

# Радиочастотные модули компании Telit

в системе персонального мониторинга и дистанционной диагностики состояния здоровья пациента с возможностью подачи тревожного сигнала

**В статье рассмотрены принципы построения и прототип беспроводной системы медицинских датчиков для контроля состояния здоровья пациентов с функцией тревожной сигнализации и возможностью определения местоположения больного при возникновении критической ситуации. Описаны настройки и типы встроенного программного обеспечения.**

**Алексей Аникин, к. т. н.**  
info@atoma.spb.ru

В медицинской практике имеется необходимость отслеживания местоположения пациента, находящегося под наблюдением врачей, но обладающего свободой передвижения. Зачастую требуется проводить мониторинг ключевых показателей состояния его здоровья и иметь возможность получать от пациента тревожный сигнал в случае, если он ощущает внезапное ухудшение самочувствия и нуждается в экстренной помощи. Если пациент имеет возможность свободного перемещения в пределах клиники и не только, то организация проводного канала связи с ним невозможна. Необходима система, в которой передача данных ведется по радиоканалу.

Для этой цели возможно использовать систему беспроводной передачи данных стандарта GSM/GPRS, предусматривающего определение местоположения абонента в сети по сигналам базовых станций. Но, как показывает практика, точность локализации в указанном случае составляет 350–400 м, что неудовлетворительно при определении местоположения пациента на территории клиники или санатория. Кроме того, использование сети стандарта GSM/GPRS требует оплаты услуг оператора сотовой связи.

Повысить точность определения местоположения пациента клиники в сети стандарта GSM/GPRS можно путем использования в паре с GSM/GPRS-модемом модуля спутниковой навигации системы GPS или ГЛОНАСС. Такой подход позволяет снизить погрешность определения местоположения до вполне приемлемых 2,5–3 м. К тому же определение местоположения становится возможным не только на территории клиники, но и на всей территории покрытия сети стандарта GSM/GPRS, что является несомненным достоинством системы мониторинга.

Однако эта система остается платной, причем расходы на абонентскую плату и трафик передаваемых данных целиком возлагаются на пациента.

В рамках настоящей статьи рассмотрен другой подход к созданию системы персонального мониторинга и дистанционной диагностики состояния здоровья пациента, основанный на использовании собственной беспроводной сети передачи данных, разработанной итальянской компанией Telit. В этом случае нет необходимости прибегать к платным услугам операторов сотовой связи. Однако радиус действия подобной системы ограничивается зоной покрытия сети и не превышает нескольких километров.

Необходимость написания данной статьи возникла в связи с участвовавшими запросами в ООО «Атома» от компаний, интересующихся возможностью создания или ведущих разработку такой системы по заказу различных медицинских учреждений и находящихся в процессе выбора элементной базы. Процесс разработки системы персонального мониторинга и дистанционной диагностики состояния здоровья пациента весьма длителен. Он подразумевает под собой решение целого ряда проблем и задач, описание которых не может быть уместно в объеме одной статьи. Поэтому основная наша цель — обосновать возможность построения такой системы, выявить основные проблемы и задачи, подлежащие решению, обозначить пути преодоления проблем и порекомендовать электронные компоненты и модули, с помощью которых система персонального мониторинга и дистанционной диагностики пациента может быть построена.

Рассмотрим для начала структуру системы. В общем случае она должна представлять собой

сеть, состоящую из датчиков с автономным питанием, носимых пациентами клиники, и стационарного терминала, собирающего и обрабатывающего информацию от датчиков. Простейшая структура такой сети имеет топологию типа «звезда» (рис. 1).

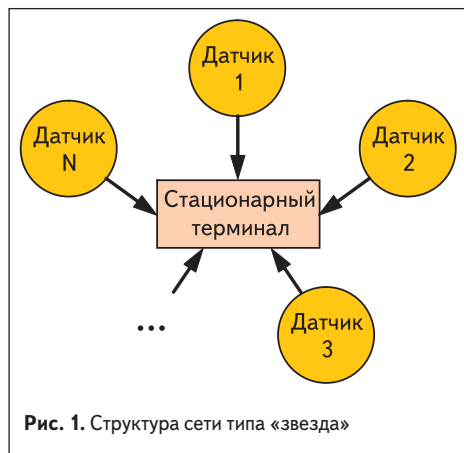


Рис. 1. Структура сети типа «звезда»

Общие требования, предъявляемые к системе:

- Датчик должен контролировать один или несколько ключевых параметров состояния здоровья пациента.
- Датчик должен иметь функцию тревожной сигнализации.
- В датчике должна быть реализована функция определения местоположения в пределах клиники с возможностью передачи координат на стационарный терминал.
- Дальность эффективной радиосвязи между датчиками и стационарным терминалом должна быть достаточной для покрытия всей территории, на которой могут находиться пациенты клиники.
- Создаваемое датчиками радиоизлучение не должно создавать помех медицинской аппаратуре и оказывать воздействие на состояние здоровья пациентов.
- Расположенные на теле пациентов датчики должны иметь минимальные размеры.
- Энергопотребление каждого датчика должно быть минимизировано для длительности автономной работы.
- Передача данных от датчиков к стационарному терминалу должна осуществляться по радиоканалу.
- Питание стационарного терминала должно осуществляться от электросети общего пользования.

Указанным требованиям удовлетворяет датчик, построенный по структурной схеме, представленной на рис. 2. Он содержит модуль спутниковой навигации и радиочастотный модуль, объединяющий в своем составе приемопередатчик, работающий в режиме радиоприема, и микропроцессор. Модуль спутниковой навигации принимает сигналы спутниковой навигационной системы, преобразовывает их в набор навигационных параметров и передает в микропроцессор через последовательный интерфейс UART. Полученные навигационные данные передаются по радиоканалу в стационарный терминал. Микропроцессор, одновременно с обменом данными через последовательный интерфейс,

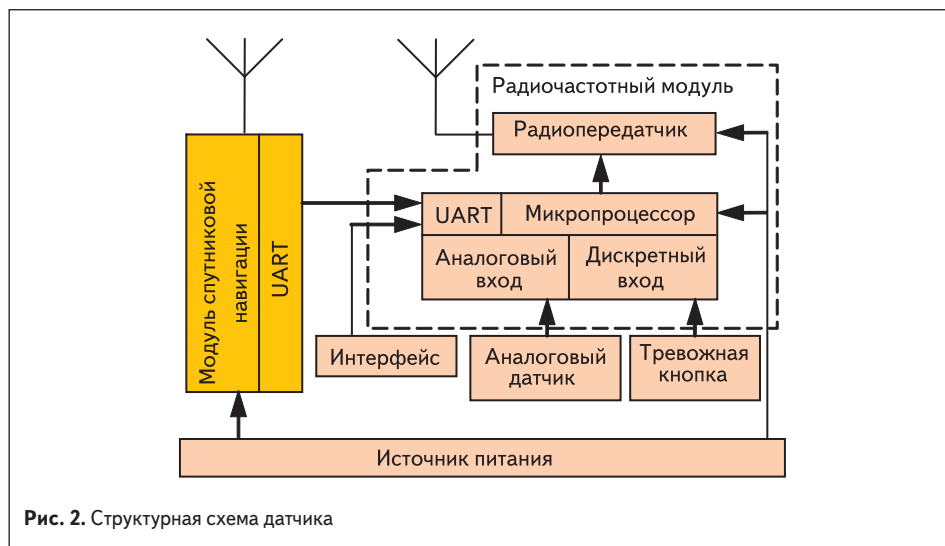


Рис. 2. Структурная схема датчика

контролирует состояние дискретных и аналоговых входов радиочастотного модуля. При достижении контролируемым аналоговым параметром критической величины или при нажатии на тревожную кнопку информация об этом передается стационарному терминалу для последующей обработки.

Стационарный терминал принимает навигационную информацию и сигналы контролируемых параметров и тревожных кнопок от датчиков, входящих в зону его радиовидимости, фиксирует эти данные и выводит их на устройство обработки и отображения информации. Структура стационарного терминала изображена на рис. 3. Радиочастотный модуль аналогичен модулю датчика, но приемопередатчик в нем работает в режиме радиоприема. В качестве устройства обработки, управления и отображения информации использован персональный компьютер с установленным специальным программным обеспечением. Навигационные данные в текстовом формате, соответствующем протоколу NMEA, передаются из микропроцессора радиочастотного модуля в компьютер через последовательный интерфейс UART. Данные о критическом состоянии контролируемых параметров и нажатии тревожных кнопок передаются компьютеру через интерфейсную плату.

