

**Keywords:** radiolocation, synthetic aperture radar (SAR), radar image, interferometry, digital terrain model

**DOI:** 10.18469/ikt.2016.14.4.10

**Goryachkin Oleg Valerievich;** Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; the Head of Department Theoretical Foundations of Radio Engineering and Communication, Doctor of Technical Sciences. Tel.: +78462280072. E-mail: goryachkin-ov@psuti.ru.

**Maslov Ivan Vladimirovich;** Space Rocket Centre Progress, 18, Zemetsa str., Samara, Russian Federation; Design Engineer. Tel.: +79297076482. E-mail: macloff@mail.ru.

### References

1. Sergi Duque, Paco López-Dekker, Jordi J. Mallorqui. Single-Pass Bistatic SAR Interferometry Using Fixed-Receiver Configurations Theory and Experimental Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, vol. 48, no. 6, pp. 2740-2749.
2. Holger Nies, Florian Behner, Simon Reuter, Otmar Loffeld, Robert Wang. Polarimetric and Interferometric Applications in a Bistatic Hybrid SAR Mode Using Terra SAR-X. *IGARSS 2010*, pp. 110-113.
3. Paco López-Dekker, Sergi Duque, Juan C. Merlano, Juan C. Rodriguez-Silva, Jordi J. Mallorquí Fixed-Receiver Bistatic SAR Along-Track Interferometry. *First Results EUSAR 2010*, pp. 990-993.
4. Holger Nies, Florian Behner, Simon Reuter, Otmar Loffeld, Robert Wang. SAR Experiments in a Bistatic Hybrid Configuration for Generating PolInSAR Data with Terra SAR-X Illumination. *EUSAR 2010*, pp. 994-997.
5. Ling Wang, Can Evren Yarman, Birsen Yazıcı Doppler-Hitchhiker. A Novel Passive Synthetic Aperture Radar Using Ultranarrowband Sources of Opportunity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011, vol. 49, no. 10, pp. 3521-3537.
6. Michail Antoniou, Zhangfan Zeng, Feifeng Liu, Mikhail Cherniakov Passive Radar Imaging with GNSS Transmitters and a Fixed Receiver. *Latest Results EUSAR 2012*, pp. 271-274.
7. Craig Tong, Michael Inggs, Amit Mishra Towards a MIMO Radar based on Commensal use of FM Broadcast Transmitters of Opportunity. *EUSAR 2012*, pp. 283-286.
8. Fabrizio Santi, Marta Bucciarelli, Debora Pastina, Michail Antoniou, Mikhail Cherniakov Passive multi-perspective GNSS-based SAR using CLEAN technique: an experimental study. *EUSAR 2016*, pp. 1063-1066.
9. Tao Zeng, Mao Zhu, Cheng Hu, Weiming Tian, Teng Long Experimental Results and Algorithm Analysis of DEM Generation Using Bistatic SAR Interferometry With Stationary Receiver. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, vol. 53, no. 11, pp. 5835-5852.
10. Borisenkov A.V., Goryachkin O.V., Dolgoplov V.N., Zhengurov B.G. Bistaticheskii radiolokator s sintezirovannoy aperturoy, parazitiruyushchiy na signalakh televizionnogo veshchaniya [SAR which parasitize the TV signals]. *Vestnik SGAU*, 2014, vol. 44, no. 2, pp. 16-24.

Received 16.10.2016

УДК 535.016

## ПОСТРОЕНИЕ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ RoF

Кубанов В.П.<sup>1</sup>, Нарышкин М.И.<sup>2</sup>, Тяжев А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

<sup>2</sup>ОАО «Концерн «Автоматика», Самара, РФ

E-mail: kubanov@psati.ru

В статье проводится анализ вариантов построения корпоративных сетей подвижной радиосвязи, использующих сотовый принцип построения и различные технологии покрытия территории радиосвязью. Приводятся требования к корпоративным сетям подвижной радиосвязи, описан принцип работы системы, использующий технологию Radio over Fiber (RoF): радио через волокно. Показано, что применение технологии RoF обладает техническими и экономическими преимуществами по сравнению с известными традиционными системами радиосвязи.

Приведено описание различных вариантов построения систем с технологией RoF и дана их сравнительная характеристика.

