

ОПТИМАЛЬНЫЙ БАЛАНС ИНФОРМАЦИОННОЙ И ПИЛОТ КОМПОНЕНТ РАДИОСИГНАЛА

Гармонов А.В., Каюков И.В., Манелис В.Б.

Федеральный исследовательский и производственный центр “Воронежский научно исследовательский институт связи”. Россия 394018 г. Воронеж ул. Плехановская 14.
Тел. (0732) 74-27-47, факс (0732) 74-28-22, E-mail: Manelis@kodofon.vrn.ru

1. Введение.

В последние годы интенсивное развитие получили мобильные сотовые системы связи. Эти системы настоящего и следующих поколений должны поддерживать связь с абонентами, перемещающимися с высокой скоростью. Как следствие, мобильная система должна эффективно функционировать в условиях быстрого (высокочастотного) фединга. В настоящее время достижение высокой помехоустойчивости и емкости сотовых систем связи 2-го и 3-го поколения связывается с использованием MPSK и MQAM модуляции. Потенциальные преимущества этих видов модуляции могут быть реализованы на практике только при высокой точности оценки комплексной амплитуды принимаемого сигнала (восстановления несущей). Для такого восстановления полезный сигнал содержит пилот компоненту.

Возможны два основных типа пилот компоненты, различающиеся по временной структуре. Первый – это так называемый непрерывный пилот сигнал, передаваемый параллельно вместе с информационной компонентой сигнала. Пилот и информационная компоненты при этом являются ортогональными. Данный тип пилот компоненты имеет место в стандартах IS-95, cdma2000 и 3GPP.

Второй, так называемый прерывистый пилот сигнал – пилот символы, мультиплексированные во времени с информационными символами. То есть, пилот компонента представляет собой известную кодовую пилот-последовательность, периодически вставляемую в сообщение. Такой тип пилот компоненты предполагается в проектах стандартов HDR, UMTS, и, возможно, будет перспективным для систем связи 4-го поколения. Заметим, что пилот компонента сигнала, обеспечивая возможность квазиогерентного приема, занимает ресурс системы, уменьшая пропускную способность канала, а значит, и емкость сотовой системы связи. Поэтому, оптимизация этого ресурса является актуальной задачей.

В [1, 2] проведена оптимизация баланса мощностей информационных и пилот компонент радиосигнала при непрерывном пилот сигнале.

Данная работа посвящена определению оптимального соотношения информационной и пилот компонент сигнала при прерывистом типе пилот компоненты, а также сравнению эффективности применения различных типов пилот сигнала.

2. Постановка задачи.

Положим, что полезный сигнал представляет собой последовательность информационных символов, мультиплексированных во времени с пилот символами. Длительности Δ информационных и пилот символов равны. Так как, каналы пользователей в прямом канале сотовой системы связи ортогональны друг от друга, то задача совместной оптимизации соотношений информационной и пилот компонент сигналов системы связи сводится к оптимизации этого соотношения отдельного канала связи.

Решаемая задача соответствует случаю одного пользователя в прямом канале сотовой системы (передача данных от базовой станции к мобильным станциям), а также случаю одного пользователя в обратном канале (передача данных от мобильной станции к базовой), имеющего один информационный канал.

Введем отношение энергии E_s информационных символов к энергии E_p пилот символов

$$k = \frac{E_s}{E_p} = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

m , n - количество информационных и пилот символов, передаваемых системой связи по каналу за время T .

Необходимо найти значения параметров k , обеспечивающие максимальную эффективность системы связи в соответствии с критерием оптимизации.

Выберем показатель качества в виде энергии полезного сигнала, приходящейся на один передаваемый информационный символ

$$E = \frac{pT}{m}, \quad (2)$$

при обеспечении требуемого уровня вероятности ошибки демодуляции символов BER^* . В (2) p - мощность сигнала.

При приеме полезного сигнала на фоне гауссовского шума этот показатель качества эквивалентен отношению энергии сигнала (2) к спектральной плотности мощности шума N_0 , и может быть записан в безразмерных величинах как

$$Q = \frac{pT}{N_0 m} = h^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right), \quad (3)$$

где $h^2 = \frac{p\Delta}{N_0}$ - отношение сигнал-шум символа. Оптимальное значение k^{opt} определяется по положению минимума показателя качества (3), т. е.

$$k^{opt} = \arg \min Q \Big|_{BER \leq BER^*} \quad (4)$$

Показатель качества (3) позволяет также сравнить эффективность каналов с различными конфигурациями сигнала (длительность символов, временное расположение пилот символов). Более эффективной будет конфигурация, которая при оптимальном значении величины $k = k^{opt}$ имеет меньшее значение показателя качества (3).

