

УДК 004.38

Старкова О.В., к.т.н.; Герасименко К.В., асистент;
Попович П.В., асистент; Шепель М.О., студентка

РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯМ НА БАЗІ СУЧАСНОЇ ПЛАТФОРМИ ІОТ

Starkova O.V., Herasymenko K.V., Popovich P.V., Shepel M.O. Implementation of remote power systems based on modern platform IoT. The model of electronic control systems via the Internet that based on the concept of IoT was implemented. The current state of information and communication networks, its perspectives and concepts of development was characterized. The comparative analysis of today's most common hardware test platforms such as Arduino, BeagleBoard, Spark and Raspberry Pi was spent. Components for deploying IoT networks such as communication technology, controllers, reader equipment and identification devices, have been identified and divided into four classes according to their functionality. In this article the basic scheme of the project was developed. Each of the circuit components are substantiated and performed. The resulting working prototype recommended in industrial plants, offices, public and private facilities ("smart" home, etc.) in order to conserve power and remote network management.

Keywords: Internet of things, Big Data, sensors, RFID-labels, M2M, P2P, M2P, 6LOWPAN, raspberry pi, raspbian, raspi-config, webiopi, GPIO, remote power management.

Старкова О.В., Герасименко К.В., Попович П.В., Шепель М.О. Реалізація системи віддаленого керування електроживленням на базі сучасної платформи ІоТ. Запропонована модель керування електронними системами через глобальну мережу Інтернет, що реалізована на основі концепції ІоТ. Проведений порівняльний аналіз конкретних апаратно-вимірювальних платформ, класифіковані та детально розглянуті компоненти для розгортання мережі ІоТ. Проаналізовано та обґрунтовано вибір кожного з обраних компонентів. Отриману робочу модель рекомендовано використовувати на промислових підприємствах, державних та приватних об'єктах («розумний» будинок, тощо) з метою збереження електроенергії та віддаленого керування мережею.

Ключові слова: Інтернет речей, розумний будинок, Big Data, датчики, RFID -мітки, M2M, P2P, M2P, 6LOWPAN, raspberry pi, raspbian, raspi-config, webiopi, GPIO, віддалене керування електроживленням.

Старкова Е.В., Герасименко К.В., Попович П.В., Шепель М.А. Реализация системы удаленного управления электропитанием на базе современной платформы IoT. Предложена модель управления электронными системами через глобальную сеть Интернет, реализованная на основе концепции IoT. Проведен сравнительный анализ конкретных аппаратно-вычислительных платформ, классифицированы и подробно рассмотрены компоненты для развертывания сети IoT. Проанализирован и обоснован выбор каждого из выбранных компонентов. Полученную рабочую модель рекомендуется использовать на промышленных предприятиях, государственных и частных объектах («умный» дом и т.д.) с целью экономии электроэнергии и удаленного управления сетью.

Ключевые слова: Интернет вещей, умный дом, Big Data, датчики, RFID -метки, M2M, P2P, M2P, 6LOWPAN, raspberry pi, raspbian, raspi-config, webiopi, GPIO, удаленное управление электропитанием.

Вступ

Постановка задачі у загальному вигляді. Сьогодні у світі відбувається зміна технологічних етапів – науковці та інженери провідних компаній світу у сфері телекомунікацій майже щодня реалізують підключення нових систем до глобальної мережі. Але, не зважаючи на це, згідно з оцінками корпорації Cisco, 99% речей залишаються не підключеними до Інтернету.

Під час розгортання платформи IoT постає гостре питання, щодо енергоефективності такої системи. Адже забезпечити та в подальшому контролювати живлення датчиків, міток, контролерів, центрів обробки даних доволі складне завдання. Необхідним є створення єдиної системи, що змогла б реалізувати керування електроживленням інших систем, при цьому забезпечивши користувача можливістю віддаленого доступу до неї.

Аналіз літературних джерел. В роботі [1] детально розглянутий процес конвергенції інформаційної та телекомунікаційної мереж, причини, що викликали це явище, та майбутні проблеми, що можуть виникати про розгортанні таких мереж.

