, когда необходимо проанализировать выборочную ОТК по вертикали, будет полезен вариант, представленный на рис.6. Там показано двумерное отображение тематической карты уровня радиосигнала сети LTE-M в вертикальной плоскости для городских условий Нижнего Новгорода, полученное с использованием программы ONEPLAN. Данное отображение позволяет оценить распределение качества сети IoT одновременно на различных этажах зданий.

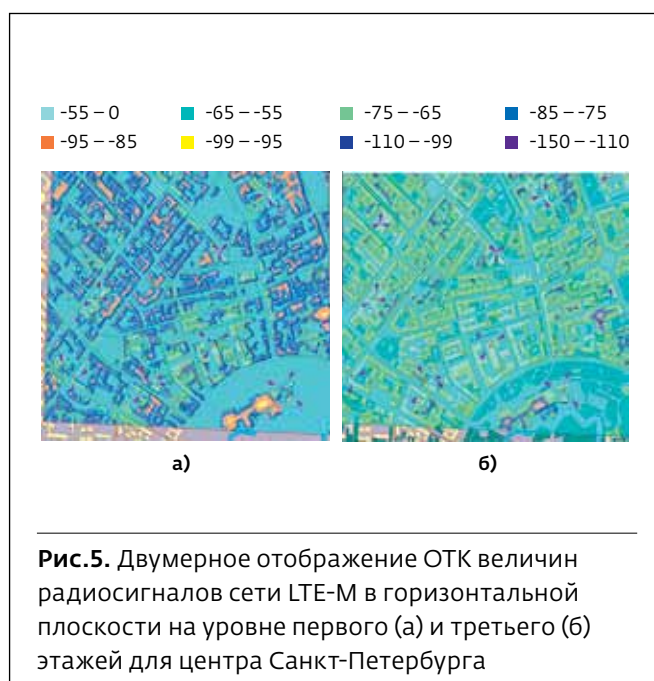
Можно предположить, что при использовании объемных карт снижается доля субъективного фактора при планировании и повышается доля алгоритмического, так как анализ покрытия внутри здания удобнее и легче выполнить на программном уровне, чем на основе визуальной оценки результатов расчетов. Поэтому если приведенных выше трехмерных и двумерных (в горизонтальной и вертикальной плоскостях) представлений недостаточно для принятия решения о топологии размещения и технических параметрах узловых элементов сети IoT, то необходимо разрабатывать программы и алгоритмы анализа объемных карт, которые обеспечивают автоматическое определение мест размещения и параметров узловых элементов сети для формирования пространства функционирования (радиопокрытия) требуемой конфигурации.

Предполагается, что данные программы должны быть аналогичны уже разработанным инструментам оптимизации сетей мобильной связи Actix, Aircom Asset, Mentum Planet, Shema, ONEPLAN NEO, Capesso, обеспечивающим автоматическое определение мест размещения и параметров базовых станций (БС) сетей сотовой связи, но использующим обычные двумерные тематические карты.

Области применения ОТК достаточно широки и многообразны. Например, это определение и визуализация в пространстве санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки, объемные карты сигнала сети цифрового ТВ, маркетинговые исследования распределения устройств IoT по территории, визуализация контроля состояния атмосферы и чистоты воздуха, планирование маршрутов беспилотных летательных аппаратов, на которых отсутствуют зоны без связи, оценка и контроль охраняемого пространства и определение зон риска.

В связи со снижением темпов роста голосового трафика в сетях мобильных операторов и перетекания

основных услуг, предоставляемых операторами связи, в область передачи данных, они стремятся трансформировать и оптимизировать свой бизнес. Поэтому операторы мобильной связи активно ведут работы по созданию собственных специальных географических информационных систем (ГИС), которые призваны снизить затраты на развитие и обеспечение функционирования сети, на обслуживание абонентов и тем самым повысить эффективность бизнеса. В связи с большим количеством данных при формировании ОТК в операторских ГИС потребуется применение оборудования и методов обработки больших объемов информации Big Data. Для снижения затрат на формирование объемных тематических карт целесообразно предусмотреть межоператорский обмен результатами расчетов (например, картами ослабления радиосигналов). Предпосылкой для такого обмена является тот факт, что большое количество мест расположения антенн разных операторов совпадает. В дальнейшем по мере увеличения числа базовых станций и уплотнения сетей количество совпадений точек размещения БС будет увеличиваться и это создает предпосылки для совместного построения всеми операторами общей глобальной стереологической модели пространства функционирования



сети IoT. Также особую актуальность объемные карты имеют для формирования радиопокрытия антенн с управляемой диаграммой направленности (Beam Forming).

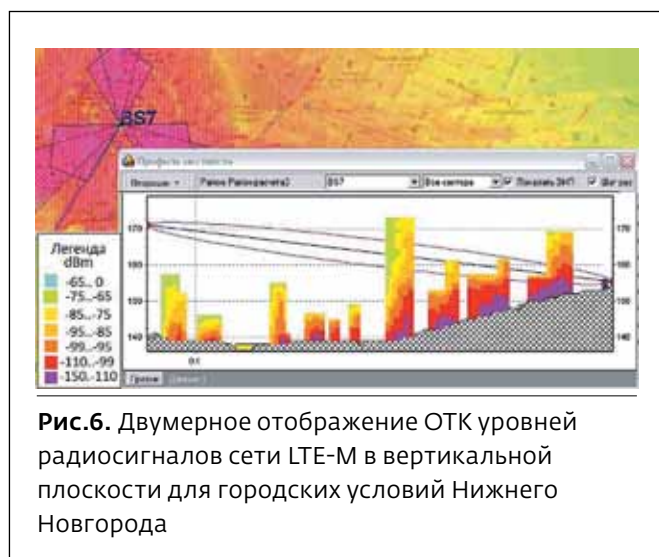


Рис.6. Двумерное отображение ОТК уровней радиосигналов сети LTE-M в вертикальной плоскости для городских условий Нижнего Новгорода

Методология (модель и метод) стереологического моделирования пространства функционирования сетей IoT позволяет автоматизировать обработку информации при подготовке и обосновании решения на синтаксическом, семантическом и прагматическом уровнях.

