

Артем Туленков, Олександр Соколянський, Анжеліка Пархоменко,
Ольга Гладкова, Ярослав Залюбовський
Запорізький національний технічний університет

СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВІДДАЛЕНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ЯК ВІДКРИТОГО ОНЛАЙН-РЕСУРСУ

© Туленков Артем, Соколянський Олександр, Пархоменко Анжеліка, Гладкова Ольга,
Залюбовський Ярослав, 2018

Розглянуто особливості застосування віддалених лабораторій як відкритого онлайн-ресурсу для інженерної освіти. Представлено досвід розроблення та впровадження в навчальний процес спеціалізованого програмно-апаратного комплексу для практично-орієнтованого навчання вбудованим системам та технологіям “Розумний будинок”.

Ключові слова: компетентності, практично-орієнтований метод навчання, цифрові технології та системи, мобільний демонстраційний стенд, віддалена лабораторія, дистанційне навчання, Інтернет речей, “Розумний будинок”.

The features of the remote laboratories usage as an open online resource for engineering education are considered. The experience of the development and implementation into the educational process of a specialized software and hardware complex for practical-oriented training in embedded systems and Smart house technologies is presented.

Key words: competences, practical-oriented teaching methods, digital technologies and systems, mobile demo stand, remote laboratory, distance learning, Internet of Things, Smart house.

Вступ

Однією з основних цілей Рамкової програми Європейського Союзу щодо оновлених ключових компетентностей людини є визначення саме ключових компетентностей, необхідних для працевлаштування, посилення особистого потенціалу, активного громадянства та соціальної інтеграції [1]. Але, як свідчать проведені дослідження, незважаючи на величезну кількість випускників українських вишів у галузях знань: інформаційні технології (ІТ), автоматизація та вимірювальна техніка, електроніка та телекомунікації існує серйозна нестача креативних кваліфікованих фахівців, які можуть працювати в компаніях, що створюють найсучасніші вбудовані електронні системи, кіберфізичні системи, системи штучного інтелекту, реалізують технології Інтернету речей (ІоТ) тощо. Навіть високий рівень знань не гарантує студентам успішної професійної самореалізації [2]. Проблема полягає в тому, що сьогодні ІТ-фахівці повинні мати не лише знання, але й практичні навички та вміння щодо реалізації сучасних цифрових систем та технологій.

Отже, впровадження практично-орієнтованих методів навчання ІТ-фахівців для забезпечення потрібних компетентностей з метою вдосконалення професійної майстерності та підвищення рівня креативності студентів, а також забезпечення їх конкурентоспроможності в умовах мінливого ринку праці є актуальним завданням.

Сучасний стан в галузі навчання розробленню смарт-систем

Одним з сучасних напрямів діяльності ІТ-фахівців є розроблення систем типу Розумні міста та Розумні будинки, які сьогодні активно впроваджуються в усьому світі [3]. Про актуальність цього напрямку для України свідчить поява значної кількості українських компаній, що спеціалізуються в цій галузі (Smart Home Company, SmartON, IntelSity, MiMi Smart, IQDim, Gira, etc.).

Зокрема в Запоріжжі – це компанії 1M-Smart home, ТОВ “ПКФ МОТОР” (офіційний представник компанії Legrand), Монада (офіційний представник компанії Siemens), що пропонують обладнання для систем домашньої автоматизації та послуги з розроблення таких систем з урахуванням індивідуальних потреб замовників.

Створення систем типу “Розумний будинок” потребує широкого спектра знань та практичних навичок щодо різноманітних контрольно-виконавчих пристроїв, а також технологій їх інтеграції в єдину систему з урахуванням вимог енергоефективності, безпеки, кібербезпеки та ін. [4]. Набути практичного досвіду роботи студентам допомагають навчальні демонстраційні стенди, що пропонують деякі компанії. Зокрема, компанія Siemens розробила мобільний демонстраційний стенд – модульний навчальний комплект GAMMA Training Kit GTK 5.1, що підходить для організації мобільних класів, містить керівний модуль та базову периферію для демонстрації принципів побудови та функціонування систем контролю приміщень та будівель [5]. Компанія Legrand пропонує мобільний демонстраційний стенд, який можна побачити зокрема в шоурумі компанії в Запоріжжі. Саме тому на базі компанії ТОВ “ПКФ МОТОР” для студентів кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ) проводяться тренінги-семінари, на яких обговорюють питання практичного використання найкращого європейського досвіду та обладнання для створення систем Розумний будинок [6]. Ключовими пунктами тренінгу є: обладнання системи домашньої автоматизації MyHome від Legrand (SCS-шина, пристрої управління, реле-активатори, блок живлення); програмне забезпечення MyHome Suite та ScenarX; практичне створення проекту (програмування команд, робота з блоком складних сценаріїв, програмування сенсорної панелі, створення проекту на iPad).

На жаль, вартість таких мобільних демонстраційних стендів залишається надто високою для придбання українськими вишами. Тому актуальним є завдання розроблення та впровадження в освітній процес ресурсів, що доступні студентам онлайн та дозволяють отримати знання та практичні навички в галузі розроблення цифрових систем, зокрема систем типу “Розумний будинок”.

Засоби віддаленої інженерії як основа практично-орієнтованого навчання

Швидкий розвиток інтернет-технологій та їх зростаюча популярність справили величезний вплив на галузь ІТ-освіти, тому поряд з десктопними системами навчання (програмами-тренажерами, середовищами програмування та проектування) активно використовуються технології та інструментарій віддаленої інженерії (он-лайн симулятори, віддалені лабораторії та ін.).