**Ключевые слова:** корпоративные сети подвижной радиосвязи, сотовые сети, технологии Radio over Fiber

## Введение

Инфраструктура сетей корпоративной подвижной радиосвязи должна обеспечивать возможность ее использования в местах, где отсутствуют или развернуты в недостаточной мере другие сети связи. Для этих целей корпоративные сети связи должны обеспечивать поддержку нескольких сетей радиосвязи различной ведомственной принадлежности. На рис. 1 приведена структурная схема, отражающая классификацию сетей радиосвязи различного назначения.

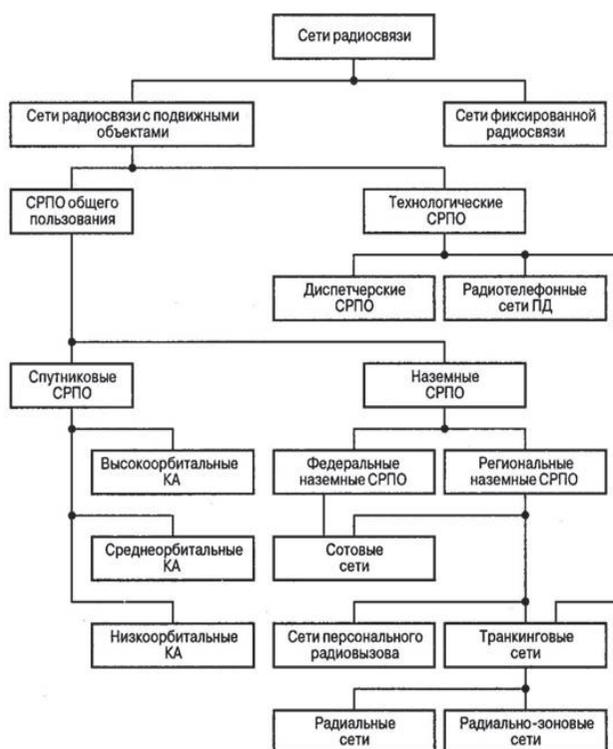


Рис. 1. Классификация сетей подвижной радиосвязи

Корпоративные сети подвижной радиосвязи представлены на этой схеме различными блоками. Это могут быть спутниковые или наземные системы радиосвязи с подвижными объектами, как федеральные, так и региональные СРПО. Последние, в свою очередь, могут быть реализованы в виде сотовых, транкинговых, радиальных или радиально-зонавых сетей радиосвязи. Возможность использования ресурсов сетей подвижной радиосвязи пользователями всех категорий должна основываться на применении единых алгоритмов функционирования и обеспечения информационной безопасности при межсетевом взаимодействии.

## Требования к корпоративным сетям подвижной радиосвязи

Требования к системам корпоративной подвижной радиосвязи приведены в виде структурной схемы на рис. 2.



Рис. 2. Требования к корпоративным системам подвижной радиосвязи

Первое и наиболее важное требование «Большая дальность связи» предполагает покрытие связью большой территории, на которой работает корпоративная подвижная радиосвязь. Второе требование «Минимальная мощность излучения» находится в противоречии с первым требованием, поэтому поиск путей преодоления этого противоречия и должен привести к революционным решениям в построении сетей корпоративной подвижной радиосвязи. Остальные требования являются необходимыми для любой подвижной системы связи: высокая помехоустойчивость, небольшие массогабаритные показатели, надежность, простота в эксплуатации и обслуживании и, конечно, защита информации. Однако, как будет показано ниже, именно преодоление противоречия между первым и вторым требованиями к системе радиосвязи приводит к инновационной идее построения сети корпоративной подвижной радиосвязи.

## Сравнительная оценка вариантов построения корпоративной сети подвижной радиосвязи

Создание сети корпоративной подвижной радиосвязи, покрывающей большие территории и излучающей при этом минимальную мощность, является непростой задачей. При этом немаловажную роль играют экономические показатели строительства и эксплуатации такой сети. Примером сетей радиосвязи, покрывающих большие территории и излучающих при этом сравнительно

но небольшие мощности, являются сотовые сети радиосвязи (см. рис. 3). В системах сотовой связи вся обширная территория покрывается сетью базовых станций (БС), при этом каждая БС обслуживает небольшую территорию: соту, поэтому мощность ее излучения сравнительно небольшая и составляет обычно единицы или десятки Вт. При этом размеры сот могут изменяться в больших пределах в зависимости от назначения сетей, проходящего через них трафика, мощности БС, диапазона частот, рельефа местности и т.д.

