

УДК 621.396.62

Компенсация активных помех в приемном тракте ретранслятора дальногомера посадочной радиомаячной группы¹

Фридман Л. Б., Синицын Е. А., Ершов Г. А.

*Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиоаппаратуры»
пр. Обуховской обороны, 120, Санкт-Петербург, 192012, Российская Федерация
lenya2002@bk.ru*

Получено: 8 сентября 2019 г.

Отрецензировано: 13 сентября 2019 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2019 г.

Аннотация: *Выполнен анализ эффективности метода адаптивной компенсации активных помех при его использовании в приемном тракте ретранслятора дальногомера посадочной радиомаячной группы. При этом рассмотрен метод адаптивной компенсации активных помех в спектральной области, отличающийся тем, что позволяет компенсировать активные помехи (в частности, сигналы цифрового телевидения и сотовой связи) при наличии их переотражений от местных предметов и подстилающей поверхности. Получена зависимость эффективности компенсации активной помехи в спектральной области от порядка быстрого преобразования Фурье при наличии переотражений помехи. Предложен способ повышения эффективности адаптивной компенсации активных помех в приемном тракте ретранслятора дальногомера путем увеличения порядка быстрого преобразования Фурье. Выполнена сравнительная оценка эффективности компенсации активных помех в приемном тракте ретранслятора дальногомера посадочной радиомаячной группы и средств вторичной радиолокации.*

Ключевые слова: *посадочная радиомаячная группа, ретранслятор дальногомера, активные помехи, адаптивная компенсация, быстрое преобразование Фурье.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Фридман Л. Б., Синицын Е. А., Ершов Г. А. Компенсация активных помех в приемном тракте ретранслятора дальногомера посадочной радиомаячной группы // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 2. С. 139—144.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 29-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2019 (Севастополь, РФ, 8—14 сентября 2019 г.).

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Фридман, Л. Б. Компенсация активных помех в приемном тракте ретранслятора дальномеров посадочной радиомаячной группы / Л. Б. Фридман, Е. А. Синицын, Г. А. Ершов // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2019. — Т. 2, № 1. — С. 119—128.

Compensation of active interference in receiving path of rangefinder repeater of the landing beacon group

L. B. Fridman, E. A. Sinitsin, and G. A. Ershov

Joint-stock company "All-Russian Research Institute of Radio"
120, Pr. Obukhovskoi Oborony, St.-Petersburg, 192012, Russian Federation
lenya2002@bk.ru

Received: September 8, 2019

Peer-reviewed: September 13, 2019

Accepted: September 16, 2019

Abstract: *The effectiveness analysis of the adaptive method of active interference compensation is performed. This method is intended for usage in receiving paths of rangefinder repeater of the landing beacon group. The adaptive method performs compensation in the spectral domain and allows compensating active interference (particularly, digital television and cellular telecommunication) in its multipath propagation (caused by ground clutter). The dependence between compensation effectiveness and the order of the fast Fourier transform under conditions of multipath propagation is obtained. The method for improving the compensation effectiveness by increasing the order of fast Fourier transform is proposed. The comparative evaluation of the effectiveness of active interference compensation in receiving paths of rangefinder repeater and secondary surveillance radars is carried out.*

Keywords: *landing beacon group, rangefinder repeater, active interference, adaptive compensation, fast Fourier transform.*

For citation (IEEE): L. B. Fridman et al. "Compensation of active interference in receiving path of rangefinder repeater of the landing beacon group," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 139–144, 2019. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2019.02.2.12

1. Введение

Приемный канал («борт-земля») ретранслятора дальномеров (РД) посадочных радиомаячных групп (ПРМГ) [1, 2] работает в диапазонах частот, которые частично используются сотовой связью, системами LTE и цифро-

го телевидения, что ведет к образованию взаимных межсистемных помех. В [3, 4] был предложен метод адаптивной компенсации активных помех в спектральной области, отличающийся тем, что позволяет компенсировать активные помехи при их многопутевом распространении, вызванном наличием переотражений от местных предметов и подстилающей поверхности. В [3] были приведены результаты полигонных испытаний экспериментального образца адаптивного компенсатора активных помех (АКТП), реализованного на основе указанного метода. При этом в [3] было показано, что использование АКТП в приемных трактах вторичных радиолокаторов (ВРЛ) системы управления воздушным движением [5] позволяет улучшить отношение сигнал/помеха (ОСП) на величину порядка 30 дБ.

В настоящее время в АО «ВНИИРА» разрабатывается опытный образец новой посадочной радиомаячной группы [6, 7], что определяет актуальность вопросов использования метода адаптивной компенсации в приемном тракте РД.

