

20. Sravnitel'nyy analiz effektivnosti algoritmov vydeleniya tochechnykh osobennostey pri izmenyayushchikhsya usloviyakh nablyudeniya [Comparative analysis of efficiency of algorithms of allocation of point features under varying conditions of observation], *Sbornik materialov mezhdunarodnykh nauchnykh e-simpoziumov: Tekhnicheskie i estestvennye nauki: teoriya i praktika. Rossiya, g. Moskva, 27–28 marta 2015 g.* [Proceedings of the international scientific e-workshops: Technical and natural science: theory and practice. Russia, Moscow, 27-28 March 2015], Ed. by K.E. Rumyantseva. Kirov: MTsNIP, 2015, pp. 123-141.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.А. Безуглов.

Румянцев Константин Евгеньевич – Южный федеральный университет; e-mail: rke2004@mail.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: +79281827209; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; д.т.н.; профессор; зав. кафедрой.

Петров Дмитрий Анатольевич – e-mail: dapetrov@sfedu.ru; тел.: 89085130319; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; ассистент.

Rumyantsev Konstantin Evgenievich – Southern Federal University; e-mail: rke2004@mail.ru; 2, Chekhova, Taganrog, 347922, Russia; phone: +79281827209; the department of information security of telecommunication; dr. of eng. sci.; professor; head of department.

Petrov Dmitriy Anatol'evich – e-mail: dapetrov@sfedu.ru; phone: +79085130319; the department of information security of telecommunication systems; assistant.

УДК 621.396.677

А.В. Помазанов, С.С. Шibaев, Д.П. Волик

МАКЕТ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОПТОВОЛОКОННОГО УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ

В статье приведено описание макета системы управления модулями фазированных антенных решеток (ФАР) с использованием технологии передачи радиосигналов по оптическим волокнам, изготовленного и исследованного сотрудниками лаборатории «Нанопластики и оптоэлектроники» Южного федерального университета. Актуальность использования волоконнооптических линий связи для управления многоэлементными антенными системами объясняется необходимостью передачи большого объема информации на значительные расстояния, когда пункты управления обычно значительно удалены от излучающих элементов. В итоге, СВЧ линии передач уступают радиооптическим по многим параметрам, среди которых прежде всего, информационная емкость, затухание передаваемых сигналов, помехозащищенность, массогабаритные и стоимостные характеристики линий связи. Разработанный макет состоит из двух блоков, соединенных двумя одномодовыми волоконнооптическими кабелями, между которыми осуществляется передача СВЧ сигналов в диапазоне частот 1400..2400 МГц, как гармонических синхронных непрерывных сигналов, так и модулированных сигналами управления антенных модулей. Контроль рабочих режимов и работоспособности разработанной системы управления двумя передающими модулями антенной решетки, осуществлялся посредством персональных компьютеров (ПК), один из которых был подключен к передающему блоку макета, а другой – к приемному. На приемный ПК передавались коды амплитуд квадратурных каналов фазового детектора, по которым производился расчет контролируемого фазового сдвига. В результате погрешность установки межканального сдвига фаз во всем диапазоне рабочих частот макета, не превышала $\pm 5^\circ$. Как показал анализ, основными источниками фазовой погрешности являются в равной мере и фазовращатели, и система контроля, поэтому полученную погрешность можно считать несколько завышенной.

Радиооптическая линия связи; радиолокация; фазированные антенные решетки; излучатель; фазовый сдвиг; квадратурный детектор; фазовращатель.

A.V. Pomazanov, S.S. Shibaev, D.P. Volik

PROTOTYPE OF PHASED ARRAY REMOTE FIBEROPTIC CONTROL SYSTEM

In the article description of phased arrays element control prototype with use of technology of radiosignals transfer through optic fibers is given. This prototype has been made and researched in laboratory of "Nanophotonics and optoelectronics" of Southern federal university. Currency of fiberoptic communication lines use for multielement antenna systems control is explained with large amount of information transfer necessity at big distances when control places are quite remote from emitting elements. As a result SHF transfer lines are worse than radiooptic ones by many parameters between which are: informational capacity, attenuation, noise protection, mass, weight and cost. Developed prototype consists of two modules, connected with two single mode fiberoptic cables with communication between them in frequency range 1400..2400 MHz of both harmonic synchronous continuous signals, and modulated with antenna modules control signals ones. The control of working modes and of two emitting modules managing system functionality is provided with personal computers (PC). One PC was connected to transmitter, another one – to receiver. At receiver PC the phase detector quadrature channels amplitude codes are transferred and on the base of them phase shift calculation was carried out. As a result, error of through channel phase shift setting in whole frequency range did not exceed ± 5 degrees. And as analysis showed, basic phase error sources are pari passu both phase shifters and control systems, so this error may be counted somewhat overrated.