Роботи [2, 3] присвячені огляду та порівнянню безпроводових та проводових середовищ передачі даних. Проаналізовані їх переваги та недоліки при становленні на їх основі парадигми IoT. У згаданих роботах зроблений акцент на проблемах сумісності складових та живлення міток, датчиків, що можуть бути використані для IoT.

Робота [4] представляє класичні та модернізовані підходи до побудови різноманітних систем управління та їх подальша оптимізація шляхом впровадження IoT.

Невирішені питання. На основі аналізу літературних джерел можна зробити наступні висновки. Для IoT існує невирішена проблема із сумісністю між пристроями, через те що відсутні єдині стандарти підключення та обміну даними. Також розгортання мереж IoT зазвичай є досить енергоємним і провідні інженери світу, профіль яких безпосередньо пов'язаний з Всеохоплюючим Інтернетом, намагаються зарадити цій проблемі.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є побудова та дослідження моделі об'єкта віддаленого керування системою на базі сучасної платформи Інтернету Речей.

Для досягнення мети розв'язуються такі наукові задачі:

- дослідження перспектив розвитку сучасних інфокомунікаційних мереж та роль IoT в них;
- аналіз компонентів для реалізації концепції IoT та підбір відповідних моделей;
- розробка принципової схеми та реалізація моделі віддаленого керування системою електроживлення.

1. Аналіз сучасного стану інфокомунікаційних мереж

Інфокомунікаційна система – це термін початку XXI сторіччя, що являє собою високотехнологічну систему, яка об'єднує мережі електрозв'язку, а також засоби збереження, обробки та пошуку інформації. Іншими словами, поняття «інфокомунікаційна система» пов'язує дві складові – інформаційну та телекомунікаційну мережі. Але така концепція розвитку спостерігалась не завжди.

В минулому інформаційні та телекомунікаційні технології були поняттями цілковито різними і розвивалися окремо одне від одного. Інформаційні послуги були нерозривно пов'язані з розробкою прикладного програмного забезпечення, а телекомунікаційні системи в основному використовувалися операторами зв'язку для надання мобільних послуг. Однак сфери телекомунікацій та інформаційних технологій не стоять на місці і підвладні стрімким змінам, таким як інтеграція одна з одною. Конвергенція інформаційних та телекомунікаційних мереж сприяє об'єднанню потоків інформації, що в свою чергу приводить до зменшення відмінностей між категоріями мереж електрозв'язку [1].

Сьогодні ми є свідками зміни технологічних етапів розвитку, технологічних епох. Епоха, що минає, базувалась, в основному, на таких речах, як сервери, корпоративні бази даних та електронна комерція. Але в майбутньому, на перший план виходять принципово нові рішення, серед яких інструменти обробки великих масивів даних (Big Data), програмні

продукти для спільної праці (наприклад, Cisco Collaboration), більш розвинені моделі хмарних та туманних обчислень. Іншими словами, сучасний технологічний етап розвитку інфокомунікаційної системи передбачає, що можливості конкретної людини розширюються через вільний доступ до передачі та прийому інформації. А наступний етап стосуватиметься процесів розвитку технологій спільної праці. Все це є прекрасною перспективою та фундаментом для розвитку інфокомунікаційних технологій.

Проблематика використання різнотипних додатків та пристроїв, порушує питання можливості майбутнього розвитку телекомунікацій, а саме загального прогресу інфокомунікаційних технологій на основі впровадження концепції Інтернету Речей. Сутність Інтернету Речей полягає у можливості отримання доступу через Інтернет до речей, які раніше не були під'єднані до глобальної мережі.

Більшість речей під'єднані за допомогою слабо пов'язаних, незалежних мереж, які призначені для конкретних цілей, і, виходячи з цього, вони не можуть бути використані при впровадженні Інтернету Речей. Наприклад, на різних вузлах для передачі даних можуть використовуватися різні середовища, що працюють з різними швидкостями, або навіть і різні типи мереж, між якими необхідно виконати обмін даними. Через це виникає гостра необхідність у використанні об'єднаних мереж, які дозволяють ізолювати локальні мережі, виключити можливість дублювання ресурсів та більш ефективно виконувати управління мережею.

