

ЛОКАЛЬНИЙ WEB-СЕРВЕР ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З СЕНСОРАМИ ВЗАЄМОДІЇ ЗА ПРОТОКОЛОМ MODBUS

В. Я. Пуйда

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин
E-mail: volodymyr.y.puida@lpnu.ua

© Пуйда В. Я., 2021

З розвитком мікропроцесорних компонентів і відповідно значним розширенням сфер використання комп'ютерної техніки стрімко розвивається дистанційне вимірювання стану об'єктів – телеметрія та дистанційне керування технічними системами чи їх компонентами в промисловості, наукових дослідженнях, в побутових пристроях та інших областях. У роботі запропоновано варіант побудови локального web-сервера на базі мікроконтролера з ядром ARM Cortex-M4, який може взаємодіяти через http-браузер з доступом до інтернету. Розроблено структурну схему локального web-сервера на базі мікроконтролера STM32F407 з ядром ARM Cortex-M4. Проведено апаратне моделювання локального web-сервера, особливістю якого є двох-процесорна архітектура, яка включає головний контролер та процесор Modbus з інтерфейсом RS-485, який забезпечує обмін інформацією за протоколом Modbus RTU. Головний контролер обладнаний системою індикації на базі функціонально програмованих одиночних світлодіодних індикаторів, LCD індикатором типу BC1602A, локальною клавіатурою, портами USB та SWD для відлагодження та програмування програмної пам'яті мікроконтролера і зовнішнім модулем фізичного рівня Ethernet типу DP83848, який забезпечує зв'язок з комп'ютерною системою через інтерфейс Ethernet та вихід в інтернет. Для перевірки функціонування режимів отримання телеметричної інформації з сенсорів та видачі команд керування через опції http-браузера використано сенсор температури XY-MD01 SHT20 та модуль реле Modbus RTU Relay, які взаємодіють з головним контролером локального web-сервера через процесор Modbus з інтерфейсом RS-485 за протоколом Modbus RTU. Розроблено відповідне програмне забезпечення локального web-сервера для взаємодії з http-браузером. Отримані результати можуть бути використані в наукових дослідженнях та при проектуванні реальних телеметричних систем різного функціонального призначення.

Ключові слова: мікроконтролер, web-сервер, http-браузер, протокол Modbus RTU, інтерфейс RS-485, сенсор, реле.

Вступ

Сучасні технічні системи в промисловості, наукових дослідженнях та навіть в побутових пристроях, наприклад, системи типу «Розумний дім» передбачають дистанційне вимірювання стану об'єктів – телеметрію та дистанційне керування такими системами чи їх компонентами. Чим більшу складність мають такі системи, тим більші об'єми інформації необхідно передавати. При цьому накладаються жорсткіші вимоги до швидкості передачі, завадостійкості і в загальному надійності каналів зв'язку. Наприклад, в аерокосмічних дослідженнях використовуються найскладніші сучасні системи телеметрії. Телеметричні системи отримують великі об'єми інформації від багатьох сенсорів різного типу, яку необхідно оперативно опрацювати, прийняти автоматичне чи автома-

тизоване (з участю оператора) рішення і сформувані та передати команди керування. Не останню роль в цьому процесі відіграє особливість організації взаємодії з оператором системи «людина-машина», якщо в загальний процес задіяний людський фактор при організації автоматизованого процесу. Подібні проблеми виникають і в промислових системах та системах приватного застосування, наприклад, як уже згадувалося вище, в системах типу «Розумний дім» та їх аналогах.

Одним із рішень такого комплексу задач є використання http-серверів з інтерфейсом Ethernet на основі розподіленої системи локальних web-серверів, побудованих на базі мікроконтролерів. Сучасні мікроконтролери розробляються на основі потужних ядер, яких може бути інтегровано на кристалі декілька, з різними функціональними можливостями, мають достатній об'єм перепрограмованої пам'яті програм та оперативної пам'яті для зберігання проміжних даних з можливостями розширення об'ємів пам'яті шляхом підключення зовнішніх кристалів пам'яті від статичних до динамічних типів через спеціальний інтерфейс або через універсальні послідовні інтерфейси типу SPI чи I2C в залежності від вимог до швидкодії. Крім цього, на кристалі сучасних мікроконтролерів інтегровано широкий спектр периферійних вузлів, що значно спрощує проектування локальних web-серверів та знижує їх кінцеву вартість.