Radiooptic communication line; radiolocation; phased arrays; emitter; phase shift; quadrature detector; phase shifter.

Введение. В радиолокации и радиоастрономии находят всё более широкое применение антенные системы с немеханическим управлением их диаграммой направленности, которое осуществляется изменением фазовых соотношений между отдельными составляющими антенных решеток. Зачастую расстояние между пунктом управления и фазированной антенной решеткой (ФАР) может достигать нескольких километров. В данном случае возникают трудности при передаче высокочастотных радиосигналов между базовой станцией и антенными модулями, так как коаксиальные линии передачи радиосигналов имеют значительные потери на таких расстояниях, а также внушительные массогабаритные параметры. Точность и разрешающая способность установки максимума диаграммы направленности ФАР пропорциональна количеству входящих в нее элементов, поэтому существующие антенные системы имеют до нескольких сотен элементов в своем составе. Кроме радиочастотных зондирующих сигналов между пунктом управления и каждым элементом ФАР необходимо обеспечить передачу цифровых сигналов управления и контроля его работоспособности.

Развитие техники пассивных и активных волоконнооптических элементов и линий передач позволяет в данный момент активно использовать их в диаграммообразующих системах (ДОС) ФАР. Использование волоконнооптических элементов в данных системах позволяет минимизировать потери энергии, искажения сигналов и массогабаритные параметры ДОС.

Использование оптических технологий в антенной технике изучается многими специалистами. Особенно активно волоконнооптические технологии передачи радиосигналов используются в системах сотовой связи [1–3], где наблюдается массовое внедрение данного подхода, позволяющее в полной мере оценить его преимущества. Существует большое количество работ, посвященных как использованию элементной базы для построения таких систем [4–7], так и разработке антенных комплексов [8, 9], выпущены специальные практические рекомендации для их реализации [10]. Наиболее изучены вопросы, посвященные способам модуляции-демодуляции оптического сигнала, активно изучаются методы получения и обработки радиосигналов с помощью оптических элементов, и технологии их получения.

Целью настоящей статьи является описание разработанного макета системы управления модулями фазированных антенных решеток (ФАР) с использованием технологии передачи радиосигналов по оптическим волокнам и исследование его характеристик.

Описание макета. Разработанное устройство конструктивно состоит из двух блоков: передатчика и приемника, соединенных между собой двумя волоконнооптическими каналами. Макет работает в двух режимах: передача цифровых 8 битных сигналов на СВЧ и оптических поднесущих (режим 1), а также передача по двум каналам гармонических сигналов с их последующей обработкой и передачей на излучающие модули (режим 2).

Передающее устройство (ПУ) задает режим работы макета и формирует типы передаваемых сигналов. Диапазон Δf перестройки частоты сигнала составляет 1400..2400 МГц с дискретностью 1 МГц. Данные сигналы могут передаваться либо в виде гармонических функций, либо дополнительно модулироваться многобайтной цифровой последовательностью с частотой десятки килогерц. Эта последовательность служит для установки фазового сдвига между каналами макета. Источником гармонического ВЧ сигнала является плата синтезатора на чипе ADF4350 [11], частота и уровень выходного сигнала которого изменяется посредством SPI интерфейса. Сигнал синтезатора делится на два синхронных канала и для формирования цифровых управляющих последовательностей подвергается модуляции при помощи коммутаторов (K1, K2) MASWSS0169 [12], показавших хорошую идентичность образцов по комплексным коэффициентам передачи, а также высокую степень межканальной изоляции, достигающую 50 дБ. Для передачи радиосигналов по волоконным кабелям использовались модули RFoF-2.4G-311 [13].

Управление элементами передающего модуля и связь его с ПК по интерфейсу USB осуществляется платой контроллера, ядром которой послужил 32-разрядный микроконтроллер STM32F103RET6 фирмы STMicroelectronics. В задачи платы контроллера входит также и питание входящих в передатчик компонентов. На рис. 1 приведена упрощенная схема передающего модуля, а на рис. 2 – фотография верхней части передатчика, на которой хорошо видно расположение описанных элементов.

Приемная часть макета имеет более сложную структуру, что объясняется её функциональным назначением. Структурная схема приемника приведена на рис. 3.