При работе в условиях городской застройки, а также внутри зданий дальность действия радиоканала существенно сокращается. Этот

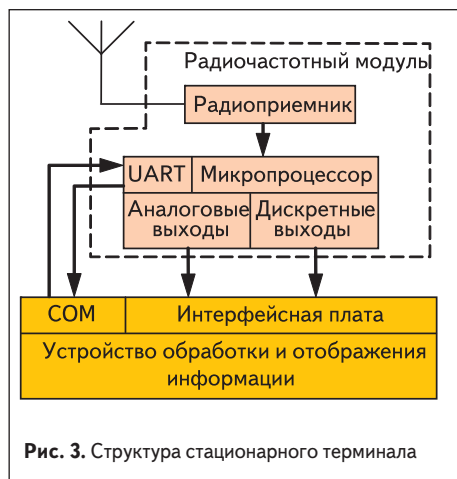


Рис. 3. Структура стационарного терминала

недостаток системы преодолевается установкой в необходимых местах ретрансляторов радиосигнала (радиоудлинителей), принимающих информацию от датчиков и ретранслирующих ее к стационарному терминалу или следующему ретранслятору. В ретрансляторах применен радиочастотный модуль, аналогичный используемому в датчиках и в стационарном терминале. В этом случае топология сети (рис. 1) преобразуется к виду, представленному на рис. 4. Необходимо отметить, что в условиях постоянного перемещения датчиков относительно терминала и ретрансляторов одной из важных функций последних является постоянный контроль за текущей конфигурацией сети с фиксацией и отображением неоднократного выхода из зоны радиовидимости и входа в нее отдельных датчиков.

Рассмотрим теперь компоненты, на которых может быть реализован описанный набор возможностей системы. При выборе модуля спутниковой навигации необходимо учитывать необходимость определения координат, в том числе и внутри помещений, в частности по переотраженным сигналам, поскольку видимость «открытого неба» внутри помещения ограничена или отсутствует полностью. В этом случае для приема доступны только навигационные сигналы, попавшие в помещение за счет переотражения от стен и прочих поверхностей. Установлено, что чувствительность приемника модуля спутниковой навигации должна быть не хуже -160 дБм. Также важными параметрами (особенно

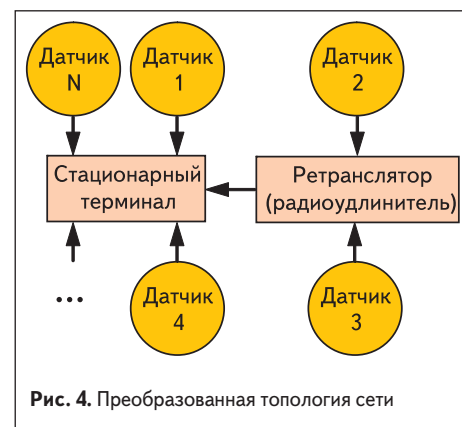


Рис. 4. Преобразованная топология сети

Таблица 1. Параметры модулей

Модуль	Чипсет	Чувствительность, дБм	TTFF, с	Точность, м	Размеры, мм	Рабочая температура, °С
ЕВ-500	MTK3329	от -165 до -148	1,5/34/35	менее 3	13×15	-40...+85
A1035	SiRFIII	от -159 до -142	1/32/35	менее 2,5	16×19	-30...+85

для модулей, используемых в датчиках) являются малые габариты, масса и незначительное энергопотребление. На основе анализа всей совокупности требований было установлено, что наиболее подходящими на роль модулей спутниковой навигации в системе являются А1035-С фирмы Tycso Electronics [2] и ЕВ-500 производства TranSystem [3].

Указанные модули существенно различаются своими параметрами (табл. 1). Модуль А1035-С обладает лучшей точностью и меньшим энергопотреблением, однако его чувствительность и рабочий температурный диапазон хуже, чем у ЕВ-500. Модуль ЕВ-500 изготавливается на чипсете нового поколения MTK3329, который [3] обеспечивает работоспособность устройства в сложных условиях за счет встроенных алгоритмов обработки слабых и переотраженных различными объектами сигналов. Это повысит качество работы внутри помещений с ограниченной видимостью «открытого неба». С другой стороны, модуль А1035-Н подразумевает обработку и фильтрацию выдаваемых им навигационных данных во внешнем устройстве (например, в стационарном терминале), а обработка данных в модуле ЕВ-500 ведется встроенными алгоритмами, которые могут оказаться неработоспособными в рамках поставленной задачи.