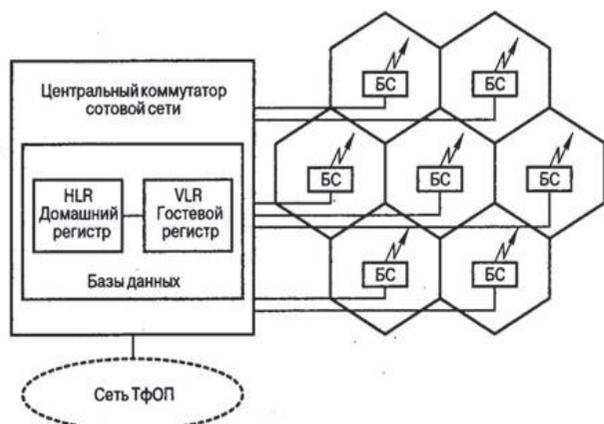


Рис. 3. Пример построения сотовой сети подвижной радиосвязи

Одним из важнейших объективных показателей экономической эффективности сетей сотовой связи является величина затрат на покрытие единицы площади поверхности, например затраты на покрытие одного квадратного километра поверхности. Для сравнительной оценки проведем анализ затрат на покрытие одного квадратного километра поверхности подвижной радиосвязью для различных систем связи, использующих сотовую структуру.

В таблице 1 приведены стоимостные затраты для построения одной соты и геометрические размеры одной соты в системе сотовой связи, в системе WiMAX, в системе микросотовой связи DECT и в системе Radio over Fiber (RoF). Здесь же указана расчетная величина затрат на покрытие подвижной радиосвязью одного квадратного километра поверхности в перечисленных системах радиосвязи. Подробнее технология RoF описана в следующих разделах. Значения средней суммарной стоимости БС и размеры сот для различных систем подвижной радиосвязи получены в результате усреднения указанных показателей, полученных из источников, представленных в Internet.

Таблица 1. Затраты для построения одной соты и геометрические размеры соты в разных системах связи

Система сотовой связи	Стоимость базовой станции	Средний радиус соты	Затраты на покрытие 1 км <sup>2</sup>
2G,3G,4G	35 млн руб.	4 км	0,7 млн
WiMAX	0,3 млн руб.	0,5 км	0,38 млн
DECT	0,05 млн руб.	0,2 км	0,4 млн
RoF	0,02 млн руб.	0,2 км	0,16 млн

Из таблицы 1 следует, что технология RoF обладает наименьшими затратами на покрытие 1 кв. км территории. Объяснение этому результату состоит в том, что она имеет наименьшую из всех рассмотренных систем стоимость БС в силу их простоты реализации и отсутствия в них контроллеров. Так как технология RoF находится на начальном этапе своего развития, то по мере расширения ее применения стоимость БС RoF будет снижаться.

### Принцип действия, архитектура и состав сети на основе технологии RoF

В основе технологии RoF лежит принцип преобразования частоты, используемый во всех супергеретеродинных приемниках. Поступающие по волокну излучения видимого оптического диапазона на двух разных частотах  $f_1$  и  $f_2$  воздействуют на нелинейный элемент, роль которого выполняет фотодиод. В результате такого воздействия в цепи фотодиода возникают колебания разностной частоты  $f_p = f_1 - f_2$ , попадающей в диапазон радиочастот. Затем колебания радиочастотного диапазона усиливаются и подаются на излучающую антенну.

В таблице 2 приведены основные данные, характеризующие видимый диапазон света: длины волн, частоты и энергия фотонов.

