

УДК 654.165

МЕТОД ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ С НЕПРЕРЫВНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

В. Ю. СЕМЕНОВ

*Научно-производственное предприятие «ДЕЛЬТА СПЕ»,
Украина, Киев, пр-т Победы, 123*

Аннотация. Вследствие высокой спектральной эффективности, схемы непрерывной фазовой модуляции СРМ (continuous phase modulation) представляют интерес для систем связи, которые имеют ограничения по полосе пропускания и мощности сигналов. В данной статье представлен метод демодуляции сигналов с непрерывной фазовой модуляцией СРМ, основанный на методе наименьших квадратов LSM (least-squares method). Этот метод (СРМ-LSM) основан на оптимальной линейной оценке информационных символов по фазе принятого сигнала путем решения переопределенной системы уравнений методом наименьших квадратов. Представлено математическое обоснование для применения предлагаемого метода. Предварительные экспериментальные результаты моделирования с использованием сигналов геостационарной мобильной радиосвязи GMR-2 (Geo-Mobile Radio) показали, что предложенный СРМ-LSM метод является устойчивым к ошибкам фазы несущей. Другая особенность СРМ-LSM метода состоит в том, что он не использует специальные слова (символьные наборы) для амплитудной/фазовой синхронизации. Последний факт является важным, поскольку специальные слова обычно занимают до 20% величины передаваемого пакета. Отсутствие специальных слов может существенно повысить пропускную способность канала связи.

Ключевые слова: непрерывная фазовая модуляция; метод наименьших квадратов; СРМ; LMS

1. ВВЕДЕНИЕ

Схемы модуляции с непрерывной фазой СРМ (Continuous Phase Modulation) представляют интерес для систем связи, которые имеют ограничения по полосе пропускания и мощности сигнала. В отличие от других способов модуляции (QPSK и др.), где фаза несущей изменяется скачкообразно, в случае схемы СРМ, имеется непрерывно модулируемая фаза несущей. Скачки фазы, возникающие при других способах модуляции, приводят к относительно большой (в процентном отношении) мощности, оказывающейся за пределами заданного диапазона, что приводит к низкой спектральной эффективности. Поэтому схема СРМ при-

влекательна тем, что непрерывность фазы обеспечивает высокую спектральную эффективность.

Примерами систем, использующих СРМ, являются глобальная система мобильной связи GSM (Global System for Mobile Communications), геостационарная мобильная радиосвязь GMR-2 (Geo-Mobile Radio) и др. Поэтому многие исследования посвящены проблеме демодуляции СРМ сигналов [1–4].

Как известно, СРМ сигнал однозначно определяется своей фазой [1]:

$$\phi(t) = \pi h \sum_k \alpha_k \int_{-\infty}^{t-kT} g(u) du, \quad (1)$$

DOI: [10.20535/S0021347018040027](https://doi.org/10.20535/S0021347018040027)
© В. Ю. Семенов, 2018

Commun., Vol. 34, No. 2, P. 150-160, 1986. DOI: [10.1109/TCOM.1986.1096504](https://doi.org/10.1109/TCOM.1986.1096504).

2. Bjerke, B. A.; Proakis, J. G.; Lee, K. Y. M.; Zvonar, Z. "A comparison of GSM receivers for fading multipath channels with adjacent and co-channel interference," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 18, No. 11, P. 2211-2219, 2000. DOI: [10.1109/49.895026](https://doi.org/10.1109/49.895026).

3. Kumar, L.; Mittal, D. K.; Shrestha, R. "VLSI-design and FPGA-implementation of GMSK-demodulator architecture using CORDIC engine for low-power application," *Proc. IEEE Annual India Conf., INDICON*, 16-18 Dec. 2016, Bangalore, India. IEEE, 2016. DOI: [10.1109/INDICON.2016.7838954](https://doi.org/10.1109/INDICON.2016.7838954).

4. Sen, D.; Yuhong, Y.; Penghui, C.; Bin, G. "Research on separability of GMSK mixed signals based on modulation parameters," *Proc. of 5th Int. Conf. on Electronics Information and Emergency Communication, ICEIEC*, 14-16 May 2015, Beijing, China. IEEE, 2015. DOI: [10.1109/ICEIEC.2015.7284514](https://doi.org/10.1109/ICEIEC.2015.7284514).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Laurent, P. "Exact and approximate construction of digital phase modulations by superposition of amplitude modulated pulses (AMP)," *IEEE Trans.*

Поступила в редакцию 10.07.2017

После переработки 09.01.2018