Остановимся более подробно на описании радиочастотного модуля, поскольку он является ключевым элементом всей системы. В качестве радиочастотного во всех устройствах наиболее целесообразно применять модуль итальянской фирмы Telit семейства Tiny One Pro [4]. Причины такого выбора следующие: модуль обладает малыми габаритами (38×22×2,2 мм) и массой, низким энергопотреблением (поддерживает режим пониженного энергопотребления). Он работает в радиочастотном диапазоне ISM (industrial scientific medical) 869,40–869,65 МГц, открытом для свободного использования во всем мире. Выбор указанного диапазона позволяет выполнить антенну достаточно компактной, не стесняющей носителя датчика, хотя и при-

водит к потерям в дальности связи за счет большего затухания и рассеивания по сравнению с менее высокочастотными диапазонами. Максимальная излучаемая мощность модуля составляет 500 мВт (регулируется программно в диапазоне 1–500 мВт), что достаточно для обеспечения устойчивой связи на расстоянии до 4 км в условиях открытого пространства, 1 км в условиях городской застройки и около 300 м внутри помещения. Рассматриваемый модуль, помимо стандартного последовательного интерфейса UART (выводы TxD и RxD), используемого для связи с модулем спутниковой навигации в датчике (рис. 2) и с устройством обработки, управления и отображения информации в стационарном терминале (рис. 3), содержит программно-конфигурируемые выводы I/O1–I/O8 (рис. 5), которые могут использоваться как входы или выходы. Выводы I/O1, I/O3 и I/O4 являются аналоговыми, остальные — цифровые. Наличие выводов I/O1–I/O8, а также нескольких разновидностей программных стеков, позволяющих в полной мере реализовать описанные выше требования к системе, отличают радиочастотные модули Tiny One Pro компании Telit от модулей конкурентов.

Для обработки аналоговых входных сигналов в диапазоне от нуля до величины напряжения питания модуля его микропроцессор снабжен аналого-цифровыми преобразователями с периодом выборки 15 мкс и разрядностью 10 бит. К цифровым выводам может быть подключена тревожная кнопка, к аналоговым — датчик контролируемого параметра пациента: частоты пульса, температуры тела и т. п. (рис. 2).

Радиочастотный модуль необходимо запрограммировать и настроить. Программирование и настройка модуля датчика выполняются через интерфейс, подключенный к асинхронному последовательному интерфейсу UART с помощью компьютера со специальным программным обеспечением, а модуля стационарного терминала — по COM-каналу от основного компьютера [5, 6].

Радиочастотный модуль может программироваться одним из трех видов программного обеспечения, каждый из которых реализует определенный стек протоколов его работы. Стандартный стек (согласно технической документации [4] — стек S-One) реализует следующие режимы работы [5]:

- прозрачный;
- адресный;
- адресный безопасный;
- сетевой;
- режим ретрансляции.

Для взаимодействия с внешними устройствами в режимах стандартного стека используется только интерфейс UART. Дополнительные интерфейсы радиочастотного модуля не используются. Стек S-One загружается в радиочастотные модули при производстве. В стандартном режиме реализуется контроль местоположения пациента.

Стек, реализующий режим телеметрии [6], в технической документации отнесен к S-One, хотя для него предусмотрен отдельный файл прошивки. Режим телеметрии характерен тем, что в нем, помимо интерфейса UART, задействуются цифровые и аналоговые входы/выходы, к которым могут подключаться различные внешние источники и получатели данных. В этом режиме функционал разработанной системы мониторинга реализуется полностью при сетевых топологиях «точка–точка» (один сетевой терминал–один датчик) и «звезда» (один сетевой терминал–несколько датчиков).

Стек с поддержкой сети (сетевой стек, M-One) обладает автоматической ретрансляцией, маршрутизацией и автовосстановлением в случае потери связи с отдельными узлами сети [7]. В этом режиме возможно использование всех интерфейсов радиочастотного модуля в полном объеме.

После загрузки программного обеспечения радиочастотный модуль настраивается специальным набором конфигурационных команд [5, 7]. Конфигурационные команды заносят необходимые значения во внутренние S-регистры [5] энергонезависимой памяти модуля, определяющие режимы работы вводов/выводов, а также физические параметры модуля: скорость передачи данных, излучаемую мощность и др. Назначения S-регистров и значения, занесенные в них для модулей датчика и стационарного терминала, приведены в таблице 2 [6]. Указанные настройки реализуют сетевую топологию «точка–точка»: стационарный терминал ведет непрерывный мониторинг одного пациента, снабженного датчиком. Датчик передает по радиоканалу информацию о местоположении пациента, о состоянии тревожной кнопки и некоторого непрерывно изменяющегося во времени параметра.

