

Раздел 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 681.518

DOI: 10.34046/aumsuomt91/18

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ В ГОРИСТОЙ МЕСТНОСТИ

А.Ю. Алферов, аспирант

В.В. Федорченко аспирант

Г.Е. Панамарев, доктор технических наук

В телекоммуникационной научно-технической и бизнес среде в последние годы идет обсуждение о роли радиорелейной (РР) связи в системе передачи данных. Необходимость РРЛС обусловлена оптимальными экономическими показателями, простотой развертывания и удобством масштабирования. Большая часть корпоративных и государственных коммуникаций развернута при помощи РРЛ, или имеют в своем составе участки РРЛ, что обусловлено экономически выгодными показателями организованных линий, высокой скоростью возведения, удобством масштабированием РРЛ сетей и возможностью развертывания на местности с трудным рельефом. В статье раскрыты преимущества и примеры применения оборудования радиорелейной связи. Развертывание всевозможных беспроводных систем связи влечет за собой решение большого числа сопутствующих организационных и технологических задач. При строительстве данных систем в гористой местности количество проблем и задач существенно возрастает. Это вызывает большое количество разных требований к оборудованию, применяемому для развертывания сети беспроводной связи. Проведен анализ развертывания связи в труднодоступных и/или гористых районах, где применение проводных линий является задачей либо трудозатратой технически, либо экономически необоснованной.

Ключевые слова: радиорелейная связь, радиорелейные линии, многоканальная связь, модуляция, пропускная способность, горная местность.

In the telecommunications scientific, technological and business environment in recent years, there is a discussion about the role of radio-relay (RR) connection in the data transmission system. Necessity RRLS due to optimum economic performance, ease of deployment and scalability convenience. Necessity RRLS due to optimum economic performance, ease of deployment and scalability convenience. Most of the corporate and government communications deployed using RRL or are composed of sections of RRL, due to the cost-effective performance organized lines, high speed of construction, ease of scaling radio relay networks and the ability to deploy in areas with difficult terrain. The article deals with the advantages and application examples of microwave transmission equipment. The deployment of all kinds of wireless communication systems involves a large number of decision related organizational and technological problems. During the construction of these systems the number of problems and challenges increase significantly in the mountainous terrain. This causes a large number of different requirements for the equipment used for the deployment of a wireless network. Carried out the deployment of communication analysis in remote and / or mountainous areas, where the use of wire lines is a task or labor costs technically or economically unjustified.

Keywords: radio relay communications, microwave links, multichannel communications, modulation bandwidth, highlands.

Многokrатно увеличилось информационные потоки, а вместе с ними и скорости передачи на гигантские расстояния. Сигналы и данные передаются с применением различных средств: трасс оптоволоконных, медных и других кабелей. Но, следует заметить, что существующие способы передачи данных постепенно подходят к

критическому уровню из-за существующих в них ограничений по объему и скорости. В этом свете следует отметить, что одной из перспективных технологий является технология передачи данных с помощью радиоволн. Хотя и приходится учитывать загруженность радиочастотного спектра, остаются, достаточно, широкие полосы частот,

использование которых идет с освоением новых технологий: схемотехнических устройств, антенн и прочих.

На сегодняшний день основные системы мобильной связи работают на частотах до 3 ГГц: системы связи 4G (в пределах рабочей частоты 2665 МГц (LTE сети)). При этом обеспечивается скорость передачи данных до 100 Мбит/с. Кто-то может сказать, что на данный момент эти показатели являются отличными для современного потребителя, но не стоит забывать, что запросы в скорости и объемах передаваемых данных увеличиваются с каждым годом не успевая покрыть даже запрос сегодняшнего дня. Вот здесь и приходят на помощь системы связи миллиметрового диапазона [1].

