

Многофункциональный встраиваемый контроллер

Часть 2

Александр Елисеев (г. Вильнюс, Литва)

В статье рассматривается контроллер «M2M ассистент», созданный на основе платы ARMGeoSpyder3. Контроллер выполняет ряд функций, необходимость в которых возникает при разработке систем удалённого мониторинга и управления через Интернет. Описаны архитектура программного обеспечения контроллера и взаимодействие с внешними устройствами и службами.

TELNET и VT100

Контроллер «M2M ассистент» предоставляет возможность управления через сеть Интернет с помощью программ Telnet-клиентов внешним устройством с интерфейсом RS-232. Для персональных компьютеров существует большое количество программ, осуществляющих связь по протоколу Telnet, например Tera Term WEB. При этом способе взаимодействия «M2M ассистент» выступает как Telnet-сервер, прозрачно передающий данные из Интернета в локальное устройство через интерфейс RS-232 и обратно.

Данное решение полезно, когда устройство, к которому подключается «M2M ассистент» через RS-232, имеет встроенный текстовый терминал, предназначенный для интерактивного взаимодействия с оператором. Такие терминалы обычно поддерживают набор команд VT100 или подобный, что позволяет отображать псевдографические меню и прочие распределённые по экрану элементы. Терминалы наподобие VT100 очень просты в реализации и генерируют незначительный трафик. Такие утилиты, как TeraTerm, работая удалённо с «M2M ассистент», могут правильно обрабатывать команды VT100 и воспроизводить в своём окне ту же картинку, какую бы видел пользователь, подключившись локально к устройству через RS-232.

Данные из порта RS-232 передаются в пакетах TCP без модификации или дополнительных заголовков. Символы, передающиеся с задержкой менее 0,5 с, группируются в пакеты, таким образом, уменьшается общее число пересылаемых пакетов. При использовании канала связи GPRS протокол

Telnet часто предпочтительней протокола HTTP с передачей WEB-страниц для интерактивного взаимодействия пользователя с удалённым устройством.

Если рассматривать решения вида «прозрачный RS-232 поверх TCP», то вышеописанный метод имеет преимущество в том, что не требует установки специальных драйверов.

«ПРОЗРАЧНЫЙ» GSM

Иногда возникает необходимость подключения к устройствам простого модема GSM через интерфейс RS-232. Тогда поддержку всех протоколов, включая TCP/IP и PPP, берёт на себя контроллер, который можно настроить на работу в режиме прозрачного доступа к внутреннему модему GSM. Сценарий инициализации модема по-прежнему будет осуществляться из файла GSM.JSON, находящегося на карте microSD контроллера. Это избавит пользователя от изучения особенностей AT-команд внутреннего модема. В модем уже будет введён PIN-код, и он будет подготовлен к работе сразу после установления сессии GPRS.

Существует возможность подключения к контроллеру по протоколу PPP в режиме т.н. прямого подключения. В этом случае вообще пропускается этап обмена AT-командами. Но контроллер будет работать уже не в прозрачном режиме, а будет играть роль маршрутизатора и обслуживать протокол PPP для внешнего устройства.

УПРАВЛЕНИЕ ПО SMS И С УДАЛЁННОГО СЕРВЕРА TCP

Все параметры и установки контроллера «M2M ассистент» можно читать и редактировать с помощью SMS. С по-

мощью SMS можно выполнять и другие действия. Для этого разработан простой формат сообщений, который без изменений применяется и при обмене с серверами TCP в сети Интернет. Как пример реализации управления устройством через Интернет по каналу TCP, пользователям предоставляются исходные коды программного обеспечения для ПК под управление операционных систем Windows XP или Windows 7. Описание формата SMS дано в Приложении 2.

ЛОГГЕР

Непрерывная запись значений некоторого набора сигналов и сохранение записи на диске или передача по сети Интернет на сервер является типовой функцией многих устройств M2M. Поэтому в контроллере «M2M ассистент» эта функция была реализована встроенной, и в трёх экземплярах, т.е. можно запустить три независимых логгера с различным временем выборки, записывающих данные в разные файлы, хотя при этом логгеры могут записывать одинаковые сигналы. Настройки для всех трёх логгеров находятся в файле BOOTPARAMS.INI. Время выборки в каждом логгере можно устанавливать от 1 с до 10 000 с.

