

# Создание телеметрических распределенных систем

на базе модулей Telit RF с использованием технологии Mesh Lite

**В статье рассмотрены особенности создания сетей на базе модулей Telit RF с использованием технологии Mesh Lite.**

Кирилл Скиба

В современных сетях сбора и передачи информации беспроводные элементы занимают все более значимое место. Это связано не только с меньшей стоимостью таких решений по сравнению с кабельными системами, но и с упрощением создания таких систем на современной элементной базе. В статье рассмотрены модули фирмы Telit RF [1–3], имеющей широкую линейку решений для беспроводных систем. Как видно из таблицы, предлагаемая продукция может быть разделена по полосе рабочих частот, мощности передатчика и конструктивному исполнению. Наиболее интересными, на наш взгляд, являются семейства модулей Tiny One Pro и Tiny One Plus [4, 5] (рис. 1), имеющие режим телеметрии. Эти модули работают на частоте 868 МГц и снабжены дополнительным набором цифровых и аналоговых входов/выходов (I/O), которые используются для съема информации и управления. Этот частотный диапазон имеет преимущества по сравнению с 2,4 ГГц: повышенную дальность распространения радиоволн и лучшую способность огибания препятствий. Главным недостатком такого выбора является ограниченная несколькими

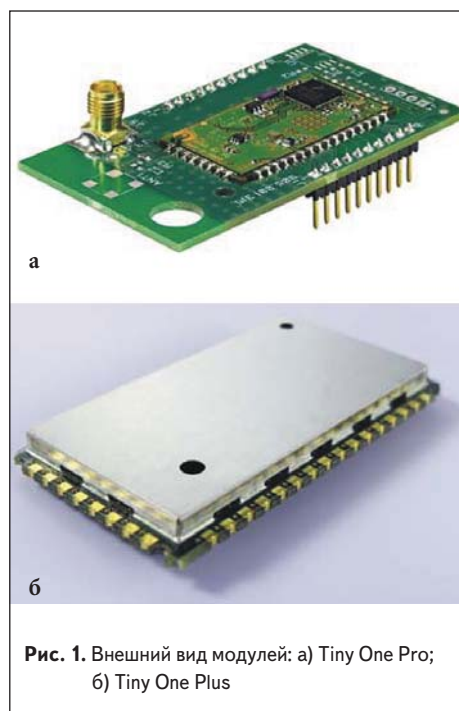


Рис. 1. Внешний вид модулей: а) Tiny One Pro; б) Tiny One Plus

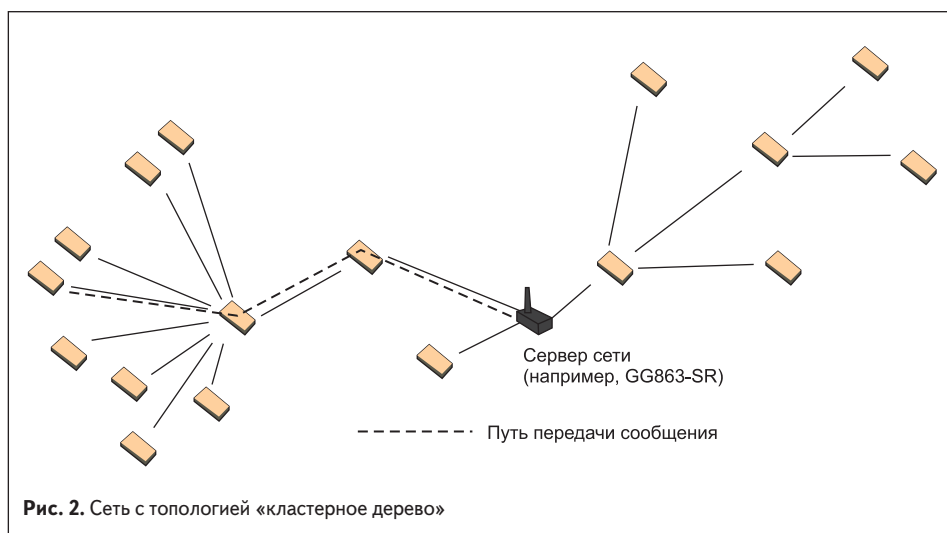


Рис. 2. Сеть с топологией «кластерное дерево»

