

УДК 621.396.2

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С МОДЕРНИЗАЦИЕЙ ПОДСЕТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Алюшина С.Г.

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Казанский филиал, Казань, Россия (420061, г. Казань, ул. Бари Галеева, 3а), e-mail: fotos_al@mail.ru

В работе рассмотрены технологии развития систем мониторинга пассивных оптических сетей с модернизацией подсетей распределения. Предложена масочная кластеризация оптических подсетей распределения со стороны оптических сетевых узлов с построением в них системы мониторинга температурных условий. В качестве масок используются волоконные решетки Брэгга с фазовым сдвигом и только фазовой дискретизацией, которые могут быть изготовлены с помощью простых фазовых масок с минимальными требованиями, предъявляемыми к параметрам модуляции коэффициента преломления и равномерности характеристик его профиля. В целях компенсации, вносимых структурированными решетками потерь, введен компенсационный механизм, основанный на двухчастотном гетеродинамировании принятых сигналов мониторинга на оптическом линейном терминале. Показано, что использование указанных технологий позволит обеспечить уровень сигналов системы мониторинга с энергетическим запасом до 35 дБ, в соответствии с требованиями FSAN и ITU-T.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, оптическая подсеть распределения, масочные технологии, двухчастотное гетеродинамирование.

DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEMS FOR PASSIVE OPTICAL NETWORKS WITH UPGRADE OF DISTRIBUTION SUBNETS

Alyushina S.G.

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Kazan branch, Kazan, Russia (420061, Kazan, Bari Galeev street, 3a), e-mail: fotos_al@mail.ru

The paper discusses the development of monitoring technologies of passive optical networks with modernization of its distribution subnets. Mask clustering of optical distribution subnets from the side of optical network units is proposed with the construction of a system for monitoring their temperature conditions. Fiber Bragg gratings with a phase shift, and only the phase sampling, are used as the masks and can be manufactured by simple phase masks with minimum requirements for the modulation parameters and uniformity of the refractive index profile characteristics. In order to compensate insertion loss of structured gratings a compensation mechanism based on a two-frequency heterodyning of the received monitoring signals is introduced on the side of optical line terminal. It has been shown that the use of these techniques allow to get signal level of monitoring system with the energy reserve to 35 dB in accordance with the FSAN and ITU-T recommendations.

Keywords: passive optical network, optical distribution subnet, mask technology, dual-frequency heterodyning.

Пассивная оптическая сеть (ПОС) представляет собой сеть типа «точка-многоточка», состоящую из оптического линейного терминала (ОЛТ) на стороне провайдера услуг и нескольких, как правило, 32, 64, 128 оптических сетевых узлов (ОСУ) на стороне абонента. Оптическая подсеть распределения (ОПР), соединяющая ОЛТ и ОСУ, представляет собой набор оптических пассивных устройств, реализующих соответственно функции 1×32, 1×64, 1×128. В течение последних 20 лет рабочие группы FSAN и ITU определили несколько стандартов ПОС, включая В-PON, G-PON, XG-PON и TWDM-PON, основанных на двунаправленной организации передачи информации с использованием двух или больше длин волн по одному волокну. Восходящие и нисходящие потоки разделяются соответствующими каждому стандарту устройствами на ОЛТ и ОСУ, в то время как ОПР

всегда представляет собой набор сплиттеров, а применение в них селективных по длине волны устройств были запрещены. Таким образом, реализовывалась совместимость всех поколений ПОС по TDM/TDMA доступу.

Впервые нарушение этого правила возникло при разработке WDM-PON, в которых в ОПР используются волновые селекторы, например AWG, а каждому ОСУ соответствует своя длина волны. Вторая причина обусловлена развитием систем мониторинга ПОС, основанных на частотных рефлектометрических системах [1; 4; 7]. Сегодня на первый план выходят методы, заключающиеся в маркировании отдельных каналов ПОС коммерчески доступными, недорогими средствами, например отражателями, расставленными по временной шкале для каждого ОСУ (для реализации TDM/TDMA доступа), или волоконными решетками Брэгга (ВРБ) с уникальной длиной волны отражения для частотного доступа. При этом использование последних более предпочтительно, поскольку они позволяют дополнительно получить температурное распределение на каждом ONT и проводить мониторинг не только канала связи по целостности, но и по климатическим условиям, которые существенно определяют его спектральные характеристики [2].

