

УДК 009.4

АРХІТЕКТУРА ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНОГО ДОМУ

О. В. Тимченко, В. О. Демченко

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Ідея розумного будинку існує в масовій свідомості вже давно, здебільшого завдяки прогнозам футурологів. Завдяки значному розвитку комп'ютерних технологій останнім часом вона стала широко доступною технологією, крім того, за ціною, яку може собі дозволити середньостатистичний власник квартири або будинку. Спектр застосування і ступінь автоматизації визначає користувач, який також ухвалює рішення про загальну вартість рішення. Наведено структуру та принцип роботи «розумного будинку» (smart home). Обговорюється методологія проєктування системи та елементи, що входять до неї. Представлено засоби зв'язку, що використовуються в середовищі, контролери та кінцеві модулі (датчики, виконавчі механізми тощо). Подано стандарти дротового (наприклад, X10) та бездротового (Z-Wave) зв'язку, що використовуються для керування розумного будинку. Обговорено можливості програмного забезпечення, що використовується як в комп'ютерах автоматизованого управління, так і в стандартному обладнанні ПК. Наведено приклади застосування та можливості для розвитку різних технологій.

Ключові слова: технології «розумного будинку», стандарт X10, Інтернет речей.

Постановка проблеми. Завдяки технологічному прогресу інтелектуальні системи стали дедалі ширше використовувати в житловому секторі. Прикладом цього є ідея «розумного будинку», розроблена і впроваджена корпораціями, пов'язаними з промисловими ІТ (ABB, ioBridge або Microsoft). Житлові будинки стали місцями, де більшість видів діяльності автоматизовано і підпорядковано контролю автономного модуля управління. Для цього необхідно враховувати три компоненти:

а) набір датчиків (температури, вологості, руху тощо) та виконавчі пристрої (вимикачі світла, сигналізація, управління дверима тощо);

б) способи зв'язку між модулями системи, модулями обліку та виконавчими пристроями, які розподілені в просторі;

в) програмне забезпечення, яке виконує управління всіма компонентами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У працях [1, 2] розглядаються окремі елементи, що можуть застосовуватись в системах «розумного будинку», у праці [3] — застосування протоколів передачі даних через мережу живлення. Водночас недостатньо уваги приділено розробці архітектури системи «розумного будинку», вибору середовища передачі даних та інтеграції систем у технологію Інтернету речей.

Мета статті — наведено архітектуру системи вимірювання та управління, що використовується в розумному будинку. Проведено аналіз апаратних і програмних рішень, що використовуються для цієї мети. На прикладах продемонстровано функціонування її окремих компонентів, зв'язок з технологією Інтернету речей.

Виклад основного матеріалу дослідження

Архітектура системи. Розумний дім — це технологія, яка використовує розподілені системи вимірювання та контролю, а також системи автоматизації.

Цілі використання рішень автоматизації передбачають фінансову економію через зниження споживання електроенергії або тепла, адаптацію режимів роботи окремих пристроїв до присутності людей в приміщеннях (наприклад, автоматичні двері, кондиціонер, освітлення в коридорах тощо) і забезпечення безпеки (використання датчиків руху, увімкнення сигналізації у разі потреби).

Пріоритет також надається «зеленим технологіям» (green technologies) для захисту навколишнього середовища, вимогам яких відповідає «розумний дім». Очікується, що перенесення апаратного і програмного забезпечення у приватні будинки і квартири додатково дасть змогу персоналізувати, тобто адаптувати поведінку системи до звичок власника. Через наявність аудіо- та відеопристроїв важливим аспектом є також інтеграція з іншими елементами, що стає можливим завдяки стандартам інтеграції, таким як DLNA (Digital Living Network Alliance).

Серед найпопулярніших систем — рішення для підвищення комфорту використання побутових приладів і побутової техніки. Інший типовий сценарій передбачає активацію протикрадіжної системи, оснащеної датчиками руху та інтелектуальним алгоритмом, здатним відрізнити зловмисника від господаря або його домашнього улюбленця.



Рис. 1. Типова архітектура системи «розумного будинку»

Типова архітектура системи містить такі основні компоненти:

- блок (або блоки) керування, що керує роботою всієї системи;
- вимірювальні елементи, що відповідають за збір інформації про ситуацію в приміщенні;
- виконавчі механізми, що виконують команди, які надходять від керуючих модулів;
- об'єкти, якими керують виконавчі модулі (наприклад, розсувні двері, вентилятори, компоненти системи кондиціонування тощо);
- середовище передачі даних, необхідне для зв'язку між усіма елементами.