десятками килобайт в секунду максимальная скорость передачи информации. Оба семейства поддерживают сетевую технологию Mesh Lite, разработанную фирмой Telit RF и являющуюся разновидностью топологии «кластерное дерево» (Cluster Tree) [6] (рис. 2). Требования электромагнитной совместимости ограничивают полосу частот, разрешенную для использования в частотном диапазоне 868 МГц, что приводит к ограничению скорости передачи данных. Топология Mesh Lite позволяет

максимально эффективно эксплуатировать выделенную полосу, сочетая приемлемую скорость передачи данных и надежность функционирования сети. Несмотря на то, что Mesh Lite является статической сетевой топологией, при которой узел сети не может динамически перемещаться, она обладает свойством автоматического восстановления соединения в случае внезапной потери связи. Сеть топологии Mesh Lite включает три вида устройств (рис. 3):

- Координатор или мастер сети — устройство самого высокого уровня сетевой топологии, которое может обмениваться данными только с находящимися в его непосредственном подчинении устройствами.
- Маршрутизатор является посредником между устройствами более высокого и низкого уровней и может быть конечным получателем данных.
- Конечное устройство, представляющее собой самый низкий уровень сетевой топологии

Т а б л и ц а . Основные характеристики модулей Telit RF

Характеристики	Семейство модулей с тактовой частотой до 1 ГГц						
	Tiny One Lite		Tiny One Plus		Tiny One Pro		Power One
Частотный диапазон, МГц	433,5–434,7		868–870		868–870		902–928
Число каналов	3		4		8–52		50
Радиус действия, м	1000		500		1500		4000
Чувствительность, дБм	–105		–100		–105		–100
Максимальная мощность передачи, мВт	10		25		500		25–500
Скорость передачи по радиоканалу, кбит/с	9,6; 38,4; 100		9,6; 38,4		4,8–38,4		38,4
Число цифровых входов/выходов	7		5		5		5
Число аналоговых входов	3		3		3		
Последовательные интерфейсы	RS-232 (TTL)		RS-232 (TTL)		RS-232 (TTL)		RS-232, RS-422, RS-485
Напряжение питания, В	2,2–3,7		3–3,6		3–3,6		3,6
Ток потребления, Rx/Tx/Standby, мА	35/80/0,002		30/40/0,002		35/80/0,004		35/600/0,004
Габаритные размеры, мм	38×21×3		38×21×4		38×21×4		38×21×3
Характеристики	Семейство модемов/терминалов						
	Tiny One Plus Terminal	Tiny One Pro Terminal	Power One Terminal	Tiny One Lite USB	Tiny One Plus USB		
Частотный диапазон, МГц	868–870		869,4–869,65		869,4–869,65		
Число каналов	8		1; 10		10		
Радиус действия, м	1500		4000		16 000		
Чувствительность, дБм	–105		–105		–115		
Максимальная мощность передачи, мВт	25		500		25–500		
Скорость передачи по радиоканалу, кбит/с	4,8–38,4		4,8–38,4		9,6		
Число цифровых входов/выходов	–		–		5		
Число аналоговых входов	–		–				
Последовательные интерфейсы	RS-232, RS-422, RS-485				USB 2.0		
Напряжение питания, В	6–40		6–40		6–40		
Ток потребления Rx/Tx/Standby, мА	20/250/0,070 (12 В)				30/40/–		
Класс защиты от воздействия окружающей среды (габаритные размеры, мм)	IP 67 (100×62×40)		IP 65 (159×85×35), IP 67 (187×80×60)		(78×30×7,5)		
Характеристики	Семейство модулей с тактовой частотой 2,4 ГГц						
	IEEE 802.15.4 Tiny One 400MC	IEEE 802.15.4/ZigBee					
		ZE50-2,4	ZE60-2,4				
Частотный диапазон, МГц	2100–2483,5		2400–2483,5				
Число каналов	16		16				
Радиус действия, м	70		300				
Чувствительность, дБм	–92		–92				
Максимальная мощность передачи, мВт	1		1				
Скорость передачи по радиоканалу, кбит/с	250		250				
Число цифровых входов/выходов	5		3				
Число аналоговых входов	5		6				
Последовательные интерфейсы	RS-232 (TTL)		RS-232 (TTL)				
Напряжение питания, В	2,2–3,6		2,4–3,6				
Ток потребления Rx/Tx Standby, мА	30/28/0,002 (3,6 В)		31/35/0,002 (3 В)				
Габаритные размеры, мм	38×21×3		26×15×3				