В данной работе выполнен анализ эффективности использования метода адаптивной компенсации активных помех в приемном тракте РД ПРМГ. При этом для повышения эффективности компенсации активных помех при их многопутевом распространении предлагается существенно повысить порядок быстрого преобразования Фурье (БПФ), используемого при компенсации в спектральной области.

2. Особенности математического моделирования при учете переотражений активной помехи

Анализ эффективности использования метода адаптивной компенсации активных помех в приемном тракте РД ПРМГ был проведен с помощью математического моделирования в программной среде “Matlab”. Активная помеха рассматривалась как стационарный шумоподобный комплексный гауссовский случайный процесс.

В реальных условиях, кроме активной помехи $\dot{a}_\Pi(t)$, на вход антенны поступает ряд ее переотражений

$$\dot{a}_\Sigma(t) = \dot{a}_\Pi(t) + \sum_{i=2}^N \dot{a}_\Pi(t - \tau_i) \cdot \dot{K}_{a_i} = \sum_{i=1}^N \dot{a}_\Pi(t - \tau_i) \cdot \dot{K}_{a_i},$$

где τ_i и \dot{K}_{a_i} — соответственно задержка и коэффициент ослабления i -го переотражения в основном приемном канале; N — количество учитываемых переотражений; $\tau_1 = 0$, $\dot{K}_{a_1} = 1$.

3. Анализ эффективности метода адаптивной компенсации активных помех

В [3] было показано, что дальнейшее повышение эффективности компенсации активной помехи в условиях ее переотражений может быть достигнуто путем повышения порядка БПФ, используемого при компенсации в спектральной области. Однако при повышении порядка БПФ увеличивается время усреднения весовых коэффициентов [3, 4], используемых при компенсации (время адаптации). При компенсации помехи в приемных трактах ВРЛ время адаптации ограничено, т.к. весовые коэффициенты должны успевать отслеживать постоянное изменение коэффициента передачи приемного канала, вызванное непрерывным вращением антенны ВРЛ в азимутальной плоскости [8]. Таким образом, эффективность компенсации активной помехи в приемных трактах ВРЛ ограничена и определяется прежде всего скоростью вращения антенны ВРЛ. В то же время, антенна РД ПРМГ является неподвижной (а ее диаграмма направленности не меняет направления), что позволяет значительно повысить порядок БПФ с целью повышения эффективности компенсации активной помехи в приемном тракте РД.

На рис. 1 показаны результаты выполненного анализа эффективности метода адаптивной компенсации при различных величинах порядка БПФ в случае наличия одного переотражения активной помехи. Как следует из рис. 1, увеличение порядка БПФ приводит к значительному повышению эффективности адаптивной компенсации. В частности, при увеличении порядка БПФ с 256 до 8192 ОСП повысилось более чем на 15 дБ (улучшение ОСП повысилось с 30,5 до 46 дБ).

Таким образом, при использовании метода адаптивной компенсации в приемном тракте РД может быть обеспечена значительно большая эффективность компенсации активных помех, чем при рассмотренном в [3, 4] использовании указанного метода в приемном тракте ВРЛ. Повышенная эффективность использования метода в приемном тракте РД обусловлена неподвижностью антенны РД (и постоянным направлением ее диаграммы направленности), что позволяет значительно увеличить порядок БПФ. При этом величина порядка БПФ (и, как следствие, коэффициент улучшения ОСП) практически ограничены лишь количеством вычислительных ресурсов, используемых при выполнении операции БПФ).

4. Заключение

Увеличение порядка БПФ, используемого при компенсации активных помех в спектральной области, приводит к значительному повышению эф-

эффективности адаптивной компенсации помех в условиях их многопутевого распространения (отношение сигнал/помеха улучшается более чем на 15 дБ при увеличении порядка БПФ в 32 раза).

