

УДК 004.732

**И.Ю. Поляков, А.Н. Клименко, Д.Д. Зыков, П.В. Чеботаев,
А.А. Шелупанов, Ю.О. Мякочин**

Современное состояние проблемы передачи данных в гетерогенных системах связи

Целью данной статьи является исследование гетерогенных систем связи, основанных на совместном использовании PLC- и RF-технологий. В ходе работы были выявлены основные проблемы, возникающие при использовании PLC- и RF-технологий, были определены требования к топологии гетерогенных сетей такого типа и к их надежности. В процессе исследования были изучены существующие сетевые протоколы маршрутизации, применимые к PLC/RF-сетям. На основании полученной информации была составлена сравнительная характеристика протоколов маршрутизации. Результатом проведенного исследования является аналитический обзор современной научной, технической, нормативной и методической литературы в области гетерогенных систем связи. На основании данного аналитического обзора были сформулированы основные требования к способам организации PLC/RF-сети и выбран оптимальный протокол маршрутизации.

Ключевые слова: mesh, plc, rf, сеть, система, узел, протокол, передача данных.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-3-177-180

Данная статья посвящена исследованию гетерогенных систем связи. В ходе исследования были рассмотрены области применения гетерогенных систем связи, используемые ими среды передачи данных и основные проблемы, возникающие при их эксплуатации. В процессе изучения были рассмотрены базовые основы компоновки сети, существующие стандарты и протоколы, использующиеся в гетерогенных системах связи. Эти решения, в свою очередь, используются для исследования и разработки комплексов научно-технических решений, направленных на создание отказоустойчивых самоорганизующихся гетерогенных систем связи, разработанных на базе отечественных элементов и применяемых в инфокоммуникационных сетях.

Под гетерогенностью понимается одновременное использование двух и более каналов передачи данных. На наш взгляд, одной из наиболее интересных связей является PLC (Power Line Communication)/RF (Radio Frequency). Гибридная реализация технологии PLC и RF является эффективной, т.к. использование одного канала не может гарантировать надежность передачи данных.

Проблемы гетерогенных систем связи

Распространенная проблема подобных систем заключается в необходимости использования промежуточных узлов ретрансляции. Это увеличивает время передачи информации, вследствие чего происходит снижение полезного объема передаваемого трафика за единицу времени. Данная проблема приводит к необходимости ограничивать количество узлов в одном кластере. При построении гетерогенных систем связи необходимо учитывать следующие проблемы:

- конфликты данных в разных каналах связи;
- сложность построения корректной модели гетерогенной инфокоммуникационной системы;
- аппаратная реализация гетерогенной системы.

Проблемы использования PLC

Организация передачи информации с использованием в качестве физического канала связи линии электросети несет ряд затруднений ввиду того, что изначально данные сети не предназначались для передачи данных. Они характеризуются быстрым затуханием высокочастотного сигнала, большим уровнем помех и постоянным изменением параметров канала.

Использование силовых линий электросети в качестве надежной среды передачи данных является непростой задачей. Изношенность электропроводки и ее низкое качество, использование скруток в качестве соединения проводов негативно влияют на передачу информации в многоквартирных домах старой постройки. В таких домах часто в качестве основного металла проводки брался алюминий, который обладает меньшей электропроводностью в сравнении с медью. Соответственно, лучше всего технология PLC будет работать в новых домах, в которых, как правило, применяются современные технологии и проводка из меди [1].

На достоверность передачи данных сильное влияние оказывают помехи от различных электроприборов, ламп дневного освещения и прочих факторов, создающих помехи в проводах. Наибольший вклад вносят импульсные помехи, возникающие при работе электродвигателей, сварочного оборудования и СВЧ-печей. Однако надежные методы кодирования и шифрования данных, применяемые в современных PLC-технологиях, обеспечивают не только высокий уровень достоверности при передаче информации, но и ее защиту от несанкционированного доступа.

При организации связи также должна быть обеспечена электромагнитная совместимость, т.е. необходимо снижать побочные электромагнитные излучения, возникающие в процессе передачи данных [2].

Во многом ориентация PLC-технологии на применение в малых и домашних офисах (Small Office/Home Office – SOHO) обусловлена не только простотой реализации и мобильностью устройств на ее базе, но и тем, что данная технология наиболее эффективна только на участке так называемой последней мили. Скорость передачи данных резко снижается при увеличении расстояния [3].