Поскольку при строительстве новых ПОС проблема совместимости с ПОС старых поколений остро не стоит, поэтому для реализации как сети, так и системы мониторинга могут быть выбраны волновые или частотные технологии WDM-PON, OFDM-PON. Одна из таких систем, основанная на полигармоническом частотном мониторинге, представлена нами в [3]. Там же была рассмотрена возможность применения ВРБ, структурированных по принципу Канторова множества, для формирования как широких каналов для передачи информации, так и узких каналов для мониторинга сети и температуры на ONT. Таким образом, ОПР представляет собой новое поле для модернизации с целью улучшения метрологических и технико-экономических характеристик систем мониторинга ПОС. Применение структурированных ВРБ в ОПР позволит реализовать масочные технологии для улучшения качества мониторинга температуры на ОСУ, а возможное увеличение потерь в этом случае может быть устранено за счет применения двухчастотного гетеродинамирования на ОЛТ для каждого из каналов.

Масочные технологии мониторинга ПОС. Рассмотрим технологию мониторинга (рис. 1), заключающуюся в том, что генерируют пару сигналов 1 и 2 заранее установленной близкой или равной амплитуды со средней частотой, соответствующей определенной частоте полосы пропускания оптической маски $3'$, расположенной на одном из выходных портов ОПР, при заданном значении параметра физического поля, и разностной частотой, достаточно узкой, для того чтобы оба сигнала попали в указанную полосу пропускания [10].

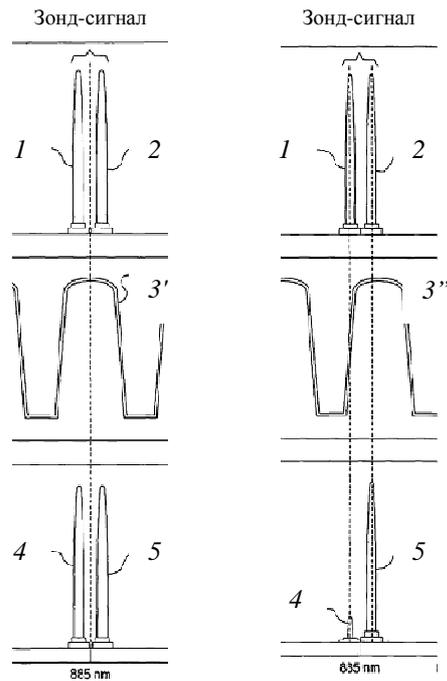


Рис. 1. Принципы масочного мониторинга ПОС по температуре при раздельном амплитудном анализе двухчастотного сигнала.

Далее по волокну передают сгенерированную пару сигналов к ОСУ, на котором установлена идентичная оптическая маска 3'', принимают пропущенную через нее пару сигналов, передаваемую по второй оптической среде, и определяют параметр физического поля, например температуры на ОСУ, сравнивая разности амплитуд 4 и 5 между сигналами пары, принятой после прохождения через оптическую маску. Виды сигналов для калибровочной температуры (слева) и наличия температурного дрейфа (справа) представлены на рис.1.

Недостатком технологии является необходимость использования сложной оптической системы для раздельного спектрального приема отдельных компонент пар сигналов 4 и 5, требующей, как правило, наличия узкополосных интерференционных фильтров, в свою очередь, обладающих температурной зависимостью спектральных характеристик и подверженную воздействию шумов и помех различной природы. Все это приводит к появлению дополнительных источников погрешностей измерения параметров физических полей и снижению их точности в целом.

