



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014132419/07, 05.08.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.08.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.08.2014

(45) Опубликовано: 10.09.2015 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU2101867 C1, 10.01.1998. RU2506626 C2, 10.02.2014. RU2111619 C1, 20.05.1998. WO2008/039039 A1, 03.04.2008. WO2012/020555A1, 16.02.2012

Адрес для переписки:

603950, г.Нижний Новгород, ул. Минина, 24,
НГТУ, ОТТиИС

(72) Автор(ы):

Мякинков Александр Валерьевич (RU),
Смирнова Дарья Михайловна (RU),
Беляев Александр Игоревич (RU),
Букварев Евгений Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева",
НГТУ (RU)

**(54) СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ И УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ**

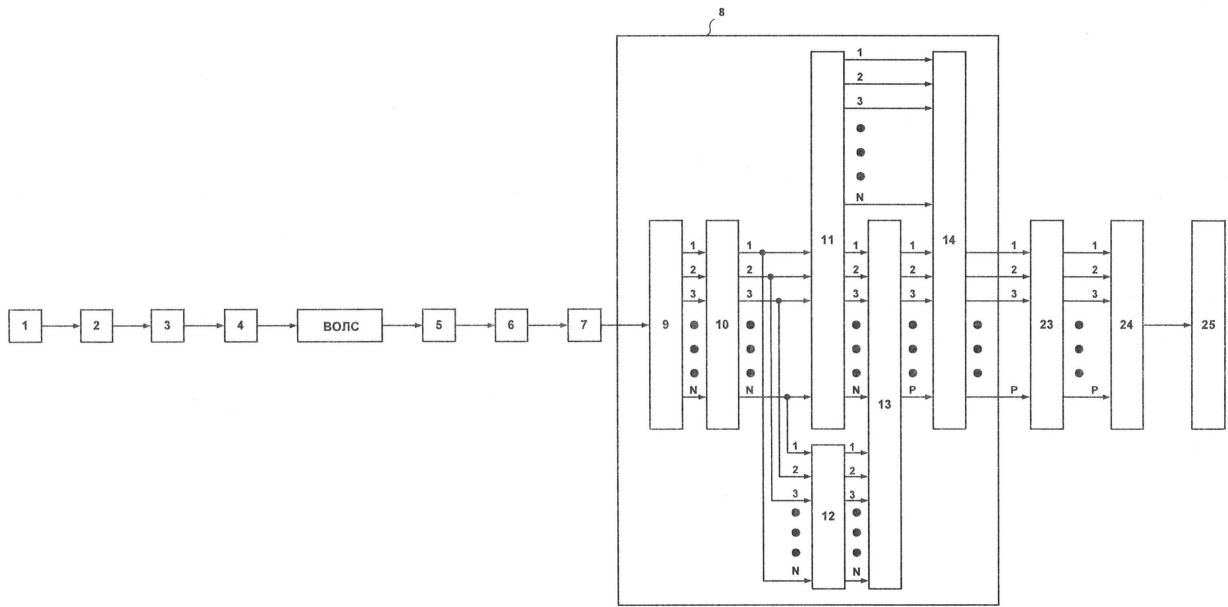
(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиолокации и технике связи и может быть использовано в радиолокационных станциях с фазированными антенными решетками для синхронизации системы передачи цифровых данных с приемных модулей фазированных антенных решеток в специализированную цифровую вычислительную машину по волоконно-оптической линии связи. Технический результат - обеспечение передачи цифровых данных по волоконно-оптической линии связи в полосе частот, значительно меньшей, чем полоса, необходимая для передачи этих данных в

последовательном коде. Для этого используют многоуровневую амплитудную модуляцию оптического сигнала, кадровой и символьной синхронизации системы передачи цифровых данных. При этом кадровая синхронизация состоит в обнаружении монотонно возрастающего значения напряжения сигнала, символьная синхронизация заключается в определении момента времени, в который происходит смена знака производной сигнала, и использовании этого момента времени для вхождения системы приема-передачи цифровых данных в синхронизм. 2 н.п., 5 ил.

RU 2 562 965 C1

RU 2 562 965 C1



Фиг. 1

RU 2 5 6 2 9 6 5 C 1

RU 2 5 6 2 9 6 5 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014132419/07, 05.08.2014

(24) Effective date for property rights:
05.08.2014

Priority:

(22) Date of filing: 05.08.2014

(45) Date of publication: 10.09.2015 Bull. № 25

Mail address:

603950, g.Nizhnij Novgorod, ul. Minina, 24, NGTU,
OTTiS

(72) Inventor(s):

**Mjakin'kov Aleksandr Valer'evich (RU),
Smirnova Dar'ja Mikhajlovna (RU),
Beljaev Aleksandr Igorevich (RU),
Bukvarev Evgenij Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovaniya "Nizhegorodskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im.
R.E. Alekseeva", NGTU (RU)**

(54) **METHOD OF TRANSMITTING DATA VIA OPTICAL LINK AND DEVICE THEREFOR**

(57) Abstract:

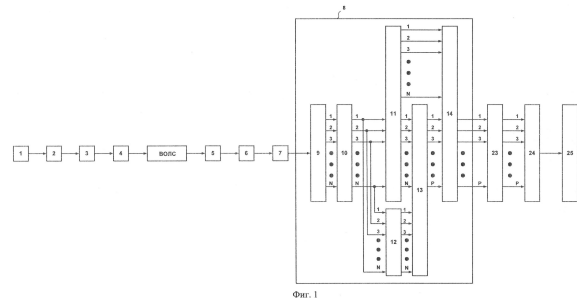
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: method employs multilevel amplitude modulation of an optical signal, and frame and symbol synchronisation of a digital data transmission system. Frame synchronisation comprises detecting a monotonously rising signal voltage value; symbol synchronisation comprises determining the time when the signal derivative sign changes, and using said time to synchronise a digital data receiving-transmitting system.