Система розумного будинку повинна забезпечити конкретні потреби людини, для цього має бути оснащена модулем, що відповідає за комунікацію з користувачем. З цією метою використовуються графічні інтерфейси, за допомогою яких користувач має можливість запустити будь-який модуль в певний момент часу або вимкнути його (в обхід системи автоматизації).

У розумному будинку реалізована схема централізованого зберігання і обробки даних і видачі команд іншим елементам. Його особливістю часто є наявність двох підсистем — одна працює з аудіо- та відеоапаратурою, а інша відповідає за безпеку та загальний стан об'єкта.

Вимірювальні та виконавчі елементи. До них належать датчики вимірювання параметрів мікроклімату: температури, вологості, а також руху, контактні датчики (для визначення зачинених дверей чи вікон) тощо. Також камери, що працюють у видимому та інфрачервоному спектрі, відповідають за отримання інформації про ситуацію всередині будинку або квартири.

На основі їхніх показань контролер приймає рішення і генерує відповідні сигнали керування. Наприклад, зачинення та відчинення дверей (з урахуванням часової затримки і присутності), керування кондиціонером — так зване HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування повітря) або регулювання яскравості світла. Для виконання цих операцій потрібні спеціалізовані компоненти, такі як модуль привода BC9191 (рис. 2). Для економії енергії використовуються автоматизовані пристрої — інтелектуальні термостати. Їхнє завдання — не лише автоматично регулювати температуру, а й вивчати уподобання та звички мешканців будинку. Налаштування оптимальної температури також базується на вимірах освітлення, вологості або руху. Прикладом такого пристрою є термостат Nest, зображений на рис. 3.

Окрему групу керованих пристроїв становить побутова техніка та споживча електроніка. Керування технікою на кухні дає можливість запустити програму миття посуду в певний час або відрегулювати температуру заморожених продуктів. З іншого боку, керування телевізором дає змогу запустити обраний фільм або записати улюблену передачу по телевізору.

На додаток до цих вимірювальних і виконавчих елементів часто необхідно використовувати додаткові елементи для забезпечення зв'язку з комп'ютером і дистанційного керування системою людиною. Для цього використовують пульт дистанційного керування.