В роботі розглянуто варіант побудови локального web-сервера на базі мікроконтролера з ядром ARM, який може взаємодіяти в складі розподіленої системи через http-браузер з доступом до інтернету.

Аналіз публікацій

Задачі побудови засобів віддаленого отримання інформації про стан об'єктів та віддаленого керування такими об'єктами виникали в різних областях від промислових технічних систем, систем спеціального призначення до систем типу «Розумний дім». Розроблялися різноманітні підходи та методи організації телеметрії [1] в різних областях, наприклад, в промисловості [2], [3], в системах спеціального призначення [4], [5]. Для передачі телеметричної інформації розроблялися протоколи під спеціалізовані інтерфейси, орієнтовані як на конкретні технічні системи так і на універсальне застосування, наприклад, Modbus [6], [7], [8], який використовує 2-провідний інтерфейс RS-485. З розвитком технологій безпроводної передачі інформації в багатьох системах, наприклад, типу «Розумний дім», використовуються Wi-Fi [9] засоби та технології для організації безпроводної локальної мережі.

В зв'язку з цим виник один з напрямків побудови телеметричних систем - розроблення локальних web-серверів на базі мікроконтролерів різної архітектури з самими різноманітними технічними характеристиками в залежності від особливостей та кінцевих вимог до загальної структури системи, наприклад, [10], [11]. При цьому для організації Ethernet інтерфейсу використовувалися різноманітні інтегровані на кристалі чи зовнішні компоненти, наприклад, [12], [13].

Постановка завдання

Розробити структурну схему локального web-сервера на базі мікроконтролера для взаємодії через http-браузер. Провести апаратне макетування основних вузлів web-сервера на базі мікроконтролера з ядром ARM Cortex-M4 для отримання телеметричної інформації та керування реле з використанням компонентів для обміну інформацією за протоколом Modbus та інтерфейсом RS-485. Розробити базове програмне забезпечення для функціонування мікроконтролера та його взаємодії через Ethernet з http-браузером.

Розв'язання завдання

На рис. 1 показано структурну схему локального web-сервера на базі мікроконтролера з ядром ARM Cortex-M4 типу STM32F407VG. Web-сервер являє собою двох-процесорну систему: на мікроконтролері STM32F407VG реалізовано web-сервер, а вузол Modbus RTU з інтерфейсом RS-

485 виконано на базі окремого процесора, обмін інформацією між якими відбувається через порт USART. Це дозволяє розвантажити головний мікроконтролер від реалізації операцій обміну за протоколом Modbus, що в кінцевому варіанті підвищує загальну продуктивність та надійність системи. Головний мікроконтролер обслуговує зовнішні периферійні компоненти: одиночні світлодіодні індикатори, функціональне призначення яких може бути перепрограмоване через спеціальне меню. Опції меню виводяться на рідкокристалічний індикатор LCD типу BC1602A – 2 рядки по 16 символів. Керування опціями меню виконується з допомогою п'яти кнопок локальної клавіатури. Меню web-сервера включає широкую номенклатуру опцій по налаштуванню основних параметрів. Крім цього головний контролер має USB порт через який також можна проводити налаштування основних параметрів в процесі функціонування та налагодження і проводити тестування апаратних компонентів в різних режимах. Відлагодження програмного забезпечення та програмування пам'яті типу Flash головного контролера відбувається через інтерфейс SWD, операції відлагодження через який підтримує більшість інтегрованих середовищ IDE для розроблення програмного забезпечення.

