

Литература

1. Hong X. et al. Scalable routing protocols for mobile ad hoc networks // IEEE Network. Vol. 16, №4, 2002. – P. 11-21.
2. Винокуров В.М. и др. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях // Доклады ТУСУРа. Ч. 1, № 2 (22), 2010. – С. 288-292.
3. Галкин А.М. и др. Пакет моделирования NS-2 // СПб.: Изд. СПбГУТ, 2007. – 64 с.
4. ns: Change History // URL: <http://isi.edu/nsnam/ns/CHANGES.html> – 25.10.2011.
5. Балашов В. Обзор сетевого симулятора NS-3. LVEE 2011. The 7th International conference of developers and users of free open source software // URL: http://lvee.org/en/reports/LVEE_2010_31 – 25.10.2011.
6. NS-3 // URL: <http://www.nsnam.org> – 25.10.2011.
7. Henderson T.R., Floyd S., Riley G.F. NS-3 Project Goals // URL: <http://www.nsnam.org/docs/meetings/wns2/wns2-ns3.pdf> – 25.10.2011.
8. Ерыгина Т. Проект NS-3 // URL: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/erygina/library/lib9.htm> – 25.10.2011.
9. Modeler 17.1 System Requirements // URL: http://www.opnet.com/solutions/system_requirements/modeler/index.html – 25.10.2011.
10. MiXiM project // URL: <http://mixim.sourceforge.net/> – 25.10.2011.
11. Mobility Framework for OMNeT++ 4 // URL: <https://github.com/mobility-fw/mf-opp4/wiki> – 25.10.2011.
12. INET Framework // URL: <http://inet.omnetpp.org/> – 25.10.2011).
13. OMNeT++ Downloads // URL: http://www.omnetpp.org/component/docman/cat_view/17-ownloads/1-omnet-releases – 25.10.2011.
14. Xiang Zeng, Bagrodia R., Gerla M. GloMoSim: A Library for Parallel Simulation of Large-scale Wireless Networks // Department of Computer Science, University of California, Los Angeles, CA 90095.
15. UCLA Parsec Programming Language // URL: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/parsec/> – 25.10.2011.
16. GloMoSim Registration Receipt // URL: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/gloMosim/academic/download.html> – 25.10.2011.
17. Weingärtner E., Von Lehn H., Wehrle K. A performance comparison of recent network simulators // IEEE International Conference on Communications, ICC. Dresden, June 2009. – P.1-5.
18. JiST – Java in Simulation Time / SWANS – Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator // URL: <http://jist.ece.cornell.edu/> – 25.10.2011.
19. SimPy Overview // URL: http://simpy.sourceforge.net/simpy_overview.htm – 25.10.2011.

SIMULATORS OF WIRELESS MANET-NETWORKS**Zholobov A.N., Prozorov D.E., Romanov S.V.**

Simulators of wireless networks, allowing to research and develop own routing protocols are considered in the article. Criteria of an estimation of network simulators and their advantages and limitations are denoted.

Keywords: *network simulator, ad-hoc, wireless network, modeling.*

Жолобов Алексей Николаевич, аспирант Кафедры «Радиоэлектронные средства» (РС) Вятского государственного университета (ВГУ). раб. Тел. (8-833) 235-72-59; 8-909-140-11-91. E-mail: zholobovan@gmail.com

Прозоров Дмитрий Евгеньевич, д.т.н., профессор Кафедры РС ВГУ. Тел. (8- 833) 235-72-59; 8-912-711-21-11. E-mail: prozorov.de@gmail.com

Романов Сергей Владимирович, научный сотрудник ОАО «НИИ средств вычислительной техники» (г. Киров). Тел. (8- 833) 267-96-29; 8-922-668-06-79. E-mail: romanov@niisvt.kirov.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Бурдин А.В., Григоров И.В., Цвейбельман Е.Л.

Рассматриваются линейные и нелинейные алгоритмы электронной компенсации дисперсии сигналов в волоконно-оптических линиях передачи. При этом исследуются алгоритмы инверсной фильтрации с ограничением полосы частот и ограничением усиления, а также различных вариантов нелинейной фазовой фильтрации. Приводятся результаты моделирования и сравнительного анализа этих алгоритмов путем оценки эффективности компенсации дисперсии по критерию Релея.