Непростая ситуация складывается вокруг постройки радио сетей. Основная загвоздка заключается в присвоении частот и согласовании частотно-территориального плана. Данный процесс может занимать от 6-ти месяцев до 1,5 лет. И все это время уже готовые радио-объекты запрещено вводить в эксплуатацию, за исключением проведения пуско-наладочных работ с целью настройки, калибровки оборудования и проведения тестовых испытаний. В то же время запросы в пакетной передаче данных по радиоканалам постоянно возрастают. Важную роль в данном вопросе начинают играть радиорелейные станции (РРС).

Радиорелейная связь применяется на дистанциях до 40-50 км. Тропосферные коммуникации заняли промежуточную позицию. Типичные расстояния между станциями составляют 50-250 км, хотя могут при достижении определенных условий таких как: высота установки приемопередатчиков, характер подстилающей поверхности, климат данной местности и понижение скорости передачи данных в угоду дальности и надежности радио канала. Ярким примером данного факта может являться цепь станций между Окинавой (Япония) и Гавайями (США), протянувшейся через Тихий океан, среднее расстояние составляет 1000 миль, а на отдельных участках превышает 1300 миль. Советская линия связи «Север» имела рекордную общую протяженность 13200 км. На отдельных участках разрыв между приемником и передатчиком составлял 450 км. [2, 3]

Этот вид радиосвязи является довольно безопасным способом распространения информации. Перехватить сигнал РРС крайне затруднительная задача, что является крайне важным фактором в использовании данного способа передачи данных у военных.

Современные полевые радиорелейные сети связи строятся различными средствами, как правило, высокоскоростными радиорелейными станциями типа Р-431АМ и Р-416ГМ [1, 2]. Воздействие дестабилизирующих факторов может привести к выходу из строя направлений связи, что в целом снижает структурную надежность связи [3, 4]. Задача повышения структурной надежности полевой транспортной сети связи может быть решена за счет добавления новых путей или перекрестных соединений между существующими путями, так называемых «перемычек». В качестве «перемычек» целесообразно использовать линии связи, мало подверженные воздействию электромагнитных воздействий с достаточной пропускной способностью, например, волоконно-оптические линии связи. Однако в условиях ограниченного ресурса сил и средств на ее развертывание возникает несколько задач: оптимального размещения этих линий резервирования в радиорелейной сети; определения количества таких линий на сети и их надежности.

Поставленная задача может быть решена за счет оценки всех остовных деревьев графа при очередном введении линии резервирования между узлами.

Например, полевая радиорелейная сеть связи образована радиорелейными станциями, размещенными на узлах связи (УС) (рис. 1). На этой сети необходимо расположить линию резервирования так, чтобы число остовных деревьев графа было максимально. При этом ресурс сил и средств позволяет за выделенное время развернуть между УС только одну волоконно-оптическую линию связи.

Расчет радиолиний радиорелейной связи по Цифровым картам местности (ЦКМ) в условиях помех с учетом рельефа местности и объектового состава предназначен для выполнения аналитических расчетов параметров радиолиний, повышения достоверности получаемых параметров и выдачи рекомендаций по улучшению радиосвязи.

Расчет радиолинии осуществляется в несколько этапов:

- расчет энергетических характеристик радиолиний, высот поднятия антенн для обеспечения связи из закрытых по условиям рельефа зон;
- расчет вероятностных характеристик радиолинии;
- построение профиля трасс радиорелейной связи;
- коррекция базы данных по результатам расчетов (рис. 1).



Рисунок 1 – Вариант построения радиорелейной сети связи, образованной радиорелейными станциями Р-416ГМ

Методика расчетов радиотрасс связана с задачей расчета суммарного уровня помех, а также взаимодействует с базой данных (БД) радиотрасс;

- с БД цифровой картографической информации;

- с БД тактико-технических характеристик радиотехнических средств;

- с БД результатов.

Построение профилей местности производят в определенном масштабе расстояний и высот.