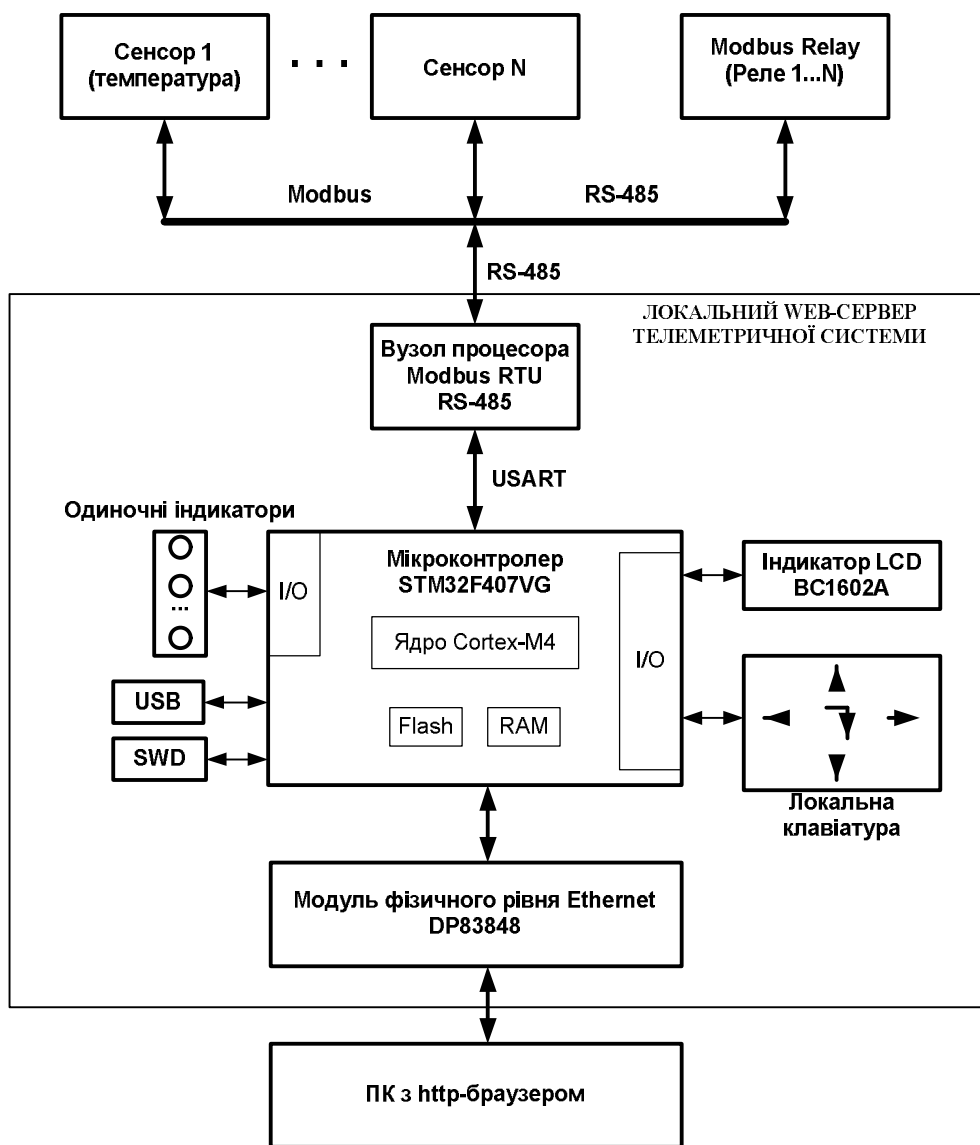


Рис. 1. Структурна схема локального web-сервера а базі мікроконтролера з ядром Cortex-M4

