

# ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ПРОТОКОЛ цифровой радиосвязи "Волновая сеть"

А.Лексин, генеральный директор ООО "Радиотехника" /awleksin@gmail.com

УДК 621.396, DOI: 10.22184/2070-8963.2021.97.5.68.72

Описывается проприетарный протокол для беспроводных сетей "Волновая сеть", отличительной особенностью которого от стандартов традиционных сетей профессиональной радиосвязи является то, что для коммуникации между узлами (абонентами) не требуется выстраивания маршрута и наличия базовой станции. Приводится сравнение с некоторыми другими цифровыми протоколами беспроводной связи.

## ВВЕДЕНИЕ

Идея создания беспроводных динамических сетей живет в умах разработчиков систем радиосвязи всего мира уже более 30 лет, но о какой-либо практической реализации таких технологий до недавнего времени информации не было. Хорошо известны синхронизированные сети с жестко ограниченным количеством абонентов для мобильной связи, используется множество цифровых протоколов для стационарных сетей (Zigbee, Manet), широко применяются стандарты цифровой профессиональной радиосвязи (APCO25, DMR, TETRA, IDAS). При этом доступно весьма мало информации о беспроводных мобильных сетях с протоколом взаимодействия для неограниченного количества абонентов с возможностью взаимодействия между собой без маршрутизаторов, координаторов, базовых станций, ретрансляторов.

В этой статье мы попытаемся устранить этот досадный пробел и расскажем о разработке российских специалистов – протоколе "Волновая сеть" для беспроводных сетей. В этом протоколе удалось воплотить все вышеописанные принципы и создать на его основе не имеющие аналогов в мире отечественные системы оперативной радиосвязи. Уже

сегодня на базе "Волновой сети" создан целый ряд прикладных решений, но его возможности позволяют говорить о гораздо более широких горизонтах практического применения, а также рассматривать данный протокол как основу для формирования российского стандарта профессиональной связи.

Протокол "Волновая сеть" реализует работу самоорганизующейся динамической топологии беспроводной радиосети. Он не требует базовых станций, коммутаторов и опорных узлов. Протокол позволяет организовать системы оперативной радиосвязи в сложных условиях (промышленные здания, застроенные территории, шахты и т.д.).

Целый ряд важнейших параметров распространенных на сегодняшний день протоколов связи, таких как простота реализации, развертывания и эксплуатации сети, время работы абонентских устройств, стоимость оборудования и обслуживания, существенно проигрывают характеристикам "Волновой сети". Преимущества данного решения обеспечиваются за счет реализации асинхронного доступа в канал передачи данных при использовании кодово-временного разделения каналов (CDMA+TDMA с контролем несущей). Алгоритм "Волновая сеть" допускает реализацию