Проблемы использования RF

В свою очередь RF-связь, как и PLC, имеет свои недостатки. Во-первых, RF-связь доступна далеко не каждому, т.к. радиочастотный спектр ограничен и не является достаточно большим, чтобы вместить всех желающих. Существует физическое ограничение на количество станций, которые могут работать одновременно, не мешая друг другу. К тому же связь с использованием промышленной полосы частот недостаточна надежна. Во-вторых, возможности RF-связи ограничены, и поэтому дороже в реализации или в лицензировании частот [4]. Другая проблема связана с значительным ослаблением сигнала на больших расстояниях, из этого вытекает необходимость избыточного количества ретрансляторов сетевого оборудования.

Если рассматривать использование разрешенного диапазона 430–435 МГц, то с вероятностью около 3% наблюдается шесть источников помех с максимальной мощностью минус 38 дБм. Общая вероятность наблюдения радиопомехи в этом частотном диапазоне составляет в среднем около 6% [5].

Требования по надежности

При построении гетерогенных систем необходимо понимать, какие требования по надежности выдвигаются регулируемыми органами.

Технологии RF и PLC должны соответствовать определенным требованиям. Для PLC применимы следующие ограничения в области связи:

- рабочий диапазон частот для узкополосных PLC должен быть от 0 до 500 кГц, для широкополосных PLC – от 2 до 200 МГц;

- для предоставления широкополосного доступа коммунальным службам должна использоваться технология BPL (Broadband over Power Line) с соответствующей политикой и лицензией [3].

Для RF связи:

- частота полосы пропускания должна соответствовать M2M/IoT/IoE [4]. Допускается использование разных частот в пределах данного частотного диапазона от 1 до 16 МГц. Рекомендательный диапазон для маломощных устройств, использующих RF-технологии, составляет 10–12 МГц. Для эффективного преодоления сигналом препятствия рекомендуется выделить полосу частот в нижнем диапазоне (<1 ГГц), обеспечивая большую дальность переноса сигнала;

- в соответствии с National Frequency Allocation Plan (NEAP) 2011 частотный диапазон свыше 35 МГц отводится для Public Mobile Radio Trunked Systems (PMRTS) и Captive Mobile Radio Trunked Systems (CMRTS) [6]. Свободный спектр диапазона частот, находящийся в пределах 865–867 МГц.

Сетевая топология

Сетевая топология описывает конфигурацию сети, соединение узлов и их расположение. В целом топологии можно разделить на полносвязные и неполносвязные. Полносвязная топология характеризуется громоздкостью и неэффективностью, так как требует физического соединения каждого устройства с остальными участниками сети. Неполносвязные топологии характеризуются отсутствием полноценной связи, соответственно передача данных осуществляется не напрямую между устройствами сети, а через дополнительные узлы. Неполносвязная топология может быть реализована в виде:

- шины (bus);
- звезды (star);
- кольца (ring);
- ячеистой топологии (mesh).

В случае подключения узлов вдоль одной магистрали такая топология называется шиной. Если узлы присоединены к одной точке, такая топология называется звездой. При замыкании узлов в кольцо топология имеет одноименное название – кольцо. Однако, если взять полносвязную топологию и частично удалить некоторые связи, то такая топология будет называться ячеистой топологией.

Для построения гетерогенных сетей наиболее подходящим является использование ячеистой топологии (mesh). При построении таких сетей необходимо гарантировать доставку сообщений адресату в условиях непредсказуемой помеховой обстановки в каждом из двух каналов. Одной из важных задач при построении mesh-сетей является выбор алгоритма маршрутизации. Несмотря на существование уже реализованных алгоритмов маршрутизации, задача создания нового алгоритма, удовлетворяющего требованиям надежности и качества передачи информации, остается актуальной, особенно для гетерогенных сетей.

Обзор сетевых протоколов маршрутизации

Протокол маршрутизации – сетевой протокол, использующийся в маршрутизаторах, для поиска возможных путей следования информации. В настоящее время технология mesh активно развивается, разрабатываются новые алгоритмы маршрутизации. Основной проблемой при модернизации или разработке новых протоколов маршрутизации является качественная оценка параметров производительности [7, 8]. Основные силы при разработке новых протоколов маршрутизации тратятся на разработку оптимальных алгоритмов построения маршрута. Принцип их действия основан на адаптации существующих методов и протоколов динамической и статической маршрутизации централизованных, оптоволоконных, беспроводных и электрических сетей [9, 10].

Рассмотрим протоколы сетевого уровня, адаптируемые под отказоустойчивые самоорганизующиеся гетерогенные системы связи [11].

Протоколы mesh-сетей разделяют на три вида [12]: проактивные (или табличные), реактивные и гибридные.