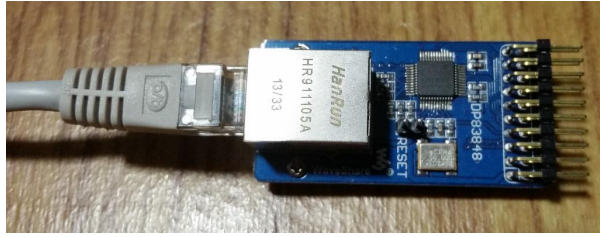


Рис. 2. Зовнішній вигляд модуля фізичного рівня Ethernet типу DP83848

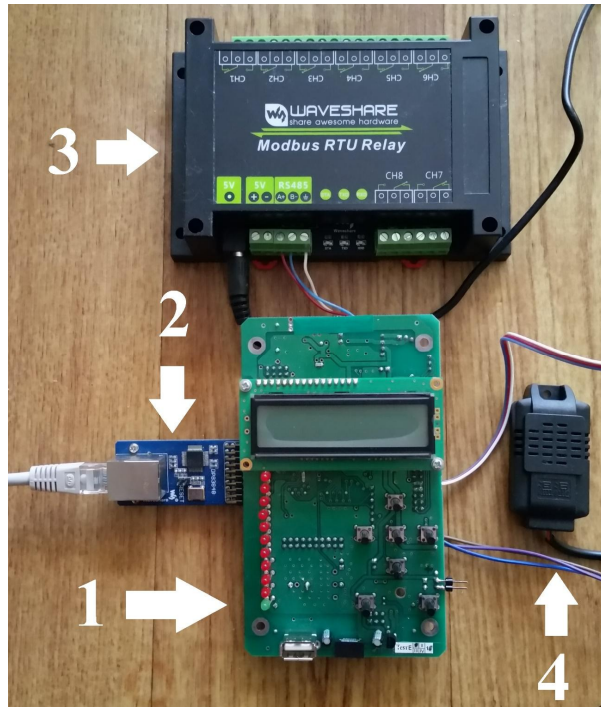


Рис.3. Фото локального web-сервера з підключеними сенсором температури та модулем реле з інтерфейсом RS-485 за протоколом Modbus RTU

Сенсори збору телеметричної інформації та реле керування компонентами підключаються до окремого процесора, який реалізує приймання телеметричних даних та видачу команд керування на реле за протоколом Modbus RTU через інтерфейс RS-485. Організація зв'язку через Ethernet відбувається через зовнішній модуль фізичного рівня Ethernet типу DP83848, див. рис.2. Цей модуль обладнаний роз'ємом до якого під'єднується кабель Ethernet. На рис.3 показано фото локального web-сервера, на якому зображено головний контролер з вузлом процесора Modbus RTU, системою індикації, локальною клавіатурою, USB та SWD інтерфейсами і модулем фізичного рівня Ethernet.

На рис.3 зображено: 1 – головний контролер з вузлом процесора Modbus RTU з інтерфейсом RS-485, системою індикації на базі одиночних світлодіодних індикаторів та LCD індикатором типу BC1602A, локальною клавіатурою, портами USB та SWD; 2 - модуль фізичного рівня Ethernet типу DP83848 [12]; 3 - модуль реле Modbus RTU Relay [14]; 4 - сенсор температури XY-MD01 SHT20 [15], який забезпечує похибку вимірювання температури 0.3 C та передає інформацію через інтерфейс RS485 за протоколом Modbus RTU.

Програмне забезпечення локального web-сервера забезпечує опитування сенсорів через інтерфейс RS-485 за протоколом Modbus RTU розміщеним на платі спеціальним процесором Modbus, який обмінюється інформацією з головним контролером через інтерфейс USART. Зв'язок з локальною мережею телеметричної системи здійснюється через Ethernet з відображенням інфор-

мації у відповідних опціях http-браузера, див. рис.4-6. Через http-браузер можна контролювати телеметричну інформацію та здійснювати керування відповідними компонентами системи шляхом включення/відключення необхідного реле.



Web server local Ethernet

[Інформація](#) [Керування](#) [Лінія 1](#) [Лінія 2](#) [Лінія 3](#) [Лінія 4](#)

Рис. 4. Скріншот головної сторінки на http-браузері

Web server local Ethernet

Лінія 1

[Інформація](#) [Керування](#) [Лінія 1](#) [Лінія 2](#) [Лінія 3](#) [Лінія 4](#)

Пристрій 1 U1,V=48.1----T1,оC=24.1

Пристрій 2 U2,V=48.2----T2,оC=24.2

Пристрій 3 U3,V=48.3----T3,оC=24.3

Пристрій 4 U4,V=48.4----T4,оC=24.4

Пристрій 5 U5,V=48.5----T5,оC=24.5

Пристрій 6 U6,V=48.6----T6,оC=24.6

Пристрій 7 U7,V=48.7----T7,оC=24.7

Пристрій 8 U8,V=48.8----T8,оC=24.8

Пристрій 9 U9,V=48.9----T9,оC=24.9

Рис. 5. Скріншот сторінки телеметричної інформації на http-браузері



Web server local Ethernet

Керування

[Інформація](#) [Поточна сторінка](#) [Лінія 1](#) [Лінія 2](#) [Лінія 3](#) [Лінія 4](#)