Оптимизация величины k в соответствии с предложенным критерием (4) предполагает использование конкретного алгоритма восстановления несущей квазикогерентного приема. В данной работе использовался лучший из известных на данный момент алгоритмов восстановления несущей - алгоритм стохастической интерполяции [2]. В соответствии с этим алгоритмом оценка комплексной амплитуды принимаемого сигнала представляет собой результат весового суммирования корреляционных откликов пилот сигнала. Значения весов суммирования зависят от статистики канала и временного положения оцениваемого символа.

3. Результаты.

Аналитически анализ показателя качества (3) затруднителен из-за сложности анализа помехоустойчивости квазикогерентного приема. Поэтому оптимизация величины k проводилась методом компьютерного моделирования.

При моделировании принимаемый сигнал представлял собой BPSK сигнал, прошедший через однолучевой федингующий канал связи и наблюдаемый на фоне гауссовских шумов. Фединг сигнала соответствовал широко используемой модели Джейкса [4].

На рис.1 представлены кривые зависимости показателя качества Q от параметра k для различных вариантов временного расположения пилот символов на рассматриваемом интервале анализа. Значение произведения частоты фединга F на длительность передаваемого символа Δ , выбиралось $F\Delta = 0.028$, требуемая вероятность битовой ошибки $BER^* = 0.1$. При моделировании пилот сигнал представлял собой периодически расположенные пилот группы символов. На рис.1 кривая 1 соответствует одному пилот символу в группе, кривая 2 – двум символам, кривая 3 – трем символам.

Для иллюстрации зависимости оптимальных значений параметра k от скорости изменения канала связи на рис.2 представлены кривые зависимости показателя качества Q от параметра k для различных значений произведения $F\Delta$ при требуемой вероятности битовой ошибки $BER^* = 0.1$. На рис.2 кривая 1 соответствует случаю $F\Delta = 0.028$, кривая 2 - $F\Delta = 0.014$, кривая 3 - $F\Delta = 0.003$, кривая 4 - $F\Delta = 0.0002$.

В соответствии с критерием (4) минимальные значения зависимостей $Q(k)$, представленных на рис.2, определяют оптимальные значения параметра k^{opt} . Из рис.2 следует, что при заданной длительности передаваемых символов эффективность по критерию (4) уменьшается с увеличением частоты фединга. Из рис.2 также видно, что диапазон приемлемых значений параметра k достаточно велик. Причем, этот диапазон увеличивается с уменьшением величины $F\Delta$.

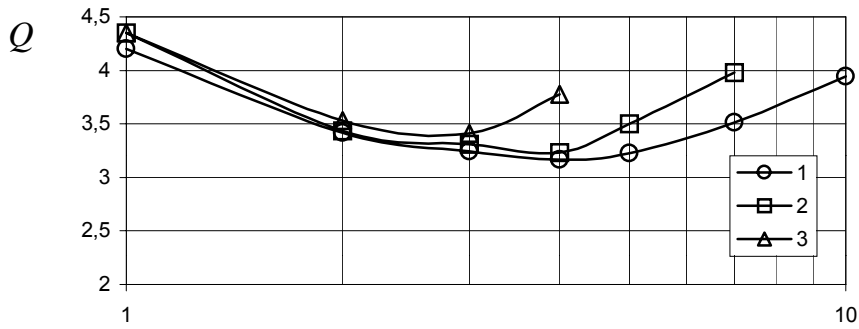


Рис.1

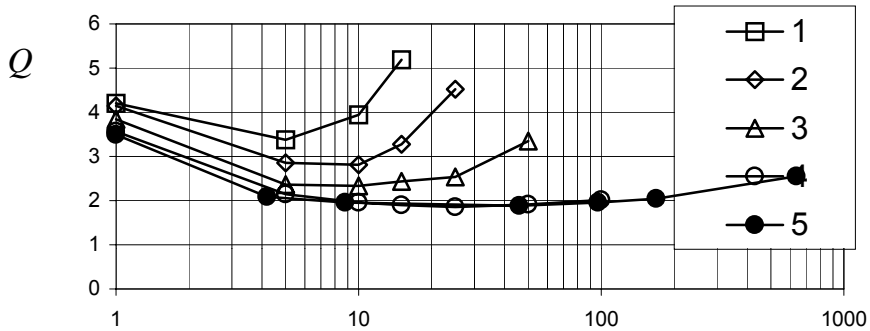


Рис.2

Анализ зависимости величины оптимального значения k^{opt} от произведения $F\Delta$ показал, что существует область значений параметра $k = 4 \div 10$, в пределах которой любое значение k будет обеспечивать удовлетворительное качество приема в достаточно широких пределах значений величины $F\Delta$, исследованных в данной работе.