EFFECT: enabling transmission of digital data via a fibre-optic link in a bandwidth significantly lower

than the bandwidth required to transmit said data in a serial code.

2 cl, 5 dwg



Фиг. 1

RU 2 562 965 C 1

RU 2 562 965 C 1

Изобретение относится к области радиолокации и технике связи и может быть использовано в радиолокационных станциях (РЛС) с фазированными антенными решетками (ФАР) для передачи цифровых данных с приемных модулей ФАР в специализированную цифровую вычислительную машину (СЦВМ) по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).

РЛС с ФАР, содержащими большое число элементов, в настоящее время достаточно востребованы. Антенная решетка из L элементов позволяет увеличить коэффициент направленного действия антенны приблизительно в L раз по сравнению с одиночным излучателем, а также повысить точность определения угловых координат цели. Для организации канала связи между такой антенной решеткой и модулем обработки требуется канал, обладающий высокой пропускной способностью. Таким каналом может служить ВОЛС, так как она не только обеспечивает высокую скорость передачи данных, но и нечувствительна к воздействию преднамеренных электромагнитных помех, что очень важно при проектировании РЛС с ФАР, которые должны сохранять работоспособность в условиях радиоэлектронного противодействия.

Рассмотрим существующие аналоги заявляемых изобретений.

Известен способ передачи цифровых потоков данных по ВОЛС [1], заключающийся в использовании N цифровых потоков данных, где каждый из N потоков разбивается на кластеры, а кластерам ставится в соответствие оптический сигнал в виде следующих друг за другом Y групп оптических импульсов. В каждой группе может быть от одного до V оптических импульсов с различными длинами волн оптического излучения, причем битовый состав каждого из кластеров однозначно определяется составом соответствующего ему оптического сигнала, отличающегося порядком следования и составом групп оптических импульсов. Оптические сигналы объединяют в кадры из N сигналов, в качестве маркера начала каждого кадра используют оптический импульс с фиксированной длиной волны оптического излучения, отличной от длин волн импульсов оптических сигналов, соответствующих данным. Маркер располагают в начале каждого кадра. Кадры с маркерами передают по ВОЛС. На приемном конце ВОЛС оптический импульс маркера преобразуют в электрический импульс, который запускает процессы восстановления N цифровых потоков данных. Устройство, реализующее данный способ, содержит узлы выделения синхроимпульсов из структурированных цифровых потоков, счетчики-делители, отсчитывающие кластеры размером K бит, блоки сдвиговых регистров, реализующие функции прямого и обратного преобразования «параллельный код - последовательный код», микроконтроллер, оптические приемо-передатчики, оптический спектральный мультиплексор/демультиплексор. К недостаткам данного способа передачи цифровых потоков данных по ВОЛС можно отнести следующее:

1) невозможность использования в радиолокационной технике в силу ограниченного рабочего диапазона температур оптических спектральных мультиплексоров и демультиплексоров ($-5^{\circ} \div +75^{\circ}\text{C}$);

2) слабая развязка разных частотных каналов (около 30 дБ);

3) невозможность реализации способа прямого и обратного преобразования «параллельный код - последовательный код» с высокой скоростью из-за того, что отечественные микросхемы не обладают достаточной производительностью.

Известны способ, устройство и система для оптической связи [2]. Способ передачи данных заключается в мультиплексировании и преобразовании нескольких низкоскоростных коммуникационных сигналов в оптический сигнал со скоростью передачи приблизительно 5 Гбит/с и передачу оптического сигнала на узел назначения;

при приеме данных - преобразование принятого оптического сигнала со скоростью передачи приблизительно 5 Гбит/с в электрический сигнал и демультимплексирование электрического сигнала, чтобы получить несколько низкоскоростных коммуникационных сигналов. Устройство включает в себя основные узлы: оптический передающий блок и оптический приемный блок, соединенные посредством волоконно-оптической линии связи, устройства мультиплексирования/демультимплексирования оптических сигналов, блок преобразования данных шины и перемежения битов. Недостатками данного способа, устройства и системы для оптической связи является также наличие оптических спектральных мультиплексоров/демультимплексоров с ограниченным рабочим диапазоном температур и слабой развязкой частотных каналов.

Из анализа аналогов видно, что построение таких систем на отечественной элементной базе невозможно по причине недостаточного быстродействия отечественных электронных компонентов.

При использовании отечественных микросхем-аналогов зарубежных программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) для цифровой обработки сигналов (ЦОС) необходимо учесть их ограниченное быстродействие и соответствующим образом ограничить полосу частот обрабатываемого сигнала, выбрать способ модуляции сигнала для обеспечения высокой скорости передачи в ограниченной полосе частот.

Если исходная ширина полосы частот сигнала составляет Δf Гц, максимальная частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя (АЦП) - f_d , а максимальная частота тактирования быстродействующих приемопередатчиков ПЛИС - $f_{\text{ПЛИСmax}}$ Гц, то для дальнейшей обработки полосу частот сигнала необходимо уменьшить в m раз.

Величина m определяется из неравенства $\frac{2\Delta f}{m} \leq f_d \leq f$, т.е. необходимое уменьшение

составит $[m] \geq \frac{2\Delta f}{f_d}$ раз, где операция $[\cdot]$ означает округление до большего целого.

Величина m определяет число уровней модуляции сигнала: $M=2^m$.