Из этой таблицы следует, что для получения разностной частоты  $f_p = 19$  ТГц можно использовать излучения двух лазеров на границах желто-зеленого спектра, например излучения с длинами волн 550 и 570 нм, то есть с разницей длин волн в 20 нм. Примерно можно считать, что разница длин волн излучений в 1 нм обеспечивает разностную частоту в 1 ТГц. Для получения разностной частоты  $f_p = 60$  ГГц разница длин волн двух источников излучений должна составлять всего 0,06 нм, что представляет определенные проблемы в построении систем RoF. Но тем не менее в настоящее время технология RoF, реализующая передачу радиочастотного сигнала по волоконно-эфирной структуре, является одним из наиболее перспективных путей построения распределенных сетей радиосвязи. На сегодняшний день

в качестве ключевых приложений RoF можно выделить следующие [1-10]: сотовые сети связи; беспроводные локальные сети передачи данных (LAN); беспроводные сети широкополосного доступа, в том числе телевизионного вещания; беспроводные сети связи между транспортными средствами. Как правило, данные сети включают центральную станцию (ЦС), БС и абонентские терминалы (АТ). При этом БС соединяются с ЦС волоконно-оптическими линиями, а АТ с БС по радиоканалам через удаленный антенный модуль (Remote Antenna Unit – RAU). Среди очевидных преимуществ систем RoF по сравнению с традиционными технологиями радиосвязи целесообразно выделить следующие:

- практически неограниченная полоса пропускания оптического волокна и малое затухание сигнала в оптических волокнах;
- невосприимчивость к мешающим электромагнитным влияниям и электромагнитным помехам;
- возможность функционировать одновременно с несколькими операторами, мультисервисность (распределительная система RoF по факту является прозрачной к формату транслируемого сигнала);
- высокая гибкость и низкая стоимость реконфигурирования сети.

Таблица 2. Исходные данные для проектирования сети RoF

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ
Фиолетовый	меньше 450	больше 667	больше 2,75
Синий	450-480	625-667	2,58-2,75
Сине-зеленый	480-510	588-625	2,43-2,58
Зеленый	510-550	545-588	2,25-2,43
Желто-зеленый	550-570	526-545	2,17-2,25
Желтый	570-590	508-526	2,10-2,17
Оранжевый	590-630	476-508	1,97-2,10
Красный	больше 630	меньше 476	меньше 1,97

Например, при передаче трафика GSM оборудование RoF может быть оперативно развернуто в определенной территориальной зоне на период прогнозируемой пиковой нагрузки, а по окончании последней вновь свернуто. Вместе с тем в [6; 8-9] отмечается,

что, поскольку технология RoF изначально базируется на модуляции и детектировании аналогового радиосигнала, то и основными проблемами внедрения RoF являются ограничения по коэффициенту шума и динамическому диапазону, характерным для традиционных систем радиосвязи, что создает предпосылки для разработки и усовершенствования как аппаратной части, так и соответствующих форматов модуляции и алгоритмов детектирования сигнала при использовании технологии RoF.

### Варианты построения систем RoF

В настоящее время выделяют три основных подхода, реализующих передачу радиосигналов по волоконно-эфирной среде: RFoF (Radio Frequency over Fiber): «радиочастота по волокну»; IFoF (Intermediate Frequency over Fiber): «промежуточная частота по волокну»; BBoF (BaseBand-over-Fiber): «основной сигнал по волокну».

Обобщенная структурная схема, поясняющая принцип действия каждого из перечисленных методов, представлена на рис. 4. Данная схема составлена на основе предложенных в [11] диаграмм, условно отображающих соотношения спектров радиосигнала и оптической несущей оптического излучения, возбуждаемого когерентным источником.

В системах RFoF передача радиосигналов по оптическим волокнам осуществляется непосредственно на частоте трансляции системы радиосвязи без последующего перехода в RAU БС на более высокие или низкие частоты. Такой подход, в частности, активно используется в сотовых сетях связи, а также беспроводных локальных сетях передачи данных (WLAN – Wireless Local Area Network) в диапазоне 5 ГГц.