Так, у зв’язку з швидким розвитком популярності використання готових апаратно-програмних платформ при проектуванні смарт-систем деякі компанії пропонують програми-симулятори для побудови віртуального прототипу смарт системи з подальшим моделюванням її роботи: Virtualbreadbord, Virtronics, Simuino та ін. [7–9]. Зокрема, компанія Autodesk пропонує он-лайн версію симулятора для Arduino – Tinkercad [10]. Microsoft створив он-лайн симулятор для платформи Raspberry Pi [11]. Ці інструменти дозволяють проектувати схему підключення компонентів, проводити налагодження програми та симуляцію роботи платформи з базовими сенсорами та актуаторами. Серед он-лайн інструментарію для створення схем електричних принципів та друкованих плат можна також виділити Circuits від Autodesk [12] та сервіс EasyEDA [13]. Сервіс TIDesigns від компанії Texas Instruments [14] використовує засоби WEBENCH, працює як Flash-додаток у браузері та має назву WEBENCH Design Center. WEBENCH Design Center забезпечує розв’язання таких завдань: розроблення схеми налагодженого живлення або освітлення з використанням власних продуктів компанії; симуляцію проходження струму та моделювання теплових процесів схеми. Запропоновані варіанти реалізації схем можна оптимізувати щодо вартості компонентів, компактності схеми та працездатності. Після завершення тестування можна експортувати схему електричну принципову та друковану плату у формати, які підтримуються системами Altium Design, OrCAD, EAGLE та ін.

Як відомо, сучасні онлайн-лабораторії широко використовуються в усьому світі, забезпечують ефективну організацію спільного використання різноманітного програмного та інженерного обладнання з урахуванням фінансово-економічних обмежень, а також дають багато можливостей для інклюзивної освіти, що є актуальним для українських вишів [15]. Крім того, інтеграція онлайн-лабораторій у навчальний процес розширює можливості дистанційного навчання і надає всі переваги віддаленого експерименту (рис. 1), зокрема, безпечне проведення досліджень, можливість використання унікального обладнання та ін. [16].

Найпопулярнішими онлайн-лабораторіями сьогодні є: iLab, WebLab Deusto, VISIR, GOLDI, RELLE, WEBENCH, Labshare та інші [17].

Наприклад, гібридна віддалена лабораторія GOLDI (Grid of Online Lab Devices Ilmenau), яку розроблено на кафедрі інтегрованих систем зв'язку Технологічного університету Ільменау (Німеччина) [18]. Вона надає набір інструментів, що підтримує всі етапи розв'язання складних завдань керування (наприклад, у галузях машинобудування, робототехніки, телекомунікацій).

Віддалену лабораторію WebLab-Deusto створено на інженерному факультеті Університету Деусто (Іспанія) [19]. Вона може бути завантажена і розгорнута для обслуговування різноманітних дистанційних експериментів у різних середовищах і операційні системах з метою вивчення робототехніки та електроніки.

Labshare – мережа лабораторій із віддаленим доступом п'яти технічних університетів (Австралія) [20]. Експериментальні стенди дозволяють вирішувати різні завдання у галузі фізики, робототехніки, телекомунікацій.

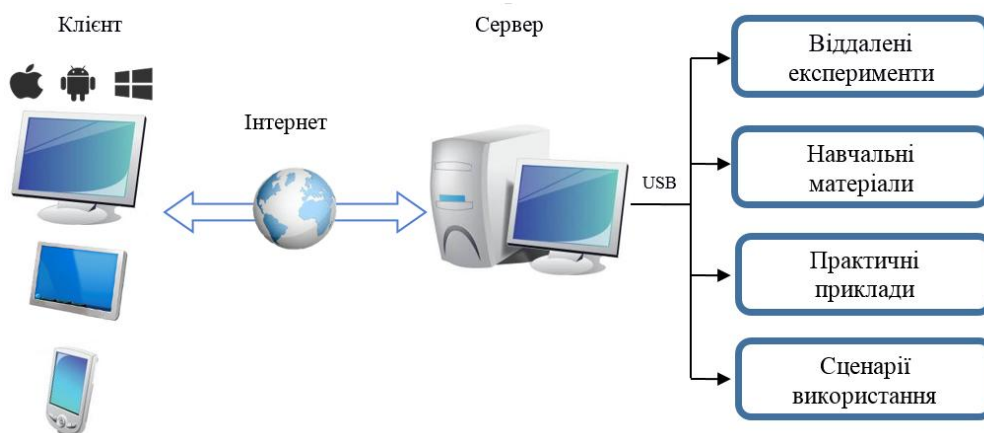


Рис. 1. Узагальнена схема організації віддалених лабораторій

e-Laboratory Project (Чехія та Словаччина) – віддалена лабораторія, що надає доступ до різноманітних експериментів у галузі електроніки та фізики [21].

iLabs – он-лайн лабораторія, створена в Массачусетському технологічному інституті, що пропонує експерименти у галузі мікроелектроніки, проектування конструкцій та обробки сигналів [22].

Є також декілька рішень саме для вивчення систем типу “Розумний будинок”. Зокрема, це навчальний стенд, створений корпорацією Intel Corp. [23], а також віддалена лабораторія, створена у Корнельському університеті (Ітака, США) [24]. Але, як показали проведені дослідження, лабораторія Intel базується лише на апаратурі компанії з метою її просування, а лабораторія Cornell працює під управлінням голосу, що незручно для людей з голосовими розладами.

