

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНОЙ МЕТЕОРНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ**Обоснование актуальности и постановка задачи**

Как известно [2, 3], благодаря направленному характеру метеорного распространения радиоволн существенно затруднена возможность перехвата сообщений, передаваемых по МРК. Этим обусловлена скрытность данного вида связи. Тот же направленный характер распространения создает так называемую пространственно-временную избирательность, позволяющую осуществлять сеансы радиосвязи попеременно с большим количеством пространственно разнесенных абонентов на одной частоте. Число таких абонентов может превышать тысячи. Для большинства систем метеорной связи импульсная мощность передатчика составляет 0,1 – 2 кВт. В настоящее время МРК применяется для связи с удаленными необслуживаемыми объектами: метеостанциями, сейсмодатчиками, маяками и т. д. [2, 3].

Типовой алгоритм работы системы метеорной радиосвязи предусматривает процедуры обнаружения канала, синхронизации, обмен пакетами данных и компоновку их частей [3]. Неизбежная особенность алгоритма – передача подтверждений об обнаружении канала и получении сообщений (даже если связь односторонняя). Следовательно, требуются мощный передатчик и источник питания, что, во-первых, вызывает заметные затраты энергии. Во-вторых, при мощности передатчика в несколько сотен ватт сложно говорить о полноценной скрытности, так как регистрация факта его работы возможна на значительном удалении.

В системах связи, не предусматривающих передачу подтверждений (наземная или спутниковая пейджинговая связь, RDS, телетекст и др.), предполагается наличие непрерывно существующего канала связи и периодическое повторение передаваемой информации. Но МРК прерывистый, поэтому если в нем отказаться от передачи подтверждений (как это предлагается в [1]) то, из-за большого количества необходимых повторений скорость передачи оказывается очень низкой.

Работа [1] опубликована более десяти лет назад. За это время доступ к Интернету из экзотики и привилегии, доступной не всем, превратился, фактически, во всеобщую обязанность. (Вместе с этим практически полностью исчезло такое понятие, как неприкосновенность частной жизни, а о таких вещах, как тайна переписки и телефонных переговоров можно только с сожалением вспоминать.) Поэтому в отдельных случаях может быть актуальной задача организации системы связи, которая позволяла бы передавать короткие текстовые сообщения таким образом, чтобы и их содержание и адресат были неизвестны. Такая система может быть построена на основе МРК и с использованием интернет-соединения. Под интернет-соединением здесь и далее понимается соединение на любой физической основе (кабельной, беспроводной, оптоволоконной) по любой технологии (LAN, DSL, Wi-Fi, GPRS и т. д.) с использованием типовых технических средств.

Новый подход в организации метеорной связи

Если в месте размещения периферийной станции возможно подключение к Интернету, то алгоритм работы метеорной связи можно изменить так, как показано на рис. 1. МРК используется для передачи информации только в направлении от базовой станции к периферийной. Информация передается таким образом, чтобы ее получатель (получатели) был неизвестен. Это достигается за счет пространственной избирательности и скрытности МРК.

При этом сигналы подтверждений передаются не через метеорный след, а с использованием интернет-соединения. Таким образом, на принимающей стороне отсутствует демаскирующее излучение мощного метеорного передатчика, не нужен сам передатчик и блок питания к нему. Структура такого рода системы связи показана на рис. 2.