Для устранения этих недостатков предложено проводить обработку по огибающей двухчастотного сигнала, что позволит упростить обработку и перенести ее в область минимальных шумов фотоприемника. Для формирования зондирующего излучения длины волн лазеров диапазона мониторинга $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ дополнительно модулируются по амплитуде и фазе, так что представляют собой двухчастотное излучение с подавленной несущей и

равными амплитудами [1; 5]. Разностная частота $\Delta\lambda$ укладывается в спектр отражения ВРБ и, как правило, равна ширине ее полосы пропускания на уровне 3 дБ. Получение такого излучения возможно в модуляторе Маха-Цендера при его работе в «нулевой» рабочей точке.

Рассмотрим варианты формирования масок для построения многоканальной системы мониторинга.

2. Структурированные ВРБ как маски системы мониторинга

С точки зрения формирования многоканальных распределенных решеток разработаны и продемонстрированы разновидности указанных выше решеток с sinc-дискретизацией и дискретизацией только фазы, суперструктурированные решетки и решетки на основе эффекта Талбота. Среди перечисленных наибольшее внимание привлекают решетки с фазовым сдвигом и только фазовой дискретизацией, которые могут быть изготовлены с помощью простых фазовых масок с минимальными требованиями, предъявляемыми к параметрам модуляции коэффициента преломления и равномерности характеристик его профиля.

На рис. 2 показан вариант маски [6] на основе 10 однородных решеток.

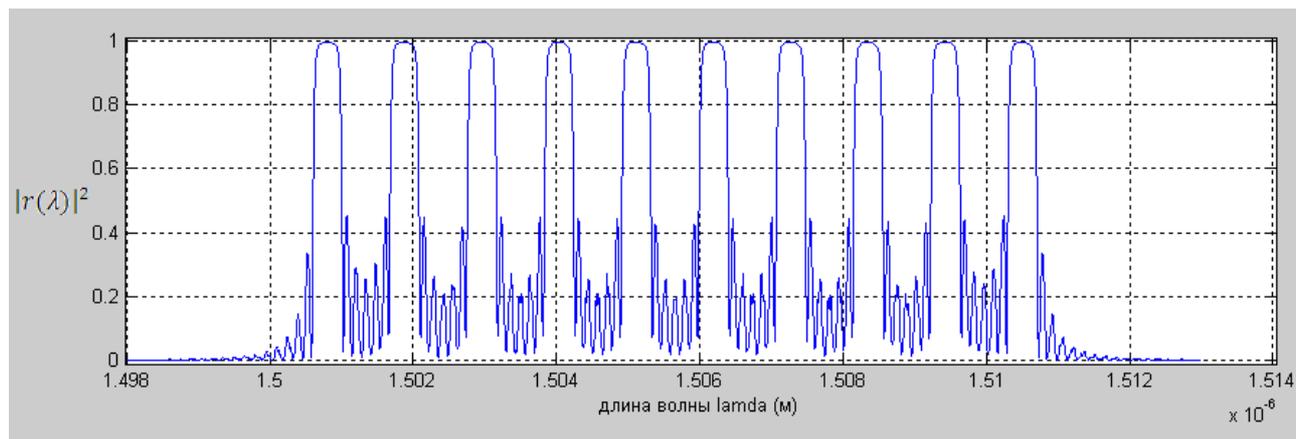
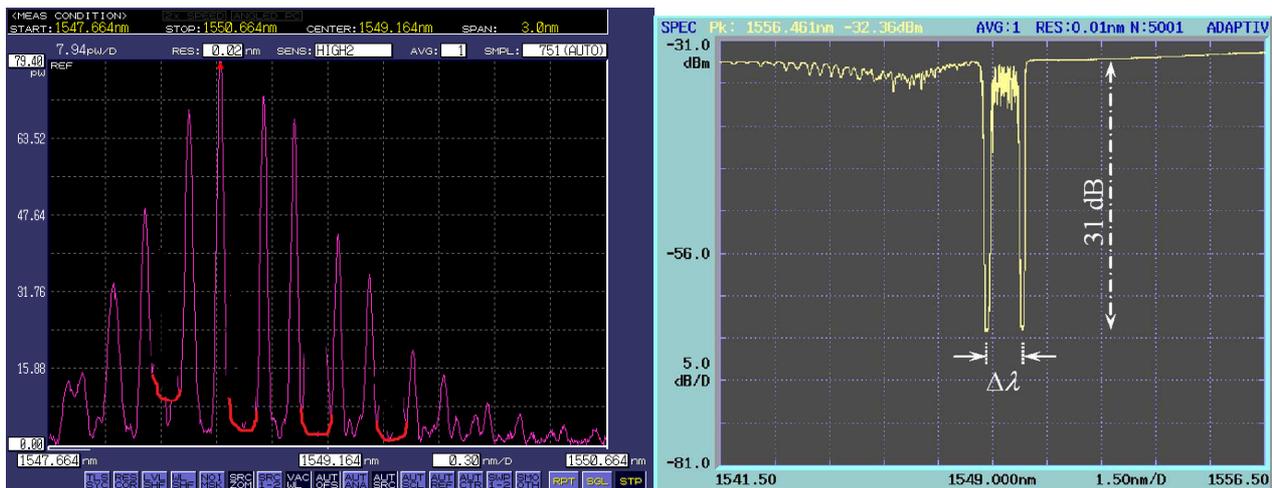