Для сравнения эффективности систем связи с различными типами пилот сигналов на рис.2 представлена кривая 5 зависимости средней энергии на переданный информационный символ $Q(k)$ для непрерывного типа пилот сигнала для $F\Delta = 0.0002$ и $BER^* = 0.1$. Зависимости показателя качества $Q(k)$ для непрерывного пилот сигнала найдены в [1, 2]. Параметр k для обоих типов пилот сигнала представляет собой отношение энергии информационных символов к энергии пилот символов. Из рис.2 видно, что кривые зависимостей $Q(k)$ для непрерывного и прерывистого типов пилот сигнала (кривые 4 и 5) отличаются незначительно, т.е. эффективность систем связи с различными типами пилот сигналов примерно одинакова. Данный результат подтверждает выводы сделанные в [5] о примерно одинаковой эффективности восстановления несущей при использовании непрерывного и прерывистого типов пилот сигнала.

4. Заключение.

Таким образом, найдены оптимальные соотношения информационной и пилот компонент сигнала в сотовых системах связи при прерывистом типе пилот компоненты. Реализация этих соотношений позволяет перераспределить ресурс от пилот компоненты к информационной компоненте, обеспечивая уменьшение средней энергии одного переданного информационного символа. Показано, что целесообразно равномерное расположение пилот символов во времени. Оптимальные значения соотношений информационной и пилот компонент сигнала слабо зависят от частоты фединга. Анализ показателя качества выявил достаточно высокую его устойчивость к отклонению соотношения информационной и пилот компонент сигнала от своего оптимального значения. Эффективность передачи данных растет с увеличением суммарной скорости передачи данных. Выполнено сравнение систем связи с различными типами пилот сигнала. Показано, что эффективность использования прерывистого и непрерывного типов пилот сигнала примерно одинакова.

Литература

1. А.В. Гармонов, И.В. Каюков, В.Б. Манелис, Оптимальный баланс мощности информационных и пилот сигналов в системах связи с кодовым разделением каналов // М.: Электросвязь, 2000.
2. А.В. Гармонов, И.В. Каюков, В.Б. Манелис, Оптимальная энергетическая структура сигнала в системах связи с кодовым разделением каналов// Радиолокация, навигация, связь: Тез. докл. 6 Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2000.
3. J.M. Torrance and L. Hanzo Comparative Study of Pilot Symbol Assisted Modem Schemes // RRAS'95 -26-28 Sept.-1995-Bath, UK,- pp.36-41.
4. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ. Под ред. У.К. Джейкса, М.: "Связь", 1979
5. S. Abeta, M. Sawahashi, and F. Adachi, Performance comparison between time-multiplexed pilot channel and parallel pilot channel for coherent rake combining in DS-SS mobile radio, IEICE Trans. Commun., vol.E81-B, no.7, pp.1417-1425, July 1998.



OPTIMAL BALANCE OF RADIO SIGNAL INFORMATION AND PILOT COMPONENTS

Garmonov A.V., Kajukov I.V., Manelis V.B.

Federal Research and Production Center "Voronezh Research Institute for Telecommunications". 14,
Plekhanovskaya st., Voronezh 394018 Russia.
Tel.: (0732) 74-27-47, fax (0732) 74-28-22, E-mail: Manelis@kodofon.vrn.ru

Cellular mobile communication systems of the current and future generations should support communications with users moving with high rate. Hence, the mobile system should efficiently operate in fast (high rate) fading. Currently, achievements of high cellular system interference stability and efficiency is connected with the use of MPSK and MQAM modulation. Potential advantages of these modulation types can be implemented with high estimation accuracy of the complex received signal amplitude (carrier recovery). The desired signal contains a pilot component for the recovery. Two main types of pilot component, differing by the time structure, are possible. The first type is a so-called continuous pilot signal, transmitted in parallel with an information signal component. The second one, so-called discontinuous pilot signal, is pilot symbols, multiplexed with information symbols in time. [1, 2] make the balance optimization of the radio signal information and pilot components with continuous pilot signal. The present paper covers determination of the optimum ratio of information and pilot signal components with discontinuous pilot component type and also compares the application efficiency of different pilot signal types.

The desired signal is assumed to be a sequence of information symbols, multiplexed with pilot symbols in time. The information and pilot symbol lengths Δ are equal. It is required to find the value of information symbol energy E_s to pilot symbol energy E_p ratio $k = E_s/E_p$, providing the maximum communication system efficiency by the optimization criterion. The optimization criterion is assumed to be the minimum of the desired signal energy per on transmitted information symbol to the noise power density N_0 ratio

$$Q = h^2(1 + 1/k) \tag{1}$$

at the provision of the required symbol demodulation bit error rate level BER^* . $h^2 = p\Delta/N_0$ - symbol signal-to-noise-ratio, p - signal power (2).