Українські виші не так давно почали створювати та застосовувати онлайн-лабораторії для інженерної освіти, а також використовувати всесвітньо відомі освітні ресурси, створені в університетах усього світу. Як приклад можна навести лабораторний стенд для дистанційного вивчення принципів функціонування, програмування та практичного освоєння сучасних мікропроцесорних систем управління [25], що складається з мікроконтролера, встановленого на

монтажну плату, програматора, кнопкової клавіатури, цифрового індикатора, п'єзодинаміка, датчика температури, лічильника реального часу, інтерфейсного блоку, зовнішнього контактного розніму, блоку світлодіодної індикації, ПЕОМ, матричного графічного дисплея, блоку зовнішньої пам'яті, блоку імітації дій користувача та оглядової цифрової відеокамери. Завдяки блоку імітації дій користувача та відеокамері можливе дистанційне вивчення та виконання практичних завдань щодо віддаленого програмування та контролю роботи мікропроцесорних систем.

Головним недоліком є те, що у цьому лабораторному стенді відсутні апаратні та програмні засоби для дистанційного вивчення та виконання практичних завдань щодо віддаленого програмування та контролю роботи систем типу "Розумний будинок". Зокрема, відсутній повний набір датчиків та виконавчих пристроїв, а також програмні засоби для їх опитування та зміни станів. Крім того, не передбачено можливостей дистанційного вивчення та управління процесами функціонування в режимі реального часу одночасно декількома користувачами.

Отже, актуальним є завдання розроблення віддаленої лабораторії як відкритого онлайн-ресурсу для одночасного використання декількома користувачами в режимі реального часу з метою дистанційного вивчення та віддаленого контролю роботи систем типу "Розумний будинок".

Особливості реалізації та використання віддаленої лабораторії для навчання розробленню смарт-систем

У результаті проведених досліджень створено відкритий онлайн-ресурс – REIoT комплекс (рис. 2), що містить дві онлайн-лабораторії: віддалену лабораторію для проектування вбудованих систем RELDES (Remote Laboratory for Design of Embedded Systems) (рис. 3) та віддалену лабораторію для вивчення та реалізації систем типу "Розумний будинок" (Smart House & IoT) [26–28]. Використання цього комплексу в навчальному процесі спрямоване на формування знань студентів у галузі розроблення сучасного програмного та апаратного забезпечення вбудованих систем, а також практичних навичок застосування платформ і пристроїв для реалізації IoT технологій.

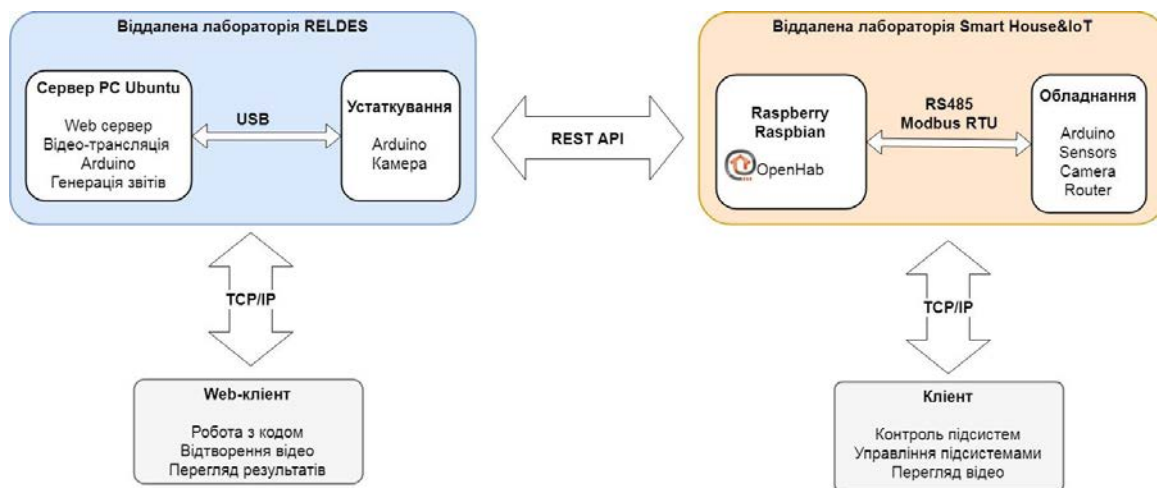


Рис. 2. Архітектура REIoT

Віддалена лабораторія Smart House & IoT (рис. 4) призначена для практичного вивчення різних платформ, пристроїв, протоколів та інтерфейсів для реалізації систем "Розумний будинок" та IoT технологій. Вона поєднує декілька підсистем для керування процесами: мікроклімату, освітлення, генерації сонячної енергії, вентиляції та кондиціонування, доступу, захисту даних та ін. При цьому ставляться задачі вивчення мобільних та хмарних технологій, методів обміну даними та обробки великих масивів даних. Студенти набувають знання і практичні навички з реалізації сучасних цифрових систем та технологій шляхом виконання дистанційно керованих експериментів, вивчення описів цих експериментів, реалізації різних сценаріїв керування та програмування. Для

навчання на основі віддаленої лабораторії розроблено декілька сценаріїв, що передбачають як індивідуальну роботу студентів з окремими експериментами, так і роботу в команді для визначення логіки роботи системи загалом, програмування і моніторингу складних процесів.