Рис. 2. Однородная маска из 10 последовательно расположенных решеток.

Недостатком такой системы является неэффективное использование канала передачи с выделением одинаковой полосы спектра под передачу данных и под систему мониторинга.

Нами в [3] впервые рассмотрена дискретизация ВРБ по закону канторова множества с фрактальной размерностью $D=\ln 2/\ln 3$ и рассмотрена возможность создания структуры параллельных каналов с идентичными фазовыми параметрами для распределенных систем. Спектральные характеристики указанной маски представлены на рис. 3а и представляют собой чередование широкополосных каналов для передачи информации (выделены светлокрасным) и узкополосных каналов для системы мониторинга. На рис. 3б представлены спектральные характеристики двойной симметричной ВРБ [8], которая может быть использована в канале мониторинга ОСУ для формирования двухчастотного излучения при реализации некогерентного анализа без использования дорогостоящих модуляторов Маха-Цендера.



а

б

Рис. 3. Спектральные характеристики ВРБ при реализации принципа канторова множества (а) и двойного симметричного преобразования (б).

Такой вариант системы мониторинга значительно выигрывает по стоимости у всех существующих, использующих мониторинг на несущей каждого канала. Дискриминирующими каналы параметром может являться ширина волнового разноса $\Delta\lambda$.

3. Гетеродинирование сигналов мониторинга на ОЛТ

Установка дополнительных масочных ВРБ, несомненно, приведет к появлению дополнительных потерь в ОПР. Нормированные значения для существующих ОПР составляют по потерям 20-25 дБ, для ПОС нового поколения эти значения увеличены до 35 дБ для восходящего потока в 2,5 Гбит/с.

Нами в [9] предложена схема двухчастотного гетеродина, использование которой позволяет значительно повысить чувствительность измерений в условиях помех и низкочастотных флуктуаций другой природы.

На рис. 4 представлена структурная схема ОЛТ с двухчастотным гетеродином.

Рассмотрим прохождение сигнала, отраженного от ВРБ $ОСУ_1 \dots ОСУ_{N\lambda}$ канала мониторинга через такую систему. Предполагая, что в пределах апертуры фотодетектора обеспечивается пространственная погрешность первого порядка, амплитуды A_1 и A_2 составляющих излучения двухчастотного гетеродина поляризованы одинаково, для напряженности электрического поля $E(t)$ на входе приемника можно записать

$$E(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + A_s \cos(\omega_s t + \varphi_s), \quad (1)$$

где ω_1 , ω_2 и ω_s – угловые частоты составляющих двухчастотного гетеродина и принимаемого сигнала, φ_1 , φ_2 и φ_s – их фазы.

