

Александр Корнилов
 Андрей Архипкин
 Андрей Кириленко
 kedah@kedoh.ru

Система планирования радиосвязи на базе цифровых карт местности

Для решения задач частотно-территориального планирования систем радиосвязи необходим максимально полный учет характеристик местности. В данной статье описывается программный комплекс RAPAN (Radio Planning & Analysis), предназначенный для планирования и предварительной оценки качества работы систем радиосвязи в заданном регионе на базе цифровой карты местности. Цифровые карты местности содержат информацию о рельефе и характере заполнения определенного региона (растительность, водное пространство, населенный пункт и т. д.).

Основные возможности системы

Программный комплекс RAPAN (Radio Planning & Analysis Tool) предназначен для планирования и предварительной оценки качества работы систем радиосвязи в заданном регионе на базе цифровой карты местности. Комплекс разработан специалистами ООО «Кедах Электроникс Инжиниринг» (КЕЕ) для планирования сетей фиксированной радиосвязи на базе оборудования собственного производства (радиорелейных станций LinkRider и систем абонентского доступа Asterplex).

Исходными данными для проведения планирования являются:

- цифровая карта района работ с данными о высоте в каждой точке;
- координаты размещения станций системы радиосвязи;
- параметры приемопередающих устройств станций;

ВРЕЗКА 1

Геоинформационная система (ГИС) — информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых и иных).

- параметры и ориентация антенн станций.

Расчеты системы RAPAN основаны на рекомендациях Международного Союза Электросвязи (International Telecommunications Union — ITU) и включают в себя:

- расчет и отображение профиля радиотрассы с учетом первой зоны Френеля;
- построение зоны прямой видимости от выбранной базовой станции;
- расчет уровня принятого сигнала в заданной области от выбранной базовой станции;
- построение зоны обслуживания базовой станции.

В состав системы также входят конвертеры цифровых карт и редактор диаграмм направленности антенн.

Конвертеры цифровых карт позволяют преобразовать в формат системы RAPAN электронные карты, созданные в широко распространенных геоинформационных системах (MAPINFO, ARCINFO, ПАНОРАМА) (см. врезку 1).

Редактор диаграмм направленности антенн позволяет создать базу данных антенн для использования в расчетах системы RAPAN.

Цифровая карта

Цифровая карта местности является ключевым элементом системы RAPAN, на ее основе производится размещение станций и выполняется большинство расчетов, требующих учета рельефа местности.

Цифровые карты местности содержат информацию о рельефе и характере заполнения определенного региона (растительность, водное пространство, населенный пункт и т. д.).

Цифровая карта состоит из следующих компонентов:

- растровые данные;
- векторные данные;
- текстовые данные;
- изображения.

Растровые данные содержат информацию о высоте и типе местности в каждой точке. Каждый растровый файл цифровой карты описывает прямоугольный участок местности (лист карты). Все растровые файлы имеют одинаковый размер. Программа не накладывает ограничений на разрешение цифровой карты. Чем выше разрешение карты, тем выше точность расчетов и больше размер файлов карты. Для расчета радиолиний обычно применяются карты, в которых размер точки (пик-

