

УДК 004.415.2

## МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ДОВКІЛЛЯ НА ОСНОВІ МІКРОКОМП'ЮТЕРА RASPBERRY PI

Ю. Бадзюк, А. Батюк, М. Батюк, В. Дзіковський, В. Рабик

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Ген. Тарнавського, 107, 79017 Львів, Україна  
[RabykV@ukr.net](mailto:RabykV@ukr.net)*

Описано апаратне і програмне забезпечення мікропроцесорної системи моніторингу параметрів довкілля на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Розглянуто основні технічні параметри мікрокомп'ютера й описано виводи його роз'язтття GPIO. Наведено технічні характеристики давачів системи (цифрового давача температури, цифрового давача вологості, аналогового давача тиску), параметри довкілля, які можна вимірювати, передавати, зберігати на SD Card за її допомогою. Детально розглянуто режими роботи мікропроцесорної системи, її функціональну схему, призначення всіх її складових, приєднання давачів до неї. Описано програмне забезпечення вимірювальної частини мікропроцесорної системи, алгоритм передавання вимірюваних даних через GSM модем, структуру файлу даних. Розглянуто режими роботи та інтерфейс, реалізований мовою C++ в середовищі Qt Creator, програми Weather\_Database для роботи з базою даних параметрів довкілля. Наведено приклад візуалізації у вигляді графіка температури повітря, вимірюваної в 2015 р. у м. Львові.

*Ключові слова:* мікрокомп'ютер Raspberry Pi, давач, GSM модем, моніторинг, параметри довкілля, апаратне та програмне забезпечення, база даних.

Для моніторингу параметрів довкілля локальної місцевості часто використовують автономні портативні метеостанції. До них належить і автоматизована система моніторингу параметрів довкілля [1], розроблена на кафедрі радіофізики та комп'ютерних технологій Львівського національного університету імені Івана Франка. Ця автоматизована система працює під управлінням мікроконтролера CY8C29466-24PXI фірми Cypress Semiconductor, а графічний інтерфейс Weather Station (приймання, опрацювання, архівування даних, отриманих від автоматизованої системи) працює лише в ОС Windows XP.

Ми для розробки мікропроцесорної системи вимірювання параметрів довкілля використали мікрокомп'ютер Raspberry Pi, який працює на базі ОС Linux. Основу мікрокомп'ютера Raspberry Pi (Model B) [2] становить система на кристалі (SoC) Broadcom BCM2835 з процесором ARM1176JZF-S (частота 700 МГц) і відеоприскорювачем VideoCore IV, що підтримує Full HD. Мікрокомп'ютер оснащений композитним відеовиходом RCA і цифровим HDMI для приєднання до монітора, роз'язтттям для підключення настільної аудіосистеми або навушників. Системним накопичувачем є карти пам'яті SD/MMC/SDIO з встановленою ОС raspbian. Ємність ОЗП становить 512 МБт. До його складу входять також два порти USB 2.0, роз'язтття портів уведення/виведення (GPIO), Ethernet адаптер 10/100Мб RJ45.

Приєднання датчиків до мікрокомп'ютера виконують через виводи роз'язтття GPIO. Роз'язтття GPIO має кілька різних типів виводів: виводи загального призначення, які можна використовувати для читання стану портів і керування зовнішніми пристроями; виводи I<sup>2</sup>C інтерфейсу (SDA, SCL); виводи SPI інтерфейсу (MISO, MOSI, SCLK, CE0, CE1); виводи інтерфейсу RS232 (TXD, RXD); виводи, які можна використати для широко-імпульсної модуляції (PWM); вивід для підключення пристроїв по шині 1-wire; виводи напруги живлення (3,3 В, 5 В, "GND").

Вимірювання температури атмосферного повітря та землі виконують за допомогою цифрових датчиків DS18B20 фірми Dallas Semiconductor [3]. Датчик DS18B20 – цифровий термометр з програмованою роздільною здатністю [3] від 9 до 12 біт, яка може зберігатися в EEPROM пам'яті пристрою. Він обмінюється даними по 1-wire шині і може бути як єдиним пристроєм на лінії, так і працювати в групі. Усі процеси на шині керовані мікрокомп'ютером Raspberry Pi. Напруга живлення – 3,0–5,5 В, струм споживання – 1,5 мА. Максимальний час перетворення для мікросхеми DS18B20 залежить від вибраної кількості розрядів. Для 12-розрядного режиму роботи АЦП він дорівнює 750 мс. Діапазон вимірювання датчик DS18B20 становить від –55 до +125 °С. Точність вимірювання температури в діапазоні від –10 до +85 °С становить ±0,5 °С.