Ключевые слова: электронная компенсация дисперсии, нелинейный фазовый фильтр, инверсный фильтр, критерий Релея, выигрыш по разрешению.

Введение

В современных волоконно-оптических линиях передачи (ВОЛП) одним из основных факторов, ограничивающих скорость передачи, является дисперсия. Для уменьшения дисперсионных искажений сигналов применяются различные методы, в том числе и алгоритмы электронной компенсации дисперсии. Рассмотрим вкратце простейший метод – инверсную фильтрацию [1]. Представим процесс компенсации дисперсии сигнала $f(t)$, прошедшего канал связи, как процесс восстановления сигнала, прошедшего некоторую линейную систему с импульсной характеристикой $g(t)$, которую можно условно назвать порождающим фильтром [2] – см. рис.1.

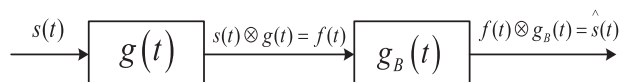


Рис. 1. Схема процесса восстановления сигнала

Сигнал на его выходе определяется сверткой

$$f(t) = g(t) \otimes s(t). \quad (1)$$

Пусть входной сигнал имеет бесконечно малую длительность, то есть

$$s(t) = \delta(t). \quad (2)$$

Для идеальной компенсации дисперсии сигнала $f(t)$ необходимо, чтобы на выходе восстанавливающего фильтра с импульсной характеристикой $g_B(t)$ сигнал совпадал с (2), то есть

$$g_B(t) \otimes f(t) = \delta(t). \quad (3)$$

Применяя к обеим частям равенства (3) преобразование Фурье, получим

$$K(i\omega)K_B(i\omega) = 1, \quad (4)$$

где $K(i\omega)$ и $K_B(i\omega)$ – передаточные функции порождающего и восстанавливающего фильтров. Следовательно, для идеальной компенсации дисперсии требуется восстанавливающий фильтр с передаточной функцией

$$K_B(i\omega) = 1 / K(i\omega). \quad (5)$$

Фильтр с передаточной функцией (5) называется инверсным фильтром, а соответствующий процесс обработки сигнала – инверсной фильтрацией.

Главным недостатком инверсного фильтра является бесконечный рост коэффициента передачи на частотах нулей канала, что приводит к бесконечному усилению помехи. Поэтому рост функции (5) необходимо ограничивать. Для этого применяются различные фильтры, простейшими из которых являются инверсные фильтры с ограничением усиления и полосы частот [1].

Нелинейный алгоритм электронной компенсации дисперсии с применением нелинейных фазовых фильтров

В [3] для решения задачи компенсации дисперсии предлагалось использовать нелинейный алгоритм обработки, построенный на основе модели в виде обобщенного нелинейного уравнения Шредингера

$$i \frac{\partial \Psi}{\partial \eta} = N(\Psi)\Psi, \quad (6)$$

где $N(\Psi)$ – нелинейный дифференциальный оператор вида:

$$N(\Psi) = \sum_{r=2}^R (-i)^r \alpha_r \frac{\partial^r}{\partial \tau^r} - f(\Psi), \quad (7)$$

а α_r – дисперсионные параметры порядка r .

Данный алгоритм реализуется с помощью так называемых нелинейных фазовых фильтров (НФФ). Простейший НФФ содержит два фазовых звена – нелинейное и линейное. При этом нелинейное звено развивает внутри входного

импульса внутриимпульсную частотную модуляцию, а линейное сжимает полученный импульс во времени аналогично сжатию частотно-модулированного сигнала в согласованном фильтре. Первое звено имеет характеристику преобразования мгновенных значений по комплексной огибающей:

$$H(\Psi) = \exp\{i f(\Psi)\}, \quad (8)$$

здесь $f(\Psi)$ – нелинейная функция, определяющая закон изменения частоты внутри импульса, а второе звено имеет комплексный коэффициент передачи

$$G(i\omega) = \exp\left(-i \Delta\eta \sum_{r=2}^R \alpha_r \omega^r\right) = \prod_{r=2}^R G_r(i\omega), \quad (9)$$

где

$$G_r(i\omega) = \exp(-i \alpha_r \Delta\eta \omega^r), \quad (10)$$

а $\Delta\eta$ – параметр, характеризующий пространственную «длину» фильтра.