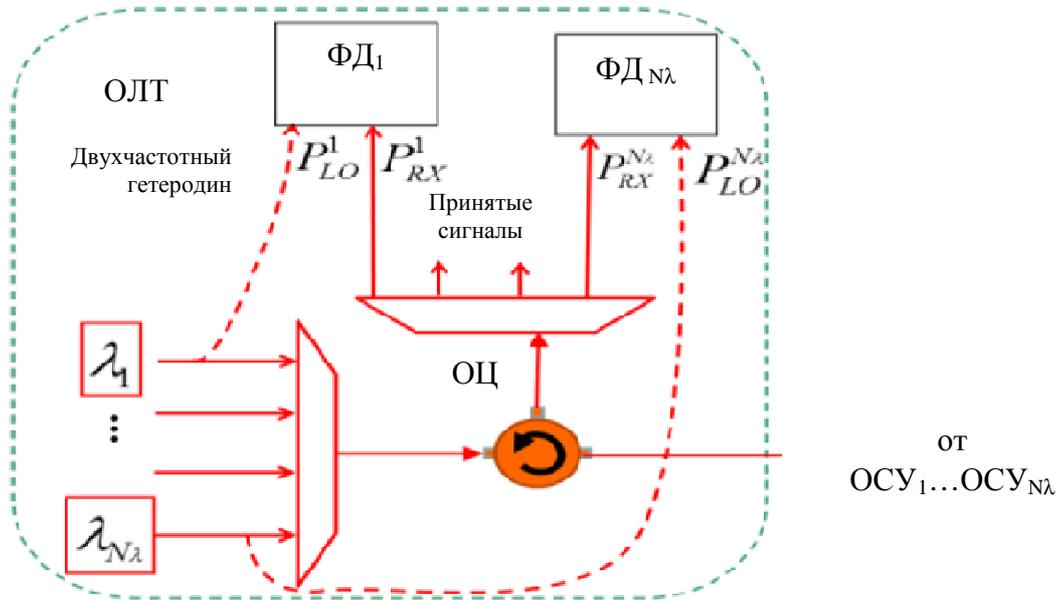


Рис. 4. ОЛТ с двухчастотным гетеродином.

Выходной сигнал фотоприемника описывается как

$$I(t) \approx \eta(A_1^2 + A_2^2) \left\{ \begin{aligned} & \frac{2A_1A_s}{A_1^2 + A_2^2} \cos[(\omega_1 - \omega_s)t + (\varphi_1 - \varphi_s)] + \\ & \frac{2A_2A_s}{A_1^2 + A_2^2} \cos[(\omega_2 - \omega_s)t + (\varphi_2 - \varphi_s)] + \\ & \frac{2A_1A_2}{A_1^2 + A_2^2} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi_1 - \varphi_2)] \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где η – коэффициент пропорциональности, учитывающий квантовую эффективность фотоприемника.

С учетом закона Столетова практически идеальной квадратичности фотоприемников оптического диапазона и значительного превышения интенсивности излучения гетеродина над интенсивностью сигнала выходной сигнал приемника состоит только из постоянных составляющих и составляющих с разностными частотами. В случае когда волны не обладают пространственной когерентностью первого порядка и (или) поляризованы в различных направлениях, сигнал I уменьшается.

Полагая, что $A_1 = A_2 = A_h$, а сигнал с выхода фотоприемника через заграждающий фильтр на частоте $\omega_1 - \omega_2$ поступает на второй квадратичный электронный приемник, получим

$$I(t) \approx 2\eta A_h A_s \{ \cos 2(\omega_1 - \omega_s)t + \cos 2(\omega_2 - \omega_s)t \}, \quad (3)$$

$$I^2 \approx 4\eta^2 A_s^2 A_h^2 \left\{ 1 + \frac{1}{2} \cos 2(\omega_1 - \omega_s)t + \frac{1}{2} \cos 2(\omega_2 - \omega_s)t + \right. \\ \left. + \cos(\omega_1 + \omega_2 - 2\omega_s)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t \right\}. \quad (4)$$