Рекомендуемые масштабы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расстояние не более, км	Масштаб расстояний	Разность высот не более, м	Масштаб высот
38	1 см = 1 км (1:100000)	100 250	1 см = 5 м (1:500) 1 см = 10 м (1:1000)
75	1 см = 2 км (1:200000)	50 150 450 1100	1 см = 5 м (1:500) 1 см = 10 м (1:1000) 1 см = 20 м (1:2000) 1 см = 40 м (1:4000)
100	1 см = 2,5 км (1:250000)	70 300 1000 5500	1 см = 10 м (1:1000) 1 см = 20 м (1:2000) 1 см = 40 м (1:4000) 1 см = 200 м (1:20000)

Для радиорелейных станций, работающих в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн, критическим фактором является расположение приём-передатчиков в прямой видимости друг к другу, при этом между ними не должно быть каких либо преград. Иначе говоря, необходимо, чтобы величина просвета H , т. е. расстояние между линией прямой видимости и местными предметами, была больше нуля. Так же важным является подстилающая поверхность между приём-передатчиками, в виду того, что при исполь-

зовании радио релейного оборудования в прибрежных зонах зачастую получается, что подстилающей поверхностью на одной из трасс радио релейного передатчика является сначала земля, потом вода и снова земля, что приводит к проблемам с устойчивой передачей данных по радио каналу.

Теоретические работы целью, которых является описание механизма передачи информации в РРЛ /1/ мы узнаем, что наивысшую помехоустойчивостью а, следовательно, максимальный

запас энергетического бюджета РРЛ обладает при эксплуатации в режимах ВР5Ки QPSK.

Производители современных РРС успешно справляются с задачами обеспечения наивысшей скорости передачи данных в развернутой РРЛ, обычно, при помощи использования видов модуляции высокого порядка и адаптивной модуляции.

Адаптивная модуляция дает возможность мобильной системе подстраивать схему модуляции сигнала исходя из уровня отношения сигнал-шум (SNR) в радиоканале. Если радиоканал имеет высокий уровень сигнала, следовательно, применяется самая высокая схема модуляции, что ведет к повышению емкости в системе. С затуханием сигнала, система может менять схему модуляции на систему более устойчивую к помехам, как показано на рисунке 2.

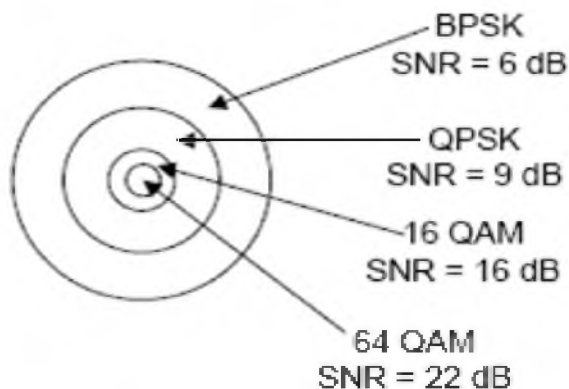


Рисунок 2 – Метод модуляции в зависимости от отношения сигнал/шум

Приоритетным инструментом для роста эффективности применения радиоспектра является измерение качества канала и автоматическое регулирование мощности сигнала.

Зачастую, ввиду малого количества частотного ресурса, отсутствует возможность получения больших пропускных способностей за счет увеличения ширины полосы частот.

QAM - (Quadrature Amplitude Modulation – Модуляция методом Квадратичных Амплитуд) – это технология передачи цифрового информационного потока в виде аналогового сигнала. Это достигается путем разделения несущей волны на

две несущие одинаковой частоты, сдвинутые относительно друг друга на 90°, каждая из которых промодулирована по одному из двух или более дискретных уровней амплитуды. Комбинация всех уровней амплитуды на этих двух несущих представляет собой бинарную битовую картину.