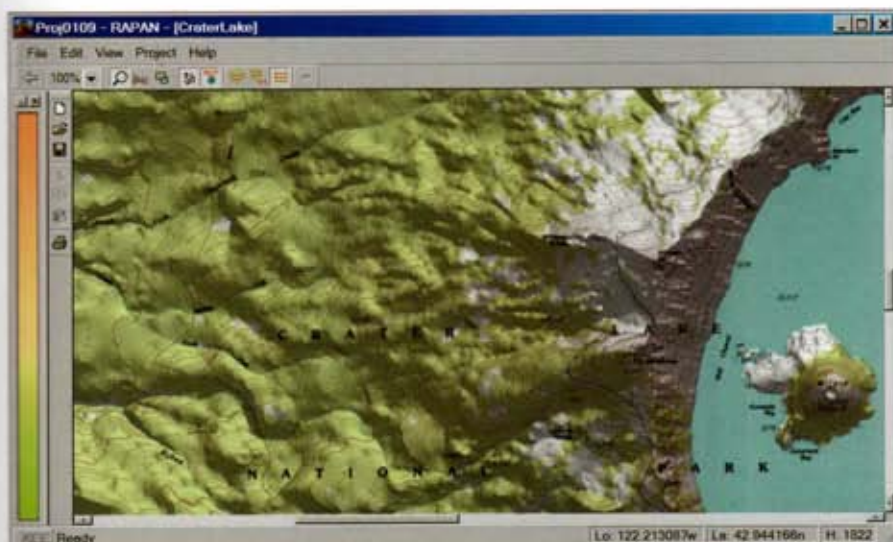


Рис. 1. Визуализация цифровой карты местности

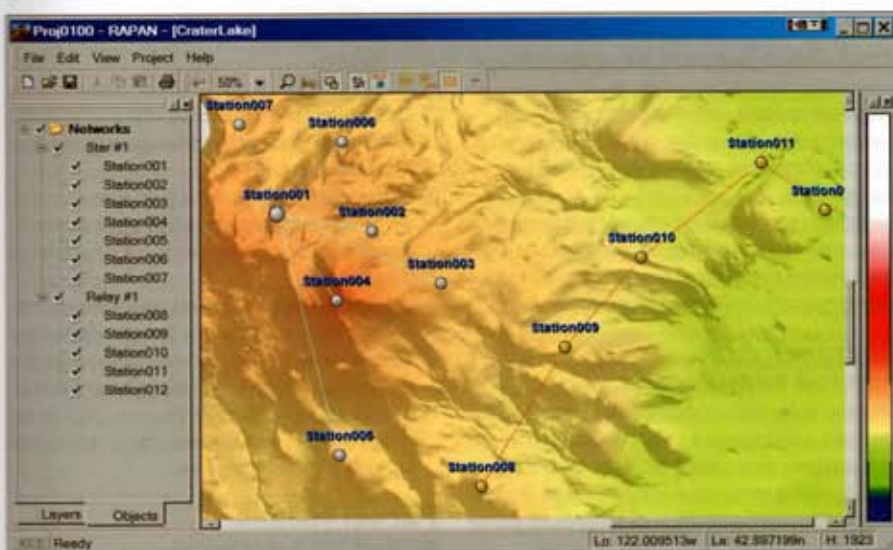


Рис. 2. Пример размещения станций на карте

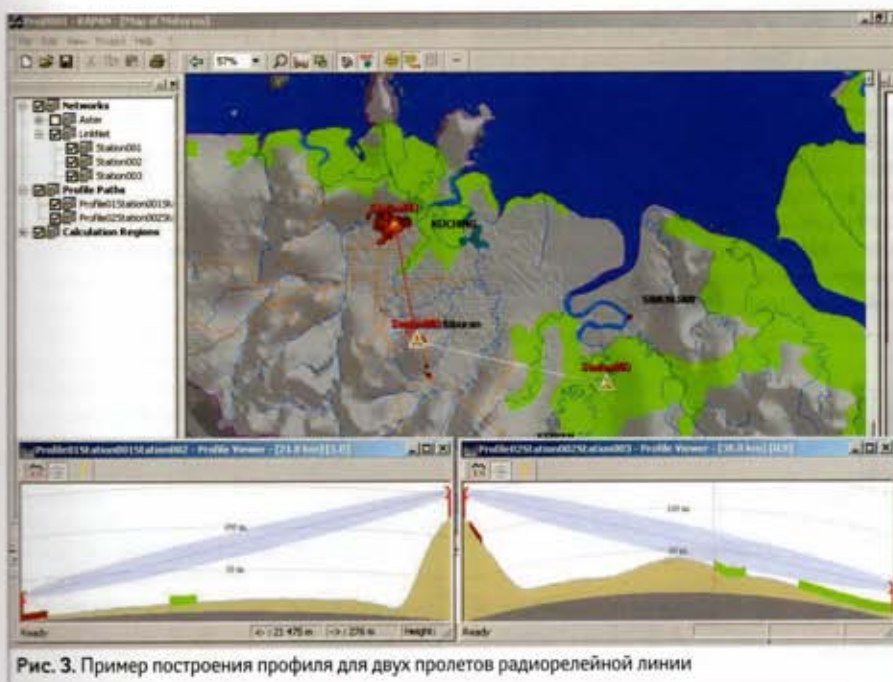


Рис. 3. Пример построения профиля для двух пролетов радиорелейной линии

села) карты соответствует прямоугольному участку местности размером 30×30, 50×50, 100×100 м.

Векторные данные описывают линейные объекты (дороги, реки и т. п.), которые требуется отображать на карте. Координаты точек векторных объектов разного типа, например дорог и рек, должны располагаться в разных файлах. Количество векторных файлов не ограничивается.

Текстовые данные содержат названия географических объектов (города, поселки и т. п.), которые требуется отображать на карте.

Изображения представляют собой сканированные бумажные топографические карты или аэрофотоснимки, которые могут отображаться в дополнение к растровым и векторным данным.