Регистр S240 определяет использование режима пониженного энергопотребления. Поскольку в датчике происходит постоянный мониторинг состояния и местоположения пациента, режим пониженного энергопотребления для него отключен. В применении указанного режима в стационарном терминале нет необходимости, поскольку он питается от внешнего источника.

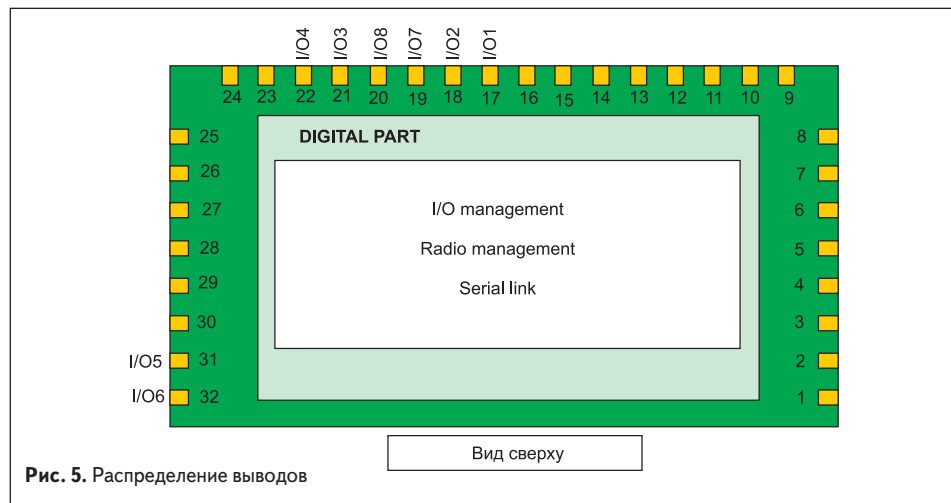


Рис. 5. Распределение выводов

**Таблица 2.** Назначения S-регистров и значения, занесенные в них для модулей датчика и стационарного терминала

Регистр	Назначение	Значение	
		Датчик	Терминал
S201	Скорость обмена данными по радиоканалу, бит/с	38 400	38 400
S210	Скорость обмена данными через последовательный интерфейс UART, бит/с	9 600	9 600
S220	Статус модуля	7	6
S240	Режим энергопотребления (0 — запрет режима пониженного энергопотребления)	0	0
S241	Период проверки состояния и обновления значений сигналов на входах/выходах, с (передатчик — 1–255, приемник — 0)	1	0
S243	При включенном режиме пониженного энергопотребления (S240 ≠ 0) — длительность пребывания модуля в режиме полного энергопотребления; при выключенном режиме не учитывается	0	0
S252	Адрес радиочастотного модуля в пределах сети (0–255)	1	255
S256	Адрес устройства для радиообмена по умолчанию	255	1
S258	Адрес устройства, которому будут пересылаться сигналы, поступающие на входы модуля (0 при передаче сигналов всем модулям сети)	255	0
S260	Флаг конфигурации входов/выходов I/O1–I/O8 (0 — вход, 1 — выход)	240	15
S262	Разрешение (1) или запрет (0) обработки прерываний по входам/выходам I/O2, I/O5, I/O6	0	0
S263	Периодическая (с частотой 10 кГц) передача восьмибитового слова от удаленного устройства на вывод I/O8 модуля (1 — разрешена, 0 — запрещена)	0	0
S264	Дистанционное копирование состояний входов/выходов (1 — разрешено, 0 — запрещено)	1	1

Регистр S241 определяет период обновления и передачи информации, измеряемый в секундах. Следует учитывать, что в режиме с запрещенной обработкой прерываний этот период не может составлять менее 1 с.