I и Q компоненты - это две половины битовой картины цифрового потока, передаваемые одновременно, как уровни напряжения двух идентичных частотных несущих сдвинутых на 90 градусов. Компонента I (incident) модулирует несущую без сдвига фазы. Компонента Q (quadrature) модулирует несущую со сдвигом 90 градусов (Рисунок 3).

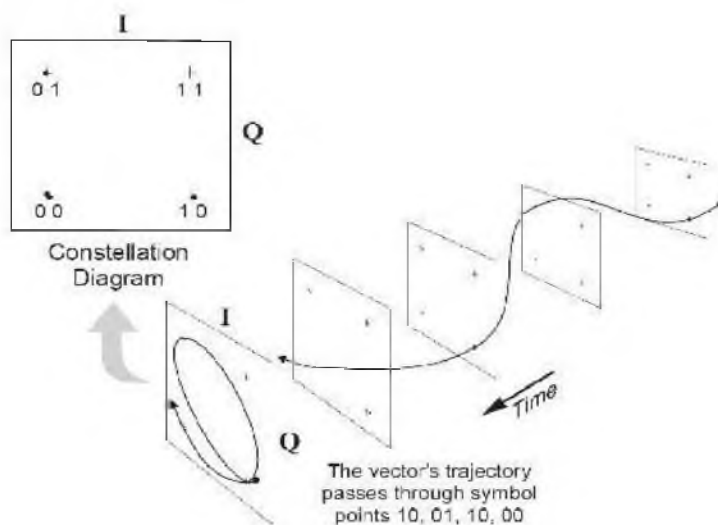


Рисунок 3 – Канстелляционная диаграмма, отображающая I/Q вектор. Траектория вектора, описывая кривую во времени, проходит через точки 10, 01, 10, 00.

Особенностью организации радиорелейных систем связи в горной местности являются техническая и административная сложности их создания. Несмотря на общий принцип организации магистральных каналов, их строительство в горной местности существенно отличается от «равнинного» варианта.

Для организации магистральных каналов в горной местности вариантов у нас практически нет — все «светят» в одном направлении, с одних антенно-мачтовых сооружений, на соседних частотных каналах. Значит, у нас остается только один выход из ситуации — выбор оборудования, которое позволит как можно лучше вписаться в определенные рамки. Это можно считать первым критерием отбора.

Еще одним критерием выбора магистрального оборудования должны быть его универсальность и способность к масштабированию с минимальными дополнительными затратами. Под универсальностью оборудования понимается его способность передавать различные форматы данных — каналы E1, потоки IP, структуру SDH/ATM. Совсем необязательно, чтобы установленное оборудование изначально было оснащено данными интерфейсами — достаточно того, чтобы оно было готово к подобному расширению в дальнейшем. Подобное расширение является одной из составляющих понятия «масштабирование».

Исходя из всего сказанного, основными требованиями к оборудованию беспроводных радиорелейных магистральных каналов связи, применяемых в горной местности, должны быть:

1. Поддержка по возможности широкого частотного диапазона;
2. Оптимальное использование частотного ресурса, т.е. возможность работы на соседних номиналах, предоставление возможности выбора ширины рабочей полосы канала в зависимости от доступного ресурса (например, настройки на полосы шириной 3,5, 7, 14, 28 МГц), несколько вариантов исполнения для различных значений дуплексных разносов, четкое соответствие указанным паспортным параметрам ширины рабочей полосы;
4. Поддержка наибольшего количества доступных уровней модуляции позволяет увеличивать информационную скорость канала на уже имеющемся частотном ресурсе за счет применения более скоростной модуляции (разумеется, при достаточной энергетике сигнала);
5. Возможность увеличения емкости уже сформированного канала без изменений в аппаратной части за счет применения более скоростной модуляции и/или расширения применяемых

частотных номиналов (при достаточной энергетике сигнала);

6. Возможность одновременного использования различных сетевых интерфейсов с гибкой балансировкой пропускной способности канала связи между ними (например, между потоками E1 и каналом Ethernet);

При работе в горных условиях, например, вдоль изогнутых ущелий, иногда возникает необходимость в организации поворота радиорелейной трассы. В идеальной ситуации в точке излома целесообразно устанавливать активное оборудование, соответствующее по своей функциональности характеристикам ретранслируемого канала. Однако установка активных ретрансляторов требует (также, как и установка основного радиорелейного оборудования) строительства антенно-мачтовых сооружений, подвода электропитания и установки аппаратного контейнера для активного оборудования.