Логгеры отправляют данные в файл на диске и одновременно могут также отправлять их по TCP-соединению на сервер пользователя и в таблицы Google. Каждый из логгеров может быть включён или выключен независимо. Файлы, создаваемые логгерами, имеют задаваемое пользователем ограничение на размер; в случае превышения файл закрывается и сохраняется со штампом даты и времени, а логгер начинает запись следующего файла. Такой метод позволяет фрагментировать записываемую информацию для более удобной пересылки через Интернет.

Логгер записывает значения переменных, задаваемых списком их мнемоник в строке с параметром LOGxPLS, где x соответствует номеру логгера (1–3), и разделяемых запятыми. Мне-

монитори параметров и установок представляются символом «*», чтобы отличить их от мнемоник переменных, изменяющихся в реальном времени. Контроллер содержит в памяти специальные переменные реального времени, которые отражают состояния внутренних сигналов, данные, периодически получаемые от модулей GSM и GPS, и другие динамические данные. Список переменных реального времени приведён в Приложении 3.

Переменные с префиксом CENG имеют специальное предназначение при определении координат без использования модуля GPS, а только на основе данных, получаемых от базовой станции GSM.

В устройстве существует возможность задания способов преобразования выборок, осуществляемых АЦП сопроцессора, в значения с плавающей точкой с помощью специального конфигурационного файла. Этот файл имеет название IOconf.json и должен располагаться в корне файловой системы на карте microSD. В файле каждый сигнал описывается 16 объектами массива SIGNALS. Каждый объект содержит ключ Index, задающий индекс сигнала, ключ Name, задающий название сигнала, и ключ Format, задающий строку форматирования для операции printf в стандарте языка Си. Математические преобразования позволяют подключать к аналого-цифровым входам устройства различные термочувствительные датчики, включая линейные полупроводниковые датчики и нелинейные термисторы, и получать в записи точные значения, преобразованные в температуру.

По умолчанию выборка аналоговых сигналов в сопроцессоре устройства производится с частотой 10 кГц. Поэтому за один цикл записи в лог-файл производится 100 и более выборок каждого сигнала. Такая избыточность помогает выполнить эффективную фильтрацию сигналов в устройстве, например, по формуле экспоненциального сглаживания. Параметр фильтра задаётся ключом FilterPar в объекте сигнала в файле IOconf.json.

ЗАПИСЬ СИГНАЛОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Логгеры, описанные выше, производили запись сигналов и переменных с достаточно большим периодом выборки – не менее 1 с. Такой период был

выбран из соображений минимальной пропускной способности канала связи с Интернетом, куда логгеры могут отправлять данные. С другой стороны, эти логгеры не обеспечивают точной привязки значений переменных к моменту их считывания логгером, поскольку значения многих сигналов обновляются в программе асинхронно с тактами их записи.

Для точной и быстрой выборки сигналов и записи их в файл, в «M2M ассистент» выполняется задача логгера в реальном времени. В данном случае выборка сигналов производится синхронно с тактами логгера, которые формируются сопроцессором ввода-вывода на микроконтроллере STM32F205 на плате ARMGeoSpyder3. Минимальный период записи логгера равен такту 10 мс операционной системы реального времени, работающей в сопроцессоре.

Работа логгера оптимизирована для записи больших объёмов данных (сотни и более мегабайт). Для этого в главном микроконтроллере устройства выделен большой буфер в памяти. Записи, после накопления достаточного объёма, большими блоками переписываются на карту microSD, что оптимизирует работу файловой системы и экономит ресурсы процессорного времени. Когда файл журнала достигает максимального заданного размера, он закрывается и переименовывается, и начинается записываться новый файл с прежним названием. Таким образом, при работе логгера существует только два файла: текущий записываемый файл и предыдущий сохранённый файл журнала. Такой способ записи предохраняет карту microSD от переполнения.