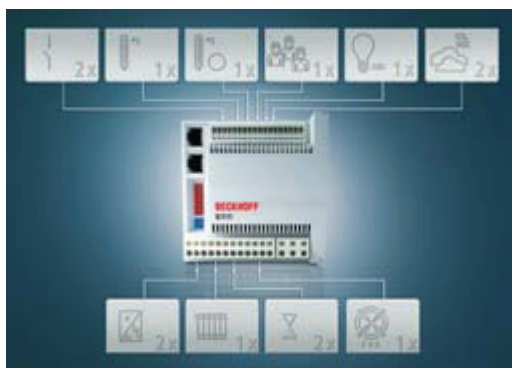


Рис. 2. Модуль привода BC9191



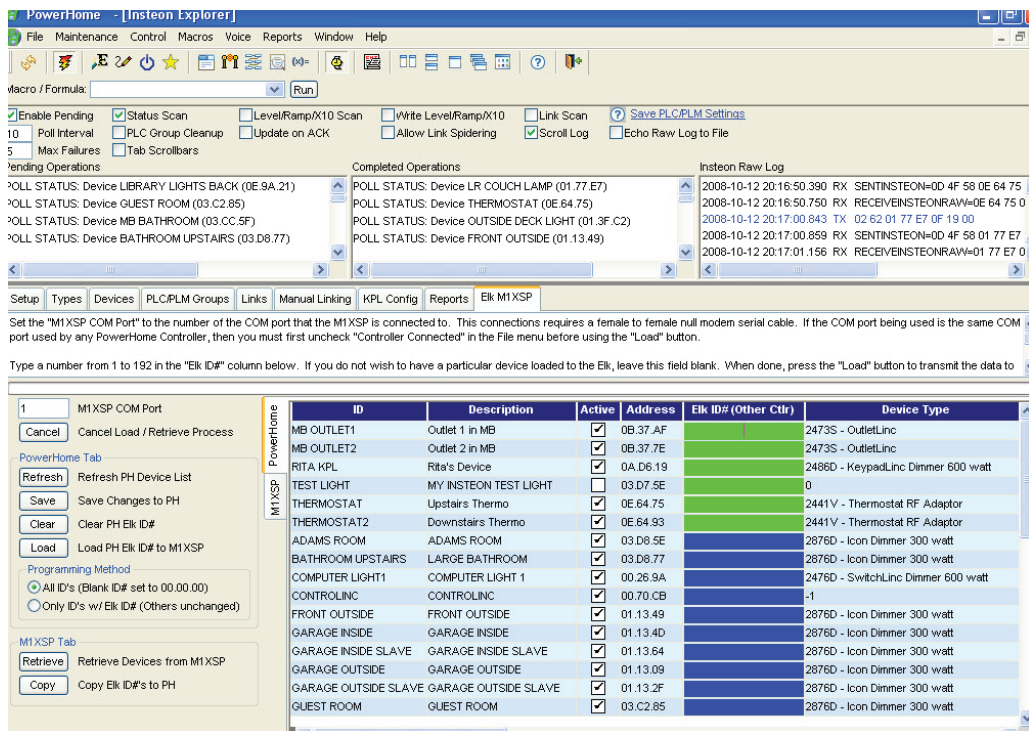
Рис. 3. Розумний термостат Nest

Отже, розумний будинок стає складною розподіленою системою з великою кількістю різних модулів, що використовують дротові та бездротові технології передачі даних, керованою як контролерами, так і комп'ютерами, а також приймають команди від людини.

Модулі керування. Контролер — найважливіший компонент системи, від нього залежить коректна робота будинку, на стан якого впливають виконавчі механізми. Це потребує використання мікроконтролера [3]. Оскільки команди, що надсилаються на вимірювальні або виконавчі модулі, та інформація про їх стан мають просту форму, здебільшого використовуються достатньо прості процесори, такі як PIC16F877.

Система достатня для управління зв'язком між пристроями, що використовують лінію електроживлення (ЛЕЖ) як середовище передачі даних. Надсилання та отримання повідомлень в системах «розумного будинку» можливе за допомогою модемів, оснащених аналого-цифровими перетворювачами. Наприклад, існують рішення з використанням процесорів сімейства Arduino для управління виконавчими і вимірювальними модулями за стандартом 802.15.4 (ZigBee). У такий спосіб цифровий чіп є наче супервізором, який очікує інформацію від датчиків і генерує на її основі керуючі сигнали.

Другим елементом, що виконує роль системного менеджера, наразі є комп'ютер, підключений до системи через шину USB або мережевий інтерфейс Ethernet. На ПК зазвичай встановлюється спеціалізоване програмне забезпечення, що дає змогу швидко запрограмувати поведінку системи. Прикладом такої програми є PowerHome² (рис. 4) [4]. Це типовий представник програми управління, що пропонує підтримку сенсорних екранів, розпізнавання мови або можливість визначати події, які має виявити контролер. Завдяки цим функціям програмне забезпечення стає інтерфейсом між системою та користувачем, який може легко визначати та змінювати поведінку модулів.

Рис. 4. Програма PowerHome²

Середовище передачі даних. Технології передачі даних у розумному будинку реалізують парадигми однорангової комунікації, коли вузол може надсилати і отримувати повідомлення, або комунікації «ведучий-відомий».

Архітектура розумного будинку розглядає всі елементи, що беруть участь у комунікації, як взаємопов'язані в так званій пікомережі. Цей термін використовується для опису локальної структури зв'язку, в якій будь-який вузол може під'єднуватися безпосередньо до будь-якого іншого з використанням бездротових технологій, таких як Z-Wave або ZigBee. Крім того, підключення системи в одній будівлі до мережі «Інтернет» робить «розумний дім» частиною «розумної мережі» (Smart Grid) [5]. Це привабливе рішення, що дає змогу здійснювати глобальне управління споживанням та зберіганням електроенергії.

Залежно від використовуваного середовища зв'язку протоколи можна розділити на три категорії:

1. До першої належать методи передачі цифрових даних по лініях електропередач (змінного струму). Найпопулярнішими є стандарти X10, Insteon, Universal Power Bus (UPB) і IEC61334.

2. До другої групи належать стандарти, які використовують виділені лінії — виту пару, комп'ютерну мережу стандарту Ethernet або оптоволоконні кабелі. До цієї категорії належать стандарти LonWorks, KNX або CEBus.