В [4] показано, что для наилучшего временного сжатия импульсов необходимо, чтобы нелинейное звено развивало внутри импульса линейную частотную модуляцию. Для этого требуется, чтобы нелинейная функция $f(\Psi)$, входящая в (8), имела вид:

$$f(Z) = -\frac{at^2(Z)}{2}, \quad (11)$$

где

$$t(Z) = Z^{-1}(t) \quad (12)$$

– функция, обратная функции $Z(t)$, описывающей форму импульса. Например, для супергауссовского импульса

$$Z(t) = U \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{t}{\tau_u}\right)^{2q}\right), \quad (13)$$

где q – показатель супергауссовости, оптимальная функция имеет вид

$$f(Z) = -\frac{a}{2} \left(2\tau_u^{2q} \ln \frac{U}{|Z|}\right)^{\frac{1}{q}}. \quad (14)$$

В частности, при $q = 1$ импульс (13) переходит в гауссовский

$$Z(t) = U \exp\left(-\frac{t^2}{2\tau_u^2}\right), \quad (15)$$

а нелинейность (14) – в логарифмическую:

$$f(Z) = a\tau_u^2 \ln\left(\frac{|Z|}{U}\right). \quad (16)$$

Результаты моделирования алгоритмов компенсации дисперсии

Рассмотренные выше алгоритмы обработки сигналов – инверсный фильтр с ограничением усиления и полосы частот и нелинейный фазовый фильтр с оптимальной нелинейностью (11) и квадратичной фазой, то есть при $r = 2$ в (10), были реализованы программно с использованием математического пакета «Matlab». На вход всех трех фильтров подавались одиночные импульсы гауссовской формы с различными параметрами, а также последовательности из нескольких таких импульсов.

Количественно степень сжатия импульса можно оценить коэффициентом сжатия импульса на уровне его среднеквадратической полуширины. Как показано в [4], коэффициент сжатия импульса можно найти:

$$k_c = \frac{V_{\max}}{U} = \frac{g_0}{U} \int_{-\infty}^{\infty} |Z(\tau)| d\tau, \quad (17)$$

где U и V_{\max} – амплитуды импульсов на входе и выходе НФФ, g_0 – постоянный коэффициент:

$$g_0 = \frac{1}{\sqrt{4\pi i \alpha \Delta\eta}}. \quad (18)$$

Для гауссовского импульса этот коэффициент имеет значение

$$k_c = \frac{\tau_u}{\sqrt{2\alpha\Delta\eta}}. \quad (19)$$

Очевидно, что степень сжатия импульса постоянной длительности определяется параметрами α и $\Delta\eta$. Для гауссовского импульса коэффициент (19) имеет значение около 5,5 и может быть существенно увеличен путем уменьшения α и $\Delta\eta$. Степень сжатия импульсов в инверсном фильтре с ограничением усиления и инверсном фильтре с ограничением полосы существенно ниже. Наибольший интерес представляет исследование степени разрешения импульсных сигналов, следующих друг за другом. Для количественной оценки эффективности компенсации дисперсии и разрешения сигналов при моделировании использовался критерий Релея [5]. Согласно этому критерию импульсы одина-

ковой амплитуды считаются различимыми, если глубина «провала» между ними ΔI составляет не менее 50% от их амплитуды I_{\max} – см. рис. 2.