Отже, як стає зрозуміло, інфокомунікації – це загальносвітова тенденція майбутнього розвитку мереж, яка суттєво розширює можливості телекомунікаційної системи, на основі інформаційних сервісів.

2. Аналіз компонентів для реалізації концепції Internet of Things

В рамках парадигми IoT існує принциповий поділ її складових на засоби ідентифікації, виміру, обробки даних та передачі даних. Далі надається детальний огляд кожного з перерахованих компонентів [4].

2.1 Аналіз засобів передачі даних для реалізації концепції Internet of Things

Як зазначено вище, концепція Інтернету Речей базується на підключенні до глобальної мережі речей, які ще не були під'єднані. Пристрої можна під'єднати до мережі одним з двох способів: проводовим та безпроводовим

Найбільш розповсюдженим і найчастіше реалізованим протоколом проводового зв'язку є Ethernet (стандарт IEEE 802.3). Сутність роботи Ethernet полягає у тому, що даний протокол робить можливою взаємодію між мережними пристроями локальної мережі на основі проводових з'єднань. Поширеним також є сумісне застосування оптоволоконного і коаксіального кабелю, яке носить назву гібридного волоконно-коаксіального зв'язку (HFC). В класичному виконанні такої системи, оптичне волокно прокладається до оптичного розподільчого вузла, а кінцева розводка відбувається вже за допомогою коаксіальної мережі. Підвидом гібридного волоконно-коаксіального зв'язку, що набирає популярність, є Ethernet по мережі електроживлення або технологія Power Line Communication. Ця технологія дає можливість використати існуючі лінії електроживлення, для підключення пристроїв до локальної мережі. Ще однією реалізацією HFC, яка, як показала практика, являє собою найкраще рішення для широкосмугового абонентського доступу, є технологія Ethernet To The Home (ETTH). Ця сумісна розробка «Teleste Corporation» і «Tratec Telecom B.V.» забезпечує швидкість до 1 Гбіт/с.

Технології безпроводового зв'язку зараз переживають пік свого розвитку. Вони аналогічні проводовим мережам LAN, але з'єднують користувачів і кінцеві пристрої невеликого географічного масштабу за допомогою безпроводового зв'язку. Існує близько десятка безпроводових технологій, але найвідомішими для користувачів є безперечно Wi-Fi, ZigBee, WiMAX та Bluetooth. Кожна з перерахованих технологій має певні характеристики, які і визначають сферу її застосування. Наприклад, у персональних безпроводових мережах

використовується технологія Bluetooth, а у локальних безпроводових доцільніше буде використати Wi-Fi. Щоб забезпечити з'єднанням безпроводову мережу міського масштабу частіше за все застосовують технологію WiMAX [4].

Альянс Wi-Fi зараз почав розробку спеціальної субгігагерцової версії стандарту спеціально для концепції IoT через те, що традиційна його версія застосовується у досить обмеженому числі випадків. Іншим популярним LAN-рішенням, що широко застосовується в пристроях «розумного» будинку є технологія ZigBee. Даний протокол не є пропріетарним, і здатен підтримувати розмір мережі приблизно сотні пристроїв. В цілому, ZigBee є хорошим вибором для автоматизації домашніх систем, але при його розгортанні можна зіткнутися з проблемою сумісності із сторонніми продуктами.

Одна зі свіжих розробок в області IoT для IPv6, адаптована для фізичного і MAC-рівня протокол 6LoWPAN стандарту 802.15.4. Даний протокол оснащений максимальною гнучкістю, підтримкою широкого діапазону частот та практично необмеженими можливостями для масштабованості мережі. Дальність зв'язку 6LoWPAN-систем може досягати сотень метрів.