Приемник имеет 2 оптических входа, соединенных с оптическими выходами передатчика одномодовыми кабелями на основе оптического волокна SMF-28, полностью совместимого со стандартным одномодовым волокном (группа G.652 по классификации ITU-T), имеет самые низкие потери среди известных волокон (не более 0,31 дБ/км), предназначенных для наземных систем связи и самую низкую поляризационно-модовую дисперсию (не более 18,0 пс/(нм²·км)) среди волокон группы G.652 [14]. Кроме этого имеется USB интерфейс для подключения ПК, хотя вычислительная система, при необходимости, может быть подключена также по волокну. Приемник включает два идентичных канала питания и управления двумя модулями ФАР. На входе располагаются приемные радиооптические модули (ПРОМ) из приемо-передающего комплекта RFoF-2.4G-311, осуществляющие восстановление радиосигналов, сформированных передатчиком. Делители на выходах ПРОМ служат для обеспечения режима 1, когда используются амплитудные детекторы (АД) и режима 2, в котором радиосигнал питает по ВЧ антенные элементы и частично используется в цепи обратной связи, построенной на квадратурном фазовом детекторе (КФД).

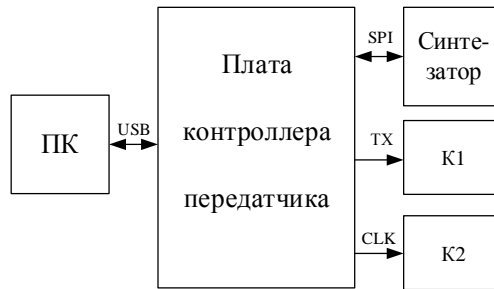


Рис. 1. Структура передатчика

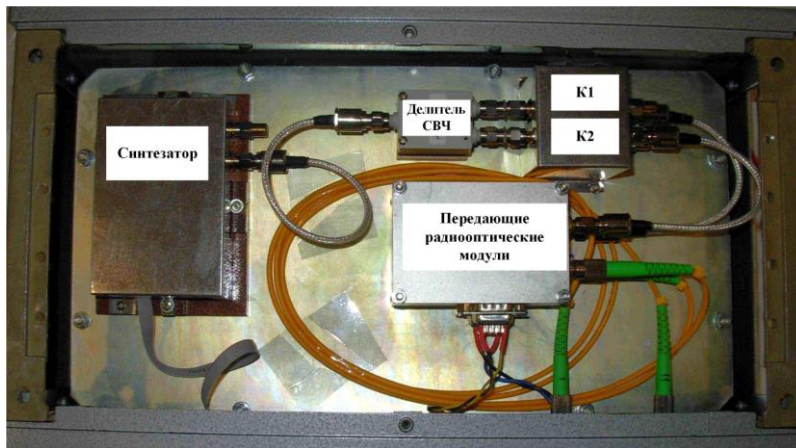


Рис. 2. Внутреннее расположение элементов передатчика

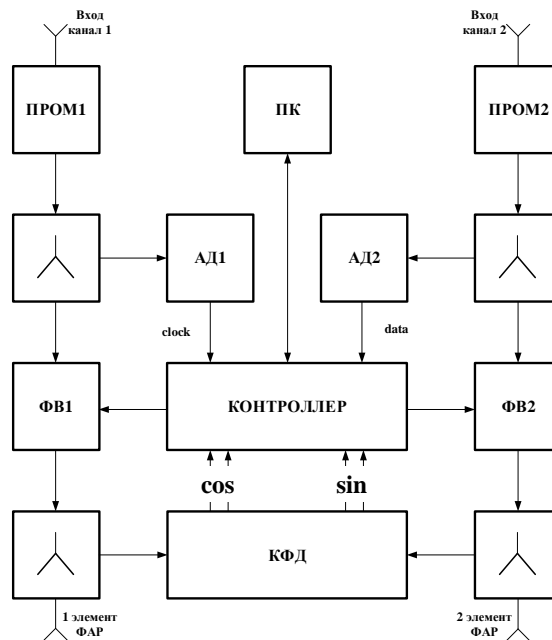


Рис. 3. Структурная схема приемника

Контроллер используется для питания элементов приемника, управления фазовращателями (ФВ), приема и предварительной обработки сигналов от АД и КФД. Продетектированные в АД1 и АД2 в режиме 1 импульсные последовательности для двух разных значений управляющих кодов (data) показаны на рис. 4.

В нижней части осциллограмм показаны синхронизирующие сигналы (clock) на частоте 10 кГц.