Чтобы логгер приступил к работе, на карте microSD в корневом каталоге должен находиться файл с названием SLOG.JSON. В этом файле указана скорость выборки в количестве тиков на выборку, где один тик соответствует 10 мс. Также в нём указаны названия файлов журналов, их максимальный размер и символ – разделитель значений. Результатом работы логгера может быть файл в формате CSV, который легко импортируется в электронные таблицы Excel, MATLAB и другие программы. В конфигурационном файле также перечислены все сигналы, которые может записывать логгер, форматы их представления и дополнительные преобразования над ними.

ТРЕККЕР GPS И ИНТЕГРАЦИЯ С GOOGLE MAPS И GOOGLE EARTH

Контроллер оснащён модулем спутниковой системы определения координат. В зависимости от потребностей, может быть установлен модуль GPS, GLONASS или Galileo. Информация от модуля координат обрабатывается устройством и направляется в Интернет и в файлы на карте microSD. Каким образом обрабатывается и куда направляется информация – зависит от настроек в файле BOOTPARAMS.INI.

В текущей версии «M2M ассистент» существует несколько способов использования информации от модуля координат:

- коррекция собственных часов реального времени от модуля координат;
- запись файла журнала с текущими координатами и временем;
- запись необработанных данных от модуля координат в формате NMEA и отправка их в виде файлов с заданным максимальным размером на заданный FTP-сервер в Интернет;
- преобразование данных от модуля координат в формат KML и передача KML-файлов на заданный FTP-сервер в Интернет;
- выделение из данных модуля координат отдельных переменных, таких как широта, долгота, высота, скорость и т.д. для их использования логгерами устройства;
- передача данных от модуля координат в таблицы Google для последующего отображения на Google Maps.

По умолчанию коррекция часов реального времени «M2M ассистент» от модуля координат производится каждые 60 с. Пользователь может установить этот период в интервале от 1 до 1000 с. Также следует помнить, что синхронизация времени в устройстве может производиться с серверов точного времени в Интернете.

Запись файла журнала от модуля координат включается всегда, когда разрешена задача ведения диагностических журналов. Кроме этого, дополнительно может быть включена запись информации, поступающей через UART микроконтроллера, соединённого с модулем координат. В этом случае формируется журнал, в котором фиксируется абсолютно вся информация, проходящая между модулем координат и микроконтроллером.