Все більш популярним рішенням для концепції IoT стає мережа LoRa (англ. Long Range). Вона являє собою мережу розмірів району, або навіть цілого міста, на відміну від попередньо згаданих технологій, які обмежені площею квартир чи офісу. Мережі, побудовані за технологією LoRa, призначені для збору даних з великої кількості датчиків, які рівномірно розташовані на значній площі. Приклад реалізації LoRa-мережі наведений на рис. 2.1.

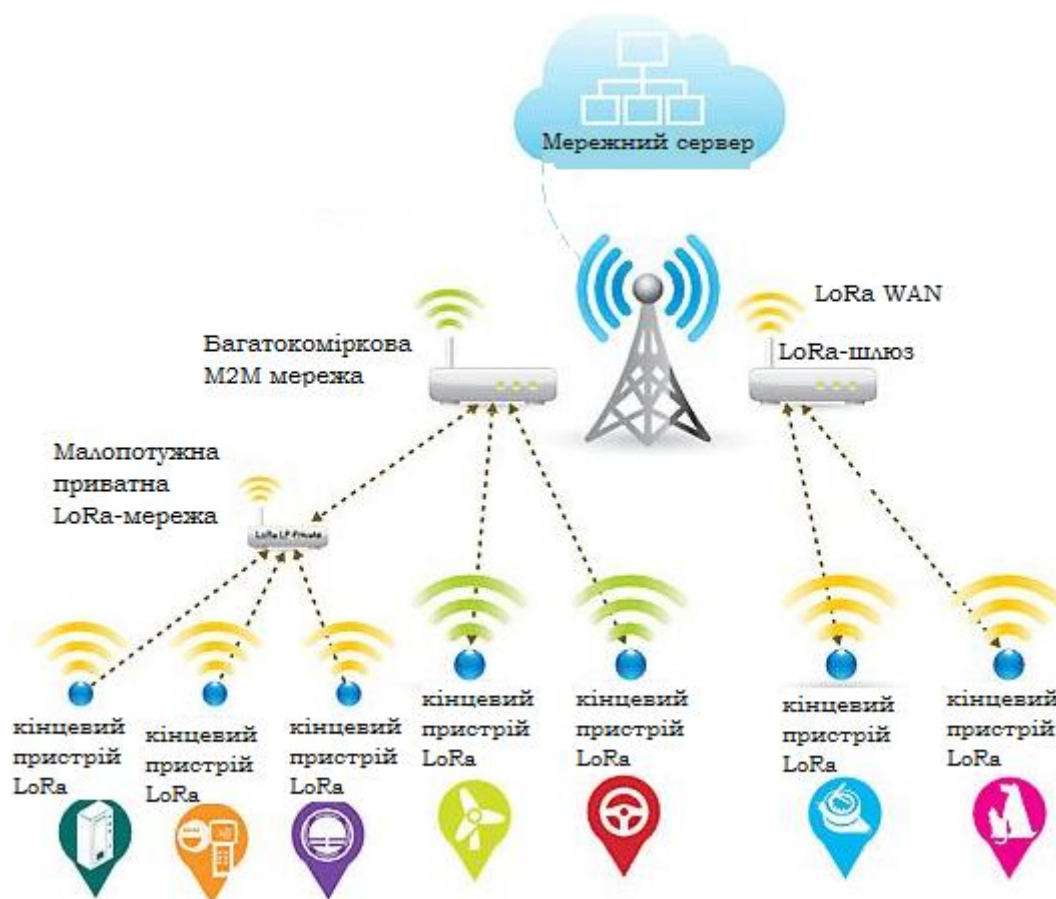


Рис. 2.1. Реалізація мережі LoRaWAN

Для повноти реалізації концепції IoT найкраще буде використовувати поєднання безпроводових та проводових технологій при створенні однієї мережі. Як показує практика, обидві методики доповнюють і взаємно компенсують одна одну, тому їх спільне використання буде найбільш ефективним для роботи мережі.