3. Третя категорія містить стандарти бездротового зв'язку, що використовують протокол ZigBee. Оскільки повідомлення, що надсилаються між вузлами, є короткими, стандарт Wi-Fi практично не використовується для їх передачі (через це можуть виникати конфлікти з іншими пристроями). До протоколів, що використовують ці технології, належить Z-Wave. Варто зазначити, що існують стандарти (наприклад, KNX), які можуть використовувати всі типи середовищ передачі даних. Вони є найбільш універсальними, а перемикання між середовищами можливе завдяки вбудованим у пристрій мостам (dual mesh, рис. 5).

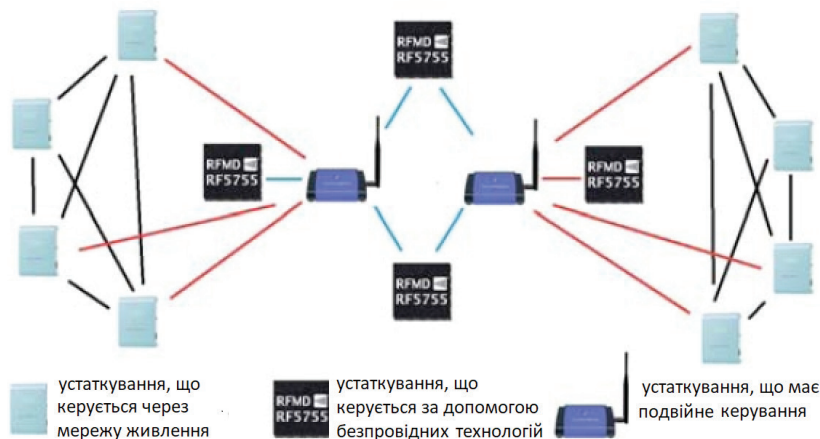


Рис. 5. Структура устаткування «розумного будинку»

Стандарти, що використовують лінії живлення пристроїв, наразі є найпоширенішими. Більшість рішень, які існують сьогодні, походять від першого протоколу X10, який буде представлений більш детально. Розроблений у 1975 році, він став стандартом для передачі цифрової інформації між споживчими пристроями (такими як кавоварка або холодильник), під'єднаними до електричної мережі. Незважаючи на свої суттєві недоліки, він і сьогодні є основним протоколом передачі даних розумного будинку [6]. Інформація, що передається електричною лінією, використовує амплітудну модуляцію. Окремі нулі та одиниці представлені синусоїдальним сигналом з частотою 120 Гц і тривалістю 1 мс або менше.

Для того щоб відрізнити інформацію з протоколу X10 від сигналу електроживлення (також синусоїдального, але з частотою 50), вона передається, коли останній проходить через нуль (рис. 6). З урахуванням ретрансляції та додаткової керуючої інформації ефективність передачі даних становить приблизно 20 біт/с.

Пакет даних X10 складається з трьох фрагментів, кожен з яких складається з чотирьох бітів. Перший — це ідентифікатор будинку (4 біти — літери від А до Р), другий містить ідентифікатор пристрою (4 біти — цифри від 1 до 16), а третій — власне команду. Це означає, що можна адресувати до 256 пристроїв в одному будинку.

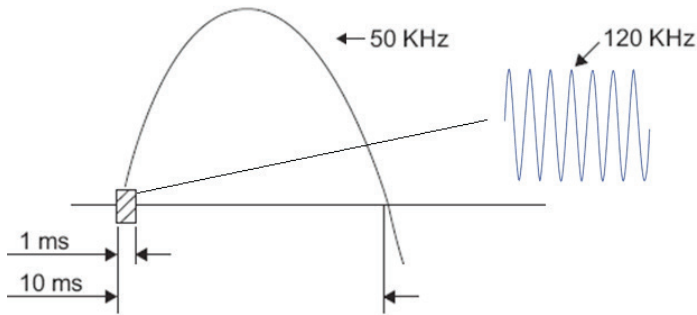


Рис. 6. Передача даних за протоколом X10

Коли мережа X10 встановлена, кожен модуль налаштовується таким чином, щоб відгукуватися на одну з 256 можливих адрес (16 кодів будинків \times 16 кодів модулів = 256). Кожен модуль реагує лише на команди, надіслані безпосередньо йому та на кілька широкомовних команд.

Інформація, що передається між модулями, поділяється на дві групи: команди для виконання і дані про стан. Перші є простими і дають змогу, наприклад, увімкнути або вимкнути (on/off) та поступово змінювати значення контрольованої величини (наприклад, яскравість світла). Для двостороннього зв'язку потрібен додатковий модуль передавача в пристрої (стандарт Advanced X10). Існує також розширення X10, яке передбачає зв'язок за допомогою радіотехнології, тобто сигналів на частоті 433 МГц (європейський стандарт).