Модули координат по умолчанию передают свои данные, отформатиро-

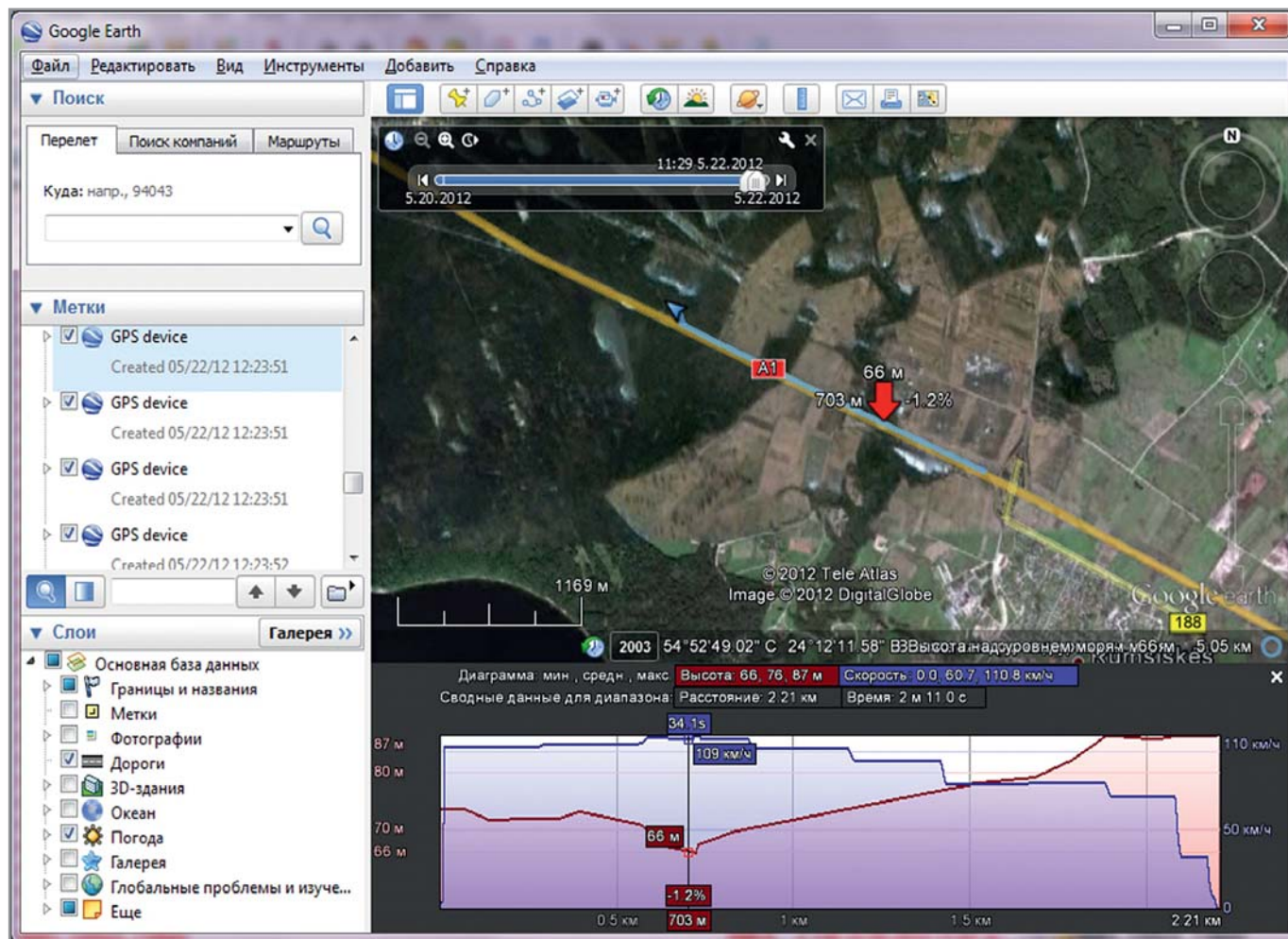


Рис. 6. Вид окна программы Google Earth с импортированными данными из файла NMEA

ванные по стандарту NMEA. Многие программы на ПК способны декодировать данный формат и извлекать из него необходимые данные. В частности, такая возможность есть у программы Google Earth (см. рис. 6). Данные в формате NMEA передаются из модуля координат периодически, группами строк с разными заголовочными мнемониками. Каждая строка несёт определённую информацию от модуля координат. Для анализа требуется не вся информация, поэтому в устройстве предусмотрен фильтр строк по заголовочным мнемоникам, который уменьшает объём файлов, пересылаемых на FTP-сервер. Если FTP-сервер по какой-либо причине недоступен, файлы накапливаются на карте microSD. Чтобы ещё больше уменьшить объём пересылаемых данных, файлы могут сжиматься в формат .zip.

Технологии компании Google под названием Google Maps и Google Fusion Tables (см. рис. 7) предоставляют удобный способ наблюдения за координатами объекта в реальном времени. Контроллер «M2M ассистент» может передавать данные в ре-

альном времени через Интернет в таблицы Google (Google Fusion Tables) с последующим их отображением на картах Google (Google Maps). Чтобы использовать Google Fusion Tables, пользователю необходимо создать учётную запись в Google и записать её параметры в файл настроек BOOTPARAMS.INI. Далее контроллер всё сделает автоматически: подключится через Интернет и защищённый канал SSL к серверу Google, проверит наличие необходимых таблиц (или создаст их), начнёт запись в таблицы информации о координатах и другие параметры с заданной периодичностью, например, по пройденному расстоянию.

Очевидно, Google Fusion Tables являются своего рода заменой базы данных в Интернете, при этом бесплатной. В традиционных решениях пользователи должны оплачивать услуги провайдеров баз данных в Интернете. Интерфейс таблиц Google постоянно совершенствуется. Таблицы доступны для просмотра из всех интернет-браузеров и, соответственно, из всех мобильных устройств, снабжённых ин-

тернет-браузерами. Над таблицами можно выполнять типовые операции: поиск, сортировку, фильтрацию, удаление и добавление строк, редактирование, импорт и экспорт данных. Но также есть несвойственные обычным таблицам операции, такие как комментирование и геокодирование данных, автоматическая интерпретация данных в координаты и соответствующее отображение на картах Google и т.д. Любой таблице можно присвоить статус публично доступной или доступной только для пользователя учётной записи.

