

РАДІОЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИСТРОЇ

УДК 621.396.96

І.Є. Антіпов

Харківський національний університет радіоелектроніки

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МЕТЕОРНОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

© Антіпов І.Є., 2006

Розглянуто можливість підвищення пропускної спроможності метеорного радіозв'язку шляхом застосування змінної швидкості передачі та багатошвидкісної передачі. Цей метод дає змогу видобувати з сигналу різний обсяг інформації залежно від співвідношення сигнал-шум в місці приймання.

The opportunity of meteor-burst radio communication throughput increase by application of variable data transfer rate and multi-mode transfer rate is considered. This method allows to take from a signal various information part, depending from signal-to-noise ratio in reception point.

Вступ

Метеори являють собою плазмові утворення завдовжки декілька кілометрів і декілька метрів у діаметрі, що виникають в результаті вторгнення в земну атмосферу маленьких космічних часток на висотах 80...100 км. Час існування метеорного сліду становить від 0,1 до 10 секунд [1]. Здатність метеорних слідів відбивати радіохвилі дає змогу використовувати їх для метеорного радіозв'язку і високоточної синхронізації шкал часу. Метеорний радіозв'язок здійснюється короткими пакетами на відстань до 2000 км. Успішна передача кожного пакета підтверджується.

Як показано в [1], метеорний зв'язок має практичне значення для передачі невеликих обсягів інформації в умовах, коли не можуть бути застосовані інші види зв'язку, а також для високоточного зв'язування шкал часу.

Однак залишається невирішеною значна проблема, яка пов'язана з метеорним радіозв'язком і стримує його подальший розвиток та практичне застосування, а саме – мале значення середньої пропускної спроможності каналу, яке становить у кращому випадку десятки–сотні біт/с, хоча теоретично пропускна спроможність метеорного каналу досить висока [2]. Ця робота розглядає шляхи підвищення пропускної спроможності метеорного радіоканалу засобами, не пов'язаними зі зростанням потужності передавача, а лише шляхом більш раціонального використання існуючих технічних можливостей.

1. Підвищення пропускної спроможності шляхом застосування змінної швидкості передачі

Метеорний слід формується за дуже короткий час, після чого його електронна щільність починає зменшуватись за експоненціальним законом. З урахуванням формули Шеннона, постійної смуги пропускання метеорного каналу і постійного рівня шуму в місці прийому граничний обсяг інформації, що може передаватися за досить малий інтервал часу dt , можна записати як

$$dV = \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \left(\frac{S_0}{N_0} \right)^2 \exp \left(\frac{-2t}{\tau} \right) \right) dt, \quad (1)$$

де ΔF – смуга пропускання каналу; S_0/N_0 – відношення сигнал-шум у момент формування сліду; τ – стала часу розсіювання сліду (30...300 мс).

Графік залежності (1) показано на рис. 1. Його можна інтерпретувати як миттєву швидкість передачі даних, що може бути досягнута в кожному мить часу.

Теоретично досяжний обсяг інформації, що може бути переданим через метеорний слід за весь час його існування, можна записати як

$$V = \int_0^{\infty} \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_0^2 \cdot \exp(-2t/\tau)}{N^2} \right) dt . \quad (2)$$

Інтеграл (2) в елементарних функціях не визначається, але чисельна оцінка за $\Delta F = 10$ кГц показує, що через метеорний слід з $\tau = 300$ мс і $S_0/N_0 = 20$ дБ можна передати до 8 кбіт інформації.

Ці розрахунки справедливі лише за умови, що швидкість передачі в каналі змінюється разом зі зміною рівня сигналу, який приймається. Дійсно, якщо за фіксованої швидкості ($dV = \text{const}$) орієнтуватися на високий рівень сигналу на початку сліду, то можна досягнути високої швидкості, але на невеликому інтервалі часу (прямокутник 1 на рис. 1). Якщо ж орієнтуватися на використання всього часу існування сліду, то швидкість буде низькою (прямокутник 2). І в першому, і в другому випадку будуть втрати, розмір яких графічно інтерпретується як площа під кривою на рис. 1, але поза відповідним прямокутником. У кращому випадку (прямокутник 3) використовується лише 45 % граничної пропускної спроможності каналу.