Для вимірювання вологості повітря використовують цифровий датчик SHT10 компанії Sensirion [4], який також дає змогу вимірювати температуру. Вимірювання відносної вологості в датчику реалізовано на основі ємнісного чутливого елемента, а температури – за допомогою напівпровідникового датчика. Виходи обох первинних датчиків заведені на вхід схеми 14-розрядного АЦП з подальшим перетворенням результату в формат стандартного інтерфейсу. За замовчуванням встановлена роздільна здатність АЦП – 12 розрядів для вимірювання вологості і 14 розрядів для вимірювання температури. Головні характеристики датчика SHT10:

- |  |                     |
|--|---------------------|
| - діапазон вимірювання вологості           | 0–100 % RH;         |
| - похибка вимірювання                      | ±4,5 % RH;          |
| - діапазон вимірювання температури         | від –40 до +125 °С; |
| - точність вимірювання температури         | ±0,5 °С;            |
| - напруга живлення                         | 2,4–5,5 В;          |
| - потужність споживання в активному режимі | 3,0 мВт.            |

Вимірювання атмосферного тиску реалізовано на основі аналогового датчика фірми Motorola MPX4115A [5], який має наступні характеристики:

- |                              |              |
|------------------------------|--------------|
| - діапазон вимірювання тиску | 15–115 кПа;  |
| - похибка вимірювання        | ±1,5 %;      |
| - чутливість                 | 46 мВ/кПа;   |
| - напруга живлення           | 4,85–5,35 В; |
| - струм споживання           | 7,0–10,0 мА. |

Залежність вихідної напруги датчика від тиску визначають за допомогою виразу [5]

$$V_{out} = V_S * (0.009 * P - 0.095), \quad (1)$$

де  $V_S$  – напруга живлення, В;  $P$  – атмосферний тиск, кПа.

З виразу (1) знаходимо значення атмосферного тиску в паскалях:

$$P = (V_{out} / V_S + 0.095) * 1000 / 0.009 \quad (2)$$

або міліметрах ртутного стовпчика:

$$P1 = 0.0075006 * P. \quad (3)$$

Перетворення аналогової напруги з виходу датчика тиску в цифрову виконують за допомогою послідовного АЦП TC3400 фірми Microchip, який підтримує 2-дротовий microPort™ послідовний цифровий інтерфейс [6]. Цей інтерфейс застосовують для запуску вимірювання і зчитування даних. За входом SCLK відбувається синхронізація послідовного порту зовнішніми тактами і керування, а за виходом SDAT – читання даних і підтвердження виконання. Коли вимірювання не проводять, АЦП перебуває в режимі зупинки, на виводах SCLK і SDAT встановлюється високий рівень. Після закінчення вимірювання на виході SDAT встановлюється високий рівень і АЦП повертається в режим зупинки. Читання даних відбувається передаванням тактових імпульсів по лінії SCLK, кількість яких визначена роздільною здатністю. Передавання послідовного слова даних відбувається, починаючи зі старшого (знакового) біта (MSB) по задньому фронту на лінії SCLK і закінчується молодшим (LSB). Тривалість імпульсів синхронізації повинна бути в межах 50–750 нс.

АЦП забезпечує від 8 вимірювань за 1 с з 16-розрядною роздільною здатністю до 512 – з 10-розрядною. Він оптимізований для роботи від однополярного живлення з мінімальною напругою 1,8 В, має один диференційний вхід, внутрішнє джерело опорної напруги 1,193 В і дає змогу також використовувати зовнішнє джерело опорної напруги.

Приєднання датчиків до мікрокомп'ютера Raspberry Pi реалізовано через розняття GPIO згідно зі схемами, наведеними в описах цих датчиків [3–5]. Виводи SCLK, SDAT АЦП TC3400 приєднані до виводів загального призначення GPIO через цифровий ізолятор AduM1301 компанії Analog Devices [7]. Ізолятор AduM1301 має три незалежні канали, працює від однополярного джерела живлення, приєданого до будь-якої сторони пристрою, з напругою від 2,7 до 5,5 В. Це дає змогу виконувати перетворення рівнів через ізоляційний канал. Ізолятор AduM1301 забезпечує високу швидкість передавання (до 90 Мбіт/с) і витримує дію вхідного синфазного сигналу зі швидкістю наростання понад 25 кВ/мкс.