На рис. 1 приведен пример представления карты в системе RAPAN

Размещение станций на карте

Размещение станций на карте осуществляется по их географическим координатам или визуально по отношению к характерным географическим объектам, изображенным на карте.

Система поддерживает две топологии радиосети (рис. 2): радиорелейную и звездообразную.

При размещении станций задаются основные параметры приемопередающих устройств (мощность передатчика, чувствительность приемника, потери в приемопередающем тракте), тип, высота подвеса и ориентация антенны.

Виды расчетов

После размещения станций на карте система RAPAN позволяет осуществлять следующие виды расчетов:

- профиль радиотрассы между двумя точками с учетом высоты антенн;
- параметры радиолинии для радиорелейных станций и систем абонентского доступа;
- надежность радиолинии для радиорелейных станций и систем абонентского доступа;
- точки прямой видимости от базовой станции с учетом зоны Френеля в заданной области;
- уровень принятого сигнала от базовой станции в заданной области;
- отношение «сигнал – помеха» в заданной области с учетом интерференции от других секторов базовой станции и других станций;
- расчет ожидаемой вероятности ошибки на бит в точках заданной области;
- зоны обслуживания для нескольких базовых станций по заданному критерию (вероятность ошибки на бит, запас на замирание и т. п.);
- необходимая минимальная мощность абонентской станции.

Расчет профиля радиотрассы

Для СВЧ-диапазона, в котором работают современные высокоскоростные системы связи, важно, чтобы первая зона Френеля не касалась поверхности земли (см. врезку 2). То есть высота подвеса антенны должна быть достаточной, чтобы даже в самой нижней точке зона Френеля находилась над землей (рис. 3, внизу). Для того чтобы максимально увеличить расстояние прямой видимости между станциями, их антенны устанавливают на мачтах или башнях и по возможности — на возвышенных местах.

Система RAPAN позволяет строить профиль рельефа местности между любыми двумя точками и получать значение относительного просвета прямого луча в любой точке радиотрассы. Если

ВРЕЗКА 2

Понятие зон Френеля

Радиоволна в процессе распространения в пространстве занимает объем в виде эллипсоида вращения с максимальным радиусом в середине пролета, который называют зоной Френеля. Естественные (земля, холмы, деревья) и искусственные (здания, столбы) преграды, попадающие в это пространство, ослабляют сигнал.

Понятие зон Френеля основано на принципе Гюйгенса, согласно которому каждая точка среды, до которой доходит возмущение, сама становится источником вторичных волн, и поле излучения может рассматриваться как суперпозиция всех вторичных волн. На основе этого принципа можно показать, что объекты, лежащие внутри concentрических окружностей, проведенных вокруг линии прямой видимости двух трансиверов, могут влиять на качество как положительно, так и отрицательно. Все препятствия, попадающие внутрь первой окружности (первой зоны Френеля), оказывают наиболее негативное влияние. Вычислить ее можно по формуле [2]:

$$r = 17,3 \sqrt{\frac{1}{f} \frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2}},$$

где r — радиус первой зоны Френеля (м);
 f — частоты приема/передачи (Гц);
 D_1 и D_2 — расстояния до препятствия от передатчика и приемника (км).



при построении профиля выбраны точки размещения станций, то автоматически учитывается высота подвеса антенн. На рис. 3 приведен пример построения профиля для двух интервалов радиорелейной линии.

При расчете профиля радиотрассы используется модель [1] на основе «эквивалентного радиуса» Земли (рис. 4), в соответствии с которой радиоволны рассматриваются как распространяющиеся прямолинейно над фиктивной земной поверхностью радиуса KR_0 , или наоборот, луч с эффективным радиусом KR_0 распростра-