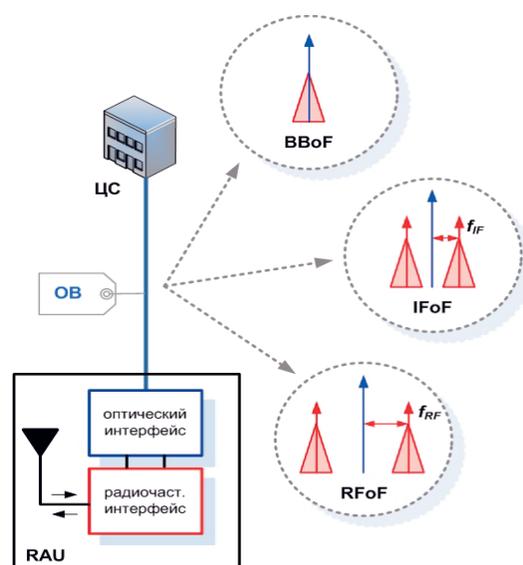


Рис. 4. Обобщенная структурная схема систем передачи радиосигналов по оптическим волокнам

Для большинства систем RFoF транслируемый радиосигнал осуществляет прямую модуляцию по интенсивности оптического излучения, генерируемого когерентными источниками оптического излучения, в том числе относительно недорогими, например, полупроводниковыми лазерами, коротковолновыми лазерами поверхностного излучения с вертикальным объемным резонатором (VCSEL – Vertical Cavity Surface Emitting Laser) или неохлаждаемыми лазерами с распределенной обратной связью (DFB – Distributed Feedback Laser) с внутренней модуляцией.

Таким образом, в RFoF аналоговый радиосигнал передается по волокну на заданной оптической несущей от ЦС до БС, где в результате прямого детектирования и преобразования в электрический интерфейс усиливается и далее излучается антенной. К основным преимуществам систем RFoF относят простую реализацию схемы БС. При этом внедрение RFoF в основном ограничено пределами по частоте модуляции когерентных источников оптического излучения. Например, для подавляющего большинства полупроводниковых лазеров это значение не превышает 3 ГГц, в то время как для более дорогостоящих модулей с лазерами DFB оно составляет не более 20 ГГц [10-12].

Это фактически делает неприемлемым их использование в системах микроволнового диапазона, в частности на беспроводных персональных сетях (WPAN – Wireless Personal Area Networks) в диапазоне 60 ГГц или пикосотовых сетях в диапазоне 38 ГГц.

Наконец, с увеличением частоты передаваемого радиосигнала системы RFoF возникают проблемы искажения сигналов, связанные с сильным проявлением хроматической дисперсии в оптических волокнах, что неизбежно сказывается на ограничениях протяженности волоконно-оптической линии. Обобщенная структурная схема системы RFoF с прямой внешней модуляцией представлена на рис. 5.

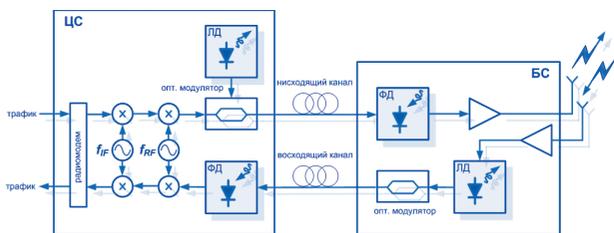


Рис. 5. Структурная схема системы RFoF с прямой внешней модуляцией

В отличие от RFoF, в системах IFoF информационный радиосигнал на пониженной промежуточной частоте, которая для подавляющего большинства систем не превышает 10 ГГц [9-12], модулирует оптическую несущую когерентного источника излучения с помощью внутреннего или внешнего модулятора и затем также передается в оптический линейный тракт с выхода ЦС. Поэтому далее в RAU БС предварительно реализуется переход с промежуточной на собственную частоту информационного радиосигнала, после чего последний излучается антенной. Это устраняет необходимость применения высокоскоростных оптоэлектронных компонентов по сравнению с системами RFoF, а также снижает чувствительность системы к проявлению хроматической дисперсии, но при этом усложняет схему RAU БС за счет необходимости включения гетеродина и преобразователя частоты, что в целом может снизить гибкость и реконфигурируемость сети. В качестве примера на рис. 6 приведена структурная схема системы IFoF с прямой внешней модуляцией.