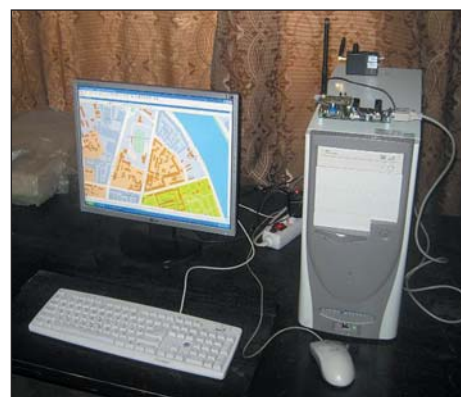
В регистре S256 указывается адрес устройства в сети, с которым текущий радиочастотный модуль будет вести обмен данными по последовательному каналу по умолчанию. Обмен происходит в режиме дистанционного копирования.

Стационарный терминал прототипа сети включает персональный компьютер с установленным на него программным обеспечением для мониторинга подвижных объектов и радиочастотный модуль с антенной, который посредством интерфейсной платы подключен к персональному компьютеру через кабель RS-232. На плате имеется набор светодиодов, один из которых отображает сигнал тревоги, поступающий от датчика. Для мониторинга подвижных объектов при испытании прототипа сети с топологией «точка–точка» в стационарном терминале используется стандартное программное обеспечение Top Plan со встроенной картой Санкт-Петербурга. Указанное программное обеспечение позволяет вести отображение местоположения одного подвижного объекта по навигационным данным, получаемым через COM-порт компьютера.

Для демонстрации работоспособности разработанной системы и проведения предварительных натурных испытаний изготовлены прототипы стационарного терминала (рис. 6) и двух вариантов носимых датчиков (рис. 7), отличающихся модулями спутниковой навигации. Тестирование прототипа сети проводилось, в частности, для определения целесообразности применения одного из этих модулей с учетом того, что EV-500 требует применения в датчике активной антенны, потребляющей 15 мА от источника питания. Прототипы датчиков изготовлены в соответствии со схемой на рис. 2

и дополнительно оснащены набором вспомогательных переключателей для настройки и конфигурирования радиочастотного модуля и набором выводов для подключения внешних устройств.

Питание датчика осуществлялось от аккумулятора. В ходе тестирования прототипа было установлено, что энергопотребление радиочастотного модуля достигает 650 мА при работе на передачу с мощностью излучения 500 мВт. Модуль спутниковой навигации с активной антенной потребляет дополнительно 50 мА. Частота выдачи навигационной информации составила 1 Гц, передача данных от датчика к стационарному терминалу происходила с этой же частотой. При питании датчика от Li-Ion-аккумулятора серии BL-5C производства фирмы Nokia емкостью 1020 мАч время его автономной работы не превышало 3 ч, что требует поставить вопрос об увеличении автономности.



**Рис. 6.** Прототип стационарного терминала



**Рис. 7.** Вариант носимого датчика

На рис. 8 приведены треки подвижного объекта, зафиксированные стационарным терминалом по информации, полученной от датчика. Стрелками показано направление движения. Стационарный терминал установлен на пятом (верхнем) этаже в точке 1, приемная антенна выведена в окно, выходящее на Аптекарский проспект. Трек на рис. 8а получен при тестировании датчика, содержащего модуль спутниковой навигации EV-500. В точке 2 на улице датчик был включен. В точке 3 сигнал от датчика был потерян, поскольку на пути распространения радиосигнала с датчика до стационарного терминала находилось несколько зданий. В точке 4 сигнал вновь появился. В точке 5 датчик был выключен.



**Рис. 8.** Треки подвижного объекта, полученные при тестировании: а) датчика, содержащего модуль спутниковой навигации EV-500; б) датчика с модулем спутниковой навигации A1035-N

Аналогичная ситуация с потерей сигнала наблюдалась и при тестировании датчика с модулем спутниковой навигации A1035-N (рис. 86). Сигнал от датчика был потерян в точке 6, и до точки 7 связь с датчиком была прервана. Неоднозначность определения в зоне 8 возникла при входе носителя датчика в здание, когда сигнал спутников ослаблялся крышей и стенами.

Пропадание связи датчиков со стационарным терминалом подтвердило предположение о существовании в городских условиях мертвых зон, из которых сигнал от датчика не доходит до терминала, и о необходимости развертывания для их ликвидации системы ретрансляторов (рис. 4). Тестирование системы с указанной структурой предполагается в дальнейшем.