В качестве дополнительной возможности просмотра траектории движения объекта, контроллер предлагает запись файлов в формате KML, разработанном специально для представления геопространственных данных. Программа Google Earth сохраняет результаты работы именно в формате KML. Если файл KML сжимают алгоритмом zip, то он переименовывается в файл с расширением KMZ. Этот формат экономит трафик и также распознаётся программой Google Earth. В контроллере предусмотрена

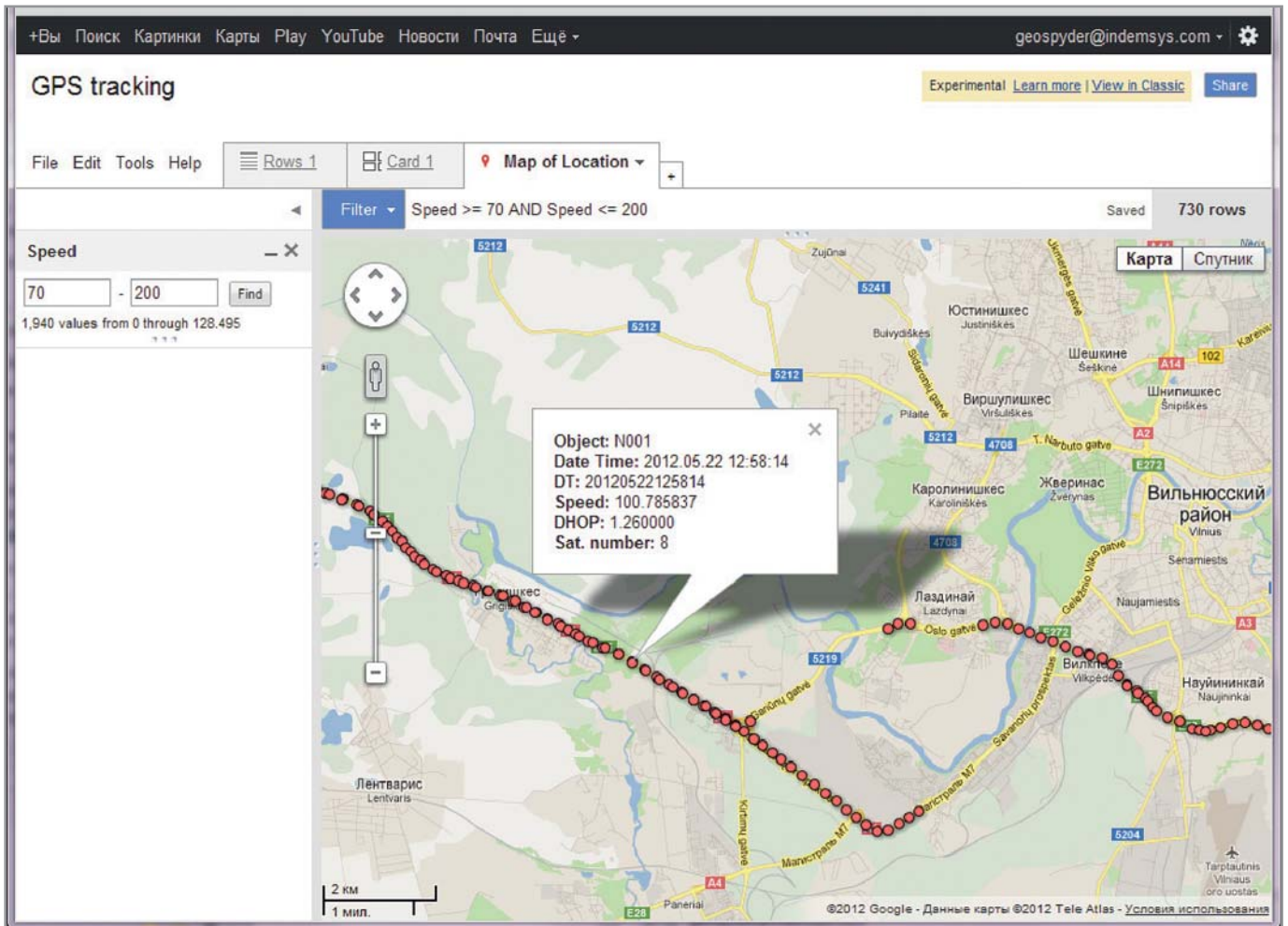


Рис. 7. Вид страницы Google Fusion Tables с отображением в реальном времени координат объекта с применением фильтра

Фильтр указывает на карте только те точки, в которых скорость объекта соответствовала заданному диапазону

возможность записывать на удалённый FTP-сервер файлы либо в формате NMEA, либо в формате KML, либо их сжатые версии. Запись файлов с координатами на FTP-сервер и запись данных о координатах в таблицы Google может производиться одновременно.

Характерный сценарий взаимодействия с удалёнными встраиваемыми устройствами через Интернет включает:

- просмотр состояния внутренних переменных и внешних сигналов устройства;
- передачу устройством определённых сообщений об изменении определённых сигналов или состояний;
- редактирование параметров устройства;
- передачу команд на выполнение некоторых действий;
- перепрограммирование устройства.

Контроллер предоставляет технологию наделения упомянутыми возможностями более простых устройств, подключённых к нему по интерфейсу RS-232. В данном случае он выступает в