Гальванічну розв'язку напруги живлення мікрокомп'ютера Raspberry Pi та кола вимірювання атмосферного тиску (датчик тиску MPX4115A, АЦП TC3400, цифровий ізолятор AduM1301) реалізовано на основі однополярного DC-DC перетворювача AM1S-0505SZ виробництва фірми AIMTEC. Основні характеристики цього перетворювача [8]:

- вихідна потужність	1 Вт;
- вхідна напруга	4,50–5,5 В;
- вихідна напруга	5 В;
- вихідний струм	0–200 мА;
- к.к.д.	78 %;
- напруга ізоляції	1 кВ.

Для живлення мікрокомп'ютера Raspberry Pi, вимірювальної плати та GSM модема використано блок живлення напругою +5 В та струмом не менше 1 А.

Принципова схема плати вимірювання параметрів довкілля зображена на рис. 1. Через розняття S1 вона підключається до GPIO розняття мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Датчик температури DS18B20 приєднуються до рознять X1 і X2, а цифровий датчик вологості SHT10 – до розняття X3. Датчик атмосферного тиску MPX4115A розміщений на вимірювальній платі (позначений В1 на схемі рис. 1). Вихідна напруга датчика тиску через дільник напруги, утворений резисторами R1 і R2, надходить на вхід In+ АЦП. На вхід In- АЦП надходить напруга з дільника напруги 5В (резистори R3 і R4). АЦП вимі-



Для зручності підключення використовують програму sakis3g для операційної системи raspbian, у файлі конфігурації (/etc/sakis3g.conf) якої необхідно задати такі параметри:

```
OTHER="/dev/ttyUSB2"      – порт, на якому працює модем;  
APN="3g.utel.ua"         – ім'я точки доступу APN;  
APN_USER=" "            – логін;  
APN_PASS=" "            – пароль.
```

Програма sakis3g переводить пристрій у режим роботи модема та передає ці параметри програмі rppd, яка, відповідно, створює з'єднання. Приєднання GSM модема до мережі Інтернет виконують командою

```
sakis3g connect
```

Переглянути отриману IP адресу для створеного приєднання можна командою

```
ifconfig
```

Від'єднання GSM модема від мережі Інтернет виконують командою

```
sakis3g disconnect
```

Оскільки IP адреса кожного разу змінюється (динамічна), то за допомогою сервісу No-IP її можна прив'язати до доменного імені. Для того, щоб скористатися сервісом No-IP, необхідно зареєструватися на сайті [www.noip.com](http://www.noip.com) і вибрати собі доменне ім'я, наприклад, [gr1l.no-ip.org](http://gr1l.no-ip.org). Оновлення відповідності доменного імені IP адресі виконується кожного разу після нового підключення за допомогою програми, яку можна завантажити за посиланням <http://www.noip.com/client/linux/noip-duc-linux.tar.gz>. Запуск програми noip виконують командою

```
/usr/local/bin/noip2
```

Після цього можна передавати дані з мікрокомп'ютера Raspberry Pi, знаючи лише доменне ім'я. Дані (файл Data.txt) передаються на віддалений комп'ютер по протоколу SFTP, далі відбувається їхнє оброблення зі збереженням у базі MySQL комп'ютера.

Для того, щоб не використовувати авторизації за паролем, необхідно згенерувати SSH ключі та скопіювати їх на обидва комп'ютери. Це виконують за допомогою таких команд:

```
ssh-keygen -t rsa
```

Унаслідок цього згенеруються два файли id\_rsa та id\_rsa.pub, які будуть збережені в папці ~/.ssh. Після цього їх потрібно скопіювати на віддалений комп'ютер за допомогою команди

```
ssh-copy-id user@raspdevice.noip.org
```

Це дає змогу копіювати файли та виконувати логування на комп'ютері без уведення пароля. Передавання даних з мікрокомп'ютера Raspberry Pi на віддалений комп'ютер виконують такою командою:

```
scp data.txt pi@raspdevice.no-ip.org:/home/pi/ /home/dev/
```

Зберігання та оброблення переданих даних відбувається за допомогою реляційної СУБД Oracle MySQL, яка включає MySQL – компактний сервер баз даних та мову SQL, за допомогою якої формуються запити до бази даних. Для архівування результатів вимірювань створено базу даних "rasp", яка містить таблицю "experiment3g", у яку записується інформація з текстового файлу data.txt. Запити формуються в командному рядку терміналу ОС Linux за допомогою таких агрегатних функцій: COUNT, SUM, MAX, MIN, AVG. Наприклад, запит для знаходження середнього значення температури за 24 червня 2014 р.:

```
SELECT AVG(temp1) FROM experiment3g where DATE(logtime) = '2014-06-24' ;
```