2.2 Аналіз засобів ідентифікації для реалізації концепції Internet of Things

Перше широкомасштабне застосування технологій Інтернету речей було пов'язано саме із засобами ідентифікації. В рамках міжнародного консорціуму дослідників і практиків Auto-ID Labs, організаціям було запропоновано досліджувати пристрої, які можуть проводити ідентифікацію за допомогою радіочастот – RFID-мітки. Ключовим моментом при дослідженні, і подальшому впровадженні міток стало те, що вони дозволяють широко і всеохоплююче застосовувати сенсорні пристрої та інтегрувати дані з аналітичними дослідженнями. Оскільки ці мітки невеликих габаритів, їх можна прикріпити практично до будь-яких предметів. Деякі моделі RFID-міток не вимагають елементів живлення через те, що вони отримують його від електромагнітних сигналів, які поширюються від зчитувача таких міток.

Окрім RFID-міток, досить поширеними є й інші технології, які застосовуються для автоматичної ідентифікації. Наприклад, оптично розпізнавані ідентифікатори, до яких належать штрих-коди, QR-коди, або система позиціонування в режимі реального часу (RTLS) – тут нам найбільше знайома технологія GPS та радіо-маяки. Для об'єктів, які напряму підключені до глобальної мережі, традиційним ідентифікатором є їх власна MAC-адреса мережної інтерфейсної плати (NIC). Але даний тип ідентифікації не є достатньо швидким та ефективним. Ширші можливості для ідентифікації надає протокол IPv6, що забезпечує унікальними адресами мережного рівня величезну кількість пристроїв.

2.3 Аналіз засобів виміру для реалізації концепції Internet of Things

Особливу роль для IoT відіграють засоби виміру – вже сьогодні ним викликано широке поширення датчиків температури, тиску, освітлення, вологості і фізичних навантажень. Кожен з цих датчиків забезпечує перетворення відомостей про стан навколишнього середовища в дані. Саме цей процес перетворення заповнює обчислювальне середовище значущою інформацією [2].

Вибір засобів вимірювання зараз дуже урізноманітнівся – використовуються як елементарні датчики (температури, тиску тощо), так і складні інтегровано-вимірювальні системи. Але щоб IoT повністю реалізував свої можливості, датчики повинні працювати абсолютно автономно. Датчики повинні навчитися отримувати електроенергію з навколишнього середовища: від вібрації, світла, повітряних потоків або шляхом безпроводової передачі електрики. Нещодавно для вирішення цієї проблеми був досягнутий певний прогрес – американські вчені презентували придатний до комерційного використання наногенератор. Він являє собою гнучкий чіп, що перетворює в електроенергію рухи людського тіла. Цей винахід дозволить обходитися без батарейок і розеток електричної мережі, і в майбутньому зможе повністю змінити наше життя.

2.4 Аналіз засобів обробки даних для реалізації концепції Internet of Things

Датчики можна запрограмувати на зняття даних, перетворення їх в сигнали і подальшу відправку цих сигналів на основний пристрій, який називається контролером. Контролер збирає дані від датчиків і може самостійно приймати рішення щодо них, або ж відправляти дані для аналізу на сервери. Як показує практика, апаратно-вимірювальні платформи також є свого роду контролерами, і для реалізації тенденції IoT доцільно буде розглянути саме їх.

Найбільш відомою такою платформою є Arduino, основними компонентами якої є плата вводу-виводу і середовище розробки на мові Processing/Wiring. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних об'єктів, так і підключатися до програмного забезпечення, що використовується на комп'ютері. Зараз існує близько 20 версій даної платформи, кожна з яких базується на мікроконтролері сімейства ATmega. Дана платформа оснащена різноманітними функціональними можливостями, які реалізовані шляхом встановлення плат розширення. До таких плат належать плата розширення Wi-Fi, плата Xbee Shield (забезпечує безпроводовий зв'язок з кількома пристроями Arduino в

радіусі від 35 і до 90 метрів, рис.3.2(а)), плата Motor Shield (зчитування датчиків положення, рис.3.2(б)) та плата Ethernet Shield (підключення до інтернету, рис.3.2 (в)) [6].