Mesh Lite и являющееся источником или получателем данных и обеспечивающее возможность взаимодействия только с маршрутизатором.

В качестве любого из перечисленных выше видов устройств может выступать радиомодуль или радиомодем фирмы Telit RF, запрограммированный соответствующим образом. Каждое устройство сети Mesh Lite имеет уникальный MAC-адрес с иерархической структурой, позволяющей различать устройства различных уровней. Самым уязвимым звеном сети Mesh Lite является координатор. При выходе его из строя работоспособность сети нарушается. Отказ устройства любого другого уровня не является критичным с точки зрения функционирования сети Mesh Lite. В случае утраты одного из маршрутизаторов соседние с ним устройства автоматически находят другой узел, способный взять на себя его функции (рис. 4).

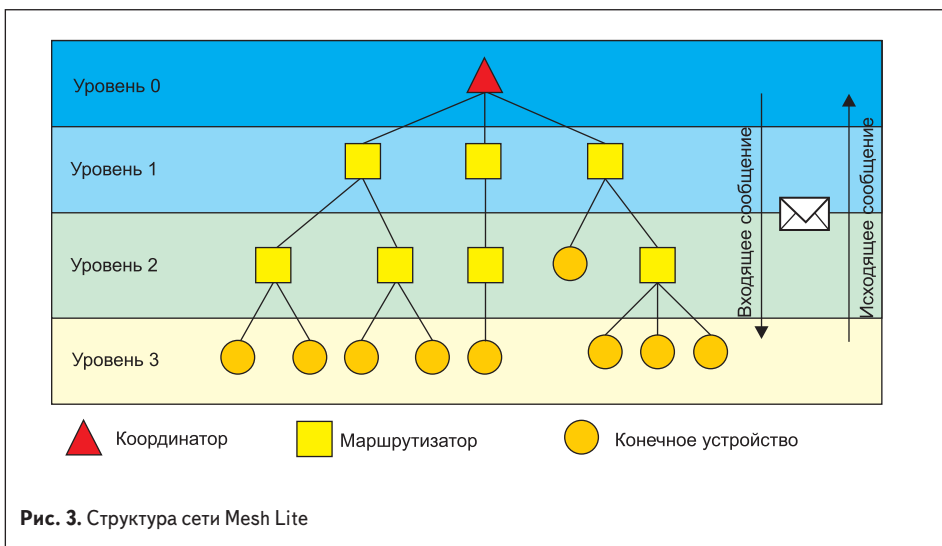


Рис. 3. Структура сети Mesh Lite

При выходе его из строя работоспособность сети нарушается. Отказ устройства любого другого уровня не является критичным с точки зрения функционирования сети Mesh Lite. В случае утраты одного из маршрутизаторов соседние с ним устройства автоматически находят другой узел, способный взять на себя его функции (рис. 4). Выбор наиболее подходящего на роль нового маршрутизатора узла происходит, во-первых, по уровню сигнала RSSI (Received-Signal Strength Indication — индикация уровня принимаемого сигнала) и, во-вторых, по количеству свободных MAC-адресов. Предпочтение будет отдано тому узлу, который