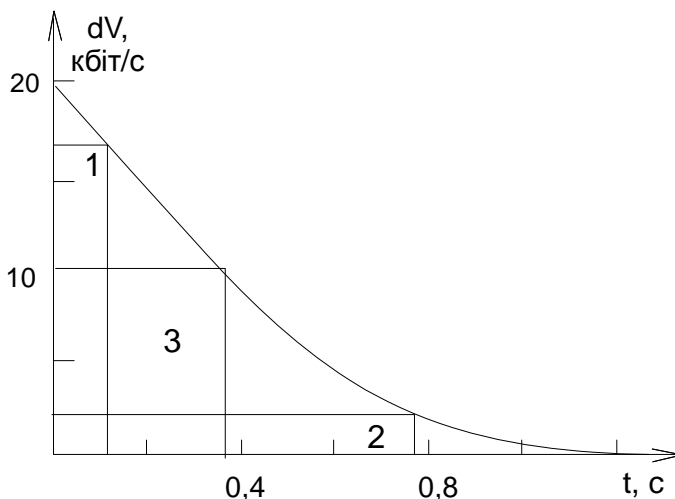


Рис. 1. Зміна пропускної спроможності метеорного каналу від часу

Для того, щоб наблизитись до цього граничного обсягу, необхідно змінювати швидкість передачі разом зі зміною відношення сигнал-шум. Технічно це може бути реалізовано шляхом застосування різних швидкостей модуляції, аналогічних до модемного зв'язку [3]. Точніше можна застосувати відносну фазову модуляцію (ВФМ) з різною кількістю сигнальних позицій.

Просте перенесення методів, які застосовуються у модемному зв'язку, у метеорний зв'язок є неможливим. З одного боку, на відміну від телефонного каналу в метеорному каналі немає штучних обмежувачів смуги пропускання. Таке явище, як “джиттер” або “тремтіння фази” тут також відсутнє. З іншого, – в метеорному зв'язку рівень сигналу може значно змінюватись від одного сеансу до другого, а впродовж одного сеансу можливі швидкі і глибокі завмирання, що не є характерним для телефонного зв'язку. Це змушує застосовувати амплітудне обмеження в приймальному тракті.

Оцінимо збільшення пропускної спроможності метеорного радіоканалу за зміни швидкості передачі шляхом використання ВФМ з різною кількістю сигнальних позицій. На рис. 2 у вигляді кривої зображено графік залежності теоретично досяжної миттєвої швидкості передачі саме для цих параметрів каналу ($\Delta F = 10$ кГц, $\tau = 300$ мс, $S_0/N_0 = 20$ дБ), а сходиноквою лінією показана можлива зміна швидкості під час застосування відповідних видів модуляції. Розрахунок, зроблений для цього випадку, показує, що ефективність використання каналу збільшується з 45 до 75 %.

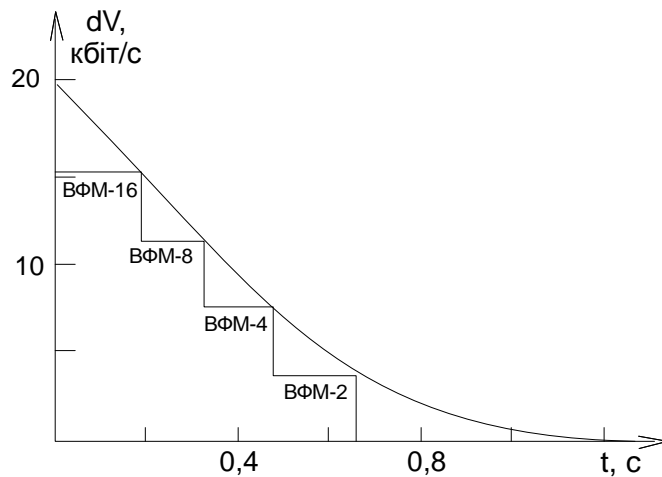


Рис. 2. Застосування змінної швидкості

2. Підвищення пропускної спроможності шляхом застосування багатошвидкісної передачі

Іншою особливістю метеорного каналу є те, що завчасно невідома ні тривалість сліду, ні відношення сигнал-шум в місці прийому. Перед передачею другого і наступних пакетів через існуючий метеорний слід можна встигнути повідомити про рівень сигналу і застосувати механізм адаптивної зміни швидкості передачі, як це було показано раніше. Але нерідко перший пакет стає єдиним, що вдається прийняти через короткий метеорний слід. Ця обставина не дає змоги обмінятися інформацією про рівень сигналу і у відповідний спосіб скорегувати швидкість у першому пакеті.