роли панели человеко-машинного интерфейса и шлюза, преобразующего данные от внешнего устройства в формате протокола M2M в данные, доступные для просмотра и редактирования на дисплее контроллера и отправляемые в Интернет по SMS или воспроизводимые речевым информатором «M2M ассистент».

Технология интеграции со шлюзом, реализованная в «M2M ассистент», применима для простейших восьмибитных микроконтроллеров или для 32-битных микроконтроллеров, но с ограниченными ресурсами памяти, где невозможно реализовать все функции, необходимые для работы через Интернет.

Процесс интеграции заключается в том, что разработчик программы для микроконтроллера внешнего устройства конфигурирует в специальной базе данных, подготовленной в программе MS Access, требуемый список параметров, сообщений и команд устройства. Все они имеют разнообразные атрибуты, которые пользователь назначает сам, соотносясь с

логикой работы своего устройства. По завершении конфигурации база данных генерирует заголовочный .h-файл, файл массива параметров на языке Си для микроконтроллера внешнего устройства, файлы для конвертера в голосовые сообщения и несколько файлов JSON для «M2M ассистент».

Файлы JSON записываются в папку M2M на карте microSD контроллера, а заголовочные и Си-файлы пользователь вставляет в свою программу для микроконтроллера. Помимо этого, пользователю предоставляются исходные тексты протокола M2M и модуля обработки и сохранения параметров, которые он также должен вставить в свою программу для микроконтроллера. В исходных текстах своей программы пользователь может использовать вызовы и события из модуля протокола M2M для передачи сообщений и приёма команд по протоколу M2M. Редактирование и чтение параметров по протоколу M2M не требует модификации остальных исходных текстов, но необ-