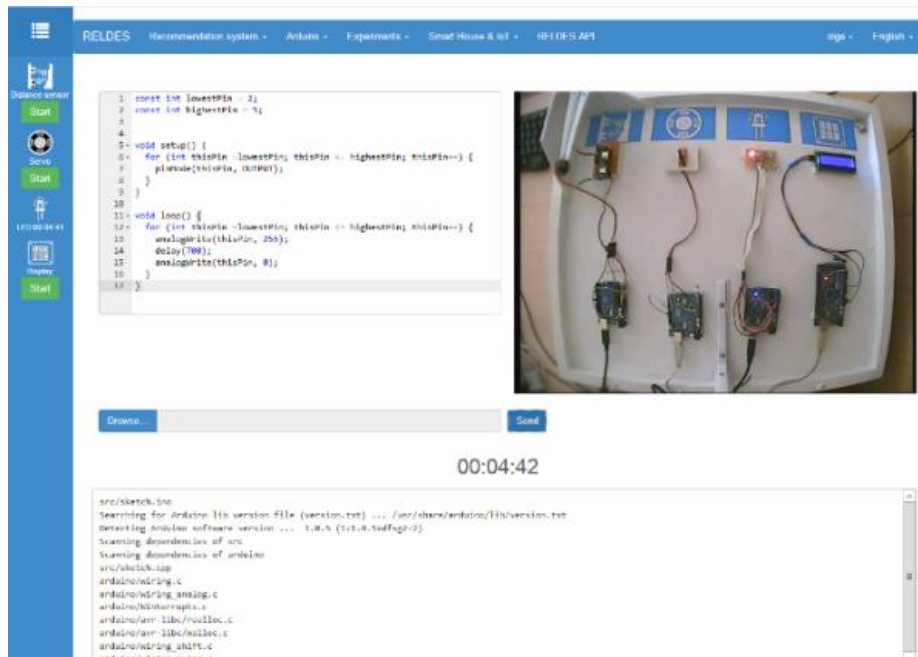


Рис. 3. Інтерфейс віддаленої лабораторії REIDES

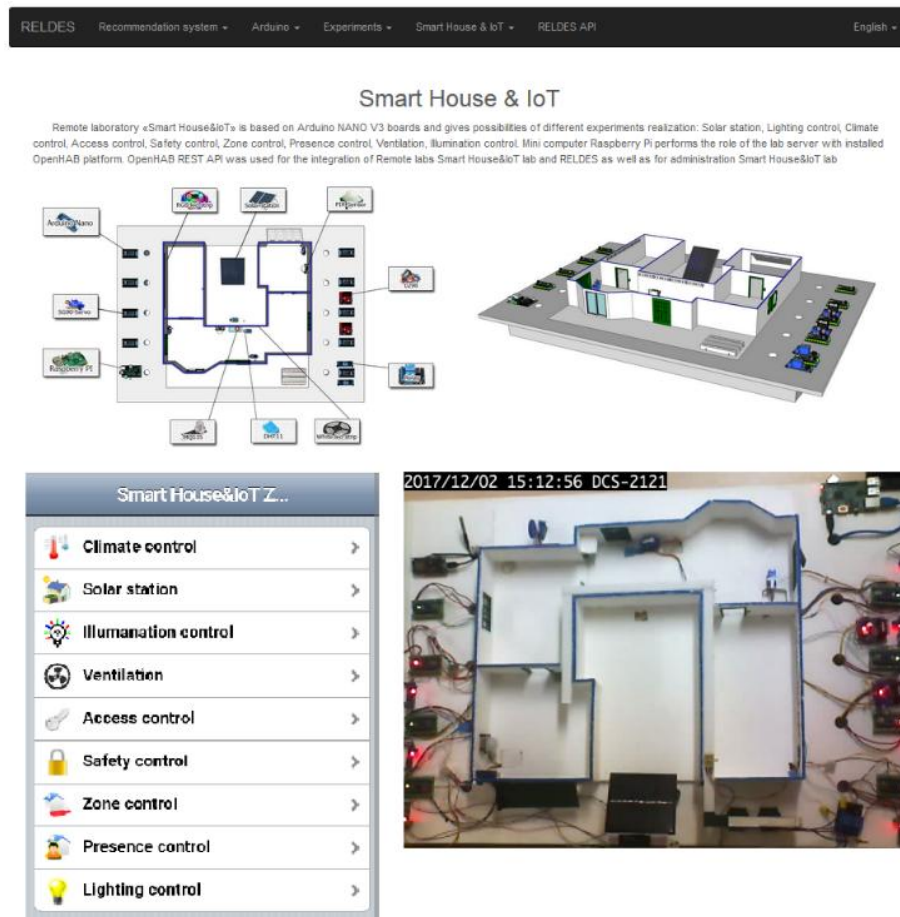


Рис. 4. Головне вікно інтерфейсу віддаленої лабораторії Smart House & IoT

Для вивчення та практичної реалізації студентам пропонується набір віддалених експериментів та декілька сценаріїв виконання для кожного з них. Наприклад, група експериментів з вивчення питань збереження ресурсів та енергоефективності, які дозволяють контролювати параметри генерації сонячної енергії, керування освітленням, опаленням, кондиціонуванням, вентиляцією та рекуперацією.