Таблица 1. Сравнение протоколов профессиональной мобильной радиосвязи

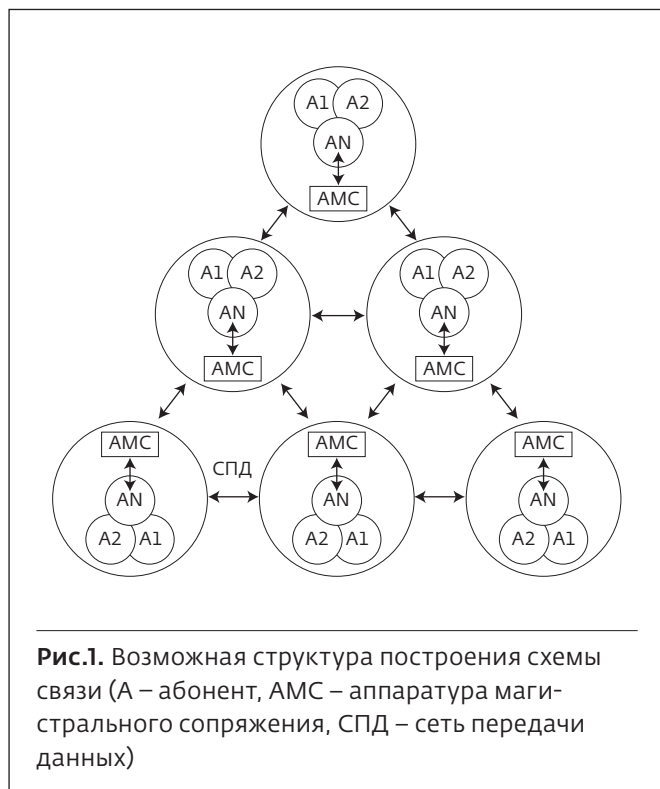
№	Характеристика стандарта (протокола) связи	Волновая сеть	DMR	TETRA
1	Разработчик стандарта	ООО "Радиотехника"	ETSI	ETSI
2	Статус стандарта	Проприетарный	Открытый	Открытый
3	Производители радиосредств	ООО "Радиотехника"	Motorola, Vertex, Hytera и др.	Motorola, Hytera и др.
4	Возможные диапазоны рабочих частот, МГц	864–865; 866–868; 868,7–869,2	138–174; 403–423; 450–470	138–174; 403–423; 450–470; 806–870
5	Необходимость получения разрешений на работу РЭС	Нет	Да	Да
6	Разнос между частотными каналами, кГц	Характеристика неприменима	12,5; 6,25	25
7	Эффективная полоса частот на один речевой канал, кГц	Характеристика неприменима	12,5; 6,25	6,25
8	Вид модуляции	QPSK	4FSK	p/4-DQPSK
9	Метод речевого кодирования и скорость преобразования речи	По согласованию с пользователем	Адаптивное многоуровневое кодирование	CELP (4,8 кбит/с)
10	Скорость передачи информации в канале, бит/с	До 1048576	9600	7200 (28800 – при передаче четырех информационных каналов на одной физической частоте)
11	Время установления соединения	0,14 с	0,2 с	0,2 с – при индивидуальном вызове (min); 0,17 с – при групповом вызове (min)
12	Метод разделения каналов связи	Метод случайного доступа к каналу связи с контролем несущей	Множественный доступ с частотным разделением каналов (МДЧР), множественный доступ с временным разделением каналов (МДВР)	МДЧР, МДВР
13	Вид канала управления	Отсутствует (асинхронная сеть)	Выделенный	Выделенный или распределенный (в зависимости от конфигурации сети)
14	Возможности шифрования информации	AES и DES, возможность реализации шифрования по ГОСТ 28147-89	Стандартный алгоритм 8-40bit ARC	1. стандартные алгоритмы; 2. сквозное шифрование
15	Мониторинг работы оборудования	Да. Всех устройств сети	Только базового оборудования	Только базового оборудования

на различных протоколах в разных средах распространения сигналов, что позволяет применить данное решение в любой технологии передачи данных. Для беспроводной связи это реализовано в широкой полосе частот, что дает возможность использовать устройства с малой мощностью.

Говоря о других отличиях "Волновой сети" от общепринятых на сегодняшний день стандартов профессиональной мобильной связи (ПМР), прежде всего стоит отметить, что их "лобовое" сравнение не совсем корректно, о чем будет подробнее сказано ниже. Тем не менее, попытаемся представить в табл.1 основные характеристики рассматриваемой технологии и двух наиболее распространенных сегодня протоколов ПМР.

Протокол "Волновая сеть" организован на следующих принципах:

- каждый узел (абонент) является ретранслятором;
- диффузионное распространение – пакеты распространяются по сети только в тех направлениях, где они еще не были;
- узлы (абоненты) не мешают друг другу распространять пакеты данных;
- пакеты данных распространяются по всей сети, а обрабатывают их только те узлы (абоненты), которым они предназначены;



- логическое разделение – настраиваемая логическая структура радиосети организует пространственные потоки данных и разделяет информацию различного типа, значения и содержания по каналам данных.

Узлы распространяют пакеты конкурентным методом: пришедший первым (и притом целым) пакет будет ретранслирован. Повторные пакеты могут не учитываться и не ретранслироваться. Таким образом, сеть "избавляется" от избыточности и перестановки пакетов. Если пакет пришел, то узел его ретранслирует, а значит и в узел-отправитель он тоже вернется. По такому принципу реализован алгоритм гарантии распространения пакета до соседнего узла и так по цепочке по всей сети. Протокол "Волновая сеть" оптимизирован для голосовой связи, для чего обеспечено гарантированное качество доставки информационных пакетов – за счет избыточности.

Автор считает, что рассматриваемое в статье, на первый взгляд, неочевидное решение привело к получению уникального результата, претендующего на роль федерального стандарта связи с широкими перспективами для развития.

## Конечные устройства

Алгоритм может быть реализован любым методом передачи данных, что позволяет интегрировать все возможные средства связи. На физическом уровне устройства, работающие по протоколу "Волновая сеть", имеют следующие характеристики:

- эффективная излучаемая мощность (ЭИМ): 25 мВт;
- частоты: 864–865 МГц, 868,9 МГц;
- модуляция: QPSK;
- скорость передачи данных: 200–1000 кбит/с.

Емкость сети может составлять десятки тысяч узлов (абонентов) (см. рис.1). Ограничения определяются активностью абонентов на конечном участке территории – количеством одновременных переговоров на одном канале (оптимальное количество: от четырех до восьми).