обладает наибольшим уровнем RSSI и достаточным количеством свободных MAC-адресов. Ограничения, накладываемые на доступную для работы полосу частот в диапазоне 868 МГц, требуют принятия мер для ее максимально эффективного использования. В сети с топологией Mesh Lite это достигается применением особого вида временной синхронизации (рис. 5). Работа всех устройств сети Mesh Lite синхронизируется сигналом маяка (Beacon). Этот сигнал периодически излучается ведущим в пределах устройств определенной группы и предназначается для их синхронизации. Он содержит информацию о периоде повторения, идентификационном номере сети, числе свободных MAC-адресов и др.

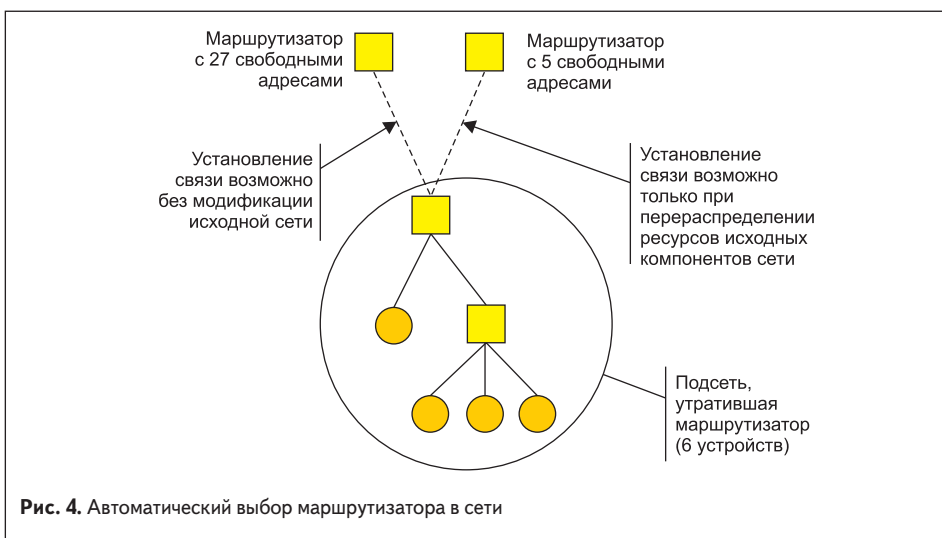


Рис. 4. Автоматический выбор маршрутизатора в сети

За сигналом маяка следует рабочее окно (Super Frame), состоящее из двух основных частей: первая отводится для передачи пакетов данных входящих сообщений, вторая — исходящих. Информация о длительности рабочего окна, а также о соотношении его частей передается в составе сигнала. В паузах между сигналами и следующими за ними рабочими окнами устройства сети находятся в спящем режиме. Если какое-либо устройство не успевает произвести передачу или прием данных в течение одного рабочего окна, этот процесс распределяется на несколько рабочих окон. Соседние маршрутизаторы также могут обмениваться данными друг с другом или с координатором в определенные интервалы времени (рис. 6) по мере возникновения такой необходимости.