В обычных условиях самым простым типом пассивного ретранслятора является обычный плоский металлический лист нужного размера и геометрии. Основной принцип работы такого ретранслятора известен еще со времен школьного курса физики — «угол падения равен углу отражения».

Для ситуаций с большой разницей высот между начальной и конечной точками радиорелейной трассы, требующих сложных расчетов и отражающего листа сложной геометрии, более подходящим решением задачи пассивной ретрансляции может являться стыковка двух антенн по схеме «спина-к-спине» через волновод. В этой ситуации за счет юстировки антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях упрощается решение задачи «угол падения — угол отражения». Однако и у этого метода есть отрицательная сторона. Угол между падающим и отраженным лучами должен быть как можно большим, т.к. в противном случае ретранслируемый сигнал будет подвержен интерференционному воздействию основного сигнала.

В заключении, отмечу, что в настоящее время проявляется повышенный интерес к радиорелейной связи, так как существует коммерческая потребность в использовании свободного ресурса радиочастотного спектра. К тому же постепенно разрабатываются новейшие устройства (усилители и пр.), которые позволяют реализовать на практике сверхскоростные системы связи. И в ближайшее годы ожидается активное развитие сверхвысокоскоростных беспроводных мобильных сетей. Данный сегмент рынка оценивается в

десятки миллионов долларов. Прибыль значительно превысит затраты, что делает эту сферу экономически сверхприбыльной.

Литература

1. Барсков А.А. Беспроводной гигабит на магистрали // Журнал сетевых решений / LAN.– 2012.– № 10.– С. 68-75.
2. Писарев Ю.С. Гигабитные радиорелейные станции диапазона 80 ГГц // Журнал сетевых решений / Телеком. 2012. № 3. С. 74-83.
3. Будущее миллиметровых волн. URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30991/1/ittisu_2015_11.pdf (дата обращения 06.07.2007)
4. Пи Ж., Хан Ф. Введение в широкополосные системы связи миллиметрового диапазона // Электроника: Наука, Технология, Бизнес.– 2012.– № 3.– 54 с.
5. Обзор способов повышения производительности радиорелейных линий связи / Е.В. Рогожников [и др.] // Вестник СибГУТИ.– 2013.– № 4.– С. 3-11.
6. ALFOplus80 series. Product Leaflet. URL: http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.1_leaflet.pdf
7. Технические характеристики PPJL ALFOPlus 80 и ALFOPlus 80 vl. URL: https://www.rtk-tech.ru/d/883026/d/alfoplus80_texnicheskiye_kharakteristiki_rus_ver_2.0.pdf
8. Microwave Product Portfolio. URL: <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecomsystems/microwave-product-portfolio>
9. Бондаренко С. А., Журавлёв Д. А., Сальников Д. В., Сазонов М. А., Орлов Е. В., Дворовой М. О. Цифровая радиорелейная станция Р-416ГМ: учеб, пособие для вузов связи. –СПб.: ВАС, 2016. – 98 с.
10. Журавлёв Д. А., Бондаренко С. А., Дворовой М. О., Сальников Д. В., Платонов С. Н., Сазонов М. А. Антенный модуль Р-431АМ: учеб, пособие для вузов связи. – СПб.: ВАС, 2014.–86 с.
11. Huawei RTN 620 V100R005C02 Product Documentation 02, 2013/8/13 © Huawei.
12. Aviat, Aviat Networks, ODU600_ETSI_19Decl 1 Product Documentation, © Aviat Networks, Inc. (2011) All Rights Reserved.
13. Ceragon, FibeAir® RFU-C Product Guide, FibeAir IP-20_Series_ETSI, Oct. 2013
14. Мацков А.А., Серов В.В., Чериобельский Л.И. Перспективы использования линий загоризонтной связи // Электросвязь. – 2006. – № 8. – С. 33-37.
15. ФГУП “МНИРТИ” Способ передачи и приема информации пакетами и устройство для его осуществления. Патент на изобретение № 2411651. - 2011.