При цьому студентам доступні схеми підключення обладнання, описи реальних прикладів, сценарії керування, приклади програм та інші навчальні матеріали. Приклад вікна експерименту “Сонячна станція” наведено на рис. 5. Як компоненти цієї групи експериментів використано: платформу Arduino Nano V3 (5V); сонячну панель (6В, 250мА); резистивний дільник (1/2); контролер заряду (TP509); акумулятор (3.7В, 1100мА); драйвер навантаження L298 (5-35В, 2А); RGB та білі світлодіодні стрічки; джерело постійного струму 5В, 1А та 12В, 4А; реле 5В; елемент Пельтьє; сенсори температури та вологості DHT22 та DHT11; сенсор якості повітря MQ135.

Діаграму діяльності користувача з лабораторією зображено на рис. 6. Користувач на початку роботи вибирає метод навчання – теоретичну або практичну складову. При цьому він має можливість вивчати опис експерименту, схему підключення компонентів, типовий код програми та рекомендації щодо реалізації реального проекту. Якщо студент обирає практичну складову, засобами віддаленої лабораторії RELDES виконується авторизація, резервування експерименту та старт експерименту (якщо експеримент зайнятий, користувач потрапляє у чергу на виконання). Для кожного експерименту виділяється певний час на виконання та пропонується декілька сценаріїв проведення. Після вибору сценарію виконується запит щодо параметрів сенсорів та станів контрольно-виконавчих пристроїв. Засобами лабораторії RELDES формується запит, який перевіряється та відправляється до лабораторії Smart House & IoT, де відбувається виконання запиту та формування результату. Програмне забезпечення лабораторії RELDES виконує обробку отриманих результатів та відображення результатів користувачу у наочному вигляді на сторінці експерименту. Користувач може також змінювати стани контрольно-виконавчих пристроїв з метою відпрацювання алгоритмів керування системою.

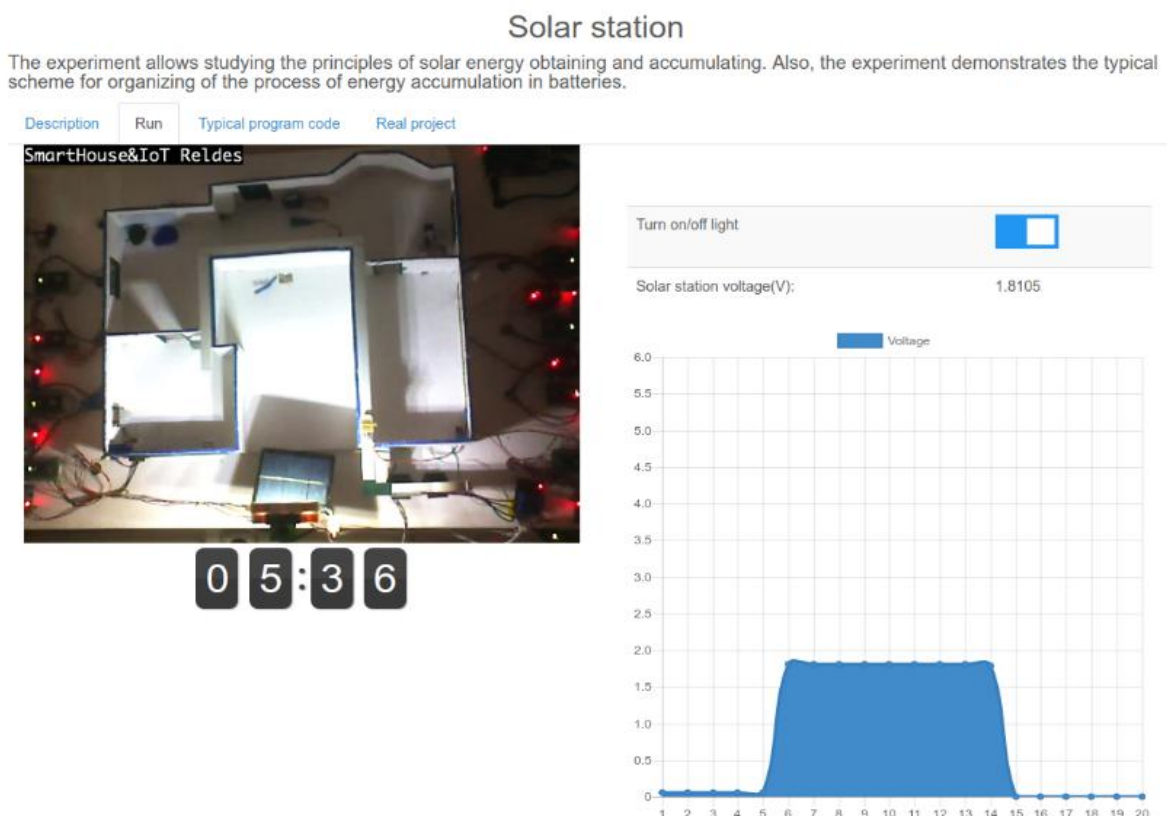


Рис. 5. Вікно експерименту “Сонячна станція”