При использовании M -арной модуляции при передаче информации по ВОЛС повышение числа M приводит к уменьшению разности между уровнями в 2^m-1 раз при уменьшении полосы частот в m раз, что при сохранении мощности передатчика приводит к повышению вероятности символьной ошибки. Мощность передатчика ограничивается величиной линейного рабочего участка ватт-амперной характеристики источников оптического излучения. Следовательно, имеет место ограничение числа уровней модуляции для обеспечения требуемой вероятности символьной ошибки. При числе M , обеспечивающем достаточную для практического применения системы помехоустойчивость, и частоте f_d поступления цифровых отсчетов от АЦП меньшей либо равной максимальной частоте тактирования быстродействующих приемопередатчиков ПЛИС $f_{\text{ПЛИСmax}}$ может возникнуть ситуация, когда частота f_d поступления цифровых отсчетов от АЦП больше максимальной частоты тактирования конфигурируемых логических блоков ПЛИС $f_{\text{ПЛИС}}$ ($f_d > f_{\text{ПЛИС}}$). В этом случае необходимо распараллеливать высокоскоростной поток данных на N каналов, в каждом из которых частота поступления цифровых отсчетов в N раз меньше, чем сходная частота поступления цифровых отсчетов. При этом осуществляется взаимодействие между каналами для того, чтобы такая параллельная обработка была эквивалентна

фильтрации сигнала в одном канале без прореживания.

Таким образом, при проектировании системы необходимо найти решение, обеспечивающее требуемые характеристики в отношении вероятности символической ошибки за счет выбора необходимого для проведения аналого-цифрового преобразования уменьшения полосы частот числа m , определяющего число уровней модуляции, и соответствующего ему числа N параллельных каналов обработки.

В существующих аналогах оптические узлы системы, рассчитанные для соответствующих видов модуляции, не работоспособны в диапазоне температур $-60^{\circ} \div +80^{\circ}\text{C}$ без использования дополнительного специального оборудования. При использовании амплитудной модуляции оптические узлы системы могут работать в диапазоне температур $-60^{\circ} \div +80^{\circ}\text{C}$ при условии, что обеспечена термостабилизация одного оптического узла системы - оптического излучателя, что позволяет уменьшить массогабаритные параметры системы в целом и повысить ее надежность.

Известно, что в оптическом канале имеет место дисперсия [5], которая является причиной межсимвольной интерференции (МСИ). Это приводит к возникновению ошибок при демодуляции сигнала. Для минимизации уровня МСИ на передающей и приемной сторонах системы передачи данных применяют фильтры с частотной характеристикой типа корня из приподнятого косинуса [4]. Использование таких фильтров позволяет добиться постоянного контролируемого уровня МСИ в момент взятия выборки.

Известно устройство волоконно-оптической системы передачи [3], выбранное в качестве прототипа, включающее последовательно соединенные источник сообщения, сериалайзер, источник излучения с модулятором, ВОЛС, демодулятор, десериалайзер, преобразователь, потребитель сообщения, при этом сериалайзер и десериалайзер тактируются от одинаковых кварцевых генераторов, а также от кварцевого генератора частоты 80 МГц. При этом источник сообщения и преобразователь также тактируются от кварцевого генератора 80 МГц.

В этом устройстве в качестве источника сообщения выступает ПЛИС. С выхода ПЛИС на вход сериалайзера поступает псевдослучайная последовательность 16-битных слов в параллельном коде. Затем 16-битные слова в параллельном коде преобразуются в последовательный код с помощью сериалайзера и передаются через ВОЛС с помощью источника излучения с модулятором. На приемной стороне оптический сигнал преобразуется в электрический с помощью демодулятора. В сериалайзере последовательность 16-битных слов демультимплексируются в 16-битные слова в параллельном коде. В преобразователе, тактируемом кварцевым генератором 80 МГц, данные сравниваются с эталонным сообщением, после чего результат сравнения и данные передаются потребителю сообщения - логическому анализатору.

Существенным недостатком волоконно-оптической системы передачи, выбранной в качестве прототипа, является наличие высокоскоростных сериалайзеров/десериалайзеров, которые отсутствуют в отечественной элементной базе. Еще одним недостатком является отсутствие блоков обработки сигнала, минимизирующей уровень МСИ, что позволило бы уменьшить число проверочных бит в сообщении и увеличить его информационную емкость.

Предлагаемые способ и устройство для его реализации позволяют устранить эти недостатки.

Технический результат состоит в обеспечении передачи цифровых данных по волоконно-оптической линии связи в полосе частот, значительно меньшей, чем полоса, необходимая для передачи этих данных в последовательном коде, требующей

использования специальных микросхем параллельно-последовательного и последовательно-параллельного преобразования импортного производства.

Указанный технический результат достигается тем, что в способе передачи данных по оптическому каналу связи, включающем модуляцию оптического сигнала, передачу 5 модулированного сигнала по волоконно-оптической линии связи, демодуляцию оптического сигнала, преобразование демодулированного сигнала в удобную для потребителя информации форму и передачу этого сообщения потребителю, производят обработку помехозащитным кодом цифровой информации, поступающей от источника сообщения, фильтрацию кодированной информации, аналоговую фильтрацию нижних 10 частот сигнала после демодуляции, дискретизацию сигнала, затем производят кадровую синхронизацию, заключающуюся в обнаружении нарастающего значения напряжения треугольной формы и содержащую три этапа длительностью T_1 , T_2 , T_3 , при этом на первом этапе производят накопление информации о положительном знаке производной сигнала треугольной формы и обнаружение нарастающего значения напряжения этого 15 сигнала по критерию «R из R», на втором этапе продолжается накопление информации о положительном знаке производной сигнала и обнаружение нарастающего значения напряжения треугольной формы по критерию «D из M-R»; на третьем этапе при обнаружении смены знака производной сигнала в каждом из N каналов обработки запускается выполнение символьной синхронизации и детектирование сигнала, а при 20 отсутствии смены знака производной сигнала или при превышении числом ошибок обнаружения нарастающего значения напряжения треугольной формы по критерию «D из M-R» допустимого уровня на втором этапе выполнение алгоритма кадровой синхронизации повторяется с первого этапа; производят символьную синхронизацию, заключающуюся в сохранении амплитудных значений и времени фиксации отсчетов 25 сигналов треугольной формы в моменты времени, соответствующие смене знака производной сигнала в каждом из N каналов на выходе фильтра нижних частот, выборе максимального значения среди зафиксированных N значений отсчетов, соответствующих смене знака производной сигнала и выполнении операции шинного мультиплексирования $N \cdot V$ на P каналов обработки, используя информацию о 30 максимальном амплитудном значении и времени фиксации отсчета, соответствующего смене знака производной сигнала, затем производят детектирование и декодирование сигнала.