## Свойства радиосети "Волновая сеть"

**Быстрое развертывание** прямо следует из базовых свойств данного протокола. После того, как узел оказался в зоне действия сети, он автоматически начинает передавать, ретранслировать данные. Это свойство очень важно при организации связи в труднодоступных районах, в зонах стихийного бедствия, при проведении спасательных операций.

**Самоорганизация** позволяет выстраивать сеть по сотовому принципу, просто выставляя на местности узлы в роли базовых ретрансляторов. Реализованные образцы позволяют организовать связь в радиусе до 10 км.

**Динамическая топология** дает возможность строить сети любой сложности для решения самых разнообразных задач управления и взаимодействия со множеством групп, подгрупп и единичных абонентов.

Физические характеристики конечных устройств и ретрансляционный принцип позволяют организовать связь в сложных условиях при отсутствии прямой видимости. Это решение хорошо подходит для промышленных предприятий со сложной конфигурацией и плохой проникаемостью сигнала, подземных помещений, шахт и т.д.

Благодаря этому область его применения широка, радиосеть на базе протокола "Волновая сеть" можно подстроить под любую специализированную задачу – не только для передачи голоса, но и для передачи любых телеметрических данных.

## Перспективы развития технологии


### Сенсорные сети

Объем данных, регистрируемых с помощью различных датчиков, постоянно растет, как и само количество датчиков. Если в прошлом десятилетии наблюдалось смещение обработки информации в отдаленные облака (облачные технологии), то в наступившем десятилетии, по оценкам агентства Gartner, будет происходить обратное смещение: часть обработки будет происходить ближе к месту регистрации первичных данных. Это должно повысить пропускную способность, безопасность, снизить задержки передачи данных.

В рамках данной тенденции технология "Волновая сеть" может обрести популярность в области сенсорных сетей (wireless sensor network – WSN) и в системах межмашинных взаимодействий (M2M). Обусловлено это тем, что транслируемые датчиком данные будут проходить через множество узлов сети. Узлы, в свою очередь, могут накапливать и обрабатывать информацию следующим образом:

- во-первых, в узлах может выполняться первичная обработка "сырых" данных с датчиков перед передачей в аналитический центр, с помощью методики распределенных вычислений. Каждый узел сети – это программный агент, который выполняет несложную задачу. Повышается информативность данных, и, как следствие, освобождается задействованная емкость. К тому же узел может выборочно, а вся сеть – распределенно хранить данные, что представляет собой дополнительную систему резервирования;
- во-вторых, некоторые датчики могут перекрыть сенсорные области друг друга и поэтому информация с них может продублироваться. Получая информацию, промежуточные узлы могут сравнивать входящие данные и принимать решение о дальнейшей передаче на основе встроенного алгоритма;
- в-третьих, в системах, где важна быстрая ответная реакция, узлы, управляющие автоматикой, примут сигнал, дошедший с датчиков, и отреагируют соответственно своей программе.


Большинство распространенных сегодня сетевых протоколов пытаются оптимизировать маршрутизацию, заполняя часть пропускной способности сервисной информацией или вводя



**ИНФОТЕЛ**  
Интеллект. Опыт. Результат.

# ONEPLAN

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И УСЛУГИ  
ПО ПЛАНИРОВАНИЮ И ОПТИМИЗАЦИИ  
СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ  
И ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ**



step@rpls.ru
+7 812 590-77-11
www.rpls.ru

задержку для установления соединения (реактивная маршрутизация). Протоколы для сенсорных сетей пытаются оптимизировать маршрутизацию относительно экономии энергии узлов, используя реактивные протоколы, кластеризацию, информацию о пространственном расположении узлов. Все это замедляет работу сети и делает топологию менее динамичной или сводит ее только к стационарному применению.

Протокол "Волновая сеть" сохраняет все качества при построении систем абсолютно любой конфигурации и сложности, которые теряют в большей или меньшей степени большинство протоколов. Возможная плата за это – относительно высокое потребление энергии. Но, поскольку данная технология разрабатывалась для голосовой связи и используется достаточно широкая полоса (не менее 0,4 МГц) и маломощное оборудование (ЭИМ не более 25 мВт), то обеспечивается работа абонентских станций в течение нескольких суток. Это хороший показатель на фоне конечных устройств, работающих на основе других цифровых стандартов.

Если использовать радиосеть в роли сенсорной, то сценарии могут быть разными, в зависимости от задачи и необходимого времени работы датчика: питание узла от внешней сети, внешнего аккумулятора (+солнечная панель), от автомобиля или любого другого транспортного средства.