Наразі інтенсивно розвивається стандарт Insteon, запропонований компанією SmartLabs [7]. Він характеризується зворотною сумісністю з X10, забезпечуючи при цьому більш високу швидкість передачі (понад 13 кбіт/с), фазову модуляцію цифрового носія даних і довший формат повідомлень (10 байт в базовій версії і 24 в розширеній). Вузли, що використовують цей протокол, діють як ретранслятори, повторюючи всі отримані повідомлення. Вимоги до цифрового обладнання, що використовує цей метод для передачі даних, становлять 256 байт оперативної пам'яті мікроконтролера і EEPROM (плюс 3 КБ ПЗУ, що містить реалізацію протоколу).

Системне програмне забезпечення. Компанія Microsoft пропонує власне рішення для управління розумним будинком. Архітектура розглядається під назвою HomeOS, яка забезпечить зв'язок з пристроями всередині будинку. У праці [8] подано загальну концепцію системи та її чотирирівневу структуру. Вона забезпечує високий рівень абстракції (тобто приховує деталі апаратного забезпечення, на якому вона працює). Це (в порядку наближення до апаратного забезпечення) рівень підключення пристрою, функціональний рівень пристрою, рівень управління та прикладний рівень. Така структура дає змогу уніфіковано керувати різними пристроями. Поточна версія системи була підготовлена з використанням платформи .NET 4.0. Однією з важливих переваг системи є підтримка більшості комунікаційних протоколів.

Зв'язок з Інтернетом. Хоча технологіям розумного будинку вже більше тридцяти років, лише в останнє десятиліття вони зазнали значного розширення і модифікації, що дало змогу створювати складні інтегровані системи з розумними витратами. На додаток до базового обладнання, необхідного в таких додатках (контролер, датчики, виконавчі механізми і керовані ними допоміжні пристрої), з'явилися додаткові елементи, пов'язані з комп'ютерними технологіями. Це веб-сервери, модулі для зв'язку із смартфонами, а також «розумні» датчики, здатні надсилати інформацію про вимірювання не тільки в локальну комп'ютерну мережу (як це було дотепер), а й на спеціалізовані сервери у всесвітній мережі «Інтернет».

Це пов'язано з розвитком так званого Інтернету речей (IoT) — технології, яка використовує Інтернет для передачі та зберігання інформації з датчиків, розподілених у всьому світі. Отже, дані вимірювань з розумного будинку стають частиною більшої системи і можуть бути використані для статистичних розрахунків (використання конкретного обладнання, енергоспоживання тощо), а також для забезпечення контролю або безпеки для домогосподарства з глобальної системи.

Багато модулів оснащені вбудованим вебсервером. Це програмне забезпечення, яке дає змогу керувати та контролювати систему через мережу «Інтернет». Такий модуль також повинен бути оснащений мережним інтерфейсом, що дає можливість обмінюватися даними з віддаленими комп'ютерами. Завдяки цьому можна перевіряти ситуацію вдома за допомогою стаціонарного комп'ютера, ноутбука або навіть смартфона [8]. З цієї точки зору програмний рівень розумного будинку розглядається як сервіс-орієнтована архітектура (Service Oriented Architecture, SOA).

Висновки. Наведено апаратні та програмні рішення, що використовуються сьогодні в системах «розумного будинку». Основна увага приділяється обговоренню та класифікації вимірювального та виконавчого обладнання, методів зв'язку, а також програмних рішень, що полегшують управління системою через веббраузер настільного комп'ютера або мобільного телефона. Через великий вибір пристроїв можна очікувати, що інтенсивність розвитку технології розумного будинку буде зростати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. PROWAY-LAN Industrial Data Highway. URL: http://www.isa.org/Content/Microsites121/Standards_and_Practices_Department_Board/Home119/Ballots/S_7201.PDF.
2. Kaur I. Microcontroller Based Home Automation System With Security, (IJACSA). International Journal of Advanced Computer Science and Applications. December 2010. Vol. 1. No. 6. Pp. 60–65.
3. Karataş P., Aksoy M. Microcontroller Based Home Automation. Proceedings of International Conference on Intelligent Knowledge Systems (IKS-2004), August 16–20, 2004.
4. PowerHome2&Elk M1Gold Guide. URL: <http://www.smarthomeusa.com/Products/POWER-Home/manuals/PowerHome2-Elk-Guide.pdf>.

