

Беспроводная система мониторинга состояния строительных конструкций

В статье показана целесообразность применения технологии беспроводных сенсорных сетей в области обеспечения безопасности строительных сооружений и представлена беспроводная система контроля напряженно-деформированного состояния и структурной целостности строительных конструкций.

Сергей Баскаков
baskakov@meshlogic.ru

Введение

По мере увеличения масштабов строительства объектов с уникальной конструкцией (высотные и большепролетные здания, спортивные сооружения, мосты, дамбы и т. п.) все более актуальной становится задача обеспечения комплексной безопасности строительных сооружений. Основным элементом в решении этой задачи является мониторинг структурной целостности и напряженно-деформированного состояния строительных конструкций с целью своевременного обнаружения дефектов и принятия мер по их устранению.

Причинами дефектов могут быть ошибки при проектировании, низкое качество расходных материалов, нарушение технологии строительных работ, ухудшение свойств материалов из-за износа и коррозии, а также различные внешние воздействия (землетрясения, наводнения и т. п.). При этом возникновение и развитие дефектов может иметь случайный характер, поэтому целесообразен переход от периодического визуального и инструментального обследования силами специалистов к автоматизированным системам мониторинга либо сочетание данных видов контроля.

В последнее время в области строительного мониторинга постоянно возрастает интерес к применению беспроводных сенсорных сетей для сбора показаний с распределенных датчиков, поскольку такой подход значительно сокращает затраты времени и средств на монтаж, пусконаладку и последующее техническое сопровождение системы. Кроме того, беспроводные системы мониторинга могут быть незаменимы для обеспечения контроля состояния зданий, представляющих историческую ценность, а также как временные средства контроля, используемые только на некоторых этапах строительных работ.

В настоящей статье представлена автоматизированная беспроводная система мониторинга ML-SM, предназначенная для непрерывного статического контроля напряженно-деформированного состояния и структурной целостности строительных конструкций, а также параметров окружающей среды.

Состав системы

Система ML-SM построена на основе отечественной аппаратно-программной платформы

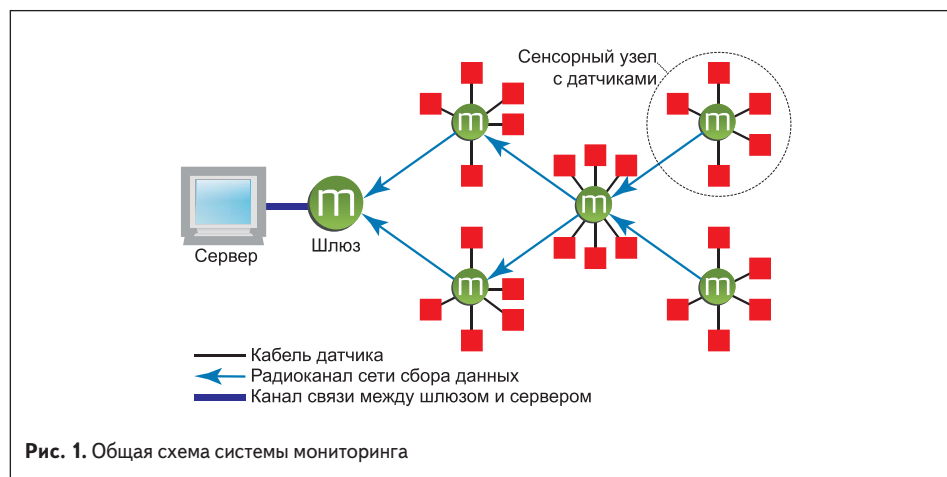




Рис. 2. Беспроводной сенсорный узел

MeshLogic и представляет собой беспроводную сенсорную сеть, состоящую из множества распределенных в пространстве узлов ML-SM-S с датчиками, одного шлюза ML-SM-G (точка сбора) и сервера на базе персонального компьютера (рис. 1).

Датчики подключаются к сенсорным узлам кабелями длиной до нескольких метров в зависимости от типа датчика и схемы включения. Для организации беспроводной сети из узлов и шлюза используются маломощные радиочастотные приемопередатчики стандарта IEEE 802.15.4 нелицензируемого диапазона 2,4 ГГц. Дальность связи между соседними узлами определяется условиями распространения сигналов и может достигать нескольких десятков метров.

Беспроводные сенсорные узлы с заданным периодом выполняют нормализацию и аналого-цифровое преобразование сигналов с подключенных к ним внешних датчиков, а также первичную обработку. Далее полученные результаты в виде пакета с цифровыми данными передаются в точку сбора по радиоканалу. При этом в общем случае сеть имеет многоячеювую топологию, то есть каждый узел в случае необходимости ретранслирует пакеты для их доставки точке сбора. Сенсорные узлы автоматически выполняют поиск маршрутов доставки пакетов как при первоначальном развертывании сети, так и в случае выхода соседних узлов из строя. За счет этого достигается более высокая степень надежности по сравнению с проводными системами передачи данных, так как при проведении строительных работ крайне высока вероятность механических повреждений кабельных линий связи.