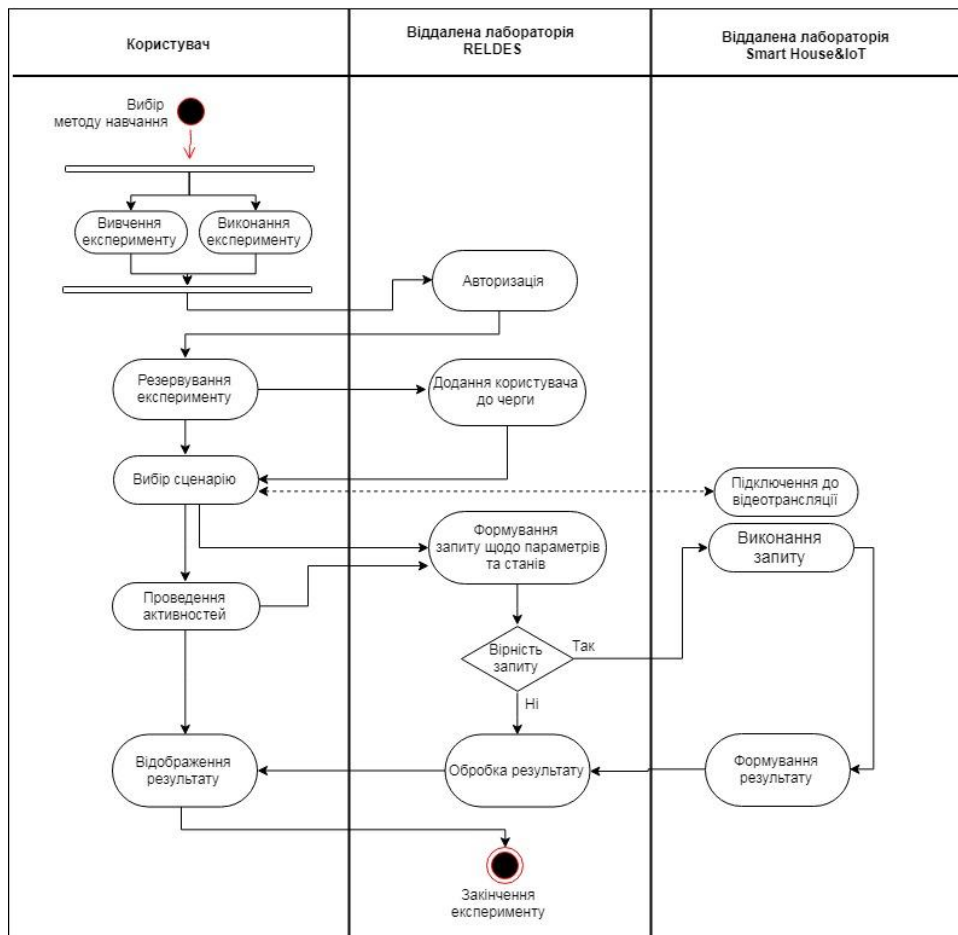


Рис. 6. Діаграма діяльності користувача із віддаленими лабораторіями

Висновки

Тобто, використання REIoT комплексу в навчальному процесі дає студентам всі переваги дистанційних експериментів, а також можливості практичного вивчення різних апаратних та програмних платформ, електронних компонентів, провідних та безпроводних протоколів та інтерфейсів для реалізації сучасних цифрових систем та технологій.

Запропонований практично-орієнтований метод навчання, оснований на використанні комплексу REIoT, дає студентам змогу отримати необхідні знання та навички для успішного застосування в майбутній професійній діяльності, цінний практичний досвід у галузі цифрових технологій та систем, мотивацію до наукових досліджень та навички роботи в команді.

Література

1. Освіта на основі життєвих навичок: веб-сайт. URL: <http://dlse.multycourse.com.ua/ua/page/15/53#1> (Last accessed: 25.10.2018).
2. Які 8 компетентностей є ключовими з точки зору європейської комісії в галузі освіти: веб-сайт. URL: http://ininv.vntu.edu.ua/ukr/index.php?option=com_content&view=article&id=58:23-05-17-news-key-competences&catid=37&Itemid=857 (Last accessed: 25.10.2018).
3. Rucinski A., Garbos R., Jeffords J., Chowdbury S. *Disruptive innovation in the era of global cyber-society: with focus on Smart city efforts: proceedings of the 9th IEEE International conference on Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications, University Politehnica of Bucharest, Romania. 2017. P. 1102–1104.*
4. Tulenkov A., Parkhomenko A., Sokolyanskii A., Stepanenko A., Zalyubovskiy Y. *The features of wireless technologies application for Smart house systems: proceedings of the 4th IEEE International symposium on wireless systems within the IEEE International conferences on Intelligent data acquisition and advanced computing systems, Lviv, Ukraine. 2018. P. 1–6.*
5. KNX training with the new