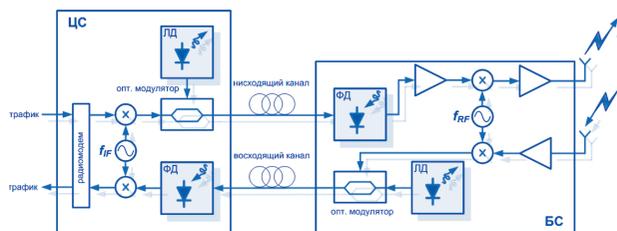


Рис. 6. Структурная схема системы IFoF с прямой внешней модуляцией

В системах VBoF основной сигнал в базовой полосе частот, непосредственно представляющий собой битовую последовательность, в ЦС конвертируется в оптический интерфейс (фактически также в результате модуляции оптической несущей когерентного источника оптического излучения) и далее передается по волоконно-оптической линии до БС, где осуществляется его детектирование и преобразование в радиосигнал как результат перехода в заданный диапазон с повышением частоты. Структурная схема системы VBoF с прямой внешней модуляцией приведена на рис. 7.

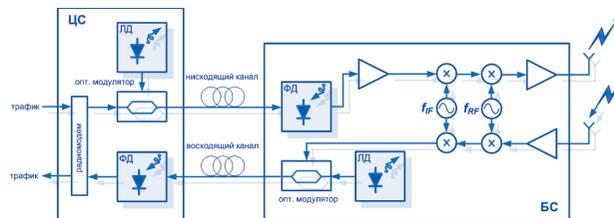


Рис. 7. Структурная схема системы VBoF с прямой внешней модуляцией

Если системы IFoF во многом ближе к исходной архитектуре построения аналоговых сетей, то VBoF, напротив, сопоставимы с оптическими сетями, передача данных в которых изначально осуществляется в цифровом формате. Последний факт существенно упрощает схему реализации оптической части системы VBoF, однако RAU БС, напротив, усложняется дополнительными компонентами, обеспечивающими цифровую обработку радиосигнала, что в целом снижает прозрачность сети.

Следует отметить, что если на самых первых этапах разработки и внедрения технологии RoF системы RFoF и IFoF позиционировались как аналоговые, то в настоящее время уже достаточно давно известны их модификации, которые поддерживают передачу радиосигналов уже в цифровом формате. Такие системы получили название DRFoF и DIFoF (Digitized RFoF и Digitized IFoF – «оцифрованные» RFoF и IFoF, соответственно). Для этих систем при передаче сигнала от ЦС до БС также используются все преимущества волоконно-оптической сети.

При этом весь сложный комплекс оборудования для обработки сигнала размещается в ЦС, в то время как в RAU БС присутствует минимальный набор компонентов «внешнего» интерфейса, который по факту состоит из аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей (АЦП и ЦАП), соответственно. Однако наличие этих компонентов накладывает определенные ограничения на применение систем DRFoF для беспроводных сетей за пределами миллиметрового диапазона радиоволн: полоса пропускания АЦП должна быть больше частоты несущей радиосигнала. Данная проблема успешно решается в системах DIFoF, в которых сначала осуществляется преобразование с понижением частоты несущей исходного радиосигнала до промежуточной, что позволяет успешно преодолеть ограниченные возможности АЦП.

### Заключение

Приведенные в статье данные позволяют сделать следующие выводы. Из всех известных систем подвижной радиосвязи с сотовой структурой технология RoF обеспечивает наименьшие затраты на покрытие единицы площади поверхности, охваченной подвижной радиосвязью. Среди других технических и технологических преимуществ систем RoF по сравнению с традиционными технологиями радиосвязи можно выделить следующие: невосприимчивость к мешающим электромагнитным влияниям и электромагнит-

ным помехам; обеспечение информационной безопасности при межсетевом взаимодействии и защита от несанкционированного доступа; существенное упрощение и удешевление БС, а также снижение потребляемой электроэнергии БС; высокая гибкость и низкая стоимость реконfigurирования сети; разнообразные способы реализации технологии RoF. Перечисленные преимущества технологии RoF выдвигают ее на первый план при выборе способа построения разветвленной корпоративной сети подвижной радиосвязи.