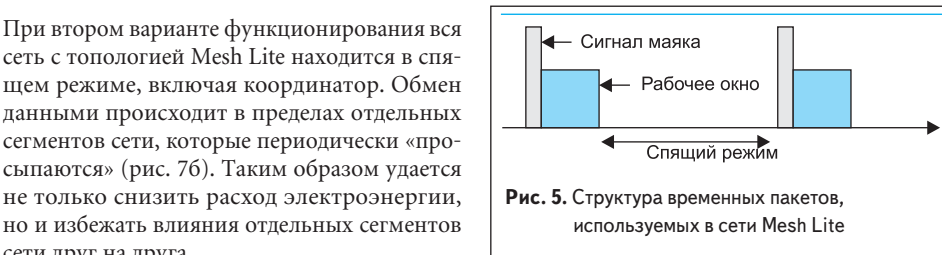


Рис. 5. Структура временных пакетов, используемых в сети Mesh Lite

Для обеспечения энергосбережения разработчики топологии Mesh Lite реализовали два варианта функционирования сети. В первом из них координатор сети постоянно активен. Он контролирует сеть и поэтому может осуществлять обмен данными с максимально высокой скоростью (рис. 7а). По сигналам координатора отдельные участки сети периодически «просыпаются» и обмениваются сообщениями.

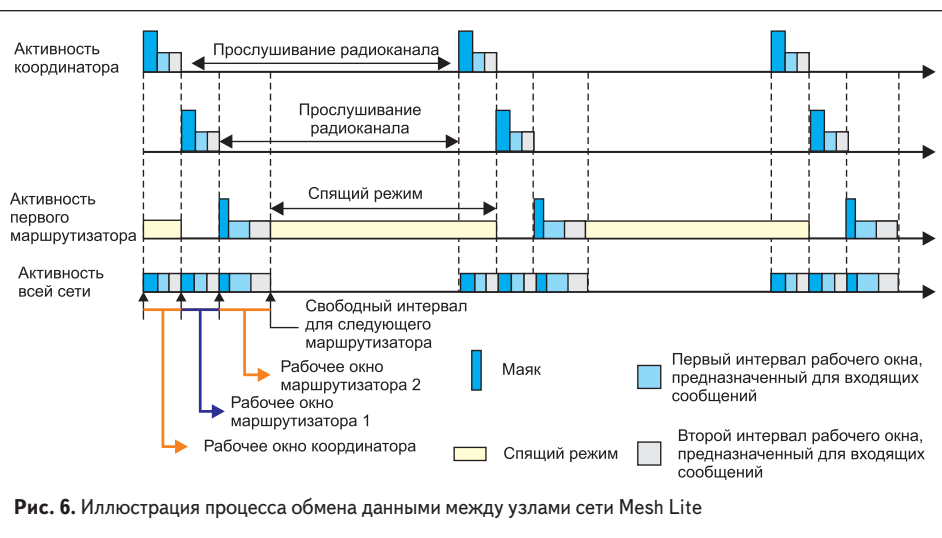


Рис. 6. Иллюстрация процесса обмена данными между узлами сети Mesh Lite

Наиболее популярными частными случаями создания сети Mesh Lite являются топологии «звезда» и BackBone. Характерной особенностью «звезды» является исключение из сети маршрутизаторов, поскольку каждое конечное устройство соединено непосредственно с координатором (рис. 8). Число таких устройств может превышать 65 тыс. BackBone представляет собой набор подключенных к одному координатору последовательно соединенных друг с другом маршрутизаторов, каждый из которых управляет своим набором конечных устройств (рис. 9). Данная топология может эффективно применяться в системах контроля и сбора информации в пространственно протяженных объектах, таких как магистрали нефте- и газопроводов, линии электропередачи и др.

Настройка сети Mesh Lite выполняется следующим образом. Прежде всего в микроконтроллер модема должна быть загружена специальная прошивка, содержащая протокол Mesh Lite. Загрузка прошивки осуществляется по последовательному интерфейсу RS-232 и не требует дополнительного оборудования. Чтобы перевести модем в режим смены прошивки, необходимо снять крышку корпуса на модеме и перевести джампер PROG на плате в положение ON (рис. 10).