В устройстве передачи данных по оптическому каналу связи, содержащем последовательно соединенные источник сообщения, источник излучения с модулятором, 35 волоконно-оптическую линию связи, демодулятор, преобразователь, потребитель сообщения, дополнительно введены кодер, формирующий фильтр, последовательно включенные между источником сообщения и источником излучения с модулятором, аналоговый фильтр нижних частот, аналого-цифровой преобразователь, блок цифровой обработки сигналов, декодер, последовательно включенные между демодулятором и 40 преобразователем, при этом блок цифровой обработки сигналов содержит последовательно соединенные блок коммутации с прореживанием, вход которого соединен с выходом аналого-цифрового преобразователя, цифровой фильтр нижних частот, многоканальный блок кадровой синхронизации, многоканальный блок символьной синхронизации, детектор, при этом N выходов цифрового фильтра нижних 45 частот подключены к соответствующим N входам многоканальной линии задержки, N выходов которой подключены к соответствующим N входам многоканального блока символьной синхронизации, первые N выходов многоканального блока кадровой синхронизации соединены с N входами разрешения работы детектора, а P выходов

многоканального блока символьной синхронизации соединены с P информационными входами детектора, при этом каждый из N каналов обработки многоканального блока кадровой синхронизации имеет последовательно соединенные дифференцирующее устройство, вход которого подключен к соответствующему выходу цифрового фильтра нижних частот, обнаружитель «R из R», обнаружитель «D из M-R», блок обнаружения экстремума, первый выход которого подключен к входу блока разрешения работы детектора, а второй выход подключен к соответствующему входу многоканального блока символьной синхронизации, при этом второй вход блока обнаружения экстремума и второй вход обнаружителя «D из M-R» подключены к выходу дифференцирующего устройства, выход блока разрешения работы детектора подсоединен к соответствующему входу разрешения работы детектора, при этом многоканальный блок символьной синхронизации содержит многоканальную линию задержки с $N \cdot V$ отводами, N входов которой соединены с N выходами многоканальной линии задержки, $N \cdot V$ отводов подключены к $N \cdot V$ информационным входам блока шинного селектора, при этом первые N входов блока определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором подключены к N выходам многоканального блока кадровой синхронизации, другие N входов блока определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором подключены к N выходам многоканальной линии задержки, выход блока определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором соединен с адресным входом блока шинного селектора, при этом P выходов блока шинного селектора подключены к P информационным входам детектора, при этом P выходов детектора являются выходами блока цифровой обработки сигналов, при этом P выходов блока цифровой обработки сигналов подключены к соответствующим P входам декодера.

На фиг. 1, фиг. 2, фиг. 3 приведены структурные схемы заявляемого способа и устройства для его реализации. На фиг. 1 приведена структурная схема системы передачи данных по оптическому каналу связи, на фиг. 2 - структурная схема одного канала обработки блока кадровой синхронизации, на фиг. 3 - структурная схема блока символьной синхронизации. На фиг. 5 представлена структурная схема устройства-прототипа, где использованы те же обозначения, что и на фиг. 1.

На чертежах введены следующие обозначения:

- 1 - источник сообщения;
- 2 - кодер;
- 3 - формирующий фильтр (ФФ);
- 4 - источник излучения с модулятором;
- 5 - демодулятор;
- 6 - аналоговый фильтр нижних частот (ФНЧ);
- 7 - аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 8 - блок цифровой обработки сигналов;
- 9 - блок коммутации с прореживанием;
- 10 - цифровой фильтр нижних частот;
- 11 - многоканальный блок кадровой синхронизации;
- 12 - многоканальная линия задержки;
- 13 - многоканальный блок символьной синхронизации;
- 14 - детектор;
- 15 - дифференцирующее устройство;
- 16 - обнаружитель «R из R»;

- 17 - обнаружитель «D из M-R»;
- 18 - блок обнаружения экстремума;
- 19 - блок разрешения работы детектора.
- 20 - многоканальная линия задержки с N·V отводами;
- 5 21 - блок определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором;
- 22 - блок шинного селектора;
- 23 - декодер;
- 24 - преобразователь;
- 10 25 - потребитель сообщения.

На фиг. 4 приведена временная диаграмма напряжения треугольной формы. Алгоритм кадровой синхронизации реализуется в три этапа, каждому из которых соответствуют интервалы времени T1, T2, T3.

Заявляемое устройство содержит последовательно соединенные кодер 2 (фиг. 1),
 15 вход которого подключен к источнику сообщения 1, ФФ 3, источник излучения с модулятором 4, ВОЛС, демодулятор 5, аналоговый ФНЧ 6, АЦП 7, блок 8 ЦОС, декодер 23, преобразователь 24, потребитель сообщения 25, при этом блок 8 ЦОС содержит последовательно соединенные блок 9 коммутации с прореживанием, вход которого соединен с выходом АЦП 7, цифровой ФНЧ 10, многоканальный блок 11
 20 кадровой синхронизации, многоканальный блок 13 символьной синхронизации, детектор 14, при этом N выходов цифрового ФНЧ 10 подключены к соответствующим N входам многоканальной линии задержки 12, N выходов которой подключены к соответствующим N входам многоканального блока 13 символьной синхронизации, другие N выходов многоканального блока 11 кадровой синхронизации соединены с N
 25 входами разрешения работы детектора 14.