Керування RL On/Off

RL1 ON **RL2 ON** **RL3 ON** **RL4 ON** **RL5 ON**

RL1 OFF **RL2 OFF** **RL3 OFF** **RL4 OFF** **RL5 OFF**

Рис. 6. Скріншот сторінки керування реле на http-браузері

```

7
8 //      STM32F407  DP83848
9 //      PA1 = RMII_Ref_Clk
10 //     PA2 = ETH_MDIO
11 //     PA7 = RMII_CRSDV
12 //     PB11 = RMII_TX_EN
13 //     PB12 = RMII_TXD0
14 //     PB13 = RMII_TXD1
15 //     PB14 = RMII_INT
16 //     PC1 = ETH_MDC
17 //     PC4 = RMII_RXD0
18 //     PC5 = RMII_RXD1
19 //
20
21
22 #ifndef  _MAIN_H_
23 #define  _MAIN_H_
24
25 #ifdef  _cplusplus
26 extern "C" {
27 #endif
28 //-----
29 // Includes
30 #include "stm32f4xx.h"
31 #include "stm32f4xx_gpio.h"
32 #include "stm32f4xx_rcc.h"
33 #include "stm32f4xx_syscfg.h"
34 #include "stm32f4xx_exti.h"
35 #include "misc.h"

```

Рис. 7. Скріншот вікна програми локального web-сервера в середовищі CoCoX CoIDE для взаємодії з http-браузером

Розроблення програм локального web-сервера виконувалося у free-середовищі CoCoX CoIDE. Проект включає функції для взаємодії головного контролера з http-браузером через модуль фізичного рівня Ethernet типу DP83848, див. скріншот на рис.7, функції керування основними вузлами головного контролера та взаємодії з процесором Modbus для моніторингу телеметричної інформації і формування та передачі команд керування на виконавчі модулі через процесор Modbus з інтерфейсом RS-485 за протоколом Modbus RTU. Всі функції реалізовані на C з використанням стандартних бібліотек для мікроконтролерів типу STM32F4xx. Відлагодження програм проводилося в реальному часі на апаратній платформі через інтерфейс SWD.

Висновки

Розроблено структурну схему локального web-сервера на базі мікроконтролера STM32F407VG з ядром Cortex-M4, який забезпечує взаємодію з http-браузером. Через відповідні опції http-браузера можна отримувати телеметричну інформацію з ряду сенсорів та видавати команди керування на реле. Розроблено макет апаратної частини та відповідне програмне забезпечення web-сервера. Головний контролер локального web-сервера включає вузол процесора Modbus RTU з інтерфейсом RS-485, систему індикації на базі одиночних світлодіодних індикаторів з програмованими через меню головного контролера функціями, LCD індикатор типу BC1602A, локальну клавіатуру для керування меню, порти USB та SWD. Для зв'язку web-сервера з комп'ютером по Ethernet використано зовнішній модуль фізичного рівня Ethernet типу DP83848. Для макетування апаратної частини в якості сенсора використано сенсор температури XY-MD01 SHT20 та модуль реле Modbus RTU Relay, які взаємодіють з головним контролером локального web-сервера через інтерфейс RS485 за протоколом Modbus RTU. Функціонування локального web-сервера перевірялося на взаємодію з http-браузерами різних типів і показало час реакції, який залежить від кількості сенсорів і при 9 сенсорах < 1сек та високу надійність роботи.

1. *Telemetry: Summary of concept and rationale. Bibcode:1987 STIN 8913455.*

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1987STIN...8913455/abstract> (Accessed: 5 October 2021).