Затем необходимо подключить модем к компьютеру и запустить специальную программу (предоставляемую бесплатно по запросу), с помощью которой в интерактивном режиме можно загрузить в модем соответствующий файл прошивки. После этого необходимо задать параметры каждого из узлов сети Mesh Lite (сетевой адрес, период следования сигнала маяка и др.) с использованием бесплатно предоставляемой конфигурационной программы [7], типовое рабочее окно которой показано на рис. 11. Данная программа позволяет визуализировать состояние сети, она может быть также использована для обеспечения обмена данными с различными узлами сети и их конфигурирования. Следует обратить особое внимание на то, что для перехода в режим конфигурирования необходимо в течение нескольких секунд после включения питания модема установить джампер PROG в позицию ON. После окончания конфигурирования джампер должен быть переведен в обратное положение при выключенном питании. Для конфигурирования радиомодема необходимо, прежде всего, нажать кнопку «Открыть COM-порт» в рабочем окне программы, а затем открыть окно конфигурирования узла сети нажатием на кнопку «Конфигурирование».

В появившемся окне Mesh Lite Configuration Wizard (рис. 12) следует установить все необходимые параметры, сверяясь с документацией, и нажать одну из пиктограмм, расположенных в верхнем левом углу рабочего окна. Каждая из этих «иконок» соответствует определенному действию: сохранению конфигурации в файле, загрузке конфигурации из файла, загрузке конфигурации из текущего модуля, пересылке конфигурации в текущий модуль. После выполнения пересылки установленной конфигурации в текущий модуль (модем) последний готов к автономному использованию в составе сети Mesh Lite. В результате проведения испытаний было выявлено, что процесс передачи данных от одного узла сети Mesh Lite

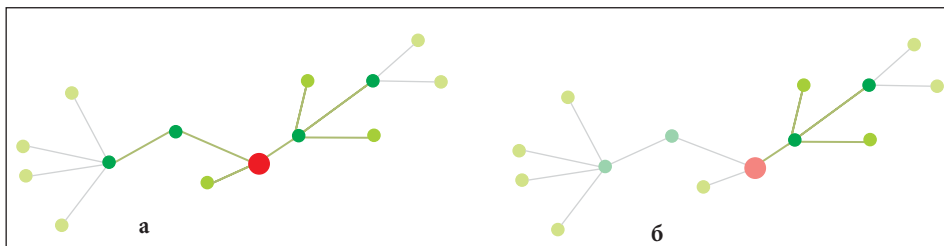


Рис. 7. Энергосберегающие режимы сети Mesh Lite: а) с активным координатором; б) со «спящим» координатором

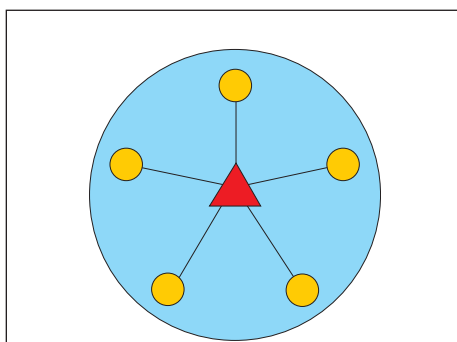


Рис. 8. Топология сети «звезда»