Каждый из N каналов обработки многоканального блока 11 кадровой синхронизации имеет последовательно соединенные дифференцирующее устройство 15 (фиг. 2), вход которого подключен к соответствующему выходу цифрового ФНЧ 10, обнаружитель «R из R» 16, обнаружитель «D из M-R» 11, блок 18 обнаружения экстремума, первый
 30 выход которого подключен к входу блока 19 разрешения работы детектора, а второй выход подключен к соответствующему входу многоканального блока 13 символьной синхронизации, выход блока 19 разрешения работы детектора подсоединен к соответствующему входу разрешения работы детектора 14.

Многоканальный блок 13 символьной синхронизации содержит многоканальную
 35 линию задержки с N·V отводами 20 (фиг. 3), N входов которой соединены с N выходами многоканальной линии задержки 12, а N·V отводов подключены к N·V информационным входам блока 22 шинного селектора. Первые N входов блока 21 определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором подключены к N выходам многоканального блока 11 кадровой
 40 синхронизации, другие N входов блока 21 определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором подключены к N выходам многоканальной линии задержки 12. Выход блока 21 определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором соединен с адресным входом блока 22 шинного селектора, при этом P выходов блока 22 шинного
 45 селектора подключены к P информационным входам детектора 14, при этом P выходов детектора 14 являются выходами блока 8 ЦОС.

Заявляемое устройство работает следующим образом. Цифровой поток отсчетов от источника сообщения 1 (фиг. 1), в качестве которого может выступать приемный канал

ФАР, поступает на вход кодера 2, где осуществляется избыточное кодирование, необходимое для обеспечения требуемой помехоустойчивости. Далее цифровой поток отсчетов из кодера 2 поступает на ФФ 3, источник излучения с модулятором 4, с выхода которого в ВОЛС поступает аналоговый амплитудно-модулированный сигнал. С помощью демодулятора 5, оптический сигнал преобразуется в электрический, затем фильтруется в аналоговый ФНЧ 6 и дискретизируется при помощи АЦП 7, после чего оцифрованный сигнал поступает в блок 8 ЦОС. Для минимизации уровня МСИ в качестве ФФ может использоваться фильтр с частотной характеристикой типа корень из приподнятого косинуса.

В блоке 8 ЦОС сигнал последовательно поступает на вход блока 9 коммутации с прореживанием, где принятые отсчеты распределяются по N выходным каналам следующим образом. Каждому символу соответствуют S отсчетов, $S=f_d/\Delta f$, $S \geq 2$. Если максимальная частота тактирования конфигурируемых логических блоков ПЛИС оказывается меньше частоты поступления цифрового потока, то минимальное число каналов определяется числом отсчетов на символ $N=S$. Если при этом быстродействия ПЛИС по-прежнему оказывается недостаточным, то необходимо повышать число каналов обработки за счет деления каждого из S каналов на P цифровых потоков отсчетов, где число « P » кратно степени двойки, пока быстродействие ПЛИС не станет достаточным для осуществления обработки отсчетов в каждом из N каналов. Таким образом, получается S групп отсчетов по P цифровых потоков отсчетов в каждой группе. Тогда общее число каналов обработки можно определить по формуле $N=S \cdot P$, где P определяется из выражения $(\Delta f/m)/P \leq f_{\text{ПЛИС}}$, т.е. $[P] \geq (\Delta f/m) f_{\text{ПЛИС}}$, где операция $[\bullet]$ означает округление до большего целого, кратного степени 2. Порядковый номер отсчета h определяются по формуле $h=G+S \cdot p+N \cdot k$, где G - порядковый номер группы, $G \in [0; S-1]$, p - порядковый номер цифрового потока отсчетов в группе, $p \in [0; P-1]$, k - дискретный отсчет времени, $k \in [0; \infty)$.

Цифровой ФНЧ 10 имеет частотную характеристику типа корня из приподнятого косинуса. Таким образом, на приемной и передающей сторонах системы передачи данных по оптическому каналу связи находятся фильтры с характеристикой типа корня из приподнятого косинуса.

Выходные данные блока 11 коммутации с прореживанием поступают на вход цифрового ФНЧ 10, где осуществляется фильтрация принятых цифровых данных. При этом обеспечивается взаимодействие между каналами обработки для того, чтобы такая параллельная обработка была эквивалентна фильтрации сигнала в одном канале без прореживания. Отсчеты с выхода цифрового ФНЧ 10 имеют контролируемый уровень МСИ в момент взятия выборки, при этом уровень МСИ зависит от длительности импульсной характеристики фильтра Найквиста с частотной характеристикой типа корня из приподнятого косинуса и от уровня джиттера кварцевого генератора. Данные с N выходов цифрового ФНЧ 10 поступают на соответствующие N входов многоканального блока 11 кадровой синхронизации и многоканальной линии задержки 12. Данные, поступившие в многоканальную линию задержки 12, задерживаются на время обработки в многоканальном блоке 11 кадровой синхронизации.