2. *Lucas Cavalcanti, Riei Joaquim, Edna Barros, Optimized Wireless Control and Telemetry Network for Mobile Soccer Robots, arXiv:2106.14617, https://arxiv.org/abs/2106.14617.*

3. Henry Hopper. *A Dozen Ways to Measure Fluid Level and How They Work*. Dec 1, 2004. <https://www.fiercееlectronics.com/components/a-dozen-ways-to-measure-fluid-level-and-how-they-work> (Accessed: 5 October 2021).
4. Meenakshi Syamkumar, Yugali Gullapalli, Wei Tang, Paul Barford, Joel Sommers, BigBen. *Telemetry Processing for Internet-wide Event Monitoring*, arXiv:2011.10911, [online] Available at: <https://arxiv.org/abs/2011.10911> (Accessed: 5 October 2021).
5. Krishna Shingala, *JSON Web Token (JWT) based client authentication in Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*, arXiv:1903.02895, [online] Available at: <https://arxiv.org/abs/1903.02895> (Accessed: 5 October 2021).
6. "Modbus home page". Modbus. Modbus Organization, Inc. Retrieved 2 August 2013
7. "About Modbus Organization". Modbus. Modbus Organization, Inc. Retrieved 8 November 2012.
8. Clarke, Gordon; Reynnders, Deon (2004). *Practical Modern Scada Protocols: Dnp3, 60870.5 and Related Systems*. Newnes. pp. 47–51. ISBN 0-7506-5799-5.
9. Beal, Vangie. "What is Wi-Fi (IEEE 802.11x). A Webopedia Definition". Webopedia. Archived from the original on 8 March 2012.
10. R.W. Besinga. *Integrating Wiznet W5100, WIZ811MJ network module with Atmel AVR Microcontroller*. Jul 2, 2018.
11. *AVR-GCC-Tutorial*. Aus der Mikrocontroller.net Artikelsammlung, mit Beiträgen verschiedener Autoren (siehe Versionsgeschichte). https://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-GCC-Tutorial#Programmspeicher_28F (Accessed: 5 October 2021).
12. *Dp83848c Datasheet*. [online] Available at: <https://www.ti.com/product/DP83848C>
13. *WIZnet W5100. Datasheet*. [online] Available at: https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf (Accessed: 5 October 2021).
14. *Modbus RTU Relay*. [online] Available at: https://www.waveshare.com/wiki/Modbus_RTU_Relay (Accessed: 5 October 2021).
15. *SHT20. Datasheet*. [online] Available at: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Sht20&gclid=EAIaIQobChMIxaeO_-Ti8wIV7xJ7Ch2TawvtEAMYAyAAEgLygPD_BwE (Accessed: 5 October 2021).

LOCAL WEB-SERVER OF TELEMETRIC SYSTEM WITH MODBUS INTERACTION SENSORS

V.Puyda

Lviv Polytechnic National University

© Puyda V., 2021

With the development of microprocessor components and, accordingly, a significant expansion of the use of computer technologies, remote measurement techniques are being developed. These include telemetry and remote control of technical systems or their components in industry, research, home appliances and other fields. In this paper, the author suggests how to build a local web-server based on a microcontroller with an ARM Cortex-M4 core, which can be interacted with via an http-browser with Internet access. The block diagram of the local web-server on the basis of the STM32F407 microcontroller with the ARM Cortex-M4 core is suggested. Hardware modeling of the local web-server with a two-processor architecture including the main controller and the Modbus processor with the RS-485 interface, which provides information exchange via the Modbus RTU protocol, is done. The main controller is equipped with an indicator system based on functionally programmable LED indicators, an LCD indicator of type BC1602A, a local keyboard, USB and SWD ports for debugging and programming of the microcontroller, an external Ethernet module providing a temperature sensor and the Modbus RTU relay module, which interacts with the main controller of the local web-server via the Modbus processor with the RS-485 interface using the Modbus RTU protocol. A software for interaction of the local web-server and a http-browser has been developed. The local web-server was tested with different types of http browsers, proved to be reliable and showed the response time which depends on the number of sensors and is less than 1 second in case of 9 sensors.

Keywords: microcontroller, web-server, http-browser, Modbus RTU protocol, RS-485 interface, sensor, relay.