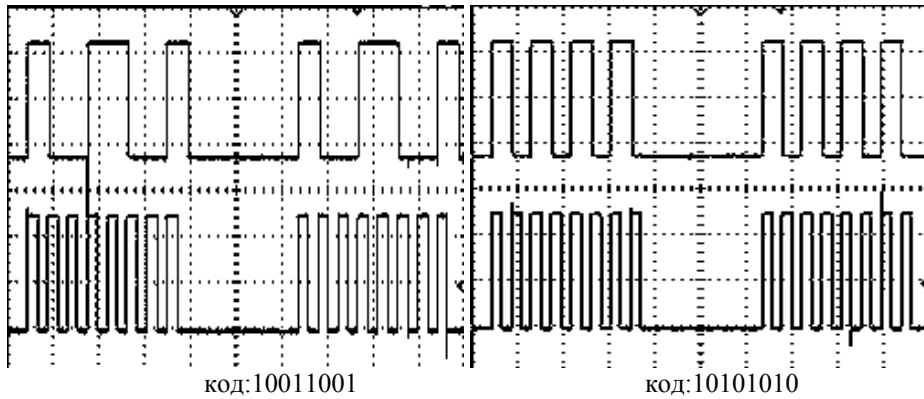


Рис. 4. Осциллограммы управляющих сигналов на выходах АД

Фазовращатели MAPS-010163SMB [15] (ФВ1 и ФВ2) с 6-ти разрядным управлением обеспечивают изменение фазового сдвига в каждом канале от нуля до $354,375^\circ$ с дискретностью $5,625^\circ$.

В результате отдельных от макета испытаний ФВ в диапазоне Δf получены частотные зависимости точности $\delta\varphi$ установки фазового сдвига $\Delta\varphi$ (который задавался с шагом $22,5^\circ$ от нуля до $337,5^\circ$) и коэффициента передачи по мощности K_p для указанных $\Delta\varphi$. Эти характеристики приведены на рис. 5,а,б, соответственно.

К одному из плеч каждого из выходных делителей через оконечные усилители (на рис. 3 не показаны) подключаются излучатели ФАР. На выходе вторых плеч установлен КФД для контроля фазового сдвига.

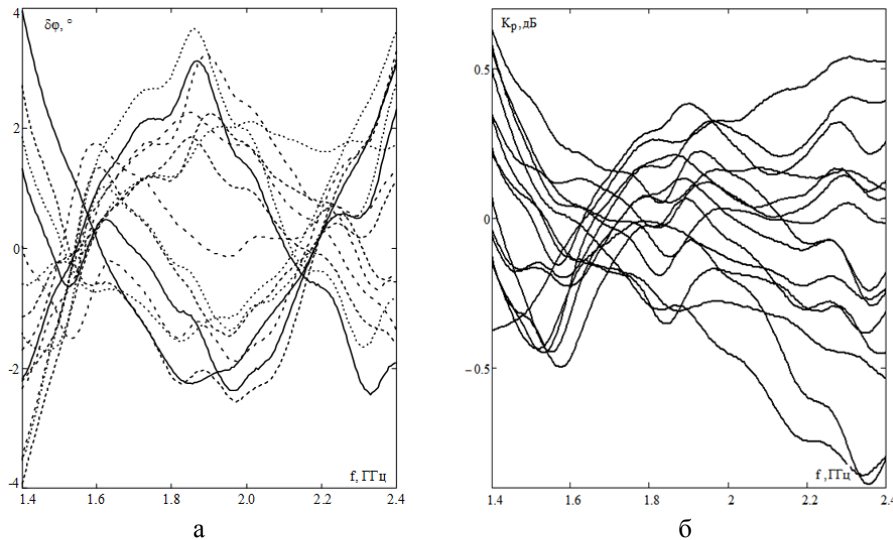


Рис. 5. Зависимости $\delta\varphi(f)$ и $K_p(f)$ фазовращателя

Информация о полученном фазовом сдвиге передается с выходов КФД, в котором производится выделение сигнала разностной (в рассматриваемом случае нулевой) частоты. Сигналы на выходах КФД – дифференциальные, синфазный и квадратурный, т.е. пропорциональны косинусу и синусу разности фаз между каналами. Эти сигналы поступают на вход контроллера, который выполнен на основе аналогичного используемому в передатчике микроконтроллера.

Оцифрованные в контроллере прямой и квадратурный сигналы в виде 24-разрядных кодов передаются в ПК, где подвергаются дальнейшей обработке с целью выделения информации об измеренном фазовом сдвиге.

В макете используется плата КФД на базе AD8347[16], обеспечивающего в диапазоне рабочих частот точность установки квадратурного канала равную 1° . Принципиальная схема платы КФД показана на рис. 6.