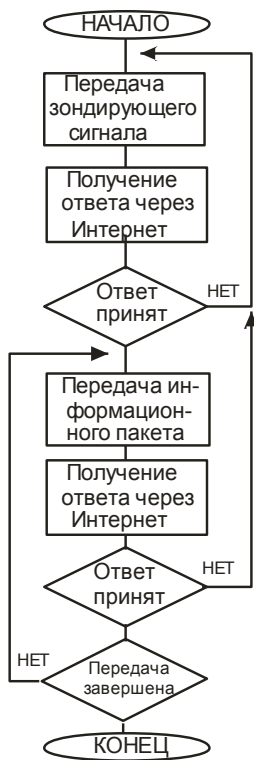


Рис. 1

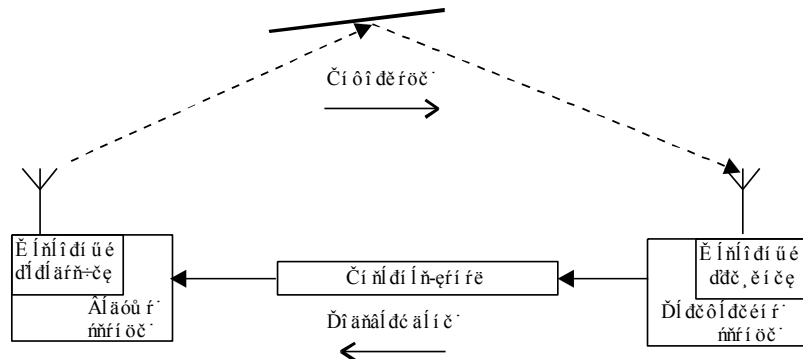


Рис. 2. Структура гибридной метеорной системы связи

Организация обратного канала

Через обратный канал передаются сигнал об обнаружении МРК (ответ на зонд) и подтверждение об успешном приеме информационных пакетов. Следует учитывать, что длина подтверждений очень мала (минимум – один бит).

В качестве сигнала-подтверждения нами предлагается использовать ping-пакет, который предназначен для проверки связи [6]. Он имеет небольшую длину, что уменьшает время доставки и риск потери. Необходимо учитывать, что время доставки информационного пакета по Интернету определяется не столько временем распространения сигнала по кабелю или оптоволокну, сколько задержками на маршрутизаторах [6]. Так, практически измеренное время прохождения ping-запроса до сервера, находящегося на расстоянии 680 км («туда и обратно») $t_{ping} = 12...25$ мс. Ping-пакет не несет в себе никакой информации, кроме самого факта его успешного получения. Но стоит заметить, что в заголовке пакета имеются четыре неиспользуемых бита. Идея использования бит, содержащихся в заголовках, для стеганографии рассмотрена в [5].

Особенности организации связи

Рассмотрим потери времени существования метеорного следа, возникающие при предложенном подходе в организации метеорной связи.

В соответствии с алгоритмом (рис.1), ведущая станция периодически (с периодом $t_{iā ò}$) передает зондирующие сигналы. Поскольку след возникает случайным образом и момент его возникновения никак не связан с моментом передачи зондирующего сигнала, то часть времени существования следа теряется (рис. 3). В среднем это время равняется $0,5 t_{iā ò}$. Суммарные потери времени существования следа при вхождении в связь:

$$t_{L1} = t_{iç} + t_{iĐÈ} + t_{çiā} + 0,5t_{Ping}, \quad (1)$$

где $t_{iĐÈ}$ – время передачи сигнала по МРК, $t_{çiā}$ – длительность зондирующего сигнала.

Потери времени существования следа при передаче информации определяются как:

$$t_{L2} = nt_{crc} + t_{Ls}, \quad (2)$$

где t_{crc} – длительность служебных сигналов в пакете, t_{Ls} – потери времени на неудачную передачу пакета в конце времени существования следа (рис. 4).

Традиционный алгоритм работы метеорной связи предполагает, что каждый пакет, переданный по МРК, подтверждается сигналом-квитанцией [3]. Но, благодаря тому, что передача и прием будет происходить по разным каналам, можно внести следующие изменения:

- не прерывать передачу информации на время приема квитанции и не дожидаться получения квитанции перед передачей следующего пакета;
- благодаря тому, что обратный канал сохраняется и после рассеяния следа, подтверждение можно передавать не после каждого пакета, а после окончания всего сеанса связи (рис. 4). Это позволит уменьшить потери времени существования следа.