Многоканальный блок 11 кадровой синхронизации содержит N идентичных каналов, в каждом из которых выполняются следующие действия. На первом этапе отсчеты сигнала, поступающие с соответствующего выхода цифрового ФНЧ 10, подвергаются обработке в дифференцирующем устройстве 15 (фиг. 2), с выхода которого информация о смене знака производной поступает на вход обнаружителя « R из R » 16, осуществляющего обнаружение нарастающего значения напряжения на интервале

времени T1 (фиг. 4) по критерию обнаружения «R из R», на вход обнаружителя «D из M-R» 17 и на первый вход блока 18 обнаружения экстремума. На втором этапе с выхода обнаружителя «R из R» 16 на вход обнаружителя «D из M-R» 17, где $D=M-R-Error$, Error - допустимое число ошибок обнаружения, поступает сигнал разрешения работы, если
5 выполнены условия обнаружения в соответствии с критерием «R из R». Если за время 72 (фиг. 4) число ошибок обнаружения Error не превышает допустимого уровня, то сигнал разрешения работы с выхода обнаружителя «D из M-R» 17 поступает на второй вход блока 18 обнаружения экстремума. Если за время 72 были выполнены условия обнаружения в соответствии с критерием «D из M-R» 17, то сигнал разрешения работы
10 с выхода обнаружителя «D из M-R» 17 поступает на второй вход блока 18 обнаружения экстремума, и алгоритм кадровой синхронизации переходит на третий этап. В противном случае выполнение алгоритма кадровой синхронизации повторяется с первого этапа. На третьем этапе в течение времени 73 (фиг. 4) ожидается поступление признака смены знака производной с выхода дифференцирующего устройства 15 на первый вход блока
15 18 обнаружения экстремума. При обнаружении смены знака производной сигнала блок 18 обнаружения экстремума передает признак обнаружения смены знака производной сигнала на вход блока 19 разрешения работы детектора, который при этом вырабатывает сигнал, разрешающий работу детектора 14, и на соответствующий вход многоканального блока 13 символьной синхронизации. Если за время 73 признак смены
20 знака производной сигнала с выхода дифференцирующего устройства 15 на первый вход блока 18 обнаружения экстремума не поступил, следовательно, не была обеспечена кадровая синхронизация, то блок 19 разрешения работы детектора не вырабатывает сигнал, разрешающий работу детектора 14, и выполнение алгоритма кадровой синхронизации повторяется с первого этапа.

Символьная синхронизация осуществляется по максимальному амплитудному значению сигнала треугольной формы после цифрового ФНЧ 10. На первые N входов многоканального блока 13 символьной синхронизации поступают признаки смены знака производной сигнала с N выходов многоканального блока 11 кадровой синхронизации, на вторые N входов поступают задержанные на время обработки в
30 многоканальном блоке 11 кадровой синхронизации N потоков отсчетов с N выходов многоканальной линии задержки 12. Таким образом, признаки смены знака производной сигнала поступают на первые N входов блока 21 определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором. На вторые N входов блока 21 определения оптимального момента времени детектирования символа
35 и управления шинным селектором и N входов многоканальной линии задержки с $N \cdot V$ отводами 20 поступают цифровые потоки отсчетов с N выходов многоканальной линии задержки 12. В блоке 21 определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором сохраняется амплитудное значение и время фиксации отсчета, соответствующего смене знака производной сигнала, для каждого
40 из N выходных потоков отсчетов многоканальной линии задержки 12, затем находится максимальное значение среди зафиксированных N значений отсчетов, соответствующих смене знака производной сигнала. Иными словами, среди совокупности из N цифровых потоков отсчетов определяется один цифровой поток отсчетов, в котором найдено максимальное амплитудное значение сигнала среди зафиксированных N амплитудных
45 значений, соответствующих смене знака производной сигнала. Этот поток соответствует одной из S групп отсчетов, которые необходимо передать на P информационных входов детектора 14, отбросив при этом оставшуюся S-1 группу отсчетов. На каждый обрабатываемый символ приходится S отсчетов сигнала и соответственно S групп

отсчетов. Только один из S отсчетов сигнала является значащим, и соответственно только одна из S групп отсчетов является значащей. Номер значащей группы отсчетов определяется в блоке 21 определения оптимального момента детектирования символа и управления шинным селектором. Число значащих цифровых потоков отсчетов, принадлежащих группе, где было найдено максимальное амплитудное значение сигнала среди всех цифровых потоков отсчетов, на выходе многоканального блока 13 символьной синхронизации определяется как $P=N/S$.

Необходимость управления блоком 22 шинного селектора с помощью блока 21 определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором обусловлена двумя обстоятельствами. Во-первых, имеет место рассогласование частот опорных кварцевых генераторов на передающей и приемной сторонах системы передачи данных по оптическому каналу связи, что приводит к тому, что максимальное амплитудное значение сигнала переходит из одной группы отсчетов в другую в среднем с частотой биений кварцевых генераторов. По этой причине, необходимо осуществлять выбор из N цифровых потоков отсчетов и передавать на вход детектора 14 те P цифровых потоков отсчетов, которые соответствуют одной из 5 групп отсчетов, где было найдено максимальное амплитудное значение сигнала. Во-вторых, необходимо учесть, что признаки смены знака производной сигнала с N выходов многоканального блока 11 кадровой синхронизации поступают на первые N входов блока 21 определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором, в общем случае, в разные моменты времени. Тогда для упрощения структуры детектора 14 необходимо обеспечить, чтобы отсчеты с номерами $h=G+S \cdot p+N \cdot k$ в заданный момент времени k в пределах выбранной группы отсчетов G поступали на вход блока 22 шинного селектора одновременно. Одновременное поступление выбранной группы отсчетов G на вход блока 22 шинного селектора обеспечивается за счет использования V отводов многоканальной линии задержки с $N \cdot V$ отводами 20. При этом отсчет, поступивший в многоканальную линию задержки с $N \cdot V$ отводами 20 раньше, будет задержан на большее время, а отсчет, поступивший позже, будет задержан на меньшее время. Количество отводов V многоканальной линии задержки с $N \cdot V$ отводами зависит от временного интервала, который определяется максимальной ожидаемой задержкой появления максимального амплитудного значения сигнала относительно времени появления первого максимального амплитудного значения в процессе символьной синхронизации.

