

УДК 621.396

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ ВРЕМЕНИ ПРИХОДА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО КВАЗИРАДИОСИГНАЛА С НЕИЗВЕСТНЫМИ АМПЛИТУДОЙ И ФАЗОЙ*

А. П. ТРИФОНОВ, П. Е. РУДНЕВ

*Воронежский государственный университет,
Россия, Воронеж, 394006, Университетская пл., д. 1*

Аннотация. Выполнен синтез максимально правдоподобного алгоритма оценки времени прихода сверхширокополосного квазирадиосигнала с неизвестными амплитудой и фазой, длительность которого может составлять несколько периодов или долю периода гармонического колебания. Показано, что реализация алгоритма максимального правдоподобия (МП) оценки времени прихода сверхширокополосного квазирадиосигнала заметно сложнее, чем реализация алгоритма МП оценки времени прихода узкополосного радиосигнала. С учетом аномальных ошибок найдены вероятность надежной оценки, смещение и рассеяние МП оценки времени прихода сверхширокополосного квазирадиосигнала, что позволяет исследовать ее пороговые свойства. Методами статистического моделирования на ЭВМ установлена работоспособность синтезированного алгоритма оценки МП и определены границы области применимости полученных асимптотически точных (с ростом отношения сигнал/шум) формул для характеристик оценки времени прихода сверхширокополосного квазирадиосигнала с неизвестными амплитудой и фазой.

Ключевые слова: время прихода; сверхширокополосный квазирадиосигнал; оценка максимального правдоподобия; смещение; рассеяние оценки; дисперсия оценки; вероятность надежной оценки

Задача оценки времени прихода узкополосного радиосигнала с неизвестными амплитудой и фазой на фоне белого шума достаточно подробно изучена, и ее уже можно назвать классической для статистической радиотехники [1–3]. Под узкополосными понимаются сигналы, относительная полоса которых, т.е. отношение полосы частот к центральной частоте их спектров, много меньше единицы. С этой точки зрения, так называемые широкополосные сигналы (радиосигналы с большой базой) также являются узкополосными. Узкополосные (квазигармонические) радиосигналы дол-

гое время являлись одним из основных объектов исследования в радиоэлектронике [1–3].

В последние годы все больший интерес и применение в радиоэлектронике и ее приложениях находят так называемые сверхширокополосные сигналы (сигналы без несущей) [4–11]. У этих сигналов относительная полоса частот может быть порядка единицы и более. При таких значениях относительной полосы обычные определения огибающей и фазы теряют ясный физический смысл, что может привести к нецелесообразности их использования. Поэтому, известные результаты по оценке време-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-11-10022).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов, В.И. *Оптимальный прием сигналов*. М.: Радио и связь, 1983. 320 с.
2. Куликов, Е.И.; Трифонов, А.П. *Оценка параметров сигналов на фоне помех*. М.: Сов. радио, 1978. 296 с.
3. Трифонов, А.П.; Шинаков, Ю.С. *Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех*. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
4. Трифонов, А.П.; Руднев, П.Е. Обнаружение сверхширокополосного квазирадиосигнала на фоне белого шума. *Известия вузов. Радиофизика*, Т. 52, № 9, С. 749–760, 2009. URI: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13006605>.
5. Трифонов, А.П.; Руднев, П.Е. Обнаружение сверхширокополосного квазирадиосигнала с неизвестным временем прихода на фоне белого шума. *Известия вузов. Радиофизика*, Т. 54, № 6, С. 458–473, 2011. URI: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16952287>.
6. Fontana, R. J. Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 52, No. 9, P. 2087-2104, 2004. DOI: [10.1109/TMTT.2004.834186](https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.834186).
7. Hussain, M. G. M. Ultra-wideband impulse radar-an overview of the principles. *IEEE Aero. Electron. Syst. Mag.*, Vol. 13, No. 9, p. 9-14, 1998. DOI: [10.1109/62.715515](https://doi.org/10.1109/62.715515).
8. Iverson, D. E. Coherent processing of ultra-wideband radar signals. *IEE Proc. Radar, Sonar and Navigation*, Vol. 141, No. 3, p. 171-179, 1994. DOI: [10.1049/ip-rsn:19941164](https://doi.org/10.1049/ip-rsn:19941164).
9. Hussain, M. G. M. Principles of high-resolution radar based on nonsinusoidal waves. I. Signal representation and pulse compression. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol. 31, No. 4, p. 359-368, 1989. DOI: [10.1109/15.43630](https://doi.org/10.1109/15.43630).
10. Hussain, M. G. M. Principles of high-resolution radar based on nonsinusoidal waves. II. Generalized ambiguity function. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol. 31, No. 4, p. 369-375, 1989. DOI: [10.1109/15.43639](https://doi.org/10.1109/15.43639).
11. Morgan, M. A. Ultra-wideband impulse scattering measurements. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 42, No. 6, p. 840-846, 1994. DOI: [10.1109/8.301704](https://doi.org/10.1109/8.301704).
12. Быков, В.В. *Цифровое моделирование в статистической радиотехнике*. М.: Сов. Радио, 1971. 328 с.

Поступила в редакцию 29.07.2016

После переработки 26.01.2018