Optimization of the value k assumes the use of a certain quasicohherent receiving carrier recovery algorithm by the suggested criterion. This paper applies the best carrier recovery algorithm, i.e. stochastic interpolation algorithm. [2].

The value k is optimized by the computer simulation technique. When simulating, the received signal is a BPSK signal, passing through the one-path fading channel and observed against a background of Gaussian noise. The signal fading corresponds to a widely used Jakes model [4]. Dependence of the quality factor Q on the parameter k is analyzed for different variants of time position of the pilot symbols within the examined analysis interval. When simulating, the pilot signal is periodic pilot groups of symbols. It is stated, the optimum is the uniform position of the pilot symbols in time. Thus, solutions, proposed in some standards, (e.g., UMTS, when a pilot group contains up to four symbols) are non-optimum. The figure below presents the curves of the quality factor Q dependence on the parameter k for different values of the product $F\Delta$ (F is a fading rate) with the required $BER^* = 0.1$. The curve 1 corresponds to the case of $F\Delta = 0.028$, the curve 2 - $F\Delta = 0.014$, the curve 3 - $F\Delta = 0.003$, the curve 4 - $F\Delta = 0.0002$ (see Figure 2):

In compliance with the optimality criterion, the minimum values of $Q(k)$ dependencies, presented in the figure, define the optimum values of the parameter k . From the figure it follows that the receiving efficiency reduces with the fading rate increase at the pre-set transmitted symbol length. Analysis of the optimum k value dependence on the product $F\Delta$ demonstrates, there is a value area of the parameter $k=4\pm 10$. Any k value provides satisfactory communication quality within this area.

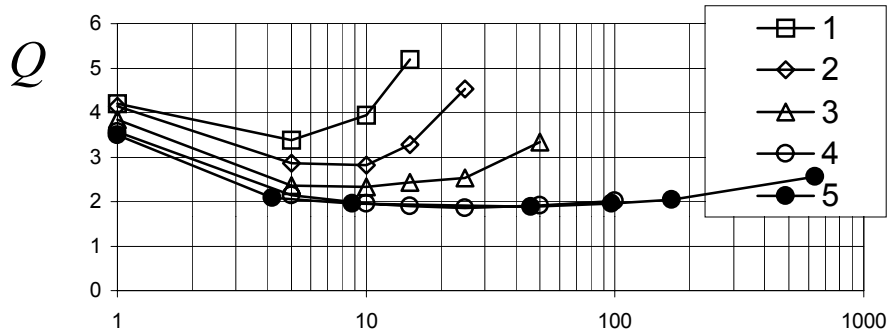


Figure 2.

The figure presents the curve 5 of the dependence of the average energy per the transmitted information symbol $Q(k)$ for $F\Delta = 0.0002$ and $BER^* = 0.1$ to compare the efficiency of different pilot signal type based communication systems. The dependencies of the quality factor $Q(k)$ for the continuous pilot signal are covered in [1, 2]. The dependence $Q(k)$ curves for continuous and discontinuous pilot signal types (curves 4 and 5) differ insignificantly, i.e. the efficiency of different pilot signal type based communication systems is about the same. This result confirms conclusions on the identical carrier recovery efficiency with the use of continuous and discontinuous pilot signal types made by [5].

Thus, the optimum ratios of information and pilot signal components of cellular communication system are defined with the discontinuous pilot component type. Implementation of these ratios allows redistribution of the resource from pilot to information components, providing reduction of the average energy of one transmitted information symbol. The uniform time position of pilot symbols is shown to be appropriate. The factor analysis discovers its sufficiently high stability to the variation of information-to-pilot signal component ratio from its optimum value. The data transmission efficiency improves with the improvement of the combined data transmission rate. Different pilot signal type based communication systems are compared. Application efficiency of the discontinuous and continuous pilot signal types is about the same.

References

1. A.V. Garmonov, I.V. Kajukov, V.B. Manelis. Optimum information and pilot signal power balance in code division multiple access systems // M.: Electrocommunications, 2000.
2. A.V. Garmonov, I.V. Kajukov, V.B. Manelis. Optimum energy signal structure in code-division multiple access systems // Radiolocation, navigation and telecommunications: Thesis. 6th International research conference. Voronezh, 2000.
3. J.M. Torrance and L. Hanzo Comparative Study of Pilot Symbol Assisted Modem Schemes // RRAS'95 - 26-28 Sept.-1995-Bath, UK,- pp.36-41.
4. Communication with mobiles in UHF range. Edited by U.K. Jakes, M.: "Communications", 1979
5. S. Abeta, M. Sawahashi, and F. Adachi, Performance comparison between time-multiplexed pilot channel and parallel pilot channel for coherent rake combining in DS-SS mobile radio, IEICE Trans. Commun., vol.E81-B, no.7, pp.1417-1425, July 1998.