GAMMA Training Kit 5.1. URL: <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V11225662>. 6. Пархоменко А. Семінар-тренінг з розробки систем домашньої автоматизації: веб-сайт. URL: <http://www.zntu.edu.ua/seminar-trening-z-rozrobky-system-domashnoyi-avtomatyzaciyi> (Last accessed: 25.10.2018). 7. Virtual Breadboard: веб-сайт. URL: <http://www.virtualbreadboard.com/Index.html>. (Last accessed: 15.03.2018). 8. Simulator for Arduino. Vitronics: веб-сайт. URL: <http://www.vitronics.com.au/Simulator-for-Arduino.html>. (Last accessed: 15.03.2018). 9. Simuino: веб-сайт. URL: <https://code.google.com/p/simuino/>. (Last accessed: 15.03.2018). 10. Tinkercad: веб-сайт. URL: <https://www.tinkercad.com/>. (Last accessed: 15.03.2018). 11. Raspberry Pi Azure IoT Online Simulator: веб-сайт. URL: <https://azure-samples.github.io/raspberry-pi-web-simulator/>. (Last accessed: 15.03.2018). 12. PCB design. Autodesk Circuits: веб-сайт. URL: <https://circuits.io/pcb>. (Last accessed: 15.03.2018). 13. EasyEDA: веб-сайт. URL: <http://easyeda.com>. (Last accessed: 15.03.2018). 14. WEBENCH® Design Center. Texas Instruments: веб-сайт. URL: <http://www.ti.com/lscds/ti/analog/webench/overview.page>. (Last accessed: 15.03.2018). 15. Parkhomenko A., Parkhomenko A., Tabunshchuk G., Henke K., and Wuttke H.-D. The remote labs as an effective tool of inclusive engineering education: proceedings of the 12th International conference on Perspective technologies and methods in MEMS design, Lviv-Polyana. 2018. P. 209–214. 16. Henke K., Ostendorff S., Wuttke H.-D., Vietzke T., Lutze C.. Fields of applications for hybrid online labs. iJOE, vol. 9. 2013. P. 20–30. 17. Parkhomenko A., Gladkova O., Parkhomenko A.. Recommendation System as a user-oriented service for the remote and virtual labs selecting: proceedings of the 21th International conference on Interactive collaborative learning and 47th IGIP International conference on engineering pedagogy (ICL2018) The challenges of the digital transformation in education, Kos, Greece. 2018. P. 569–578. 18. The Grid of Online Laboratory Devices Ilmenau (GOLDi): веб-сайт. URL: <http://www.goldi-labs.net> (Last accessed: 15.03.2018). 19. WebLab-Deusto: веб-сайт. URL: <http://weblab.deusto.es/website> (Last accessed: 15.03.2018). 20. Remote Labs. Enriching digital education: веб-сайт. URL: <http://www.labshare.edu.au> (Last accessed: 15.03.2018). 21. e-LABORATORY PROJECT: веб-сайт. URL: <http://www.ises.info/index.php/en> (Last accessed: 15.03.2018). 22. The iLab Project: веб-сайт. URL: <https://icampus.mit.edu/projects/ilabs> (Last accessed: 15.03.2018). 23. IoT reference implementation: how to build the Smart Home prototype: веб-сайт. URL: <https://software.intel.com/en-us/articles/iot-reference-implementation-how-to-build-the-smart-home-prototype> (Last accessed: 25.10.2018). 24. Smart Home system. A wireless, voice-controllable, household system: веб-сайт. URL: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/f2012/jw937_sz369/jw937-sz369/jw937_sz369.html (Last accessed: 25.10.2018). 25. Пат. 86888, МПК (2009) G09B 23/00, G09B 23/18 (2009.01) Лабораторний стенд для дистанційного вивчення мікропроцесорних систем управління [Текст] / О. Г. Аврунін, В. В. Семенець, В. М. Байбаков, О. В. Вечур, О. Я. Крук, Т. В. Носова, Р. В. Семенець, П. В. Якомович; заявник і патентовласник – Харківський національний університет радіоелектроніки. – № с286888; заявл. 30.10.2007; опубл. 25.05.2009, бюл. № 10. 26. Parkhomenko A., Gladkova O., Ivanov E., Sokolyanskii A., Kurson S.. Development and application of remote laboratory for embedded systems design. iJOE 11. 2015. P. 27–31. 27. Parkhomenko A., Tulenkov A., Sokolyanskii A., Zalyubovskiy Y., Parkhomenko A.. Integrated complex for IoT technologies study. Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Network and Systems, vol. 22. 2017. P. 322–330. 28. Parkhomenko A., Tulenkov A., Sokolyanskii A., Zalyubovskiy Y., Parkhomenko A., Stepanenko A.. The application of the remote lab for studying the issues of Smart House systems power efficiency, safety and cybersecurity. Smart Industry & Smart Education. Lecture Notes in Network and Systems, vol. 47. 2018. P. 395–403.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE REMOTE LABORATORY AS AN OPEN ONLINE RESOURCE

© Tulenkov A., Sokolyanskii O., Parkhomenko A., Gladkova O., Zalyubovskiy Y., 2018

Introduction

Implementation of practically oriented methods of IT specialists training to provide the necessary competences with the aim of professional skills improving and the level of students' creativity raising, as well as their competitiveness ensuring in a changing labour market, is an urgent task.

Analysis of the latest sources of literature

Modern online laboratories are widely used throughout the world and provide efficient organization of various software and engineering equipment sharing, taking into account financial and economic constraints. They also provide opportunities for inclusive education that is relevant for Ukrainian universities. Online laboratories integration into the educational process expands the possibilities of distance learning and provides all the benefits of a remote experiment, in particular, safe execution of experiments, the ability to use unique equipment, etc. Nevertheless, several existing remote Smart House laboratories (Intel Corp., Cornell university) do not provide all the possibilities for such systems investigation.

Purpose of the research

The goal of the work is the development of the remote laboratory as an open online resource for simultaneous use by multiple users in real time for Smart House systems studying.

Discussion

Developed remote lab Smart House & IoT is based on a set of sensors, actuators, Arduino and Raspberri boards, as well as original software that allows to investigate the features of the Smart House systems and IoT technologies. Based on this educational resource, students have all possibilities for practical study various hardware and software platforms, electronic components, wired and wireless protocols and interfaces for modern digital systems as well as cloud and mobile technologies realization.