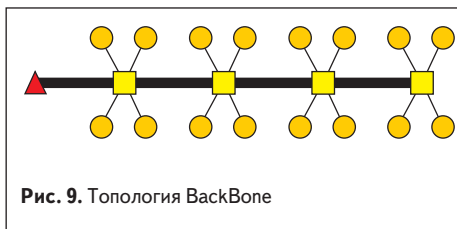


Рис. 9. Топология BackBone

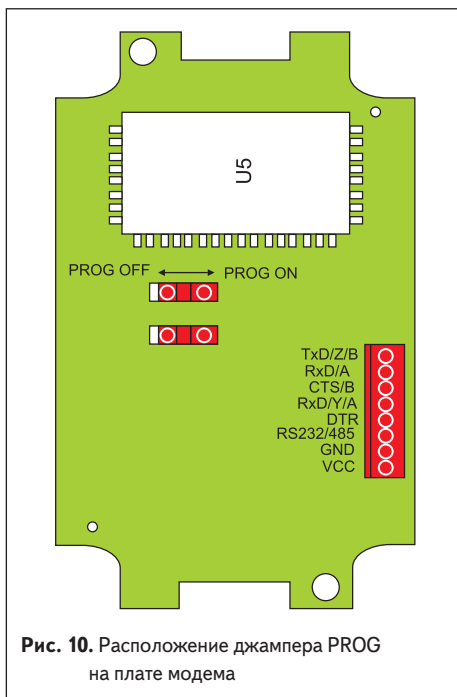


Рис. 10. Расположение джампера PROG на плате модема



Рис. 11. Рабочее окно программы Mesh Manager

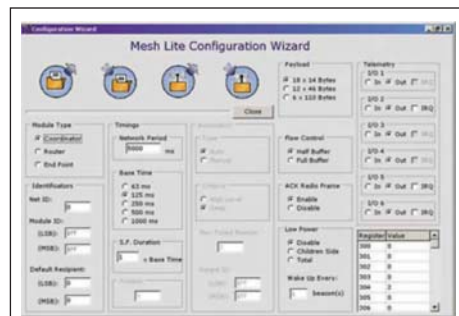
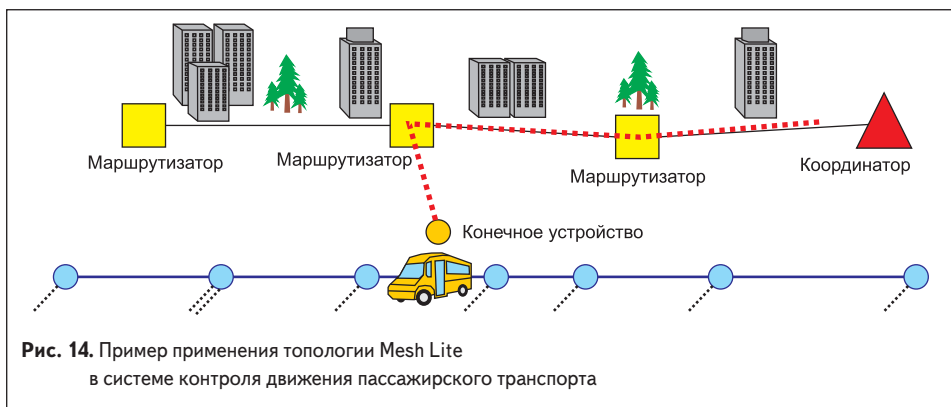


Рис. 12. Окно программы Mesh Lite Configuration Wizard



Рис. 13. Терминал GG863/SR

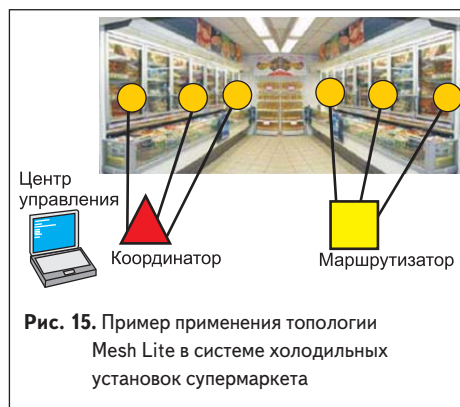


менять в качестве шлюза для передачи данных, поступающих из распределенной сети в диспетчерский центр, по сети GSM. Помимо этого его можно использовать и в качестве координатора, а наличие встроенного процессора ARM9 позволяет создавать собственные приложения как в ОС Linux, так и на C++.