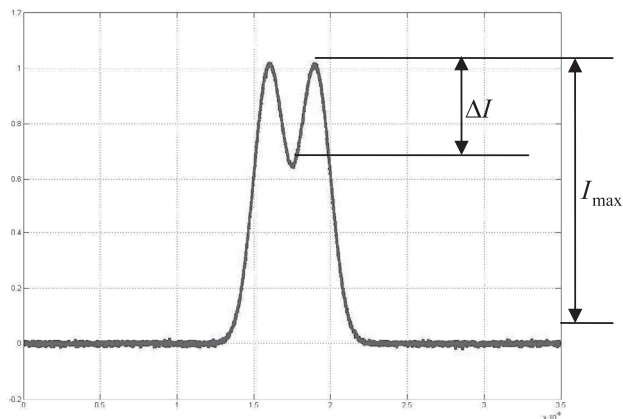


Рис. 2. Оценка степени различимости импульсов по критерию Релея

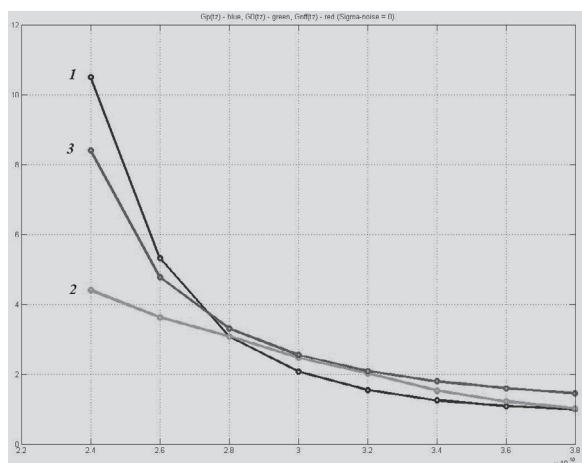


Рис. 3. Зависимости выигрышей по разрешению от задержки между импульсами при отсутствии шума для алгоритмов: 1 – ИФ с ограничением усиления; 2 – ИФ с ограничением полосы частот; 3 – НФФ

Оценим степень разрешения импульсных сигналов параметром:

$$R = \frac{\Delta I}{I_{\max}}. \quad (20)$$

Эффективность работы того или иного фильтра в задаче повышения степени разрешения можно оценить выигрышем по разрешению:

$$g = \frac{R_{\text{out}}}{R_{\text{in}}}, \quad (21)$$

где R_{in} и R_{out} – степени разрешения сигналов, соответственно, на входе и выходе фильтра.

Графики зависимостей выигрышей по разрешению (21) от параметров сигналов и фильтров приведены на рис. 3-6.

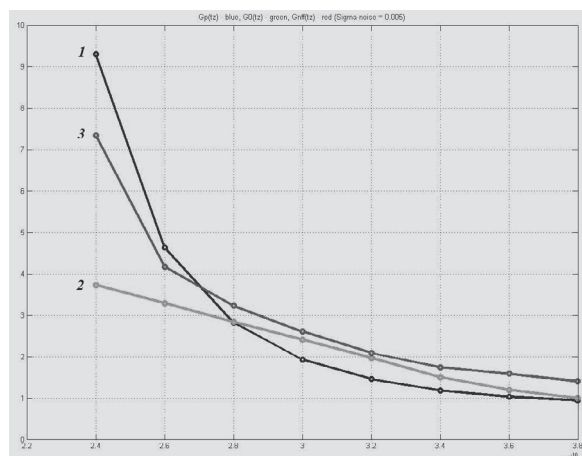


Рис. 4. Зависимости выигрышей по разрешению от задержки между импульсами при наличии шума для трех алгоритмов фильтрации: 1 – ИФ с ограничением усиления; 2 – ИФ с ограничением полосы частот; 3 – НФФ

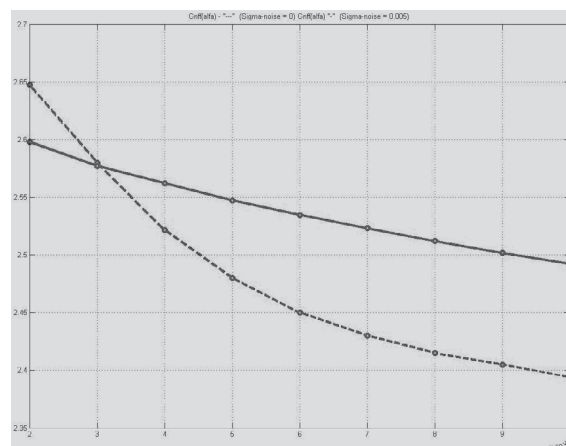


Рис. 5. Зависимости выигрышей по разрешению НФФ от параметра α при наличии (штриховая линия) и отсутствии шума (сплошная линия)

Выводы

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Из всех рассмотренных алгоритмов НФФ в наименьшей степени искажает одиночные сигналы гауссовской формы и наиболее эффективно сжимает их во времени.

2. Наибольший выигрыш по разрешению для малых значений задержки между импульсами обеспечивает инверсный фильтр с ограничением полосы.