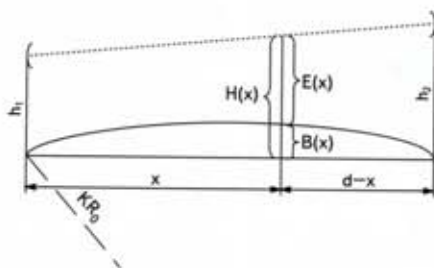


Рис. 4. Модель [1] на основе «эквивалентного радиуса» Земли

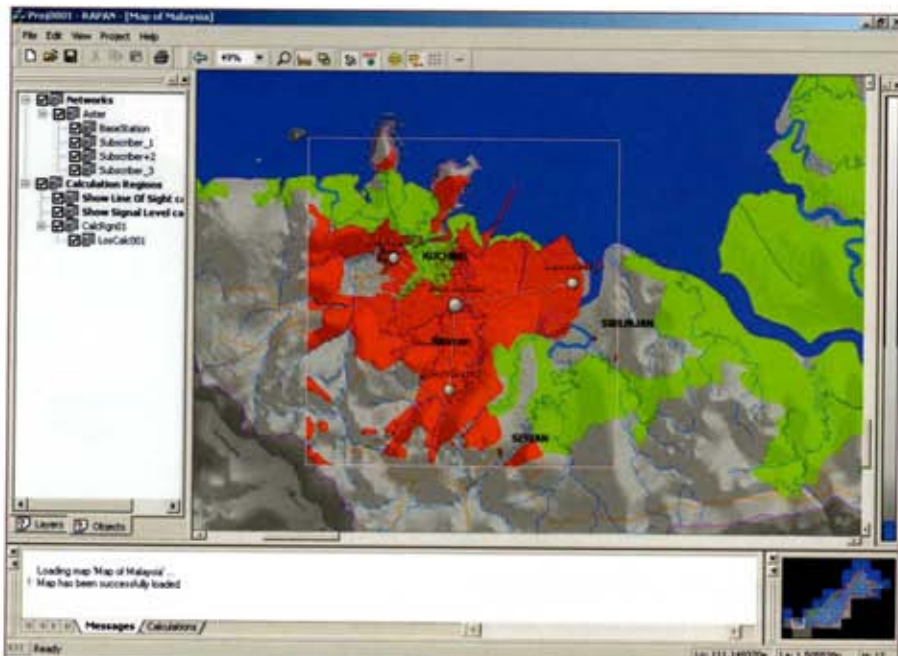


Рис. 5. Пример построения зоны прямой видимости для станции

няется над плоской земной поверхностью, где R_0 — фактический земной радиус (6 378 245 м для эллипсоида Красовского), а K — эффективный радиус-фактор.

Высоту над уровнем моря следует рассматривать как высоту над эквивалентной поверхностью. Кривизна земной поверхности рассчитывается с учетом эффективного радиус-фактора (см. врезку 3).

Построение зоны прямой видимости

Система позволяет построить зону прямой видимости для станции в прямоугольной области по критерию оптической видимости или заданного уровня перекрытия зоны Френеля. Результат расчета отображается на цифровой карте цветной зоной (рис. 5).

В расчете учитывается высота антенны базовой станции и высота антенны абонентской станции. Расчет прямой видимости производится в точках прямоугольной области с учетом высоты антенны абонента. Источник сигнала определяется координатами, высотой антенны и частотой передачи (если учитывается зона Френеля). Источник сигнала может располагаться как внутри, так и вне области расчета.

Отображение расчета осуществляется в двух вариантах: заливка видимых точек и заливка невидимых точек.

В основе расчета лежит следующий алгоритм:

- 1) выбор прямоугольной области расчета;

- 2) выбор положения и параметров источника сигнала (от существующей станции или в произвольной точке);
- 3) выбор критерия прямой видимости;
- 4) последовательно проводятся лучи от источника сигнала к граничным точкам области расчета;
- 5) для каждого луча загружается профиль местности с учетом кривизны эквивалентной поверхности и дополнительной высоты объектов местности (высота леса, кварталов и т. п.);
- 6) оценка видимости производится для каждой точки профиля в направлении от источника сигнала к границе области.

Расчет уровня принятого сигнала

Расчет уровня принятого сигнала учитывает рельеф местности, параметры приемопередатчика и антенны базовой станции.

Результат расчета уровня принятого сигнала изображается цветными зонами, граничные значения которых определяются пользователем (рис. 6).

ВРЕЗКА 3

Для рис. 4 справедливы следующие соотношения:

- Просвет оси (м):

$$H(x) = \frac{(d-x)h_1 + xh_2}{d}$$

- Эквивалентная кривизна земли (м):

$$B(x) = \frac{1}{2KR_0} x(d-x)$$

- Высота луча (м): $E(x) = H(x) - B(x)$, которая имеет отрицательное значение, если вершина препятствия находится выше оси луча.