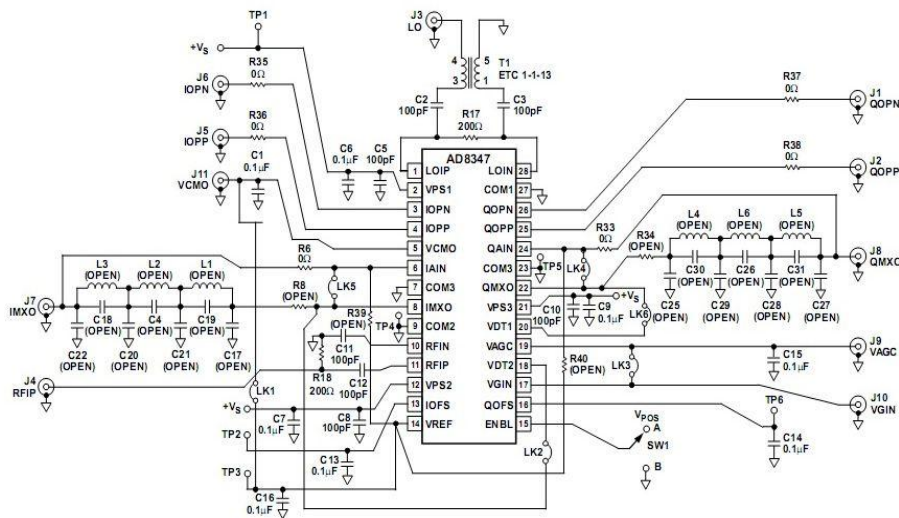


Рис. 6. Принципиальная схема платы квадратурного детектора

Радиосигнал одного канала подается на сигнальный (основной) вход RFIP, второго – на гетеродинный (опорный) вход LO. Сигнал основного канала усиливается и поступает на два гильбертовых смесителя. Опорный сигнал, претерпевая соответствующую трансформацию, также приходит на смесители, где, совместно с основным сигналом, формирует синфазный (I) и квадратурный (Q) каналы разностной частоты.

С выходов смесителей сигналы проходят через видеосуслители (ВУ) с дифференциальными выходами IOPP/IOPN (I-канал) и QOPP/QOPN (Q-канал). Вся усилительная цепь КФД подключена к системе регулировки усиления посредством подачи на вывод VGIN платы постоянного напряжения в диапазоне 0,2..1,2 В, что соответствует изменению усиления на 70 дБ. Фотография основных узлов приемника представлена на рис. 7.

В качестве основной характеристики всего макета целесообразно принять зависимость погрешности $\delta\varphi$ установки фазового сдвига $\Delta\varphi$ от самого $\Delta\varphi$ на различных частотах. Данная характеристика приведена на рис. 8, из которого следует, что величина $\delta\varphi$ не превышает $\pm 5^\circ$.