При установке на выходе второго электронного приемника узкополосного пропускающего фильтра на частоту $\omega_1 - \omega_2$ его выходной сигнал будет представлять собой лишь изменение амплитуды обратно-рассеянного сигнала без учета нестабильностей частоты передатчика

$$I^2 \approx 4k_f \eta^2 A_s^2 A_h^2 \cos \Delta\omega_s t, \quad (5)$$

где k_f – коэффициент, характеризующий АЧХ фильтра, а $\Delta\omega_s$ – информационная полоса сигнала (частота огибающей двухчастотного зондирующего сигнала).

Заключение

Предложены новые технологии мониторинга пассивных оптических сетей, основанные, в отличие от существующих, на модернизации и введении специальных элементов в ОПР. Разработаны масочные технологии для более детального контроля различий в температурных условиях на ОЛТ и ОСУ. Для изготовления масок используются ВРБ, структурированные по фазе. В целях компенсации вносимых структурированными ВРБ потерь введен компенсационный механизм, основанный на двухчастотном гетеродинамировании на ОЛТ. Показано, что использование указанных технологий позволит обеспечить уровень сигналов системы мониторинга с энергетическим запасом до 35 дБ, производить фильтрацию сигналов обратного рассеяния, разнести масочные технологии на уровнях ОПР и ОСУ с использованием одинаковых длин волн в разных кластерах ОСУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой и проектной частей государственного задания ФГБОУ ВПО «КНИТУ-КАИ» (программа «Фотоника», задание 3.1962.2014К) и договора №9932/17/07-К-12 от 20.11.2012 между КНИТУ-КАИ и ОАО «КАМАЗ».

Список литературы

1. Алюшина С.Г., Морозов О.Г. Мониторинг пассивных оптических сетей с использованием методов частотной рефлектометрии и двухчастотного зондирующего сигнала // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. — 2012. — Т.1. — № 2. — С.26-34.

2. Алюшина С.Г., Морозов О.Г., Нуреев И.И. Полигармонические методы определения температуры на абонентских узлах пассивных оптических сетей // Научно-технический вестник Поволжья. — 2014. — №2. — С. 134-138.
3. Алюшина С.Г., Морозов О.Г., Денисенко П.Е. и др. Волоконные решетки Брэгга с фазированной структурой в распределенных информационно-измерительных системах // Нелинейный мир. — 2011. — Т.9. — № 8. — С. 522-528.
4. Андреев В.А., Бурдин В.А. Оптические волокна для оптических сетей связи // Электросвязь. — 2003. — № 11. — С. 50-54.
5. Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С. Синтез двухчастотного излучения и его применение в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. — 2010. — Т. 13. — № 3. — С. 84-91.
6. Оввян А.П. Расчет однородных и неоднородных брэгговских волоконных решеток // Молодежный научно-технический вестник. — 2012. — № 6. — URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/469265.html> (дата обращения: 15.08.2014).
7. Султанов А.Х., Конюхова В.М., Виноградова И.Л. Задача масштабирования и оптимизации параметров звездообразного абонентского сегмента пассивной оптической сети // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2010. — Т. 14. — № 5 (40). — С. 102-109.
8. Liu X., Gong Y., Wang L. et al. Identical dual-wavelength fiber Bragg gratings // Journal of lightwave technology. — 2007. — V. 25. — № 9. — P. 2706-2710.
9. Natanson O.G., Morozov O.G., Akhtiamov R.A. et al. Development problems of frequency reflectometry for monitoring systems of optical fiber structures // Proceedings of SPIE. — 2005. — V. 5854. — P. 215-223.
10. Weaver T. Thermal drift compensation system and method for optical network // Мировой патент WO 020838. — 2008. — 40 p.

Рецензенты:

Морозов О.Г., д.т.н., профессор, директор Научно-исследовательского института прикладной электродинамики, фотоники и живых систем ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань.

Морозов Г.А., д.т.н., профессор, директор Казанского филиала ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Казань.