Данные с P выходов детектора 14 поступают на P входов декодера 23, где происходит обнаружение и исправление ошибок в каждом из P цифровых потоков отсчетов. В преобразователе 24 P цифровых потоков отсчетов подвергаются совместной обработке, в результате которой переданная с декодера информация приобретает необходимую для потребителя сообщения 25 форму.

Использованная литература:

1. Патент РФ на изобретение РФ №2454805, H04B 10/12, опубл. 27.06.2012.
2. Патент РФ на изобретение РФ №23311576 H04B 10/00, опубл. 10.08.2008.
3. http://marwww.in2p3.fr/lhcb/opto/LHCb%20notes/LHCb_2003_008.pdf - прототип.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Вильямс, 2003, с. 175.
5. Гринев А.Ю., Наумов К.П., Пресленев Л.Н. и др. Оптические устройства в радиотехнике. М.: Радиотехника, 2009, с. 264.

Формула изобретения

1. Способ передачи данных по оптическому каналу связи, включающий модуляцию

оптического сигнала, передачу модулированного сигнала по волоконно-оптической линии связи, демодуляцию оптического сигнала, преобразование демодулированного сигнала в удобную для поребителя информации форму и передачу этого сообщения потребителю, отличающийся тем, что производят обработку помехозащитным кодом цифровой информации, поступающей от источника сообщения, фильтрацию кодированной информации, аналоговую фильтрацию нижних частот сигнала после демодуляции, дискретизацию сигнала, затем производят кадровую синхронизацию, которую осуществляют после дискретизации и согласованной фильтрации в N канале путем дифференцирования сигнала и обнаружения нарастающего значения напряжения треугольной формы и содержащую три этапа длительностью T_1 , T_2 , T_3 , при этом на первом этапе производят накопление информации о положительном знаке производной сигнала треугольной формы и обнаружение нарастающего значения напряжения этого сигнала по критерию «R из R», на втором этапе продолжается накопление информации о положительном знаке производной сигнала и обнаружение нарастающего значения напряжения треугольной формы по критерию «D из M-R»; на третьем этапе при обнаружении смены знака производной сигнала в каждом из N каналов обработки запускается выполнение символьной синхронизации и детектирование сигнала, а при отсутствии смены знака производной сигнала или при превышении числом ошибок обнаружения нарастающего значения напряжения треугольной формы по критерию «D из M-R» допустимого уровня на втором этапе выполнения алгоритма кадровой синхронизации повторяется с первого этапа; производят символьную синхронизацию, заключающуюся в сохранении амплитудных значений и времени фиксации отсчетов сигналов треугольной формы в моменты времени, соответствующие смене знака производной сигнала в каждом из N каналов на выходе фильтра нижних частот, выборе максимального значения среди зафиксированных N значений отсчетов, соответствующих смене знака производной сигнала и выполнении операции шинного мультиплексирования $N \cdot V$ на P каналов обработки, используя информацию о максимальном амплитудном значении и времени фиксации отсчета, соответствующего смене знака производной сигнала, затем производят детектирование и декодирование сигнала.

2. Устройство передачи данных по оптическому каналу связи, содержащее последовательно соединенные источник сообщения, источник излучения с модулятором, волоконно-оптическую линию связи, демодулятор, преобразователь, потребитель сообщения, отличающееся тем, что в него дополнительно введены кодер, формирующий фильтр, последовательно включенные между источником сообщения и источником излучения с модулятором, аналоговый фильтр нижних частот, аналогово-цифровой преобразователь, блок цифровой обработки сигналов, декодер, последовательно включенные между демодулятором и преобразователем, при этом блок цифровой обработки сигналов содержит последовательно соединенные блок коммутации с прореживанием, вход которого соединен с выходом аналого-цифрового преобразователя, цифровой фильтр нижних частот, многоканальный блок кадровой синхронизации, многоканальный блок символьной синхронизации, детектор, при этом N выходов цифрового фильтра нижних частот подключены к соответствующим N входам многоканальной линии задержки, N выходов которой подключены к соответствующим N входам многоканального блока символьной синхронизации, первые N выходов многоканального блока кадровой синхронизации соединены с N входами разрешения работы детектора, а P выходов многоканального блока символьной синхронизации соединены с P информационными входами детектора, при этом каждый

из N каналов обработки многоканального блока кадровой синхронизации имеет последовательно соединенные дифференцирующее устройство, вход которого подключен к соответствующему выходу цифрового фильтра нижних частот, обнаружитель «R из R», обнаружитель «D из M-R», блок обнаружения экстремума, первый выход которого подключен к входу блока разрешения работы детектора, а второй выход подключен к соответствующему входу многоканального блока символьной синхронизации, при этом второй вход блока обнаружения экстремума и второй вход обнаружителя «D из M-R» подключены к выходу дифференцирующего устройства, выход блока разрешения работы детектора подсоединен к соответствующему входу разрешения работы детектора, при этом многоканальный блок символьной синхронизации содержит многоканальную линию задержки с $N \cdot V$ отводами, N входов которой соединены с N выходами многоканальной линии задержки, $N \cdot V$ отводов подключены к $N \cdot V$ информационным входам блока шинного селектора, при этом первые N входов блока определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором подключены к N выходам многоканального блока кадровой синхронизации, другие N входов блока определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором подключены к N выходам многоканальной линии задержки, выход блока определения оптимального момента времени детектирования символа и управления шинным селектором соединен с адресным входом блока шинного селектора, при этом P выходов блока шинного селектора подключены к P информационным входам детектора, при этом P выходов детектора являются выходами блока цифровой обработки сигналов, при этом P выходов блока цифровой обработки сигналов подключены к соответствующим P входам декодера.