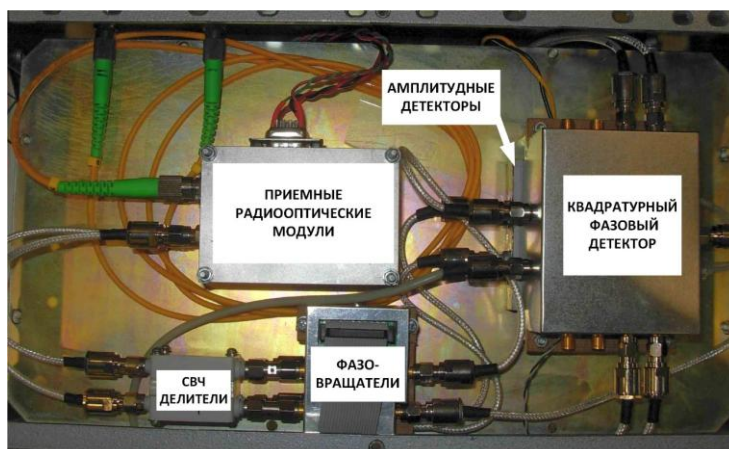


Рис. 7. Внутренние узлы приемника

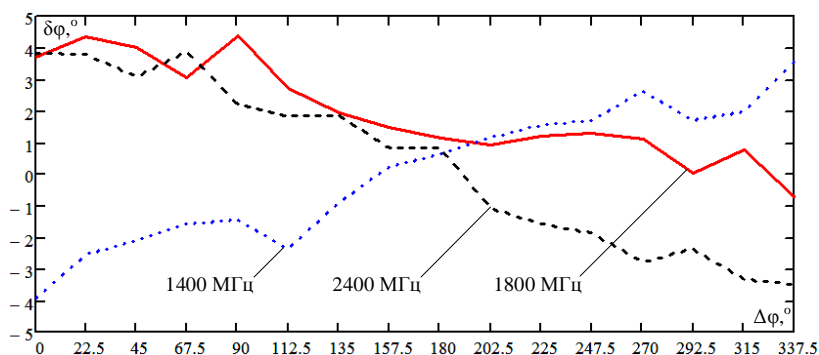


Рис. 8. Фазовые погрешности макета

Основными источниками погрешностей являются ошибки установки фазы в фазовращателях, неидентичность частотных зависимостей коэффициентов передачи каналов, неравномерность частотных характеристик КФД, а также погрешности алгоритма обработки сигналов КФД (величина алгоритмической погрешности составляет около $\pm 2^\circ$). Очевидно, что погрешность установки фазы на элементах ФАР будет определяться лишь первыми двумя составляющими.

Заключение. Разработанный макет способен выполнять задачу имитации управления и ВЧ питания элементов ФАР по оптическому волокну. Может служить стендом для испытаний подобных систем в условиях электромагнитных воздействий, а также для отработки аппаратурного и алгоритмического обеспечений. При необходимости миниатюризации возможна реализация передатчика и приемника целиком на отдельных платах.

Получены экспериментальные зависимости погрешности $\delta\varphi$ установки фазового сдвига $\Delta\varphi$ от самого $\Delta\varphi$ на различных частотах, что может быть использовано для калибровки макета и учета систематических погрешностей установки фазового сдвига.

Для обеспечения калибровки макета в частотном диапазоне, он может быть связан с внешним быстродействующим частотоопределяющим устройством, например, на основе акустооптических измерителей [17–20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Переверзев А.А.* Метод структурно-параметрического синтеза беспроводной сети доступа с использованием технологии RadiooverFiber // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 1 (10). – С. 13-26.
2. *Mohammad Shaifur Rahman, Jung Hyun Lee, Youngil Park, and Ki-Doo Kim.* Radio over Fiber as a Cost Effective Technology for Transmission of WiMAX Signals // World academy of science, engineering and technology. – 2009. – Vol. 32. – P. 424-428.
3. *Dang B.L. et al.* Radio-over-Fiber based architecture for seamless wireless indoor communication in the 60 GHz band // Computer communications. – 2007. – No. 30. – P. 3598-3613.
4. *Денисюк И. Ю., Аснис Л.Н., Фокина М.И., Собошук Н.О.* Применение элементов фотоники в специальной аппаратуре. – СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2008. – 122 с.
5. Использование ВОЛС вместо коаксиальных кабелей расширяет возможности беспроводных систем // Wireless Ukraine. – 2010. – № 5.
6. *Бахрах Л.Д., Блискавицкий А.А.* Применение лазеров и волоконно-оптических систем для управления формирования СВЧ сигналов и их распределения в антенных решетках // Квантовая электроника. – 1988. – Т. 15, № 5.
7. *Арбузова Е.Ю., Волкова К.А., Волков К.А и др.* Передача сигнала “Radio-over-fiber” по ВОЛП в режиме плотного управления дисперсией // Инфокоммуникационные технологии. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 19-23.
8. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.П. Канашенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.
9. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: Учебное пособие для вузов / Под ред. Д.И. Воскресенского. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.
10. *Цуканов В.А., Яковлев М.Я.* Волоконно-оптическая техника. Практическое руководство. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 304 с.
11. <http://www.analog.com/ru/products/rf-microwave/pll-synth/adf4350.html>.
12. http://www.generatsiya.ru/files/PI1470%20rus_Mar'2010.pdf.
13. http://cdn.macom.com/datasheets/MASWS0169_V3.pdf.
14. <http://cdn.rfoptic.com/wp-content/uploads/RFOF-2.4.pdf>.
15. <http://www.macom.com/products/product-detail/MAPS-010163.pdf>.
16. <http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/AD8347.pdf>.
17. *Шибяев С.С., Помазанов А.В., Роздобудько В.В.* Акустооптические измерители параметров радиосигналов: Монография. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – 233 с.
18. *Волик Д.П., Шибяев С.С., Помазанов А.В.* Принципы построения и реализация акустооптических измерителей параметров радиосигналов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 11 (148). – С. 175-182.
19. *Шибяев С.С., Новиков В.М., Волик Д.П., Роздобудько В.В.* Малогабаритный акустооптический измеритель параметров радиосигналов // Вопросы специальной радиоэлектроники. Общие вопросы радиоэлектроники. – 2009. – Вып. 1. – С. 83-90.
20. *Шибяев С.С., Волик Д.П., Роздобудько В.В.* Акустооптический приемник-частотомер на основе дефлектора с противофазным возбуждением ультразвука // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2008. – Вып. 4. – С. 32-38.