Якщо передача даних відбувається з використанням ВФМ, то для розв'язання поставленої задачі можна застосувати такий метод.

Розглянемо сигнальну діаграму, показану на рис. 3. Вона, як і ВФМ-4, містить чотири сигнальні позиції, але кодові відстані між ними не однакові.

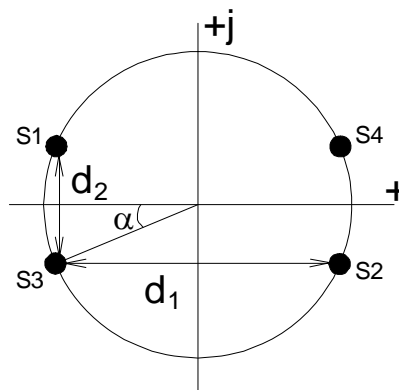


Рис. 3. Сигнальна діаграма ВФМ з нерівномірною кодовою відстанню

За амплітуди сигналу A , залежно від обраного кута α , кодова відстань між найближчими елементами парної і непарної груп, становитиме

$$d_1 = 2A \cos \alpha, \quad (3)$$

а між елементами групи

$$d_2 = 2A \sin \alpha. \quad (4)$$

Інша відмінність полягає у тому, що за звичайної ВФМ-4 кожним двом бітам ("00", "01", "10", "11") інформаційного пакета відповідає одна з чотирьох сигнальних позицій (S1...S4). Для реалізації алгоритму одночасної передачі двох сигналів з розрахунком на прийом за різного

співвідношення сигнал-шум, “0”/“1” першого інформаційного пакета відповідають парні/непарні сигнальні позиції. Конкретний номер сигнальної позиції в парній чи непарній групі визначається значенням бітів другого пакета. В результаті такого кодування одночасно передаються біти першого пакета з кодовою відстанню не менше d_1 та біти другого пакета з кодовою відстанню d_2 .

Згідно з [4] у загальному випадку імовірність бітової помилки

$$p_e = 1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{E}{N_0}} (1 - r_s) \right), \quad (5)$$

де r_s – коефіцієнт взаємної кореляції між сигналами, що розрізняються, який може бути знайдений як

$$r_s = \frac{1}{E} \int_0^T S1(t)S2(t)dt. \quad (6)$$

Так, наприклад, для сигналів $S1 = A_0 \cos(\omega_0 t)$ и $S2 = -A_0 \cos(\omega_0 t)$ можна записати, що їх коефіцієнт взаємної кореляції $r_s = -1$. Тоді імовірність бітової помилки для звичайної ВФМ становитиме

$$p_{i0i} = 1 - \Phi \cdot \left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} \right). \quad (7)$$

Графік залежності (7) показано на рис. 4.

Якщо ввести додаткові сигнальні позиції, то для їх формування знадобиться нова частота, значення якої буде визначатись фазою α , на яку відрізняються між собою сигнальні позиції в парах (рис. 3):

$$\omega_1 = \left(\omega_0 - \frac{\alpha}{T} \right). \quad (8)$$

Тоді

$$r_{S14} = \frac{1}{E} \int_0^T S1(t)S4(t)dt = \frac{1}{E} \int_0^T A_0 \cos(\omega_0 t) A_0 \cos \left(\omega_0 - \frac{\alpha}{T} \right) t dt. \quad (9)$$

Після алгебраїчних перетворювань отримаємо

$$r_{S12} = -\cos \left(\frac{d_1}{2A} \right) = -\cos \alpha. \quad (10)$$

Коефіцієнт взаємної кореляції для сигнальних позицій в кожній групі становитиме

$$r_{S12} = \cos \left(\frac{d_1}{2A} \right) = \cos \alpha. \quad (11)$$

Тоді імовірність бітової помилки для сигналів першого пакета становитиме

$$p_{S1} = 1 - \Phi \cdot \left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} (1 + \cos \alpha) \right), \quad (12)$$

а для другого

$$p_{S2} = 1 - \Phi \cdot \left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} (1 - \cos \alpha) \right). \quad (13)$$

На рис. 4 показано залежності імовірності бітової помилки від співвідношення сигнал-шум за кута $\alpha = \pi/8$ для сигналів першого і другого пакетів. З рисунка зрозуміло, що завадозахищеність навіть для першого пакета (не говорячи вже про другий) буде нижча, ніж за звичайної ВФМ (ВФМ-2). Але вигравш у пропускну спроможності досягається тому, що за високого співвідношення сигнал-шум швидкість передачі фактично подвоюється за рахунок другого пакета.