### Литература

1. Cooper J. «Fibre/Radio» for the provision of cordless/mobile telephony services in the access network // *Electronic Letters*. Vol. 26, No 24, 1990. – P. 2054-2056.
2. Fye D.M. Design of fiber optic antenna remoting links for cellular radio applications // *Proceedings of IEEE 40th Vehicle Technology Conference*, 1990. – P. 622-625.
3. Chu T.S., Gans M.J. Fiber optic microcellular radio // *IEEE Transactions on Vehicle Technologies*. Vol. 40, No. 3, 1991. – P. 559-606.
4. Komaki S., Tsukamoto K., Hara S., Morigana N. Proposal of fiber and radio extension link for future personal communications // *Microwave and Optical Tech. Letters*. Vol. 6, No. 1, 1993. – P. 50-55.
5. Yadav J., Jaiswal A.K., Kumar M. Radio over fiber technology // *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*. Vol. 9, No. 3, 2014. – P. 83-87.
6. Zin A.M., Bongsu M.S., Idrus S.M., Zulkifli M. An overview of Radio-over-Fiber network technology // *Proceedings of IEEE International Conference on Photonics*, 2010. – P. 1-3.
7. Vyas A.K., Agrawal N. Radio over Fiber: Future Technology of Communication // *International Journal of Emerging Trends and technology in Computer Science*. Vol. 1, No. 2, 2012. – P. 233-237.
8. Karthikeyan R., Prakasam S. A survey on Radio over Fiber (RoF) for wireless broadband access technologies // *International Journal of Computer Applications*. Vol. 64, No. 12, 2013. – P. 14-19.
9. Pooja M., Saroj Sh., Manisha Bh. Advantages and limitations of radio over fiber system // *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*. Vol. 4, No. 5, 2015. – P. 506-511.
10. Reddy V., Jolly R. Radio over fiber technology (RoF) and integration of microwave and optical

network for wireless access // International Journal of Compute Applications. Proceedings of International Conference and Workshop on Emerging Trends and Technology, 2015. – P. 9-13.

11. Capmany J., Novak D. Microwave photonics combine two worlds // Nature. Vol. 1, 2007. – P. 319-330.

12. Lim Ch., Yang Y., Nirmalathas A. Transport schemes for wireless technologies: transmission performance and energy efficiency // Photonics. Vol.1, 2014. – P. 67-83.

Получено 15.11.2016

**Кубанов Виктор Павлович**, д.т.н., профессор Кафедры электродинамики и антенн Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-902-375-77-22. E-mail: kubanov@psati.ru

**Нарышкин Михаил Иванович**, соискатель ПГУТИ. Тел. 8-915-141-07-14. E-mail: nmi@rambler.ru

**Тяжев Анатолий Иванович**, д.т.н., профессор Кафедры радиосвязи, радиовещания и телевидения ПГУТИ. Тел. 8-906-340-17-91. E-mail: tyagev@psati.ru

## DESIGN OF CORPORATE MOBILE RADIO NETWORKS BASED ON ROF TECHNIQUE

*Kubanov V.P., Naryshkin M.I., Tyazhev A.I.*

<sup>1</sup> Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

<sup>2</sup> JSC "Concern "Automatika", Samara, Russian Federation

E-mail: kubanov@psati.ru

This work is concerned with analysis of corporate mobile radio networks design options utilizing cellular principles and various technique for area covering radio communications. We present requirements to corporate mobile radio communication networks and describe operation principles of system based on Radio-over-Fiber (RoF) technique. It is shown that RoF technique application provides technical and economic advantages in comparison with conventional radio communication systems. We described various options of RoF system design and performed their comparison analysis.

**Keywords:** corporate mobile radio networks, cellular networks, Radio over Fiber

**DOI:** 10.18469/ikt.2016.14.4.11

**Kubanov Victor Pavlovich**, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; Professor of the Department of Electrodynamics and Antennas; Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79023757722. E-mail: kubanov@psati.ru

**Naryshkin Mikhail Ivanovich**, JSC "Concern "Automatika", Samara, Russian Federation. Tel.: +79151410714. E-mail: nmi@rambler.ru

**Tyazhev Anatoly Ivanovich**, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; Professor of the Department of Radiocommunication, Radio-broadcasting and Television; Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79063401791. E-mail: tyagev@psati.ru