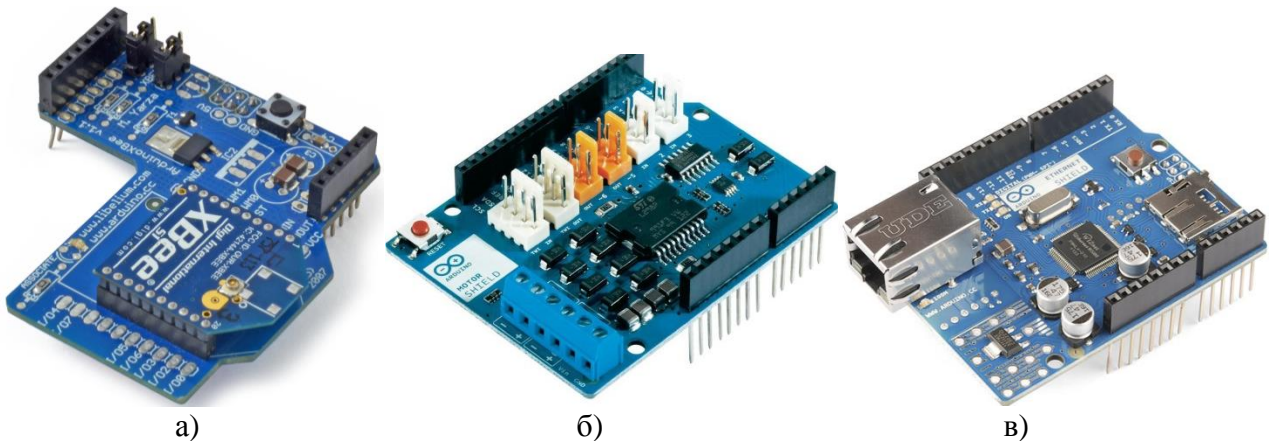


Рис. 2.2. Плати розширення Arduino: а) Xbee Shield; б) Motor Shield; в) Ethernet Shield

Іншою, не менш, популярною платформою є BeagleBoard. Вона виділяється своєю орієнтованістю на користувачів, які бажають мати розширену апаратну платформу на базі продуктивного і енергозберігаючого процесора під управлінням ОС Linux. BeagleBoard має два роз'єми із 46-ма виводами, що дають доступ практично до всіх портів процесора. Функціональні плати розташовані за принципом стеку, в якому присутні плати, що реалізують DVI-вихід, LCD дисплей, аудіо входи або виходи, тощо [8].

Окрім цього слід розглянути відносно нову платформу Spark, яка являє собою масштабовану платформу аналізу даних, що включає в себе примітиви для обчислень в ОЗП. Spark реалізована на Scala і підтримує цю мову, яка здатна забезпечити унікальне середовище для обробки даних. Серед усіх апаратно-вимірювальних платформ виділяється Raspberry Pi, яка з'явилася чотири роки тому і вже встигла зайняти передове місце на ринку апаратно-вимірювальних платформ.

Однією з найцікавіших особливостей Raspberry Pi є наявність інтерфейсів GPIO (інтерфейси загального призначення вводу/виводу). Зараз існує сім варіацій Raspberry Pi, які різняться кількістю портів USB, інтерфейсів GPIO та ємністю ОЗП. Наприклад, модель B оснащена 2 портами USB і 26 пінами GPIO, а вже більш нова її версія B+ містить 4 порти USB та 40 пінів GPIO [5].

На основі даного одноплатного комп'ютера реалізується безліч цікавих проектів від метеозонда та ігрової станції до IP-телефону або радіостанції.

3. Розробка системи віддаленого керування електроживленням на базі сучасної платформи IoT

3.1 Вихідні дані для реалізації

Модель системи віддаленого керування електроживленням складається з таких основних елементів як платформа Arduino Wrobot 2 relay на два канали з оптично-ізолюваними реле, апаратно-обчислювальної платформи Raspberry Pi моделі B+, імпульсного джерела живлення Mean Well NES 15-5.

