

УДК 004.71

РАЗДЕЛЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Зиновьева Екатерина Андреевна¹,

e-mail: 79279073685@ya.ru,

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия

Цель проводимого исследования заключается в проведении анализа подходов к разделению и восстановлению сигналов в телекоммуникационных системах на примере волоконно-оптических систем передачи информации и обосновании оптимального метода, который позволит увеличить пропускную способность линий связи. В процессе исследования рассмотрены методы разделения и восстановления сигналов, которые применяются при построении многоканальных телекоммуникационных систем, выделены их возможности и особенности использования. Отдельное внимание уделено временному разделению сигналов и разделению сигналов по длинам волны. Также выделены особенности и специфика применения Rake-приемников. Для увеличения пропускной способности существующих и проектируемых линий связи целесообразно объединять принципы временного разделения сигналов и разделения по длинам волны, что может быть обеспечено на основе пассивной оптической сети. В статье раскрыты особенности и возможности пассивной оптической сети в контексте повышения скорости передачи информации и устранения явлений поляризационной и хроматической дисперсии. Также сформулированы возможности Rake-приемников в части минимизации влияния межсимвольной интерференции.

Ключевые слова: сигнал, восстановление, разделение, оптоволоконная система, передача, приемник, волна

SPLITTING AND RECOVERY OF SIGNALS IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Zinoveva Ye.A.¹,

e-mail: 79279073685@mail.ru,

¹Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

The aim of the study is to analyze the approaches to signal separation and restoration in telecommunication systems on the example of fiber-optic information transmission systems and to justify the most optimal methods that will increase the capacity of communication lines. In the process of research the methods of separation and restoration of signals, which are used in the construction of multi-channel telecommunications systems are considered and their capabilities and features of use are highlighted. Particular attention is paid to the temporal separation of signals and separation of signals by wavelength. Also features and specificity of Rake-receivers are highlighted. In order to increase the capacity of existing and projected communication lines, it is advisable to combine the principles of temporal separation of signals and wavelength separation, which can be achieved based on a passive optical network. The article reveals the features and capabilities of the passive optical network in the context of increasing the speed of information transfer and elimination of the phenomena of polarization and chromatic dispersion. The capabilities of Rake receivers in terms of minimizing the effect of inter-character interference are also formulated.

Keywords: signal, recovery, separation, fiber optic system, transmission, receiver, wave

DOI 10.21777/2500-2112-2022-2-63-67

Введение

Одной из важнейших задач развития современной цивилизации является обеспечение населения надежной мобильной радиосвязью, функционирующей в условиях очень большого количества помех от других радиосредств и абонентов, которые могут размещаться на суше, на море, в воздухе, в космосе. Отрасль телекоммуникаций является в настоящее время одной из стремительно развивающихся отраслей науки и техники, а особую популярность приобретают волоконно-оптические системы передачи информации [1]. С каждым годом пропускная способность этих систем растет, поэтому с целью эффективного использования ресурсов возникает потребность в подключении максимально возможного количества пользователей к одной линии [2]. Именно поэтому исследование методов и технологий восстановления и разделения сигнала приобретает особую важность, что и предопределяет выбор темы данной статьи.

Исследованию вопросов, связанных с формированием сигналов в передатчике, а также с обработкой сигналов в приемнике, поступающих из разных антенных каналов, посвящены труды таких авторов, как П. Багавач, Л. Крстулович-Опара, Ge Mengmeng, Cui Guolong, Yu Xianxiang, Xing Zhang, Jianhao Hu. Особенности и характеристики частотного разделения сигналов в оптоволоконном кабеле отражены в работах С.Н. Павликова, Е.И. Убанкина, В.Н. Ханьковича, I. Takigawa, M. Kudo, A. Nakamura, J. Toyama, Y. Var-Ness, E. Biglieri, M. Luise. Однако, несмотря на имеющиеся достижения, ряд вопросов в данной предметной плоскости остается открытым. В частности, не решенной является проблема выбора наиболее эффективных методов борьбы с замиранием сигналов как в узкополосных, так и в широкополосных системах.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, цель статьи заключается в проведении анализа подходов к разделению и восстановлению сигналов в телекоммуникационных системах на примере волоконно-оптических систем передачи информации и обосновании наиболее оптимального метода, который позволит увеличить пропускную способность линий связи.