### References

1. Cooper J. «Fibre/Radio» for the provision of cordless/mobile telephony services in the access network. *Electronic Letters*, 1990, vol. 26, no. 24, pp. 2054-2056. doi: 10.1049/el:19901325
2. Fye D.M. Design of fiber optic antenna remoting links for cellular radio applications. *Proceedings of IEEE 40th Vehicle Technology Conference*, 1990, pp. 622-625. doi: 10.1109/VETEC.1990.110394
3. Chu T.-S., Gans M.J. Fiber optic microcellular radio. *IEEE Transactions on Vehicle Technologies*, 1991 vol. 40, no. 3, 1991, pp. 559-606. doi: 10.1109/25.97514
4. Komaki S., Tsukamoto K., Hara S., Morigana N. Proposal of fiber and radio extension link for future personal communications. *Microwave and Optical Tech. Letters*, 1993, vol. 6, no. 1, pp. 50-55.
5. Yadav J., Jaiswal A.K., Kumar M. Radio over fiber technology. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2014, vol. 9, no. 3, pp. 83-87. doi: 10.1002/mop.4650060115

6. Zin A.M., Bongsu M.S., Idrus S.M., Zulkifli M. An overview of Radio-over-Fiber network technology. *Proceedings of IEEE International Conference on Photonics*, 2010, pp. 1-3. doi: 10.1109/ICP.2010.5604429
7. Vyas A.K., Agrawal N. Radio over Fiber: Future Technology of Communication. *International Journal of Emerging Trends and technology in Computer Science*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 233-237.
8. Karthikeyan R., Prakasam S. A survey on Radio over Fiber (RoF) for wireless broadband access technologies. *International Journal of Computer Applications*, 2013, vol. 64, no. 12, pp. 14-19.
9. Pooja M., Saroj Sh., Manisha Bh. Advantages and limitations of radio over fiber system. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2015, vol. 4, no. 5, pp. 506-511.
10. Reddy V., Jolly R. Radio over fiber technology (RoF) and integration of microwave and optical network for wireless access. *International Journal of Compute Applications. Proceedings of International Conference and Workshop on Emerging Trends and Technology*, 2015, pp. 9-13.
11. Capmany J., Novak D. Microwave photonics combine two worlds. *Nature*, 2007, vol. 1, pp. 319-330. doi:10.1038/nphoton.2007.89
12. Lim Ch., Yang Y., Nirmalathas A. Transport schemes for wireless technologies: transmission performance and energy efficiency. *Photonics*, 2014, vol. 1, 2014, pp. 67-83.

*Received 15.11.2016*

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.396.4

### ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

*Губарева О.Ю., Осипов О.В., Пугин В.В.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ  
E-mail: o.gubareva@psuti.ru*

Расширение области применимости информационных систем приводит к более сложной их реализации и, как следствие, к необходимости защиты как отдельных модулей, так и системы в целом. В работе рассмотрена вероятностная модель мониторинга угрозы безопасности информационной системы в целом. Использование предлагаемой модели позволяет анализировать воздействие различных факторов и угроз на информационную систему и обеспечивать режим ее оптимальной работы. Предлагаемая методика проведения мониторинга угрозы информационной безопасности базируется на анализе информационных рисков и построении иерархической вероятностной модели угрозы.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, информационная система, риск, анализ, информация, уязвимость, угроза, диагностическая система, вероятностная модель, формула Байеса, условная вероятность

#### Введение

Современный этап развития информатизации общества определяет новые методы обработки информации в различных областях народного хозяйства. Основным механизмом управления различными процессами является внедрение корпоративных информационных систем (ИС) различного назначения. Увеличение разнообразия и сложности ИС приводит к необходимости оценки уровня информационной безопасности (ИБ) системы в целом и обеспечения оптимального режима ее функционирования. Причем с каждым днем число и сложность угроз ИБ возрастает в геометрической прогрессии.

Ввиду значительного числа угроз ИБ ИС системы оценки рисков должны строиться по иерархическому принципу классификации угроз и уязвимостей. Одним из наиболее распространенных принципов классификации является классификация при помощи модели информационных потоков по трем основным угрозам:

- оценка ущерба ИС при нарушении целостности информации;
- оценка ущерба ИС при нарушении конфиденциальности информации;
- оценка ущерба ИС при нарушении доступности информации.

Для каждого уровня иерархии устанавливается соответствующий ему набор процедур (проверок),