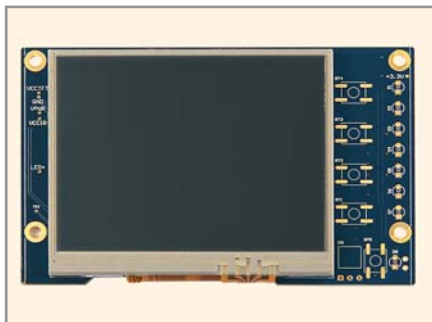


Рис. 8. Вид платы ARMGS3 HMI2.1

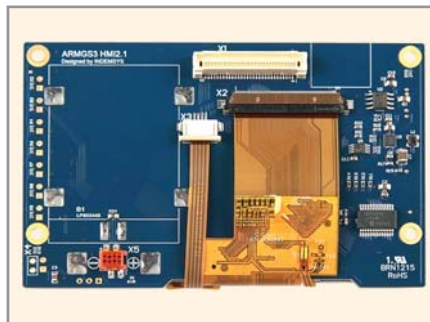


Рис. 9. Вид платы ARMGS3 HMI2.1 снизу

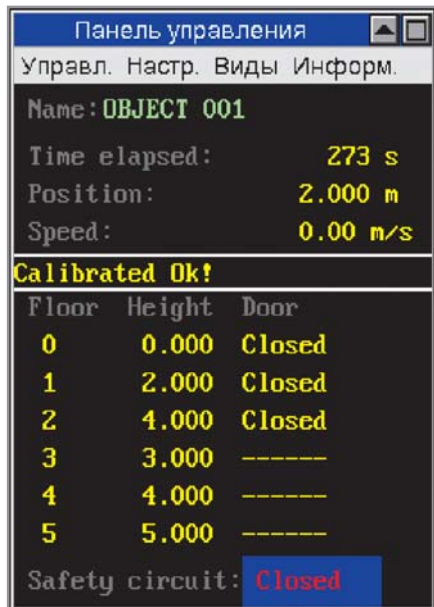


Рис. 10. Вид окна панели управления со строкой меню и пользовательским экраном наблюдения за внешним устройством

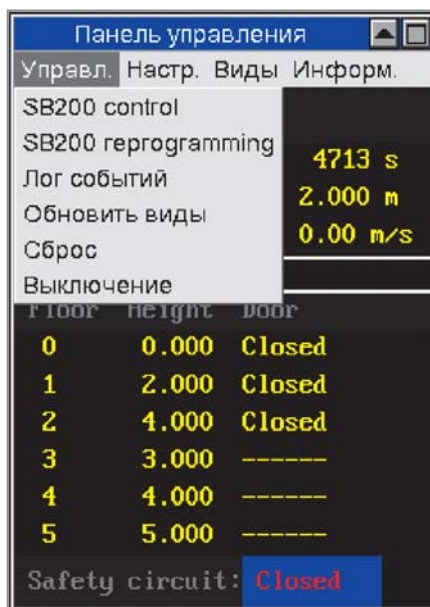


Рис. 11. Вид пунктов меню «Управл.» с добавленными пунктами управления внешним устройством

ходимо позаботиться о механизме сохранения в энергонезависимой памяти структуры со значениями параметров. Далее, в течение работы пользователь может обращаться к структуре с параметрами, чтобы получить их актуальное значение. Чтобы облегчить интеграцию M2M протокола в основное приложение, пользователю предлагается использовать операционную систему реального времени. В частности, предоставляются примеры интеграции протокола M2M в приложение на микроконтроллере STM32F205 с использованием OSCPВ RL-ARM от фирмы Keil.

В результате интеграции протокола M2M в своё устройство и при подключении к нему «M2M ассистент», пользователь получает следующие возможности:

- отсылка асинхронных (т.е. без запроса) сообщений в «M2M ассистент», где сообщения анализируются и на основе созданной пользователем конфигурации предпринимаются следующие действия:

- сообщение конвертируется в текстовую строку и отправляется по электронной почте заданным адресатам по списку;
- сообщение записывается на карту microSD контроллера;
- сообщения выводятся в отдельное окно на дисплее контроллера;
- сообщение преобразуется в текстовую строку и записывается в таблицу Google в Интернете;
- сообщение преобразуется в текстовую строку и отправляется с помощью SMS заданным адресатам по списку;
- сообщение воспроизводится голосом через встроенный громкоговоритель;
- приём команд от контроллера, которые, в свою очередь, могли быть высланы по SMS с дисплея контроллера, с Web-страниц сервера контроллера или по TCP/IP;
- наблюдение за параметрами и сигналами своего устройства на дисплее контроллера;

- редактирование в оконном интерфейсе с дисплея контроллера параметров в своём устройстве;
- перепрограммирование внешнего устройства по сети Интернет через «M2M ассистент», если в устройстве предварительно был интегрирован Y-modem протокол. (Предоставляется пример реализации в исходных кодах для микроконтроллеров типа STM32F205.)