1. Анализ подходов к разделению и восстановлению сигналов в телекоммуникационных системах

При построении многоканальных телекоммуникационных систем (МТС) передачи информации одной из важнейших является задача восстановления и разделения (селекции) канальных сигналов [3]. Для этого традиционно применяются следующие методы:

- 1) 2N-полосники. В таком случае разделение не требует преобразования формы первичных сигналов, однако систему можно настроить только на небольшое количество каналов;
- 2) разделение, требующее превращения формы первичных сигналов и уплотнение их при передаче в линию связи [4].

Обобщенная структурная схема МТС с превращением формы первичных сигналов представлена на рисунке 1.

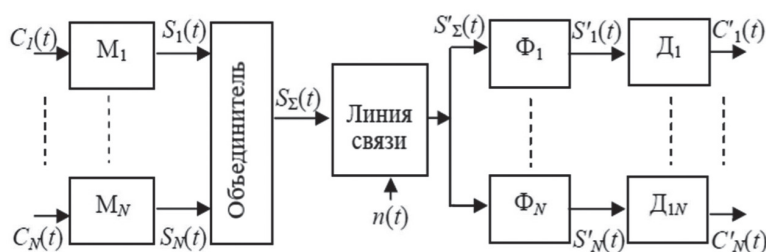


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема МТС с превращением формы первичных сигналов

На рисунке 1 введены следующие обозначения: $C_1(t), \dots, C_N(t)$ – первичные сигналы (от источников информации); M_1, \dots, M_N – индивидуальные каналные преобразователи; $S_1(t), \dots, S_N(t)$ – канальные сигналы (преобразованные первичные); $S_\Sigma(t)$ – групповой линейный сигнал; $n(t)$ – помеха в канале связи; Φ_1, \dots, Φ_N – канальные разделители (фильтры); D_1, \dots, D_N – демодуляторы.

В оптоволоконных системах передачи информации в последнее время особую популярность и распространение получили временное разделение сигналов (ВРС) и разделение по длинам волны (РДВ) (рисунок 2).

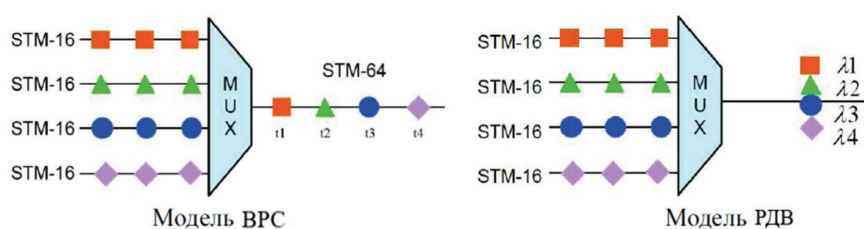


Рисунок 2 – Модели восстановления и разделения сигналов в оптоволоконных системах [5]

Принцип работы ВРС состоит в выделении отдельного окна времени на передачу данных для каждого пользователя. Но данный метод восстановления и разделения сигналов может обеспечить передачу данных без потерь только на скорости до 10 Гбит/с. На более высокой скорости передачи сигнала его качество существенно ухудшается из-за возникновения явлений поляризационной и хроматической дисперсии.

В свою очередь, технология РДВ заключается в одновременной пересылке отдельных сигналов через оптоволоконный кабель на разных длинах волн. Технология РДВ позволяет существенно увеличить пропускную способность линии связи, организовать двустороннюю передачу данных по одному волокну, причем наращивание пропускной способности может происходить на уже существующем волоконно-оптическом кабеле.

Современные РДВ-системы на основе стандартного частотного плана (ITU-T Rec. G.692) делят на три группы:

1. Системы с плотным спектральным разделением каналов DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).
2. Системы с неплотным (грубым) спектральным разделением каналов CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing).
3. Системы со сверхплотным спектральным разделением каналов HDWDM (High Dense Wavelength Division Multiplexing) [6].

Для объединения преимуществ методов временного разделения сигналов и разделения по длинам волны целесообразно использовать пассивную оптическую сеть (PON – Passive Optical Network). Особенностью PON, в первую очередь, является одновременная передача восходящего и нисходящего сигнала по одной линии благодаря реализации РДВ, то есть восходящий и нисходящий сигналы имеют разные длины волн. Передача сигнала от пользователей (ONT) в терминал сети (OLT) по принципу действия напоминает ВРС.