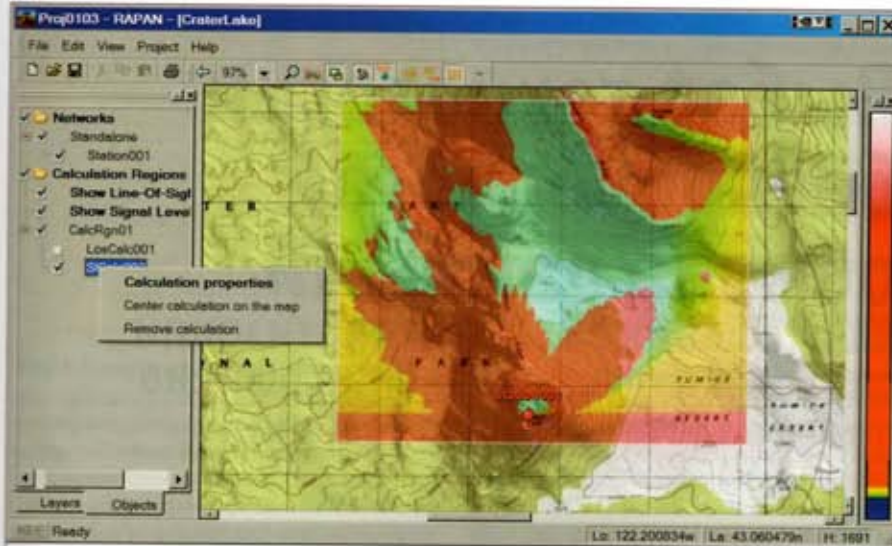


Рис. 6. Пример расчета уровня принятого сигнала

Мощность принимаемого сигнала определяется следующим выражением:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_p - L_e - L_{other}$$

где P_r — принятый сигнал (дБм).

P_t — мощность передатчика на канал (дБм).

G_t — усиление передающей антенны (дБи).

G_r — усиление приемной антенны (дБи).

L_p — потери мощности при распространении сигнала (дБ).

L_e — потери мощности, связанные с оборудованием (дБ).

L_{other} — прочие потери (дБ).

При расчетах делается запас на замирание:

$$FM = P_r - R_r$$

где R_r — пороговая чувствительность приемника (дБм).

Усиление передающей и приемной антенн (G_t и G_r соответственно) вычисляется с учетом их ориентации в горизонтальной и вертикальной плоскостях по отношению к положению абонента.

Потери мощности при распространении сигнала. Оценка потерь мощности, связанных с распространением сигнала (L_p) для линий с прямой радиовидимостью должна учитывать следующие виды потерь [3]:

- потери в свободном пространстве [4];
- потери в атмосфере [3, # 2.1];
- потери, обусловленные дифракцией [3, # 2.2];
- потери, обусловленные многолучевым режимом [3, # 2.3];
- потери, связанные с осадками [3, # 2.4].

Список упорядочен по значимости эффектов.

В отсутствие прямой видимости необходимо дополнительно рассматривать следующие виды потерь:

- дифракционные потери на препятствиях;
- ослабление сигнала при прохождении через деревья.

Потери в оборудовании. Потери мощности сигнала в оборудовании (L_e) складываются из следующих видов потерь:

- потери в кабеле на передающей и приемной стороне (рассчитываются исходя из длины и типа кабеля, который определяет величину потерь на 1 м).

- потери в разъемах (рассчитываются из количества и типов разъемов).

Прочие потери. К прочим потерям относятся:

- потери, приписанные к типу местности. Например, станция расположена так, что деревья вблизи станции перекрывают прямую видимость. Рассматривать кромку леса как препятствие и использовать модель дифракционных потерь не получится, оценка потерь будет завышена. Можно рассчитать потери радиолинии при нулевой высоте леса (в условиях прямой видимости) и добавить оценку потерь на деревьях. Аналогично можно поступать в случаях, когда абонент находится между домами или внутри здания.
- потери, приписанные некоторой области на карте (полигон), моделирующие мешающий радиофон в заданной полосе частот.
- потери, вызванные помехами от других систем связи.

Заключение

Для обеспечения эффективной работы системы связи необходимо на этапе проектирования сети максимально точно учесть факторы, влияющие на распространение сигнала. Только в этом случае после монтажа не возникнут проблемы с эксплуатацией оборудования.

Использование системы RAPAN позволяет в сжатые сроки разработать проект новой сети или расширить уже развернутую сеть, оценить ее достоинства и недостатки, проанализировать показатели электромагнитной совместимости и оптимизировать характеристики с учетом конкретных географических условий местности. ■

Литература

1. Mojoli L. F., Mengali U., Propagation in line of sight radio links. Материалы компании Alcatel.
2. Волков Л. Н., Немировский М. С., Шинаков Ю. С., Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики. М.: Эко-Трендз, 2005.
3. Рекомендации Международного Союза Электросвязи ITU-R P530-9.
4. Рекомендации Международного Союза Электросвязи ITU-R P525.