3. Если задержка между импульсами превышает значение $1,5 \tau$, где τ – среднеквадратическая полуширина входного импульса, то выигрыш по разрешению НФФ превышает выигрыш инверсных фильтров.

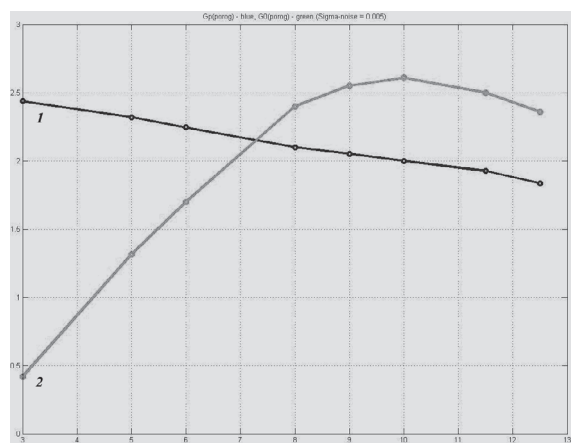


Рис. 6. Зависимости выигрышей по разрешению инверсных фильтров от порога ограничения при наличии шума: 1 – ИФ с ограничением усиления; 2 – ИФ с ограничением полосы частот

Литература

1. Василенко Г.И. Теория восстановления сигналов. М.: Сов. радио, 1979. – 272 с.
2. Кловский Д.Д. Теория электрической связи. М.: Радиотехника, 2009. – 647 с.
3. Grigorov I.V. Nonlinear processing of signals on the basis of model in the form of generalized nonlinear Schrodinger equation. Proceedings of SPIE vol. 7374, 2009. – P. 7374OH-01 – 7374OH-08.
4. Grigorov I.V. Research compressing of properties nonlinear phase filters. Proceedings of SPIE vol. 6605, 2006. – P. 660505-01 – 660505-08.
5. Горячкин О.В. Лекции по статистической теории систем радиотехники и связи. М.: Радиотехника, 2008. – 192 с.

THE COMPATATIVE ANALYSIS OF ALGORITMS OF OPTICAL SIGNAL DISPERSION ELECTRONIC COMPENSATION

Bourdin A.V., Grigorov I.V., Tsveybelman E.V.

Linear and nonlinear algorithms of electronic compensation of a dispersion of signals in fiber-optical lines of transfer are considered. Algorithms of an inverse filtration with restriction of a strip of frequencies and strengthening restriction, and also various variants of a nonlinear phase filtration are thus investigated. Results of modeling and the comparative analysis of these algorithms by an estimation of efficiency of indemnification of dispersion by criterion of Relay are resulted.

Keywords: dispersion electronic compensation, the nonlinear phase filter, the inverse filter, criterion of Relay.

Бурдин Антон Владимирович, к.т.н., доцент Кафедры «Линии связи и измерения в технике связи» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел./факс (8-846) 228-00-66. E-mail: bourdine@yandex.ru

Григоров Игорь Вячеславович, к.т.н., доцент Кафедры «Теоретические основы радиотехники и связи» (ТОРС) ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-87. E-mail: igor_grogorov@mail.ru

Цвейбельман Евгения Львовна, аспирант Кафедры ТОРС ПГУТИ. Тел. 8-927-695-97-27. E-mail: evgeniya51@mail.ru

УДК 621.372.88(075)

ОЦЕНКА МЕШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ТОКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭХА В СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЯХ

Иванов В.И.

По результатам абонентской оценки мешающего действия токов электрического эха даются рекомендации по включению эхоподавляющих устройств в телефонные каналы на телефонных (ТЛФ) сетях общего пользования и сетях по концепции «Voice over IP» (VoIP), АТМ, сотовых и др.

Ключевые слова: электрическое эхо, телефонный канал, эхоподавляющие устройства, абонентская оценка, субъективные методы.

На ТЛФ сетях общего пользования и сетях по концепции VoIP, АТМ, сотовых и др. значительно возрастает время задержки (распространения, задержки) сигнала, что приводит к значительному увеличению числа каналов с токами электрического эха, для борьбы с которыми применяются эхоподавляющие устройства (ЭПУ), которые включаются в каналы по определенным правилам. В литературе и в РД есть определенная путаница – при каком времени задержки ЭПУ долж-