Вимірні дані передаються кожні п'ять хвилин. Для цього використовують програму crontab, яка запускає попередню команду передавання даних та імпортує дані в базу даних "rasp" з інтервалом у 5 хв:

```
crontab -e
*/5 * * * * /sbin/scp data.txt pi@raspdevice.no-ip.org:/home/pi/ /home/dev/ > /dev/null
ssh pi@raspdevice.no-ip.org 'rm /home/pi/supadata.txt
*/5 * * * * mysql -u root -proot rasp < Insert.txt
```

Для перегляду списку активних команд використовують команду

```
crontab -l
```

Файл Insert.txt містить SQL запит для зчитування даних з файлу та запису у таблицю.

Для графічного відображення вимірних метеорологічних даних у режимі реального часу, перегляду даних у базі даних, пошуку потрібної інформації розроблено та реалізовано програму "Weather\_Database" в середовищі Qt Creator мовою програмування C++. Побудову графіків у Qt виконують з допомогою бібліотеки QcustomPlot, яка може експортувати зображення в різні формати, векторні – PDF, і растрові зображення – PNG, JPG і BMP.

Робота з програмою Weather\_Database починається з її з'єднання з СУБД MySQL. Під час цього програма вводить необхідні значення імені користувача та його пароль.

У лівій частині інтерфейсу програми Weather\_Database (рис. 2) відображаються останні дані, які були записані в базу даних.

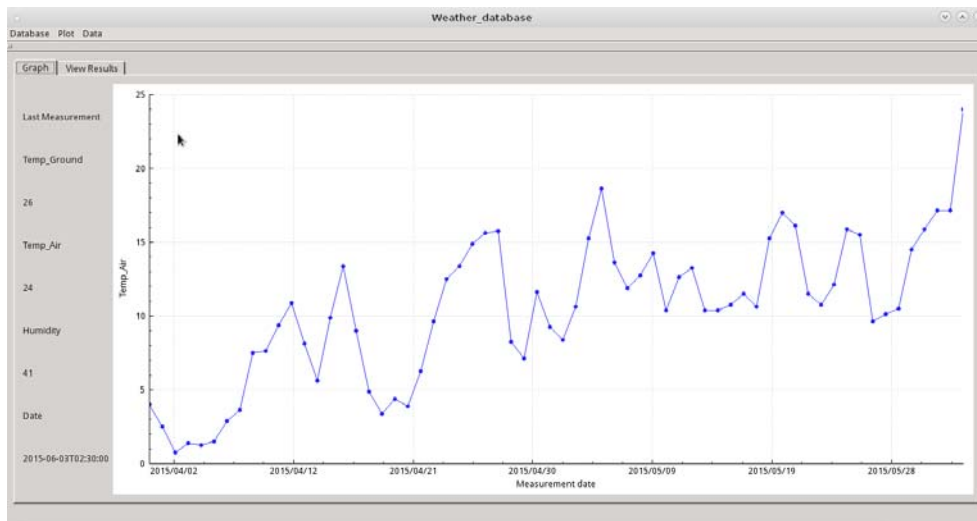


Рис. 2. Графік температури повітря в м. Львові (квітень, травень 2015 р.).

Вибірка даних з бази виконується за допомогою меню Plot. У разі входження в це меню відкриється вікно, у якому задають інтервал часу, упродовж якого виконувати-

меться вибірка даних. Вибрати дані можна за одну годину, день, тиждень, місяць або рік. Також можна задати свій інтервал вибірки даних (підменю Custom).