Рассмотрим некоторые примеры применения радиомодемов фирмы Telit RF. В европейских странах широкое распространение получила система контроля движения пассажирского транспорта (рис. 14). Транспортное средство, перемещаясь от остановки к остановке, передает информацию о своем местоположении на ближайший узел связи, который далее

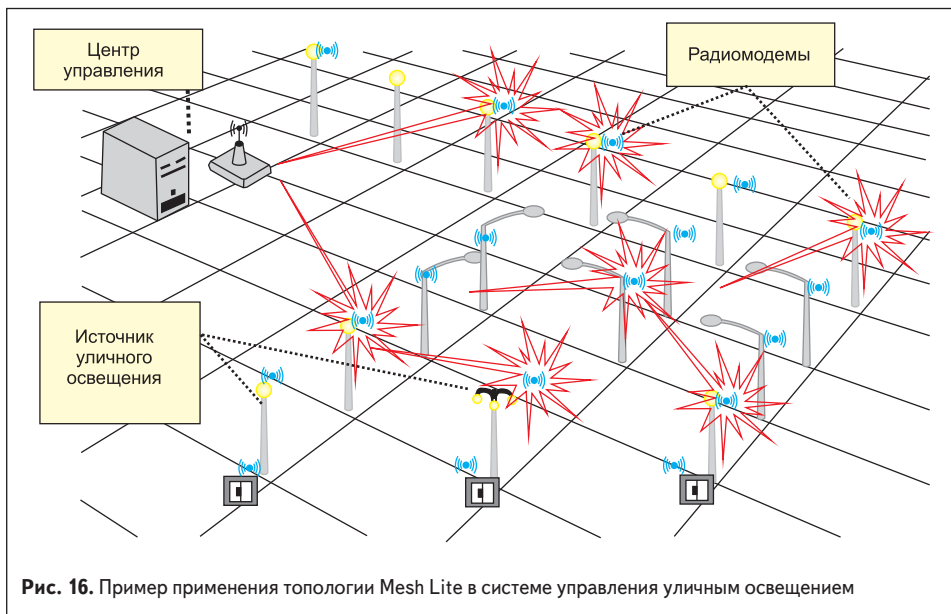
передает это сообщение по цепочке в центр управления. Таким образом, можно отслеживать перемещение транспортного средства и рассчитывать ориентировочное время его прибытия в конкретный пункт. В крупных супермаркетах радиомодемы, объединенные в сеть Mesh Lite, позволяют оперативно контролировать температуру в холодильных установках (рис. 15). Измерение температуры и пересылка данных в центр управления осуществляются каждые 10 мин., поэтому время работы радиомодемов без замены или подзарядки автономных источников питания достигает 5 лет.

В крупных городах актуальной является проблема управления источниками уличного освещения



и светофорами. В этой области также могут быть применены радиомодемы фирмы Telit RF (рис. 16).

На основании проведенного исследования можно сделать заключение о том, что главной отличительной чертой радиомодемов фирмы Telit RF является возможность организации сетей сложной архитектуры, способных покрывать расстояния, измеряемые единицами и даже десятками километров. Рассмотренные особенности радиомодемов фирмы Telit RF не оставляют сомнений в том, что данные устройства найдут широкое применение в российской промышленности и, прежде всего в приложениях, требующих высокой надежности, большой дальности связи, экономичности и рассчитанных на относительно невысокую скорость передачи.



## Литература

1. [www.telit.com](http://www.telit.com)
2. Аникин А. Радиомодемы компании One RF Technology для диапазонов 434/868 МГц: основные режимы работы // Беспроводные технологии. 2008. № 1.
3. Кривченко Т. И. Радиомодули и радиомодемы компании One RF для диапазонов 433 и 868 МГц // Беспроводные технологии. 2007. № 2.
4. Telit\_TinyOnePlus868MHz\_RF\_modules\_Datasheet (<http://www.telit.com/module/infopool/download.php?id=1375>)
5. Telit\_TinyOnePro868MHz\_RF\_modules\_Datasheet (<http://www.telit.com/module/infopool/download.php?id=1374>)
6. Telit TinyTools User Guide (<http://www.telit.com/module/infopool/download.php?id=2826>)
7. Скиба К., Скиба Ю. GG863-SR — новый GSM/GPRS/RF-шлюз компании Telit // ЭКис. 2009. № 7.