Синтаксический аспект информации определяет структуру данных и форматы их представления. На синтаксическом уровне осуществляется дискретизация информационного пространства сети IoT на элементарные объемы и замена непрерывного (аналогового) описания множества воздействующих факторов окружающей обстановки его дискретным (цифровым) образом. Полученный дискретный образ окружающего пространства легко переносится в компьютерную базу данных, в которой каждая запись представляет собой сведения, относящиеся к определенному ЭО или их совокупности.

Семантический аспект включает полноту, содержательность и понимаемость смысла информации. Для автоматизации обработки семантических свойств заключенная в стереологической модели информация, в соответствии с функциональным предназначением, может разделяться на отдельные слои, показывающие распределение в пространстве выбранных показателей эффективности сети IoT или воздействующих факторов. Семантическая целостность информации в стереологической модели обеспечивается хранением данных о величинах показателей эффективности и воздействующих факторах в виде свойств и характеристик отдельных ЭО. Таким образом формируются ОТК, характеризующие распределение в пространстве определенных свойств окружающей обстановки. Например, тематические карты распределения вероятности установления

соединения с устройствами, находящимися в заданной совокупности ЭО или вероятности выполнения требуемого отношения сигнал/помеха.

Прагматический аспект информации показывает, насколько информация будет полезна для целей планирования, адекватно отражать условия функционирования и какие вычислительные ресурсы потребуются для ее обработки. Сведение указанных свойств в одну точку возможно благодаря выбору размера элементарного объема пространственного разрешения. Для предварительного планирования сетей IoT возможно использование элементарных объемов больших размеров. Это позволяет получить приближенный (оценочный) результат достаточно быстро и не требует больших вычислительных ресурсов. По мере уменьшения размеров ЭО можно получить более точный результат, но с большими затратами вычислительных ресурсов. В зависимости от прагматических требований к результату планирования может быть использован приближенный или точный расчет показателей качества функционирования сети IoT.

Рассмотренные составные части методологии стереологического анализа (модель и метод) позволяют реализовать элементы искусственного интеллекта, так как путем дробления информационного пространства на составляющие элементарные объемы и установления логических связей между ними возможно обеспечение объемного (образного) восприятия информации компьютером.

Учитывая необходимость обработки огромных объемов информации, аналитическую сложность и большой объем вычислений, эффективное формирование объемных тематических карт возможно на основе гибкого сочетания информационных и телекоммуникационных технологий. При этом из всего многообразия перспективных инфотелекоммуникационных технологий наиболее важными являются следующие:

- распределенная обработка информации, включающая облачные вычисления;
- обработка массивов данных Big Data;
- автоматизированная разработка программного обеспечения – CASE-технологии (Computer – Aided Software Engineering);
- геоинформационные и навигационные технологии;
- компьютерная графика, виртуальная и дополненная реальность, мультимедиа технологии;
- нейронные сети и искусственный интеллект;
- технологии высокоскоростной передачи информации.

Комплексное применение передовых технологий в рамках методологии стереологического анализа

пространства функционирования сети IoT позволит на этапе планирования принимать оперативные и адекватные реальной обстановке решения с целью обеспечения требуемого качества функционирования сети с минимальными затратами в любых условиях окружающей среды (воздух, суша, вода).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объемная тематическая карта является логическим развитием используемых конфигураций пространств оценки качества функционирования пространственно-распределенных систем, в том числе сетей связи. ОТК предоставляет возможность адекватного учета влияния окружающей среды и распределения нагрузки в сетях IoT с целью их рационального планирования и развития.

Объемные тематические карты целесообразно использовать в специальных ГИС операторов для создания стереологических моделей пространства функционирования сетей IoT. ОТК позволяет формировать стереологические модели различных объектов и систем, эффективность которых зависит от пространственных параметров, с различной степенью адекватности и величиной затрат вычислительных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа "Цифровая экономика Российской Федерации" // Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 года № 1632-р.
2. **Тихвинский В.О., Бочечка Г.С.** Перспективы внедрения технологии узкополосной передачи данных NB-IoT в сетях LTE // Электросвязь. 2016. № 8.
3. **Фишер Э.** Применение опыта разработки мобильных решений в IoT-проектах // Лучшие методики разработки решений для Интернета вещей, 03.12.2015, <https://www.ibm.com/developerworks/ru>
4. **Дмитриев В.И., Зайчик Е.М.** Применение ГБД при автоматизированных расчетах потерь распространения УКВ на линиях связи прямой видимости // Электросвязь. 1991. № 6. С. 38–40.
5. **Зоткин С.А., Зайчик Е.М., Кубасов И.А.** К вопросу о стереологическом анализе операционного направления при управлении войсками // Военная мысль. 2001. № 4. С. 24–30.
6. Planning the Internet of Things – New Technologies, New Challenges. Infovista, www.infovista.com
7. **Одоевский С., Степанец В.** Программные средства планирования и оптимизации сетей беспроводной связи // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2010. № 2.
8. **Попов С.** Частотно-территориальное планирование эпохи IoT // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2017. № 5. С. 42–46.