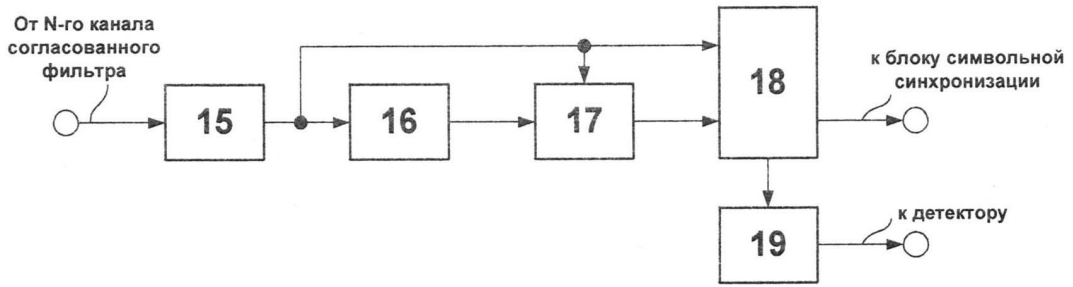
25

30

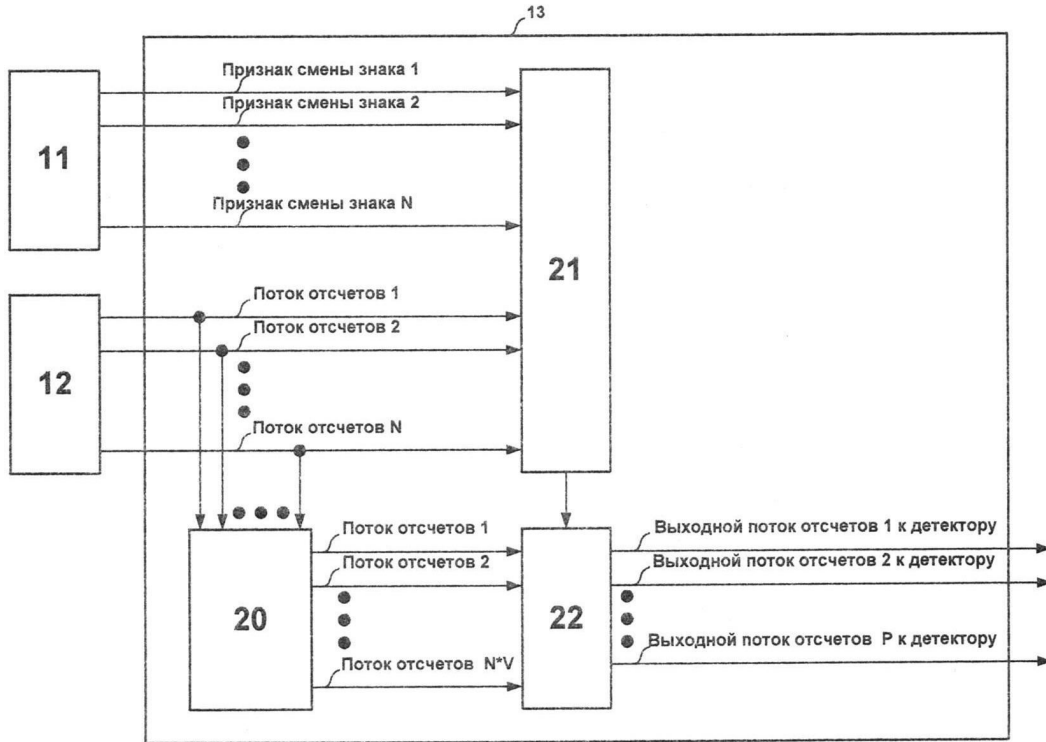
35

40

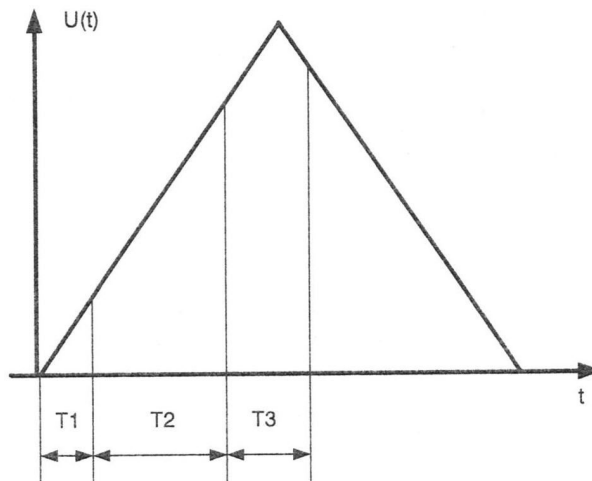
45



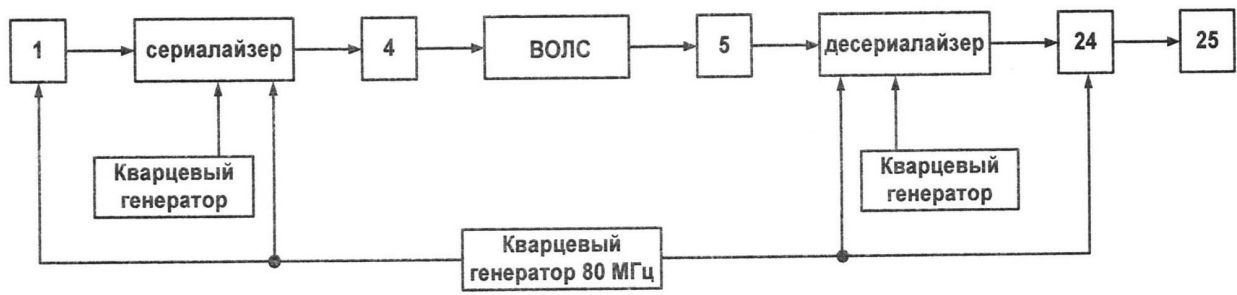
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5