16. Безруков В.Г., Мусаелян С.А. Радиорелейная связь для вооружённых сил: вчера, сегодня, завтра // Технологии ЭМС. - 2012. - № 2(41). - С. 23-25.

Bibliography

1. B arskov A.A. Besprovodnoj gigabit namagistrali // ZHurnalsetevyhreshenij / LAN.– 2012.– № 10.– S. 68-75.
2. Pisarev YU.S. Gigabitnyeradiorelejnyestanciidiapazona 80 GGc // ZHurnalsetevyhreshenij / Telekom. 2012. № 3. S. 74-83.
3. Budushcheemillimetrovyhvoln. URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30991/1/ittisu_2015_11.pdf (data obrashcheniya 06.07.2007)
4. Pi ZH., Han F. Vvedenie v shirokopolosnyesistemsvyazimillimetrovogodiapazona // Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes. 2012. № 3. 54 s.
5. Obzorsposobovpovysheniyaiproizvoditel'nostiradiorelejnyhlinijsvyazi / E.V. Rogozhnikov [i dr.] // VestnikSibGUTI. 2013. № 4. S. 3-11.
6. ALFOplus80 series. Product Leaflet. URL: http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.1_leaflet.pdf
7. Tekhnicheskieskharakteristiki RRL ALFOPlus 80 iALFOPlus 80 vl. URL: https://www.rtk-tech.ru/d/883026/d/alfoplus80_texnicheskiye_kharakteristiki_rus_ver_2.0.pdf
8. Microwave Product Portfolio. URL: <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecomsystems/microwave-product-portfolio>
9. Bondarenko S. A., ZHuravlyov D. A., Sa'n'nikov D. V., Sazonov M. A., Orlov E. V., Dvorovoj M. O. Cifrovayaradiorelejnyastanciya R-416GM: Ucheb, posobiedlyavvuzovsvyazi. -SPb.: VAS, 2016. - 98 s.
10. ZHuravlyov D. A., Bondarenko S. A., Dvorovoj M. O., Sa'n'nikov D. V., Platonov S. N., Sazonov M. A. Antennyjmodul' R-431AM: Ucheb, posobiedlyavvuzovsvyazi. - SPb.: VAS, 2014.-86 s.
11. Huawei RTN 620 V100R005C02 Product Documentation 02, 2013/8/13 © Huawei.
12. Aviat, Aviat Networks, ODU600_ETSI_19Decl 1 Product Documentation, © Aviat Networks, Inc. (2011) All Rights Reserved.
13. Ceragon, FibeAir® RFU-C Product Guide, FibeAir IP-20_Series_ETSI, Oct. 2013
14. Mackov A.A., Serov V.V., CHeriobel'skij L.I. Perspektivyispol'zovaniyalinijzagorizontnojsvyazi. - Elektrosvyaz'. - 2006. - № 8. - S. 33-37.
15. FGUP “МНИРТИ” Sposobperedachiipriemainformacipaketamiiustroystvodlya ego osushchestvleniya. Patent naizobretenie № 2411651. - 2011.
16. Bezrukov V.G, Musaelyan S.A. Radiorelejnyasvyaz' dlyavooruzhyonnyhsil: vchera, segodnya, zavtra. - Tekhnologii EMS. - 2012. - № 2(41). - S. 23-25.