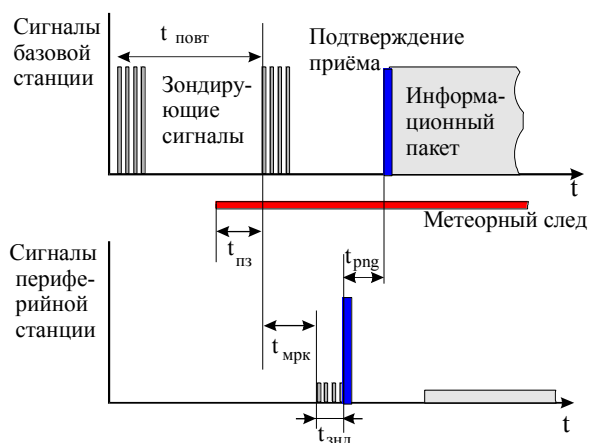


Рис. 3. Временные интервалы при вхождении в связь

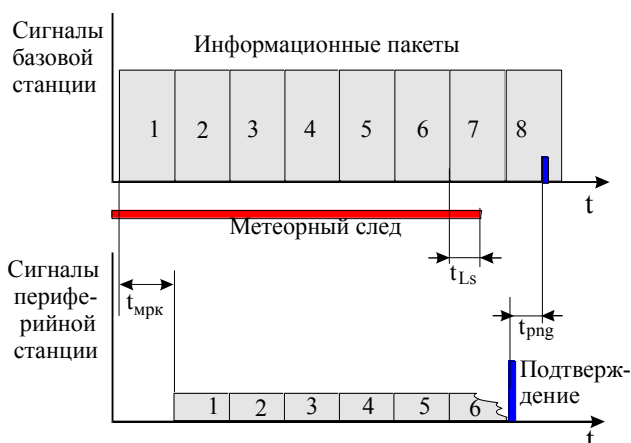


Рис. 4. Временные диаграммы при передаче информации

Для дальнейшего анализа особенностей работы предложенной системы связи нами разработана математическая модель, учитывающая зависимости (1) и (2), а также типичное время распространения сигнала по МРК в зависимости от длины трассы. В качестве внешних параметров в модель вводятся, а также t_{ping} . Оно может задаваться в диапазоне от 2 до 50 мс в соответствии с измеренным значением для реальной трассы. При расчете следует учитывать, что результат работы программы ring – время отклика, то есть, время прохождения сигнала «туда» и «обратно», поэтому в выражении (1) оно делится пополам.

Техническая скорость передачи была задана 10 кбит/с. При моделировании исходили из того, что в среднем за сутки возникает около 1000 полезных для связи метеорных следов, а закон распределения их длительностей соответствует представленному в [4].

Ожидаемые характеристики системы (по результатам моделирования)

Первый вопрос, который был исследован в ходе моделирования, – зависимость количества переданных пакетов от их длительности. Численный эксперимент проводился для трассы длиной 680 км для случая, когда $0,5t_{ping}$ равнялось 10 и 20 мс. Результаты представлены на рис. 5. Как и следовало ожидать, количество переданных пакетов оказывается обратно пропорциональным их длительности. Интереснее закономерность, представленная на рис. 6, где результатом моделирования является объем переданной информации. Из-за того, что каждый пакет в своем составе содержит служебные биты (заголовок, номер, контрольную сумму), делать пакеты очень короткими оказывается нерационально. Суточный объем

полезной информации в битах имеет максимум 1,3...1,5 Мбит, который достигается при длине пакет 30 мс и слабо зависит от t_{Ping} .

Зависимость переданного объема информации от длины пакетов для трасс различной длины представлена на рис. 7. В этом случае также имеются экстремумы, достигаемые при длительности пакета 25 мс для трассы 900 км и 30 мс для трассы 300 км.

На рис. 8 представлены результаты моделирования количества переданных пакетов в зависимости от расстояния между пунктами связи. Время t_{Ping} устанавливалось в два раза больше, чем время распространения сигнала по МРК. Как и следовало ожидать, по мере увеличения длины трассы (и, следовательно, времени распространения) количество переданных пакетов уменьшается.

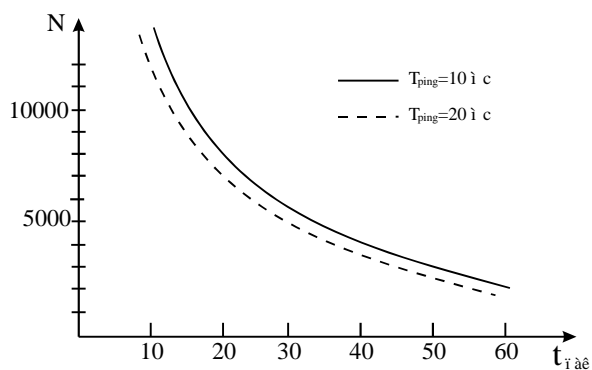


Рис. 5. Количество переданных пакетов ($R = 680$ км)