В целом применение стека MeshLogic позволило обеспечить следующие преимущества подсистемы сбора данных:

- гибкость конфигурации при установке датчиков и сенсорных узлов;
- снижение трудозатрат на монтаж, пусконаладку и сопровождение;
- простота наращивания системы;
- высокая отказоустойчивость в условиях возможного выхода из строя датчиков или сенсорных узлов;



Рис. 3. Комбинированный датчик температуры и относительной влажности

- длительный срок службы элементов питания сенсорных узлов за счет автоматического перехода в «спящий» режим.

Полученные от сенсорных узлов данные шлюз сохраняет в энергонезависимой памяти, отмечая время их поступления и другую служебную информацию для однозначного последующего восстановления из архива собранных данных. Таким образом, шлюз выполняет функцию автономного регистратора показаний, поступающих от распределенных датчиков.

Далее с помощью специального программного обеспечения информация из шлюза может быть загружена на сервер для отображения и последующей обработки.

Беспроводной сенсорный узел

Беспроводной сенсорный узел ML-SM-S (рис. 2) состоит из аналоговых цепей согласования сигналов с датчиков, многоканального прецизионного аналого-цифрового преобразователя, радиомодуля ML-Module-Z со встроенным сетевым стеком MeshLogic, управляющего микроконтроллера и системы автономного питания из четырех Li/SOCL₂-батарей типоразмера AA.

В узле может быть задействовано до 7 несимметричных или до 4 дифференциальных входов аналого-цифрового преобразователя (или комбинация обоих типов входов), а также цифровые интерфейсы 1-wire и I2C. В результате каждый узел способен обслуживать следующие типы внешних датчиков:

- тензометрические датчики:
 - четвертьмостовая схема, 1 датчик (2- или 3-проводное подключение);
 - четвертьмостовая схема, 2 последовательных датчика в одном плече (2- или 3-проводное подключение);
 - четвертьмостовая схема, 4 датчика (2- или 3-проводное подключение);
 - полумостовая схема, 2 датчика (2- или 3-проводное подключение);
 - полумостовая схема, 2 датчика в диагональных плечах (2- или 3-проводное подключение);
 - полный мост (4- или 6-проводное подключение);

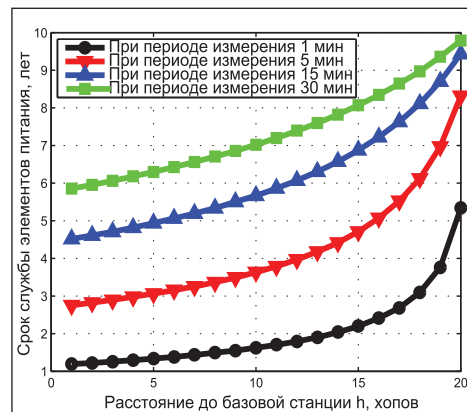


Рис. 4. Срок службы элементов питания сенсорных узлов

- потенциометрические датчики перемещения (раскрытия трещин);
- термосопротивления, 2-, 3- или 4-проводное подключение;
- цифровые датчики (например, температуры) с интерфейсом 1-wire или I²C.

Для измерения параметров окружающей среды к узлу подключается внешний цифровой интегрированный датчик температуры и относительной влажности ML-SHT (рис. 3). Объединение в одном корпусе двух чувствительных элементов позволяет с высокой точностью вычислять точку росы и другие климатические показатели, одновременно зависящие от температуры и влажности.

Узлы работают от батарей, срок службы которых достигает нескольких лет в зависимости от выбранного периода измерений (типичное значение 1 минута и более) и масштаба сети (длина цепочек ретрансляции до шлюза). В качестве примера рассмотрим сеть с топологией в виде линейной цепи из 20 сенсорных узлов, каждый из которых с заданным периодом опрашивает 4 тензодатчика с номинальным сопротивлением 350 Ом и передает результаты шлюзу. На рис. 4 приведены оценки срока службы элементов питания узлов в зависимости от расстояния до точки сбора и выбранного периода измерения.

Срок службы может быть увеличен путем установки в сети нескольких шлюзов (поддерживается до 4), а также применением событийной модели передачи сообщений (например, данные передаются только при превышении сигнала с датчика некоторого заданного порога).

Беспроводной шлюз и сервер

Функция беспроводного шлюза ML-SM-G заключается в приеме данных от множества беспроводных сенсорных узлов ML-SM-S, их накоплении в энергонезависимой памяти, а также выдаче информации по запросу от сервера. В зависимости от условий применения системы мониторинга ML-SM возможны следующие варианты взаимодействия шлюза и сервера:

- локальное подключение к серверу по интерфейсу USB, RS-232 или RS-485 (рис. 5);



Рис. 5. Беспроводной шлюз



Рис. 6. Оборудование удаленного доступа при стационарном питании



Рис. 7. Оборудование удаленного доступа при автономном питании

- удаленное подключение к серверу через GSM-модем при стационарном питании (рис. 6);
- удаленное подключение к серверу через GSM-модем при автономном питании (рис. 7).