5. Web services for integration of smart houses in the smart grid / Warmer C., Kok K., Karnouskos S., Weidlich A., Nestle D., Selzam P., Ringelstein J., Dimeas A., Drenkard S. Grid-Interop Forum 2009. URL: <http://smarthouse-smartgrid.eu/fileadmin/templateSHSG/docs/publications/ GridInterop.pdf>.
6. Robles R. J., Kim T. Applications, Systems and Methods in Smart Home Technology: A Review. International Journal of Advanced Science and Technology. February 2010. Vol. 15. Pp. 37–48.
7. Insteon Compared. URL: <http://www.smartlabsinc.com/files/INSTEONCompared20060102a.pdf>.
8. An Operating System for the Home / Dixon C., Mahajan R., Agarwal S., Brush A. J., Lee B., Saroiu S., Bahl P. URL: <http://research.microsoft.com/pubs157701/homeos.pdf>.

REFERENCES

1. PROWAY-LAN Industrial Data Highway. Retrieved from http://www.isa.org/Content/Microsites121/Standards_and_Practices_Department_Board/Home119/Ballots/S_7201.PDF (in English).
2. Kaur, I. (December 2010). Microcontroller Based Home Automation System With Security, (IJACSA): International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 1, 6, 60–65 (in English).
3. Karataş, P., & Aksoy, M. (2004). Microcontroller Based Home Automation. Proceedings of International Conference on Intelligent Knowledge Systems (IKS-2004), August 16–20 (in English).
4. PowerHome2&Elk M1Gold Guide. Retrieved from <http://www.smarthomeusa.com/Products/POWER-Home/manuals/PowerHome2-Elk-Guide.pdf> (in English).
5. Warmer, C., Kok, K., Karnouskos, S., Weidlich, A., Nestle, D., Selzam, P., Ringelstein, J., Dimeas, A., & Drenkard, S. Web services for integration of smart houses in the smart grid. Grid-Interop Forum 2009. Retrieved from <http://smarthouse-smartgrid.eu/fileadmin/templateSHSG/docs/publications/ GridInterop.pdf> (in English).
6. Robles, R. J., & Kim, T. (February 2010.) Applications, Systems and Methods in Smart Home Technology: A Review: International Journal of Advanced Science and Technology, 15, 37–48 (in English).
7. Insteon Compared. Retrieved from <http://www.smartlabsinc.com/files/INSTEONCompared20060102a.pdf> (in English).
8. Dixon, C., Mahajan, R., Agarwal, S., Brush, A. J., Lee, B., Saroiu, S., & Bahl, P. An Operating System for the Home. URL: <http://research.microsoft.com/pubs157701/homeos.pdf> (in English).

doi: 10.32403/2411-3611-2023-1-43-99-108

ARCHITECTURE AND APPLICATIONS OF THE SMART HOUSE TECHNOLOGY

O. V. Tymchenko, V. O. Demchenko

Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
o_tymch@ukr.net

The idea of a smart home has existed in the mass consciousness for a long time, mainly thanks to the predictions of futurologists. Thanks to the significant development of computer technology, it has recently become a widely available technology, moreover, at a price that can be afforded by the average owner of an apartment or house. The range of applications and the degree of automation is determined by the user, who also decides on the total cost of the solution. The work presents the structure and principle of operation of the “smart home”, the architecture of the measurement and control system. An analysis of hardware and software solutions used for this purpose, for example, using Arduino family processors to control executive and measuring modules according to the 802.15.4 wireless communication standard, is carried out. In this way, the processor performs the functions of a supervisor, which expects information from sensors and generates control signals based on it. It is also advisable to use a PC as a system manager with specialized software that allows one to quickly program the system’s behaviour. The system design methodology and the elements included in it are discussed. The examples demonstrate the functioning of its individual components, the connection with the Internet of Things technology. The measurement data from the smart home then become part of a larger system and can be used for statistics (use of specific equipment, energy consumption, etc.) and to provide control or security for the household from the global system. The communication media used in such system are presented, including devices exploiting them: controllers, measurement modules and actuators. The wired (X10) and wireless (Z-Wave) communication standards are introduced. The software used in the smart house to control remote nodes is briefly discussed, including microcontrollers and personal computers. Exemplary applications and advancement possibilities are also described.

Keywords: “smart home” technologies, the X10 standard, the Internet of Things.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2023.

Received 20.03.2023.