Альтернативным вариантом использования технологии "Волновая сеть" в роли сенсорной сети может стать ее гибридизация с методами сетей LPWAN (LoRaWAN, Sigfox и т.д.). Если некоторым узлам необходимо будет автономно работать в течение длительного времени, то можно исключить их из ретрансляционного алгоритма и погрузить в сон до момента получения информации о событии от датчика или активации

по расписанию. Соответственно, каждый сенсорный узел будет участвовать в радиообмене только для собственных целей.

## М2М-взаимодействия

Благодаря принципам работы протокола "Волновая сеть" можно создать благоприятную систему для многоагентных/сетевых интеллектуальных систем, реализовать любую конфигурацию межмашинных взаимодействий в статике и динамике. Примером могут быть связь в "стае" квадрокоптеров, выполняющих спасательную или разведывательную операцию, многоролевое задание, обзор сельскохозяйственных угодий или сбор информации с датчиков, боевое задание.

Протокол "Волновая сеть" был использован в 2018–2021 годах при построении систем профессиональной радиосвязи в силовых ведомствах, на промышленных предприятиях, бизнес-центрах, торговых сетях, объектах транспорта и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе протокола "Волновая сеть" разработан комплекс связи, который способен решать любые задачи радиосвязи, особенно в местах со сложным рельефом, в зданиях с экранированными помещениями, и может эффективно решать телеметрические задачи. Аналогичных по своим характеристикам решений на мировом и российском рынках не представлено.

Принципы работы, заложенные в протокол "Волновая сеть", содержат большой еще не реализованный технический потенциал, который может лечь в основу создания нового отечественного стандарта подвижной профессиональной радиосвязи. ■

---

## М11 станет первым беспилотным логистическим коридором

Оператор Tele2 сообщил о договоренности с инфраструктурной компанией "Линк Девелопмент" о размещении новейшего оборудования на протяжении всей трассы М11 "Нева".

Размещение оборудования в статусе 5G Ready позволяет подготовить сеть для развития беспилотного грузового транспорта – М11 станет первым беспилотным логистическим коридором до 2024 года.

В летом 2021 года Tele2 завершит размещение 100 дополнительных базовых станций 5G

Ready на автодороге М11 "Нева", связывающей Москву и Санкт-Петербург. Новейшее оборудование появится на объектах "Линк Девелопмент", которая построила антенно-мачтовые сооружения и обеспечила энергоснабжение башен. Высокоскоростной мобильный интернет LTE и качественные голосовые услуги будут доступны абонентам Tele2 на протяжении всей трассы, которая проходит по территории Московской, Тверской, Нижегородской и Ленинградской областей.

Создание новейшей телекоммуникационной инфраструктуры 5G Ready вдоль важнейшего транспортного объекта – необходимое условие для развития технологий V2X (технологий машинного взаимодействия). Трасса М-11 станет до 2024 года первым в России беспилотным логистическим коридором – соответствующее соглашение на ПМЭФ-2021 подписали Министерство транспорта России и ряд логистических компаний.

По информации компании Tele2



# ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Белоус А.И., Солодуха В.А.

## ОСНОВЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ. СТАНДАРТЫ, КОНЦЕПЦИИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. — 482 с.,  
ISBN 978-5-94836-612-8

**Цена 1600 руб.**

Эта книга фактически представляет собой научно-практическую энциклопедию по современной кибербезопасности.

Здесь анализируются предпосылки, история, методы и особенности киберпреступности, кибертерроризма, киберразведки и киберконтрразведки, этапы развития кибероружия, теория и практика его применения, технологическая платформа кибероружия (вирусы, программные и аппаратные трояны), методы защиты (антивирусные программы, проактивная антивирусная защита, кибериммунные операционные системы). Впервые в мировой научно-технической литературе приведены результаты системного авторского анализа всех известных уязвимостей в современных системах киберзащиты — в программном обеспечении, криптографических алгоритмах, криптографическом оборудовании, в микросхемах, мобильных телефонах, в бортовом электронном оборудовании автомобилей, самолетов и даже дронов. Здесь также представлены основные концепции, национальные стандарты и методы обеспечения кибербезопасности критических инфраструктур США, Англии, Нидерландов, Канады, а также основные международные стандарты. Фактически в объеме одной книги содержатся материалы трех разных книг, ориентированных как на начинающих пользователей и специалистов среднего уровня, так и специалистов по кибербезопасности высокой компетенции, которые тоже найдут здесь для себя много полезной информации.

### Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91  
По факсу: (495) 956-33-46  
E-mail: [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru)  
[sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ  
[www.technosphera.ru](http://www.technosphera.ru)