На сегодняшний день регламентировано пять вариантов технологии оптических пассивных сетей PON: APON (ATM PON), BPON (Broadband PON), EPON (Ethernet PON), GPON (Gigabit Ethernet PON), GEPON (Gigabit Ethernet PON). Следует заметить, что технологии APON, BPON, EPON считаются устаревшими по отношению к конкурирующим GPON и GEPON.

2. Особенности и специфика применения Rake-приемников

В настоящее время на практике широкое распространение получили Rake-приемники, которые минимизируют влияние межсимвольной интерференции, возникающей за счет многолучевого распространения волн. Принцип действия Rake-приемника, который был создан для приема разнесенных во времени сигналов, базируется на обособленной обработке нескольких лучевых компонентов (наиболее мощного луча, приходящего по кратчайшему пути, и нескольких других, отстающих от первого на

определенные, заранее известные промежутки времени) и исчисления их средневзвешенной суммы [7]. Каждый из компонентов обрабатывается отдельным каналом (Rake-палец).

Основной компонентой Rake-пальца является оптимальный (по критерию отношения сигнал/шум) приемник. На вход приемника сигнал поступает с выхода усилителя, коэффициенты которого зависят от качества каждого из каналов. Коэффициенты определяются путем анализа пилот-сигнала, поступающего с базовой станции на мобильную станцию. С выхода приемника сигнал попадает в линию задержки для обеспечения одновременного поступления сигналов с каждого из Rake-пальца на вход устройства сборки. После него решающее устройство определяет переданный символ.

Математическую модель Rake-приемника можно получить, проанализировав процессы, происходящие в канале связи. Тогда значения основных параметров приемника определяются соотношением [8]

$$b_{opt} = \left(\frac{1}{\sigma_s^2} R_p(t) + \sum_{i=-\infty}^{\infty} \Phi[i] \Phi^T[i] \right)^{-1} \Phi[0],$$

где b_{opt} – коэффициент масштабирования в каналах приемника;

σ_s^2 – мощность символа;

s_i , – информационные символы;

$R_p(t) = \int p(\tau) p(\tau+t) d\tau$ – импульсная функция автокорреляции;

$p(t)$ – псевдошумовая последовательность, элемент которой называют чипом, его продолжительность во много раз меньше длительности передаваемого бита [9];

T – длительность одного информационного символа;

$\Phi[i]$ – матрица, которая характеризует канал связи;

$\Phi[0]$ – матрица помеховых компонент в ветвях разнесения Rake-приемника.

Матрица $\Phi[i]$ характеризует канал связи, задержка в трактах которого определяется как

$$\Theta_{opt} = \underset{\Theta}{\operatorname{argmax}} \left[\Phi[0]^T \left(\frac{1}{\sigma_s^2} R_p(t) + \sum_{i=-\infty}^{\infty} \Phi[i] \Phi^T[i] \right)^{-1} \Phi[0] \right].$$

Значения b_{opt} и Θ_{opt} соответствуют коэффициентам взвешивания и задержкам, которые необходимо задать Rake-приемнику при заданном типе сигнала для достижения максимального соотношения сигнал/шум на его выходе. В наземных радиоканалах сигналы многолучевых компонент могут отличаться (на величину, близкую к длительности одного чипа). Задержки меньше одного чипа устраняются синхронизацией приемника, которая позволяет нивелировать малое изменение. Компоненты, отстающие друг от друга более чем на один чип, обрабатываются и складываются.

Существующие на сегодняшний день технологии разделения и восстановления сигналов в телекоммуникационных системах имеют свои особенности и различия. Более подробное изучение этих технологий позволяет сделать вывод о целесообразности использования конкретной из них в зависимости от потребностей, требований и назначения телекоммуникационной системы, а также передаваемых данных.

Заключение

В статье рассмотрены некоторые подходы, использующиеся в оптоволоконных системах передачи информации с целью увеличения пропускной способности линии связи. Сформулированы возможности Rake-приемников в части минимизации влияния межсимвольной интерференции. Кроме того, отмечено, что Rake-приемник дает возможность сократить время обработки информации за счет «выравнивания» принятых «копий» сигналов отраженных лучей и их последующей сборки в сумматоре.

Автор считает, что новым в данной работе является предложение использовать пассивную оптическую сеть, которая объединяет преимущества методов временного разделения сигналов и разделения по длинам волны, что в целом позволяет повысить скорость передачи информации и устранить явления поляризационной и хроматической дисперсии.