Conclusions

The proposed practical-oriented method of training is based on remote lab usage and allows students to acquire the necessary knowledge and skills for successful application in future professional activity, valuable practical experience in the field of smart technologies and systems, as well as motivation for research.

References

1. *Lifelong Learning: website*. URL: <http://dlse.multycourse.com.ua/ua/page/15/53#1>.
2. *Which 8 competencies are key from the standpoint of the European Commission in the field of education: website*. URL: http://ininv.vntu.edu.ua/ukr/index.php?option=com_content&view=article&id=58:23-05-17-news-key-competences&catid=37&Itemid=857.
3. Rucinski A., Garbos R., Jeffords J., Chowdbury S. *Disruptive innovation in the era of global cyber-society: with focus on Smart city efforts: proceedings of the 9th IEEE International conference on Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications, University Politehnica of Bucharest, Romania. 2017. P. 1102–1104.*
4. Tulenkov A., Parkhomenko A., Sokolyanskii A., Stepanenko A., Zalyubovskiy Y. *The features of wireless technologies application for Smart house systems: proceedings of the 4th IEEE International symposium on wireless systems within the IEEE International conferences on Intelligent data acquisition and advanced computing systems, Lviv, Ukraine. 2018. P. 1–6.*
5. *KNX training with the new GAMMA Training Kit 5.1: website*. URL: <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V11225662>.
6. Parkhomenko A. *Seminar-training on the development of home automation*

systems: website. URL: <http://www.zntu.edu.ua/seminar-trening-z-rozrobky-system-domashnoyi-avtomatyzaciyi>.

7. Virtual Breadboard: website. URL: <http://www.virtualbreadboard.com/Index.html>.

8. Simulator for Arduino. Vitronics: website. URL: <http://www.vitronics.com.au/Simulator-for-Arduino.html>.

9. Simuino: website. URL: <https://code.google.com/p/simuino/>.

10. Tinkercad: website. URL: <https://www.tinkercad.com/>.

11. Raspberry Pi Azure IoT Online Simulator: website. URL: <https://azure-samples.github.io/raspberry-pi-web-simulator/>.

12. PCB design. Autodesk Circuits: website. URL: <https://circuits.io/pcb>.

13. EasyEDA: website. URL: <http://easyeda.com>.

14. WEBENCH® Design Center. Texas Instruments: website. URL: <http://www.ti.com/lstds/ti/analog/webench/overview.page>.

15. Parkhomenko A., Parkhomenko A., Tabunshchyyk G., Henke K., and Wuttke H.-D. The remote labs as an effective tool of inclusive engineering education: proceedings of the 12th International conference on Perspective technologies and methods in MEMS design, Lviv-Polyana. 2018. P. 209–214.

16. Henke K., Ostendorff S., Wuttke H.-D., Vietzke T., Lutze C. Fields of applications for hybrid online labs. *iJOE*, vol. 9. 2013. P. 20–30.

17. Parkhomenko A., Gladkova O., Parkhomenko A. Recommendation System as a user-oriented service for the remote and virtual labs selecting: proceedings of the 21th International conference on Interactive collaborative learning and 47th IGIP International conference on engineering pedagogy (ICL2018) The challenges of the digital transformation in education, Kos, Greece. 2018. P. 569–578.

18. The Grid of Online Laboratory Devices Ilmenau (GOLDi): website. URL: <http://www.goldi-labs.net>.

19. WebLab-Deusto: website. URL: <http://weblab.deusto.es/website> (Last accessed: 15.03.2018).

20. Remote Labs. Enriching digital education: website. URL: <http://www.labshare.edu.au>.

21. e-LABORATORY PROJECT: website. URL: <http://www.ises.info/index.php/en>.

22. The iLab Project: website. URL: <https://icampus.mit.edu/projects/ilabs>.

23. IoT reference implementation: how to build the Smart Home prototype: веб-сайт. URL: <https://software.intel.com/en-us/articles/iot-reference-implementation-how-to-build-the-smart-home-prototype>.

24. Smart Home system. A wireless, voice-controllable, household system: веб-сайт. URL: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/f2012/jw937_sz369/jw937-sz369/jw937_sz369.html.

25. Pat. 86888, МПК (2009) G09B 23/00, G09B 23/18 (2009.01). Laboratory stand for remote study of microprocessor control systems / Avrunin O. G., Semenec V. V., Baibakov V. M., Vechur O. V., Kruk O. Ya., and other; applicant and patent holder – Kharkiv National University of Radio Electronics. – № c286888; stated. October 30, 2007; has published 05/25/2009, bul. No. 10.

26. Parkhomenko A., Gladkova O., Ivanov E., Sokolyanskii A., Kurson S. Development and application of remote laboratory for embedded systems design. *iJOE* vol. 11. 2015. P. 27–31.

27. Parkhomenko A., Tulenkov A., Sokolyanskii A., Zalyubovskiy Y., Parkhomenko A. Integrated complex for IoT technologies study. *Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Network and Systems*, vol. 22. 2017. P. 322–330.

28. Parkhomenko A., Tulenkov A., Sokolyanskii A., Zalyubovskiy Y., Parkhomenko A., Stepanenko A. The application of the remote lab for studying the issues of Smart House systems power efficiency, safety and cybersecurity. *Smart Industry & Smart Education. Lecture Notes in Network and Systems*, vol. 47. 2018. P. 395–403.