На основании проведенного предварительного тестирования можно наметить следующие направления разработок при создании системы персонального мониторинга и диагностики состояния здоровья пациентов клиники на описанных в данной статье компонентах:

- Повышение длительности автономной работы датчика за счет снижения потребления. Это может быть осуществлено следующими способами:
  - Снижением излучаемой мощности радиочастотного модуля Telit. Например, при излучаемой мощности 100 мВт потребление тока составит 350 мА, что практически в два раза увеличит время автономной работы. Снижение излучаемой мощности до 25 мВт увеличит время автономной работы в восемь раз. Уменьшение радиуса устойчивой работы<sup>1</sup> должно компенсироваться сетью ретрансляторов (радиодлинителей), устанавливаемых в местах затрудненного прохождения радиосигнала. Для отслеживания изменений конфигурации сети, связанных со входом в зону действия конкретного ретранслятора датчиков и выходом из нее, в радиочастотном модуле последнего должно быть использовано программное обеспечение сетевого стека. Поскольку он имеет ряд специфических особенностей и ограничений, отмеченных в [7], его использование в сети должно быть исследовано отдельно.
  - Использованием режима пониженного энергопотребления (в котором радиочастотный модуль потребляет ток 4 мкА) и системы прерываний для выхода из этого режима. В этих условиях может потребоваться дооснащение датчиков низкопотребляющими узлами формирования сигнала прерывания в заранее определенные протоколом моменты времени или по изменению контролируемых параметров.
- Целесообразно повысить функциональность сети и отдельного датчика. Для этого:
  - Предусмотреть использование обратного канала от стационарного терминала к датчику, по которому в критических ситуациях пациенту могут быть переданы инструкции по самопомощи до прибытия экстренной бригады. Возможно также оснащение датчика устройствами ввода препаратов поддержания жизни в экстренных ситуациях.
  - Повысить частоту передачи данных за счет перехода в радиочастотных модулях датчи-

ков к режиму работы по прерываниям. Это обеспечит контроль аналоговых параметров, изменяющихся с большей скоростью (например, электрокардиограммы).

Следующим направлением разработок и исследований является переход к топологии сети «звезда» с возможностью обработки стационарным терминалом сигналов нескольких датчиков. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- Разработать формат передачи данных, обеспечивающий идентификацию отдельных датчиков в сети. Поскольку сеть является одночастотной, необходимо рассмотреть возможности кодового и временного разделения каналов и произвести выбор между ними. При кодовом разделении следует использовать дополнительную информацию, имеющуюся в пакетах данных, формируемых радиочастотным модулем [5–7]:
  - о типе передаваемых данных (данные, передаваемые по интерфейсу UART, или данные о состоянии входов передающего радиочастотного модуля);
  - адресную информацию, идентифицирующую источник пакета данных в сети.
- При выборе в пользу временного разделения каналов необходимо разработать подсистему поддержания единого времени сети.
- Формат передачи должен обеспечивать разрешение конфликтов, связанных с одновременным поступлением на стационарный терминал сигналов от нескольких датчиков (ретрансляторов), а также с многолучевым распространением сигнала, пришедшего через несколько ретрансляторов.
- Разработать специализированное программное обеспечение для стационарного терминала, обеспечивающее обработку и отображение информации от нескольких датчиков с обработкой указанных ранее конфликтных ситуаций, а также борьбу с временными провалами данных и с искажениями навигационной информации (рис. 86).
- Целесообразно иметь возможность создания каталога электронных карт или планов тех территорий, на площади которых производится мониторинг пациентов. ■

## Литература

1. Кривченко Т. И. Радиомодули и радиомодемы компании One RF для диапазонов 433 и 868 МГц // Беспроводные технологии. 2007. № 2.
2. Smart GPS antenna A1035-C. A description of Tyco Electronics' GPS antenna module A1035-C. User's Manual. Preliminary Ver. 1.3.
3. EB-500 Series Data Sheet. Ver 1.5.
4. Manual B-868-TinyPro v. 1.3. Data Sheet.
5. Аникин А. П. Радиомодемы компании One RF Technology для диапазонов 434/868 МГц: основные режимы работы // Беспроводные технологии. 2008. № 1.
6. Аникин А. П. Радиомодули компании Telit для задач беспроводной телеметрии в частотном диапазоне 868 МГц // Беспроводные технологии. 2009. № 2.
7. Аникин А. П. Особенности построения радиосети Mesh Lite в частотном диапазоне 868 МГц // Беспроводные технологии. 2008. № 3.

<sup>1</sup>При излучаемой мощности 25 мВт в условиях городской застройки дальность действия не более 100 м.