Проактивные протоколы периодически рассылают служебные сообщения по сети, содержащие информацию обо всех изменениях в ее топологии. В результате на основе получаемой информации каждый узел выстраивает пути к другим узлам с последующим сохранением этой информации в таблицу маршрутизации. При необходимости передачи информации куда-либо эта таблица загружается и используется для построения маршрута. К проактивным протоколам маршрутизации относятся:

- В.А.Т.М.А.Н. (Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking);
- DSDV (Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector);
- FLAME (Forwarding LAYer for MESHing);
- FSR (Fisheye State Routing);
- OLSR (Optimized Link-State Routing);
- TBRPF (Topology Dissemination based on Reverse-path Forwarding).

Протоколы, работающие по запросу (или реактивные), составляют пути до конкретных узлов лишь при возникновении необходимости в передаче информации. Для этого узел отправляет широковещательный запрос, который дойдет до получателя. В ответ получатель отправляет подтверждение, в котором отправитель получает путь до получателя и сохраняет его в таблицу маршрутизации. При повторной отправке данных путь считывается из таблицы. В случае разрушения маршрута алгоритм повторяется, отправка запроса – сохранение маршрута. К реактивным протоколам маршрутизации относятся:

- DYMO (Dynamic MANET On-demand Routing Protocol);
- DSR (Dynamic Source Routing);
- AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector);
- LOADng (The Lightweight On-demand Ad hoc Distance vector Routing Protocol Next Generation).

Гибридные протоколы комбинируют механизмы проактивных и реактивных протоколов. Они разбивают сеть на подсети, внутри которых происходит реализация проактивных протоколов, а связь между всеми подсетями осуществляется на основе реактивных протоколов. К таким протоколам относятся:

- HSLS (Hazy Sighted Link State routing protocol Large Scale);
- HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol);
- OORP (Order One Routing Protocols);
- ZRP (Zone Routing Protocol).

Запатентованные протоколы

В настоящее время разрабатываются и модернизируются запатентованные технологии беспроводных mesh-сетей. Некоторые ведущие компании мира предлагают свои разработки, однако они закрыты для отечественных разработчиков.

Сетевая платформа Aironet 1520, разработанная компанией CiscoSystem, использует запатентованный протокол маршрутизации Adaptive Wireless Path Protocol (AWPP), основанный на модифицированной версии проактивного протокола HWMP. В качестве корневого узла используется контроллер собственной разработки [13].

Протокол LQSR (Link Quality Source Routing) разработан компанией Microsoft. В своих разработках компания основывалась на алгоритме DSR (Dynamic Source Routing). Основное отличие заключается в использовании маршрутных таблиц источника взамен промежуточных узлов [14].

Заключение

Использование существующих линий электропередачи в качестве канала связи сопровождается рядом ограничений, начиная от плохого качества линии и заканчивая большим количеством подключенных устройств, создающих помехи в сети.

Основной подход, описанный в открытых источниках, предполагает использование второго канала в качестве резервного. Однако такой подход не является оптимальным. Более перспективным направлением, по мнению авторов, считается объединение двух каналов в единую гетерогенную систему. Одновременное использование двух каналов позволит увеличить отказоустойчивость, повысить пропускную способность (за счет выбора канала в момент передачи данных) и нивелировать проблемы каждого канала в отдельности.

Ввиду отсутствия готовых протоколов маршрутизации, применимых в гетерогенных сетях, существует необходимость в разработке нового протокола или модификации существующего протокола, предназначенного для этих целей. В качестве протокола маршрутизации в беспроводных сетях получил распространение протокол AODV. Данный протокол послужил для создания протокола LOADng, предназначенного для использования в PLC-сетях. В свою очередь, авторами предлагается сначала исследовать возможности применения протокола LOADng к беспроводным сетям, а затем разработать на его основе единый протокол гетерогенной PLC/RF-системы связи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по Соглашению № 14.577.21.0230. Уникальный идентификатор проекта: RFMEFI57716X0230.