Протокол M2M несложен и занимает мало ресурсов памяти микроконтроллеров. Передача событий и команд в нём осуществляется в виде текстовых пакетов с условными кодовыми номерами; параметры обозначаются мнемониками. Передаваемые пакеты защищены от ошибок контрольной суммой, являются достаточно короткими и легко читаются в терминальных программах. Очевидно, контроллер не должен быть постоянно подключён к внешнему устройству, поскольку связь необходима только на время обслуживания. Протокол M2M не критичен к разрыву связи и восстанавливается сразу после физического подключения.

GUI И НАСТРАИВАЕМЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ЭКРАНЫ

В графическом интерфейсе пользователя (GUI) контроллера «M2M ассистент» для вывода и ввода информации используется дополнительная плата ARMGS3 HMI2.1 (см. рис. 8 и 9), которая содержит 24-битный графический сенсорный TFT-дисплей с разрешением 320 × 240 пикселей, драйвер управления семью светодиодами, инфракрасный приёмник сигналов дистанционного управления, посадочное место для литиевого аккумулятора и схему управления питанием платы и яркостью дисплея.

Программный интерфейс пользователя построен с использованием оконной концепции и поддерживает шрифты TTF и многоязычную кодировку. Адаптированные шрифты TTF находятся в папке FONTS на карте microSD. Основой интерфейса является окно со строкой меню, напоминающее стандартное окно в системе Windows (см. рис. 10). Состав некоторых пунктов меню зависит от конфигурационных файлов, созданных пользователем и сохранённых в папке M2M на карте microSD.

Пользователь может выполнять изменения в пунктах меню, например, в

пункте меню «Управл» (см. рис. 11) добавить команду, создающую окно с кнопками команд для внешнего устройства. Для этого в папке M2M на карте microSD должен содержаться файл M2M_Commands.json, где определены название пункта меню и перечислены названия и идентификаторы команд, посылаемых внешнему устройству.

В пункте меню «Управл» можно добавить команду перепрограммирования сети внешних устройств. Предполагается, что подключённое к «M2M ассистент» внешнее устройство управляет локальной сетью узлов, каждый из которых может быть перепрограммирован. В папке M2M на карте microSD должен находиться файл M2M_programmer.json, в котором определяется название пункта меню и перечисляются названия файлов для программирования. В той же папке M2M должны находиться сами двоичные образы программируемых файлов. Внешнее устройство должно распознавать адресатов и способ программирования по названиям файлов.

В пункте меню «Настр» можно добавить команду вызова редактора пара-

метров внешнего устройства. Для этого в папке M2M на карте microSD должен содержаться файл M2M_Parameters.json. В нём определяется название пункта меню и перечисляются параметры внешнего устройства с их названиями, иерархией, идентификаторными номерами, форматами представления, допустимыми значениями и др.

В пункте меню «Виды» можно добавить список выбора пользовательских экранов. Для этого в директории HMI на карте microSD должен содержаться файл HMI_Screens.json. Пользовательский экран (см. рис. 10) может отображать статический текст и динамические переменные, содержащиеся как в самом устройстве «M2M ассистент», так и во внешнем устройстве, и извлекаемые по протоколу M2M. В файле HMI_Screens.json пользовательские экраны описываются как массив объектов. Первый объект массива описывает экран, отображаемый по умолчанию. Остальные вызываются при выборе соответствующего пункта меню. Объекты описания экранов, в свою очередь, включают массивы объектов

экранных элементов. Число элементов массива экранных элементов не ограничено. Каждому экранному элементу задаются координаты расположения, ширина, высота, цвет фона, цвет шрифта, тип шрифта, размер шрифта и тип данных с идентификатором.

К работе с внешним устройством также относится пункт «Лог событий» в меню «Управл». При вызове этого пункта появляется окно, в котором отображается в реальном времени список идентификаторов событий внешнего устройства и их описания.

Пользовательский интерфейс контроллера «M2M ассистент» непрерывно совершенствуется, поэтому приведённое выше описание даёт только общее представление о его возможностях. Полную спецификацию пользовательского интерфейса можно получить вместе с текущей версией «M2M ассистент».

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев А. Проект ARMGeoSpyder 3 для современных приложений M2M. Современная электроника. 2012. № 4. ©