REFERENCES

1. *Pereverzev A.A.* Metod strukturno-parametricheskogo sinteza besprovodnoy seti dostupa s ispol'zovaniem tekhnologii RadiooverFiber [Method of structural-parametric synthesis of wireless network access using technology RadiooverFiber], *Problemy telekommunikatsiy* [Telecommunications Problems], 2013, No. 1 (10), pp. 13-26.
2. *Mohammad Shaifur Rahman, Jung Hyun Lee, Youngil Park, and Ki-Doo Kim.* Radio over Fiber as a Cost Effective Technology for Transmission of WiMAX Signals, *World academy of science, engineering and technology*, 2009, Vol. 32, pp. 424-428.
3. *Dang B.L. et al.* Radio-over-Fiber based architecture for seamless wireless indoor communication in the 60 GHz band, *Computer communications*, 2007, No. 30, pp. 3598-3613.

4. *Denisyyuk I. Yu., Asnis L.N., Fokina M.I., Sobeshchuk N.O.* Primenenie elementov fotoniki v spetsial'noy apparature [The use of photonics in a special apparatus]. Saint-Petersburg: Izd-vo SPbGUITMO, 2008, 122 p.
5. Ispol'zovanie VOLS vmesto koaksial'nykh kabeley rasshiraet vozmozhnosti besprovodnykh sistem [The use of fiber optic links instead of coaxial cables extends the capabilities of wireless systems], *Wireless Ukraine*, 2010, No. 5.
6. *Bakhrakh L.D., Bliskavitskiy A.A.* Primenenie lazerov i volokonno-opticheskikh sistem dlya upravleniya formirovaniya SVCh signalov i ikh raspredeleniya v antennoykh reshetkakh [The use of lasers and fiber optic systems to control the formation of microwave signals and their distribution in antenna arrays], *Kvantovaya elektronika* [Quantum Electronics], 1988, Vol. 15, No. 5.
7. *Arbuzova E.Yu., Volkova K.A., Volkov K.A i dr.* Peredacha signala "Radio-over-fiber" po VOLP v rezhime plotnogo upravleniya dispersiei [Signal transmission "Radio-over-fiber" in the FOL in the regime of dense dispersion management], *Infokommunikatsionnye tekhnologii* [Infocommunication Technologies], 2012, Vol. 10, No. 4, pp. 19-23.
8. Aktivnye fazirovannye antennoye reshetki [Active phased antenna arrays], Ed. by D.I. Voskresenskogo i A.P. Kanashchenkova. Moscow: Radiotekhnika, 2004, 488 p.
9. Ustroystva SVCh i antennoye. Proektirovanie fazirovannykh antennoykh reshetok: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Microwave devices and antennas. Design of phased antenna arrays: a textbook for high schools], Ed. By D.I. Voskresenskogo. 4th ed. Moscow: Radiotekhnika, 2012, 744 p.
10. *Tsukanov V.A., Yakovlev M.Ya.* Volokonno-opticheskaya tekhnika. Prakticheskoe rukovodstvo [Fiber-optic technology. A practical guide]. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2014, 304 p.
11. Available at: <http://www.analog.com/ru/products/rf-microwave/pll-synth/adf4350.html>.
12. Available at: http://www.generatsiya.ru/files/PI1470%20rus_Mar'2010.pdf.
13. Available at: http://cdn.macom.com/datasheets/MASWSS0169_V3.pdf.
14. Available at: <http://cdn.rfoptic.com/wp-content/uploads/RFOF-2.4.pdf>.
15. Available at: <http://www.macom.com/products/product-detail/MAPS-010163.pdf>.
16. Available at: <http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/AD8347.pdf>.
17. *Shibaev S.S., Pomazanov A.V., Rozdobud'ko V.V.* Akustoopticheskie izmeriteli parametrov radiosignalov: Monografiya [Acousto-optical measuring parameters of radio signals: Monograph]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2014, 233 p.
18. *Volik D.P., Shibaev S.S., Pomazanov A.V.* Printsipy postroeniya i realizatsiya akustoopticheskikh izmeriteley parametrov radiosignalov [RADIOSIGNALS PARAMETERS ACOUSTOOPTIC MEASURERS IMPLEMENTATION PRINCIPLES], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 11 (148), pp. 175-182.
19. *Shibaev S.S., Novikov V.M., Volik D.P., Rozdobud'ko V.V.* Malogabaritnyy akustoopticheskiy izmeritel' parametrov radiosignalov [Compact acousto-optic measuring parameters of radio signals], *Voprosy spetsial'noy radioelektroniki. Obshchie voprosy radioelektroniki* [Questions of special radio electronics. General issues of radio electronics], 2009, Issue 1, pp. 83-90.
20. *Shibaev S.S., Volik D.P., Rozdobud'ko V.V.* Akustoopticheskiy priemnik-chastotomer na osnove deflektora s protivofaznym vzbuzhdeniem ul'trazvuka [Acoustooptic receiver-cymometer on the base of deflector with anti-phase excitation of ultrasound], *Izvestiya vuzov Rossii. Radioelektronika* [Proceedings of the Russian Universities: Radioelectronics], 2008, Issue 4, pp. 32-38.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Марчук.