Литература

1. Адиев Т.И. Применение предварительной коррекции в системах с ортогональным частотным мультиплексированием (на примере PLC-систем): дис. ... канд. техн. наук. – Уфа: УГАТУ, 2015. – 124 с.
2. Abenov R. Multipath powerline communications channel (PLC) modelling / R. Abenov, D. Pokamestov, A. Geltser // *Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (COMCAS)*, 2015 IEEE International Conference on. – IEEE, 2015. – С. 1–4.
3. Gungor V.C. et al. Smart grid technologies: Communication technologies and standards // *IEEE transactions on Industrial informatics*. – 2011. – Т. 7, № 4. – С. 529–539.
4. TEC Technical Report on 'M2M Enablement in Power Sector' Release 2.0 // *Telecommunication Engineering Center [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://tec.gov.in/pdf/M2M/M2M%20Enablement%20in%20Power%20Sector.pdf>, свободный (дата обращения: 01.06.2017).
5. Вершинин А.С. Экспериментальная оценка статистических характеристик узкополосных радиопомех диа-

пазона 433 МГц в городских условиях / А.С. Вершинин, Д.Ю. Майков, Д.Н. Ушарова, А.С. Аникин // Доклады ТУСУРа. – 2015. – Т. 1, №. 3 (37). – С. 33–38.

6. Еремин В.С. Методы маршрутизации в беспроводных mesh-сетях. Перспективные протоколы передачи данных / В.С. Еремин, П.В. Прохоров. // Беспроводные сети передачи данных. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2011. – 95 с.

7. Morote M.E. IEEE 802.11s Mesh Networking Evaluation under NS-3 / M.E. Morote // Escola Tecnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicacio de Barcelona, 2011. – 111 p.

8. Чабанный А.А. Маршрутизация в беспроводных mesh-сетях на основе генетических алгоритмов // Пошук молодих. Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку. – Донецьк, 2012. – № 1. – С. 111–113.

9. Bokhari F. The use of smart ants for efficient routing in wireless mesh networks / F. Bokhari, G. Zaruba // International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN). – 2012. – Vol. 4, No. 2. – P. 113–134.

10. Маргарян С. Современные гетерогенные технологические радиосети обмена данными // Беспроводные технологии. – 2011. – № 1. – С. 52–57.

11. Perkins C.E. et al. Ad hoc networking. – Reading: Addison-wesley, 2001. – 384 p.

12. Зацепин Э.С. Обзор характеристик протоколов маршрутизации в mesh-сетях // Междунар. журнал экспериментального образования. – 2013. – Т. 1, № 10-2. – С. 342–345.

13. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing / ed. C. Perkins, E. Delding-Royer // Nokia Research Center, 2003. – 37 p.

14. Чабанный А.А. Сравнение протоколов маршрутизации беспроводных mesh сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2012/fkita/chabanniy/library/article1.htm> (дата обращения: 25.08.2013).

Поляков Игорь Юрьевич

Программист центра системного проектирования (ЦСП) ТУСУРа

Тел.: +7 (382-2) 70-15-29 доб. 2981

Эл. почта: piy@csp.tusur.ru

Клименко Алексей Николаевич

Начальник научно-технического отдела ЦСП

Тел.: +7 (382-2) 70-15-29 доб. 2981

Эл. почта: kan@csp.tusur.ru

Зыков Дмитрий Дмитриевич

Канд. техн. наук, доцент

каф. комплексной информационной безопасности

электронно-вычислительных систем (КИБЭВС)

Тел.: +7 (382-2) 70-15-29, доб. 29-80

Эл. почта: dmitry.zykov@tusur.ru

Чеботаев Павел Владимирович

Магистрант каф. КИБЭВС, инженер. ЦСП

Тел.: +7 (382-2) 70-15-29 доб. 29-81

Эл. почта: cpv@csp.tusur.ru

Шелупанов Александр Александрович

Д-р техн. наук, профессор, ректор ТУСУРа

Тел.: +7 (382-2) 51-05-30

Эл. почта: saa@keva.tusur.ru

Мякочин Юрий Олегович

Директор центра проектирования радиоэлектронной аппаратуры, АО «ПКК Миландр»

Тел.: +7 (495-9) 81-54-33 доб. 455

Эл. почта: myakochin.yuri@ic-design.ru

Polyakov I.Y., Klimenko A.N., Zykov D.D., Chebotayev P.V., Shelupanov A.A., Myakochin Y.O.

Current state of the data transmission problem in heterogeneous communication systems

The article presents an investigation of heterogeneous communication systems which are based on simultaneous use of PLC and RF technologies. In the course of the work, have been identified the main problems that arise when using PLC and RF technologies, and the requirements for topology of such heterogeneous networks and for their robustness have been determined. Existent network routing protocols applicable to PLC/RF networks have been studied. Basing on obtained information the comparative analysis of the routing protocols has been fulfilled. The result of the present research is an analytical review of modern scientific, technical, regulatory and methodical literature in the area of heterogeneous communication system creation. With the reference to the analytical review the main requirements for arrangement of PLC/RF network have been formed and optimal routing protocol has been chosen.

Keywords: mesh, plc, rf, network, system, data, node, protocol, data transmission.