Оскільки реле є оптично-ізолюваними, то Arduino може працювати без прямого електричного з'єднання між самою платформою, реле та системою живленням реле. Замість нього використовується промінь інфрачервоного світла, який поєднує всі перераховані елементи. Як показує практика, це є суттєвою перевагою при розгляді питань безпеки, яка стосується управління окремих одиниць обладнання, що мають власні джерела живлення, металевий корпус, тощо.

Виходи реле можна з'єднувати з різними пристроями потужністю до 10 Вт. Сама ж плата містить два червоних світлодіоди, які відображають поточний стан кожного реле та окремих зелений, світіння якого підтверджує подачу живлення +5 В на плату [6].

Слід зазначити, що на перемикачах даних реле присутні два типи контактів: NC і NO. NO (англ. Normal Open) означає відкритий контакт, а NC (англ. Normal Close) – нормально замкнутий контакт. Іншими словами, якщо контакт знаходиться у стані NO, то струм через нього не протікає, в той час коли він у стані NC – протікання струму дозволяється.

Розглянуте реле можна впроваджувати та застосовувати на різних платформах, включаючи Arduino, AVR або ARM. Хотілося б також додати, що плата оснащена стандартним інтерфейсом, який може бути штучно розширений для різних макетних плат. Наступним важливим складником системи віддаленого керування електроживленням є апаратно-вимірювальна платформа Raspberry Pi моделі B+, яка являє собою контролер керування системою.

Розглянута модель Raspberry Pi B+ оснащена ARM11 процесором Broadcom BCM2835 з тактовою частотою 700 МГц і модулем оперативної пам'яті на 512МБ. Процесор і модуль ОЗУ розміщені на одноплатному комп'ютері за технологією «package-on-package» (PoP), яка полягає у монтажу компонентів поверх одне одного. Перевагою застосування такої технології є підвищення щільності електронних компонентів на платі. Ядро BCM2835 процесора Broadcom складається з графічного ядра, що підтримує платформонезалежний програмний інтерфейс, FullHD-відео та цифрового сигнального процесора. Для даної моделі також характерним є застосування чотирьох портів USB 2.0 і 40 пінів GPIO (General Purpose Input/Output). Порти вводу можна запрограмувати на отримання сигналу керування з датчика або іншого комп'ютера, а вихідний сигнал з портів виводу передає дані на іншій пристрій через мережу Інтернет. Завдяки розглянутим виводам, одноплатний комп'ютер здатен керувати будь-якими пристроями. Слід відзначити, що у моделі B вперше з'явився порт Ethernet, який дозволяє будувати мережі на основі витої пари 5-ї категорії (cat.5, cat.5e) [5].

Іншим ключовим елементом системи керування електроживленням є одноканальне імпульсне джерело напруги Mean Well NES15-5. Дана модель характеризується напругою живлення на вході від 85 В до 264 В змінного струму, і від 120 В до 370 В постійного струму. Вихідна напруга на виході становить 5 В. Потужність такого джерела напруги складає приблизно 15 Вт, і тому підходить для живлення промислової автоматики. Перевагами використання блоків живлення цієї серії є низьке енергоспоживання, спеціальний захисний корпус, і вмонтований комплекс захисту від короткого замикання, перенавантаження чи перегріву.

Підключення моделі системи віддаленого керування електроживленням до мережі Інтернет на практиці реалізується двома шляхами: через Ethernet-порт або через один з USB-портів Raspberry Pi.

Останній метод підключення до мережі здійснюється за допомогою встановлення зовнішнього модуля Wi-Fi на плату Raspberry Pi. Такі світові лідери, як Edimax, D-Link, Linksys та TP-Link займаються виробництвом зовнішніх Wi-Fi модулів, але їх характеристики часто не задовольняють умовам використання Raspberry Pi. Серед проблем, які найчастіше за все виникають при їх використанні, зустрічається неможливість встановлення стабільного з'єднання із платформою або несумісність чіпсету Raspberry Pi та набору мікросхем зовнішнього модуля.