Первый вариант наиболее прост в реализации и предназначен для систем, в которых возможно организовать проводной канал связи между беспроводной сетью сбора данных и сервером, выполняющим последующую обработку и анализ полученной информации, то есть все оборудование монтируется непосредственно на объекте, подлежащем мониторингу. В этом случае обеспечивается наиболее оперативный контроль состояния наблюдаемого объекта, поскольку показания датчиков могут поступать на сервер без промежуточной буферизации в шлюзе.

Однако применение локального подключения шлюза к серверу ограничено тем, что во многих ситуациях невозможна установка сервера на строительном объекте (например, отсутствие отопляемого помещения), а также предполагается, что персонал, наблюдающий за состоянием объекта, имеет постоянный доступ к серверу. Поэтому был разработан вариант удаленного подключения к шлюзу по GSM-каналу связи, при котором оборудование беспроводной сети (датчики, сенсорные узлы и шлюз) устанавливается на строительных конструкциях, а сервер – в любом другом удобном месте (например, в офисе обслуживающей организации). При этом автономный вариант комбинации шлюза и GSM-модема (рис. 7) позволяет эксплуатировать систему мониторинга на объектах без какого-либо электроснабжения, что расширяет диапазон типов строительных конструкций, на которых может быть внедрено представленное решение.

Важное преимущество удаленного доступа заключается в том, что обеспечивается возможность квалифицированным специалистам осуществлять мониторинг строительных объектов, находящихся в различных частях города, разных городах или даже в странах, без необходимости периодического выезда и осмотра. Следовательно, сокращаются общие затраты на обслуживание системы, а оперативность контроля повышается.

Специальное программное обеспечение сервера (рис. 8) предназначено для настройки параметров беспроводной сети (например, период измерения и передачи показаний датчиков), считывания со шлюза накопленной информации, ее отображения в виде таблиц и графиков, а также сохранения данных в виде файлов для архивирования и последующей обработки в сторонних специализированных математических пакетах.

Заключение

Представленная в статье беспроводная система мониторинга состояния строительных конструкций является эффективным средством в комплексе мер по обеспечению безопасности зданий и сооружений и наглядно демонстрирует одну из областей практического применения технологии беспроводных сенсорных сетей MeshLogic.

На данном этапе система обеспечивает только сбор, регистрацию и отображение показаний от множества датчиков, установленных на различных элементах конструкций для контроля их напряженно-деформированного состояния и структурной целостности. Дальнейшая интерпретация и анализ полученных данных требуют применения экспертных знаний и специализированных математических пакетов, но по мере накопления опыта функционал системы будет расширяться. ■

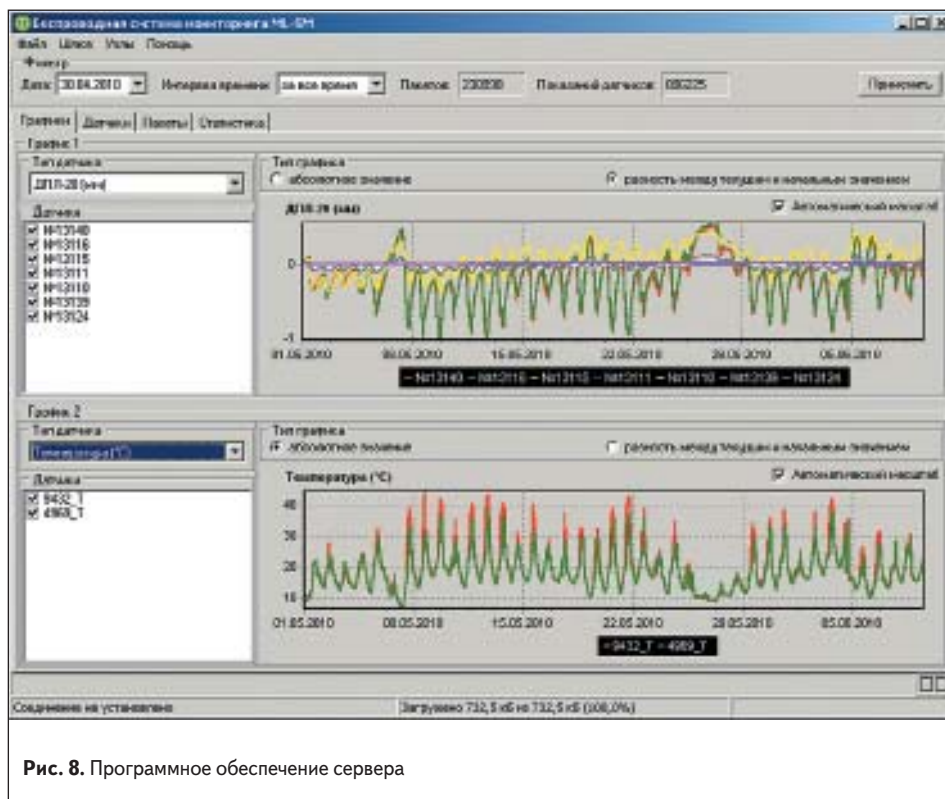


Рис. 8. Программное обеспечение сервера