Після вибірки даних одразу ж можна отримати їхню візуалізацію у вигляді графіків. Після переходу до меню Data (див. рис. 2) та вибору типу даних, які потрібно відобразити, одразу ж з'явиться графік вимірюваної величини. Графік постійно оновлюється, тому є змога в реальному часі спостерігати за вимірюваннями. Для перегляду даних вибірки в таблиці потрібно натиснути на вкладку View Results.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дзендзелюк О. Автоматизована система моніторингу параметрів довкілля / О. Дзендзелюк, І. Мусійчук, В. Рабик // Теор. електротехніка. – 2010. – Вип. 61. – С. 90–98.
2. Raspberry Pi. Getting Started Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://d4c027c89b30561298bd-484902fe60e1615dc83faa972a248000.r12.cf3.rackcdn.com/supporting\\_materials/Raspberry%20Pi%20Start%20Guide.pdf](http://d4c027c89b30561298bd-484902fe60e1615dc83faa972a248000.r12.cf3.rackcdn.com/supporting_materials/Raspberry%20Pi%20Start%20Guide.pdf)
3. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
4. Datasheet SHT1x Humidity and Temperature Sensor IC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.sensirion.com/fileadmin/user/upload/customers/sensirion/Dokument/Humidity/Sensirion\\_Humidity\\_SHT1x\\_Datasheet\\_V5.pdf](http://www.sensirion.com/fileadmin/user/upload/customers/sensirion/Dokument/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf)
5. MPX4115 Series datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/Motorola/MPX4115.pdf>
6. TC3400 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.gaw.ru/pdf/Microchip/adc/tc3400.pdf](http://www.gaw.ru/pdf/Microchip/adc/tc3400.pdf)
7. ADuM1300/ADuM1301 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADuM1300\\_1301.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADuM1300_1301.pdf)
8. AIMTEC. Series AM1S-Z. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution?AM1S-Z.pdf](http://www.aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution?AM1S-Z.pdf)
9. C library for Broadcom BCM 2835 as used in Raspberry Pi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.open.com.au/mikem/bcm2835/index.html](http://www.open.com.au/mikem/bcm2835/index.html)

*Стаття: надійшла до редакції 24.05.2015,  
доопрацьована 02.06.2015,  
прийнята до друку 08.06.2015.*

**MICROPROCESSOR SYSTEM MONITORING ENVIRONMENTAL PARAMETERS  
BASED ON MICROCOMPUTER RASPBERRY PI****Yu. Badziuk, A. Batiuk, M. Batiuk, V. Dzikovskyi, V. V. Rabyk***Ivan Franko National University of Lviv,  
Tarnavskogo Str. 107, UA - 79017 Lviv, Ukraine  
[RabykV@ukr.net](mailto:RabykV@ukr.net)*

The hardware and software of the Raspberry Pi based microcomputer system for environmental parameters monitoring are described. Principal technical parameters of the microcomputer and GPIO signals are discussed in details. System sensors specifications (digital temperature sensor, digital humidity sensor and analog pressure sensor), environmental parameters that can be measured, transmitted and stored on SD Card are discussed. Modes of operation of the microprocessor system, its functional diagram and the purpose of all components are explained in details. The software of the measurement subsystem, algorithm of measured data transmission via GSM modem and data file structure are described. Program interface created using C++ in Qt Creator for Weather\_Database software used for work with the database is discussed. An example graph illustrating temperature air change in 2015 in Lviv is presented.

*Key words:* Raspberry Pi microcomputer, sensors, GSM modem, monitoring, environmental parameters, hardware and software, database.

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА  
ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
НА ОСНОВЕ МИКРОКОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI****Ю. Бадзюк, А. Батюк, М. Батюк, В. Дзиковский, В. Рабык***Львовский национальный университет имени Ивана Франко,  
ул. Ген. Тарнавского, 107, 79017, Львов, Украина  
[RabykV@ukr.net](mailto:RabykV@ukr.net)*

Описано аппаратное и программное обеспечение микропроцессорной системы мониторинга параметров окружающей среды на основе микрокомпьютера Raspberry Pi. Рассмотрены основные технические параметры микрокомпьютера и описано выводы его разъема GPIO. Приведены технические характеристики датчиков системы (цифрового датчика температуры, цифрового датчика влажности, аналогового датчика давления), параметры окружающей среды, которые можно измерять, передавать, хранить на SD Card с ее помощью. Детально рассмотрены режимы работы микропроцессорной системы, ее функциональную схему, назначение всех ее составляющих, подключение датчиков к ней. Описано программное обеспечение измерительной части микропроцессорной системы, алгоритм передачи измеренных данных через GSM модем, структуру файла данных. Рассмотрены режимы работы и интерфейс, реализованной на языке C++ в среде Qt Creator, программы Weather\_Database для работы с базой данных параметров окружающей среды. Приведено пример визуализации температуры в виде графика, измеренной в г. Львов в 2015 г.

*Ключевые слова:* микрокомпьютер Raspberry Pi, датчик, GSM модем, мониторинг, параметры окружающей среды, аппаратное и программное обеспечение, база данных.