Помазанов Александр Васильевич – Южный федеральный университет; e-mail: pav_tsure@mail.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; тел.: 88634312482; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; к.т.н.; доцент.

Шибяев Станислав Сергеевич – e-mail: sheab@list.ru; лаборатория нанофотоники и оптоэлектроники; с.н.с.; к.т.н.

Волик Денис Петрович – e-mail: DVLbest@mail.ru; кафедра радиотехнической электроники; ассистент.

Pomazanov Alexander Vasilievich – SouthernFederalUniversity; e-mail: pav_tsure@mail.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634312482; the department of telecommunication systems information security; associate professor; cand. of eng. sc.

Shibaev Stanislav Sergeevich – e-mail: sheab@list.ru; laboratory of nanophotonics and optoelectronics; senior scientist; cand. of eng. sc.

Volik Denis Petrovich – e-mail: DVLbest@mail.ru; the department of radioengineering electronics; assistant.

УДК 681.3.069, 681.324

С.А. Ховансков, О.Р. Норкин, С.С. Парфенова, В.С. Хованскова

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СВЯЗЕЙ НА СЕТЕВЫХ КОМПЬЮТЕРАХ ПУТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ*

Статья посвящена вопросу сокращения времени решения задачи построения связывающих деревьев цепей на дискретном рабочем поле. Предлагается алгоритм построения связывающих деревьев ориентированный на использование распределенных вычислений. При построении связей выполняется передача метки связи из помеченного дискрета поля в соседний свободный. Связь считается построенной, если непрерывная последовательность помеченных дискретов соединила два контакта. В качестве вычислительной среды была выбрана неоднородная компьютерная сеть. Алгоритм разрабатывался так, чтобы он выполнялся на нескольких сетевых вычислительных узлах. При его выполнении каждый вычислительный узел может работать независимо друг от друга, и процесс построения всех связывающих деревьев цепей на коммутационном рабочем поле выполняется на всех вычислительных узлах одновременно. При этом процесс выполнения алгоритма использует особенности взаимодействия вычислительных узлов в сети и достоинства организации децентрализованных распределенных вычислений. Для организации децентрализованных распределенных вычислений было предложено использовать технологию мобильных агентов. Проведенная оценка сокращения времени построения связывающих деревьев цепей при использовании мобильных агентов показала, что эффективность применения распределенной вычислительной системы, организованной по разработанному алгоритму повышается с увеличением количества строящихся цепей. Однако для решения задачи с заданными параметрами использование больше определенного количества компьютеров приводит к снижению эффективности распределенной системы. Как показал анализ эффективности применения распределенной вычислительной системы, основной причиной снижения показателя сокращения времени решения, при дальнейшей увеличении количества используемых вычислительных узлов является увеличение количества обменов между ними.

Распределенные вычисления; трассировка; вычислительный процесс; организация вычислений.

S.A. Khovanskov, O.R. Norkin, S.S. Parfenova, V.S. Khovanskova

THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTING LINKS COMPUTERS ON A NETWORK THROUGH DISTRIBUTED COMPUTING

The article is devoted to solving the problem of reducing the time of construction of the spanning tree on the discrete circuits working field. The algorithm for constructing the spanning tree-oriented use of distributed computing is offered. Transfer label marked increment of the communication field in the adjacent free runs when links are building. Communication is considered to be built, if a continuous sequence of discrete labeled joined two contacts. Heterogeneous computer network has been selected as the computing environment. The algorithm is designed for

* Работа выполнена на основе гос. задания Минобрнауки РФ № 213.01-11/2014-9.