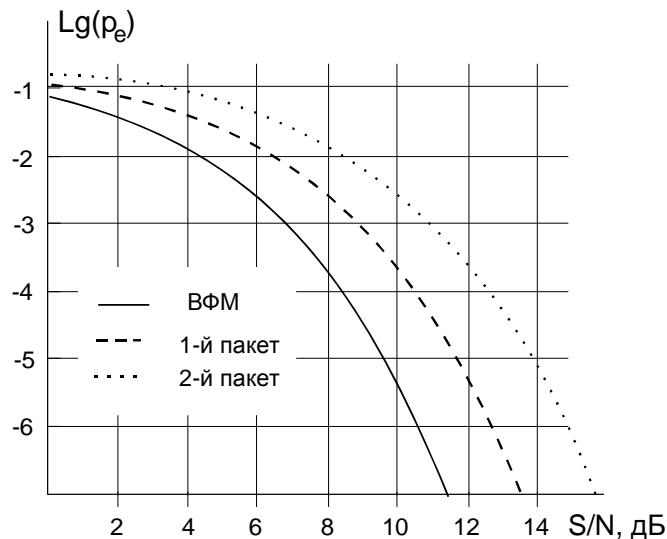


Рис. 4. Імовірність біткової помилки для різних видів модуляції

Інакше кажучи, за звичайної ВФМ уся енергія несучого коливання використовується для передачі лише одного інформаційного пакета. Під час переходу до ВФМ з нерівномірною кодовою відстанню більша частина енергії витрачається на передавання сигналу першого пакета, а менша – на передачу другого. Співвідношення між енергією, що приходить на перший та на другий пакети, визначається кутом α (або кодовою відстанню між сигнальними позиціями). Для оптимізації α може бути проведено моделювання, яке враховує особливості алгоритму передачі.

Як приклад був виконаний розрахунок імовірності спотворення пакета із 100 біт для випадку $\alpha = \pi/8$ і знайдено відношення реальної швидкості передачі (з урахуванням затрат часу на повторення, викликані спотвореннями) до технічної швидкості передачі даних. Результати розрахунку наведено в таблиці

Відношення реальної швидкості передачі до технічної

S/N, дБ	$\alpha = \pi/8$			ВФМ-2
	1-й пакет	2-й пакет	Всього	
3	0,07	0,0	0,07	0,49
4	0,27	0,02	0,29	0,79
6	0,73	0,2	0,92	0,97
8	0,92	0,5	1,42	1
10	0,98	0,74	1,72	1
12	0,99	0,89	1,88	1
15	1	0,96	1,96	1
18	1	0,99	1,99	1
У середньому			1,27	0,91

Висновки

Отже, можна стверджувати, що застосування змінної швидкості передачі даних в метеорному радіоканалі дасть змогу підвищити ефективність його використання з 45 до 75 %. Також можна стверджувати, що запропонований метод багатозв'язної передачі дасть змогу ефективніше використовувати короткі метеорні сліди та підвищити пропускну спроможність каналу у середньому на 30 %.

У плані подальшого розвитку у цьому напрямку можна розглянути питання про одночасне передавання не двох інформаційних пакетів, як це запропоновано у роботі, а трьох і більше. За високого співвідношення сигнал-шум це може ще більше підвищити пропускну спроможність каналу.

1. Кащеев Б.Л. и др. *Метеоры сегодня*. – К., 1996. 2. Горбач В.И. *Оценка средней пропускной способности аппаратуры МЕТКА-11 в режиме метеорной связи // Инф. Бюл. УАА*. – Киев: ИПЦ “Наукова книга”, 1996. – № 9. – С. 59–60. 3. Лагутенко О.И. *Модемы: Справочник пользователя*. – СПб., 1997. 4. Тихонов В.И., Харисов В.Н. *Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем*. – М., 2004.