Виходячи з цього, найкращим варіантом для розгортання Wi-Fi мережі є вибір зворотньо-сумісного модуля для апаратної платформи. У 2015 році Raspberry Pi випустила спеціальну серію зовнішніх модулів для створення безпроводової мережі на основі платформи їх власного виробництва – Miniature Wi-Fi Module / Official Raspberry Pi Edition. Перевагою використання даної моделі є низька вартість, висока надійність забезпечуваного безпроводового зв'язку та підтримка стандартів 802.11b/g/n. Серед характеристик даної моделі, які б хотілося виділити, є невеликий розмір, спрощений процес встановлення драйверів та максимальна пропускна здатність у 150 Мб/с.

У другому пункті статті розглянута характеристика пристроїв та мережні технології, які використовувалися для побудови робочого макету системи керування електроживленням. В даному пункті обґрунтовується вибір конкретних компонентів для реалізації системи.

Створена система дозволяє здійснювати керування мережею електроживлення на відстані, без фізичного контакту з пристроєм, що може застосовуватися насамперед при розгортанні «розумного» будинку, на підприємствах, в офісах, тощо. Вона надає ряд переваг, серед яких економія електроенергії, можливість віддаленого перезавантаження устаткування і групового доступу до електроприладів.

Література

1. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: Підручник для вузів / В.Г. Оліфер, Н.А. Оліфер. – 3є вид. – СПб : Пітер, 2006. - 958 с.
2. Hu Fei. Wireless sensor networks: principles and practice / Fei Hu, Xiaojun Cao. – Boca Raton: CRC press, 2010. – Т.27, №50.
3. Zhang. F. Effective Algorithms And Protocols For Wireless Networking: a dissertation for the degree of doctor of philosophy / Fenghui Zhang – Texas: Texas A&M University, 2008. – 20 p.
4. Hersent O. The Internet of Things: Key Applications and Protocols / O. Hersent, D. Boswarthick, O. Elloumi. – 2-nd Ed. – Massachusetts : Willey, 2012. — 370 p.
5. Raspberry Pi [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.org/raspbian/> (13.04.16)
6. Arduino Info [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://arduinoinfo.wikispaces.com/ArduinoPower> (15.03.16)
7. WebIOPi – The Raspberry Pi Internet of Things Framework [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://webiopi.trouch.com/> (16.03.2015)
8. BeagleBoard [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://beagleboard.org/beagleboard/> (14.03.2015)

Автори статті

Старкова Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна. Тел. +38 067 541 22 33. E-mail: elesta.tcs@gmail.com.

Герасименко Костянтин Васильович – асистент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна. Тел. +38 097 241 79 18 E-mail: c.herasymenko@gmail.com

Попович Павло Васильович – асистент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна. Тел. +38 068 120 01 12 E-mail: ppv_ua@ukr.net

Шепель Марія Олександрівна – студентка кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна. Тел. +38 093 284 27 73. E-mail: mariashepel95@gmail.com

Authors of the article

Starkova Olena Volodymirivna – candidate of science (technic), assistant of Department of Audio Engineering and Information Registration, National Technical University of Ukraine “KPI”, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 067 541 22 33. E-mail: elesta.tcs@gmail.com

Herasymenko Konstantyn Vasylovich – assistant of Department Audio Engineering and Information Registration, National Technical University of Ukraine “KPI”, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 097 241 79 18 E-mail: c.herasymenko@gmail.com

Popovich Pavlo Vasylovich – assistant of Department Audio Engineering and Information Registration, National Technical University of Ukraine “KPI”, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 068 120 01 12 E-mail: ppv_ua@ukr.net

Shepel Mariia Oleksandrivna – student of Department Audio Engineering and Information Registration, National Technical University of Ukraine “KPI”, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 093 284 27 73. E-mail: mariashepel95@gmail.com

Дата надходження в редакцію: 19.03.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. К.С. Сундучков