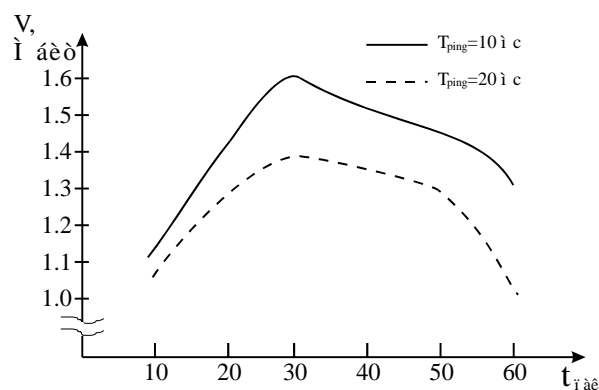


Рис. 6. Объем информации (Мбит), переданной за сутки ($R = 680$ км, скорость передачи 10 кбит/с)

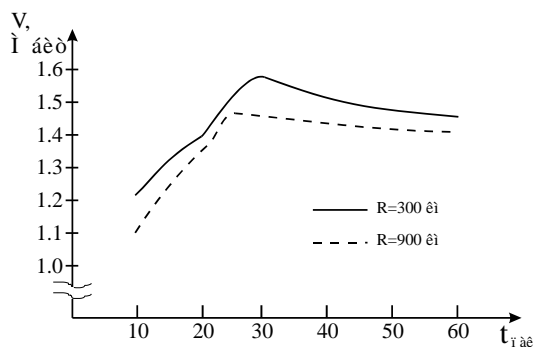


Рис. 7. Объем информации (Мбит), переданной за сутки ($T_{ping} = 20$ мс, скорость передачи 10 кбит/с)

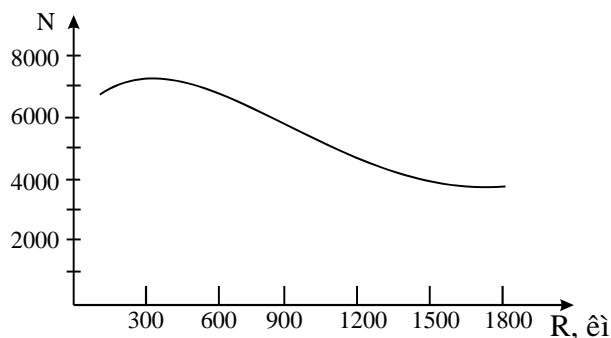


Рис. 8. Количество переданных пакетов ($t_{пак} = 25$ мс)

Выводы

Таким образом, в работе предложен способ организации метеорной связи, который мог бы в полной мере реализовать ее скрытность и экономичность. Предлагается использовать МРК только для передачи в направлении от базовой станции к периферийной, а для неявной передачи подтверждений должны использовать ping-пакеты, применяемые обычно для проверки связи. Для проверки возможности организации такого рода связи и оптимизации параметров ее протокола применено моделирование. Анализ результатов моделирования позволяет утверждать, что:

- оптимальная длина пакета для предложенного алгоритма работы системы связи составляет 25 – 30 мс;
- по мере увеличения длины трассы оптимальная длина пакета увеличивается;
- объем информации, который можно передать в течение суток, достигает 1,5 Мбит.

Список литературы:

1. Антипов И. Е. О возможности использования метеорного радиоканала для организации односторонней пейджинговой радиосвязи // Радиотехника. 2006. №146. С. 256-260.
2. Кашеев Б. Л., Бондарь Б. Г., Горбач В. И., Коваль Ю. А. Метеоры сегодня. К. : Техника, 1996. 196 с.
3. Антипов И. Е., Коваль Ю. А., Бавыкина В. В. Развитие теории и совершенствование метеорных систем связи и синхронизации. Харьков : Коллегиум, 2006. 308 с.
4. Кашеев Б. Л., Бондарь Б. Г. Метеорная связь. К. : УМК ВО, 1989. 76 с.
5. Орлов В.В., Алексеев А. П. Активная стеганография в сетях ТСР/ІР // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7, №. С.73-78
6. Структура ІР-пакета. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://userdocs.ru/voennoe/133314/index.html?page=28>.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 11.02.2018