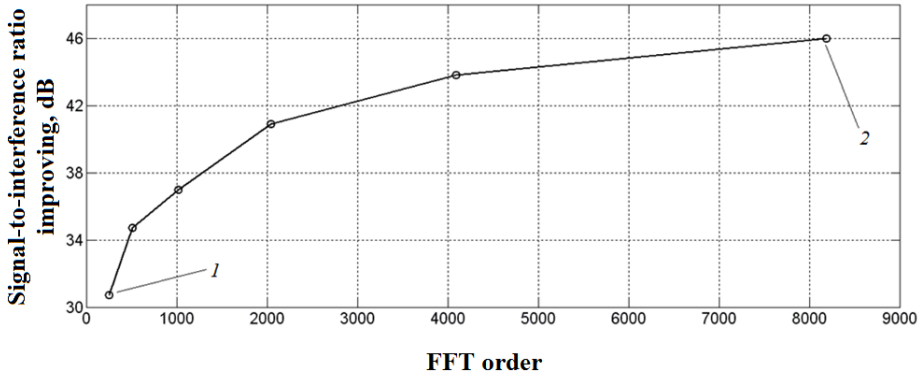


Рис. 1. Зависимость эффективности компенсации активной помехи от порядка БПФ при наличии одного переотражения помехи, $\tau_2 = 2$ мкс, $\dot{K}_{a_2} = 0,2$. 1 — соответствует случаю использования метода адаптивной компенсации в приемных трактах ВРЛ; 2 — в приемном тракте РД.

Fig. 1. The dependence of the compensation effectiveness from the order of the FFT in the presence of one interference reflection, $\tau_2 = 2$ us, $\dot{K}_{a_2} = 0,2$. FFT - fast Fourier transform: 1 - corresponds to the case of using the adaptive compensation method in the receiving paths of SSR; 2 - in the receiving path of rangefinder repeater

При использовании метода адаптивной компенсации в приемном тракте ретранслятора дальномера посадочной радиомаячной группы обеспечивается значительно большая эффективность компенсации активных помех, чем при рассмотренном в [3, 4] использовании указанного метода в приемном тракте вторичного радиолокатора (за счет увеличения порядка БПФ).

Степень улучшения отношения сигнал/помеха при использовании указанного метода в приемном тракте ретранслятора дальномера практически ограничена лишь количеством вычислительных ресурсов, используемых при выполнении операции БПФ.

Список литературы

- 1 Сосновский А. А., Хаймович И. А. Радиотехнические средства ближней навигации и посадки летательных аппаратов. М. : Машиностроение, 1975. 200 с.
- 2 Беляевский Л. С., Новиков В. С., Олянюк П. В. Основы радионавигации. М. : Транспорт, 1982. 288 с.

- 3 Фридман Л. Б., Николаев С. Ф., Мазаян Н. А., Сеницын Е. А., Шильдкрет А. Б., Чепель Е. В. Алгоритмы и устройства адаптивного подавления телевизионных помех для вторичных радиолокационных станций УВД. СПб. : Облик, 2010. 190 с.
- 4 Фридман Л. Б., Зубков В. А., Мазаян Н. Р., Николаев С. Ф., Сеницын Е. А., Шильдкрет А. Б. Пат. 103008 (РФ). Устройство адаптивной компенсации телевизионных помех. Оpubл. в Б. И., 2011. № 8.
- 5 Skolnik M. Radar handbook, 3rd ed. McGraw Hill, 2008. 1328 p.
- 6 Фридман Л. Б., Ершов Г. А., Мясников С. А., Сеницын Е. А. Особенности построения новой посадочной радиомаячной группы для радиомаячной системы посадки воздушных судов. В кн. : 27-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2017 (Севастополь, 3—9 сент. 2017 г.). 2017. С. 1526—1530.
- 7 Фридман Л. Б., Ершов Г. А., Сеницын В. А., Сеницын Е. А. Посадочная радиомаячная группа отечественного и международного диапазонов частот В кн. : 10-я Общеросс. Научно-практическая конф. «Инновационные технологии и технические средства специального назначения», том 1. (Санкт-Петербург, 2017 г.). 2017. С. 314—317.
- 8 Фридман Л. Б., Николаев С. Ф., Чепель Е. В., Шильдкрет А. Б. Обеспечение электромагнитной совместимости средств телевидения с наземными и бортовыми средствами вторичной радиолокации // Вопросы радиоэлектроники. Серия РЛТ. 2008. Вып. 2. С. 51—61.

Информация об авторах

Фридман Леонид Борисович, старший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института радиоаппаратуры, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Сеницын Евгений Александрович, Главный конструктор по системам радиолокации Всероссийского научно-исследовательского института радиоаппаратуры, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Ершов Герман Анатольевич, Заместитель генерального конструктора — начальник управления проектами Всероссийского научно-исследовательского института радиоаппаратуры, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Information about the authors

Leonid B. Fridman, senior scientific researcher of the Joint-stock company “All-Russian Research Institute of Radio”, S-Petersburg, Russian Federation.

Eugeny A. Sinitsin, chief designer of radar systems of the Joint-stock company “All-Russian Research Institute of Radio”, S-Petersburg, Russian Federation.

German A. Ershov, deputy general designer - head of project management of the Joint-stock company “All-Russian Research Institute of Radio”, S-Petersburg, Russian Federation.