Список литературы

1. *Марюхненко В.С., Ерохин В.В.* Бикритериальная оптимизация мощности сигнала в синхронных системах обмена данными с кодовым разделением каналов // *Успехи современной радиоэлектроники*. – 2018. – № 4. – С. 27–39.
2. *Аджемов С.С.* Повышение эффективности разделения одночастотных сигналов с эллиптической поляризацией с помощью управления фазированной антенной решеткой // *Научный аспект*. – 2018. – Т. 7, № 4. – С. 763–770.
3. *Тузлуков В.П.* Пространственно-временное разнесение сигналов в системах с широкополосным множественным доступом и кодовым разделением каналов // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук*. – 2019. – Т. 64, № 3. – С. 332–346.
4. *Mengmeng G.* Main lobe jamming suppression via blind source separation sparse signal recovery with subarray configuration // *IET radar, sonar & navigation*. – 2020. – Vol. 14, No. 3. – P. 431–438.
5. *Chuanchuan W., Yonghu Z.* Comparison of source signal recovery algorithms based on compressed sensing for underdetermined blind source separation // *High power lasers and particle beams*. – 2018. – Vol. 30, No. 5. – P. 12–18.
6. *Ruan G.* Novel underdetermined blind source separation algorithm based on compressed sensing and K-SVD // *Transactions on emerging telecommunications technologies*. – 2018. – Vol. 29, is. 9. – P. 24–28.
7. *Никишкин П.Б., Витязев В.В.* Методы широкополосной передачи данных на основе сигналов с частотным разделением каналов // *Цифровая обработка сигналов*. – 2020. – № 3. – С. 45–49.
8. *Sun X.W., Zhang S.F., Hu Q., Jiang Y., Zhang J.B.* A New Anti-Multipath Technique Based on Modified Rake Model for GNSS Receiver // *Acta Electron. Sin.* – 2011. – Vol. 39. – P. 2422–2426.
9. *Журавлев А.В., Кирюшкин В.В., Маркин В.Г., Иванов А.Ф.* Пространственное разделение сигналов с использованием адаптивной антенной решетки // *Радиотехника*. – 2021. – Т. 85, № 6. – С. 141–147.

References

1. *Maryuhnenko V.S., Erohin V.V.* Bikriterial'naya optimizatsiya moshchnosti signala v sinhronnyh sistemah obmena dannymi s kodovym razdeleniem kanalov // *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki*. – 2018. – № 4. – S. 27–39.
2. *Adzhemov S.S.* Povyshenie effektivnosti razdeleniya odnochastotnyh signalov s ellipticheskoy polarizatsiej s pomoshch'yu upravleniya fazirovannoj antennoj reshetkoj // *Nauchnyj aspekt*. – 2018. – Т. 7, № 4. – S. 763–770.
3. *Tuzlukov V.P.* Prostranstvenno-vremennoe raznesenie signalov v sistemah s shirokopolosnym mnozhestvennym dostupom i kodovym razdeleniem kanalov // *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk*. – 2019. – Т. 64, № 3. – S. 332–346.
4. *Mengmeng G.* Main lobe jamming suppression via blind source separation sparse signal recovery with subarray configuration // *IET radar, sonar & navigation*. – 2020. – Vol. 14, No. 3. – P. 431–438.
5. *Chuanchuan W., Yonghu Z.* Comparison of source signal recovery algorithms based on compressed sensing for underdetermined blind source separation // *High power lasers and particle beams*. – 2018. – Vol. 30, No. 5. – P. 12–18.
6. *Ruan G.* Novel underdetermined blind source separation algorithm based on compressed sensing and K-SVD // *Transactions on emerging telecommunications technologies*. – 2018. – Vol. 29, is. 9. – P. 24–28.
7. *Nikishkin P.B., Vityazev V.V.* Metody shirokopolosnoj peredachi dannyh na osnove signalov s chastotnym razdeleniem kanalov // *Cifrovaya obrabotka signalov*. – 2020. – № 3. – S. 45–49.
8. *Sun X.W., Zhang S.F., Hu Q., Jiang Y., Zhang J.B.* A New Anti-Multipath Technique Based on Modified Rake Model for GNSS Receiver // *Acta Electron. Sin.* – 2011. – Vol. 39. – P. 2422–2426.
9. *Zhuravlev A.V., Kiryushkin V.V., Markin V.G., Ivanov A.F.* Prostranstvennoe razdelenie signalov s ispol'zovaniem adaptivnoj antennoj reshetki // *Radiotekhnika*. – 2021. – Т. 85, № 6. – S. 141–147.