



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Кафедра РТТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсового проєкту
«Розробка та дослідження прототипів біомедичних та
телемедичних систем»
з дисципліни «Вбудовані біомедичні системи та бездротові
сенсорні мережі»
для студентів за спеціальністю
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньої програми «Телемедичні та біомедичні системи»
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту «Розробка та дослідження прототипів біомедичних та телемедичних систем» з дисципліни “Вбудовані біомедичні системи та бездротові сенсорні мережі” для студентів за спеціальністю 172 "Телекомунікації та радіотехніка" освітньої програми "Телемедичні та біомедичні системи" всіх форм навчання /Укл.: Пархоменко А.В, Гладкова О.М., Туленков А.В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 23 с.

Укладачі: А. В. Пархоменко, к.т.н., доцент каф. ПЗ
О. М. Гладкова, к.т.н., доцент каф РТТ
А.В.Туленков, асистент каф.ПЗ

Рецензент: Г. М. Шило, д.т.н., зав.каф. ІТЕЗ.

Відповідальний
за випуск: зав.каф. радіотехніки та телекомунікацій
С.В. Морщавка, к.т.н., доцент.

Затверджено
на засіданні
кафедри РТТ
Протокол № 1 від
“11” вересня 2019 р.

Ухвалено
на засіданні НМК
факультету РЕТ
Протокол № 2 від
“19” вересня 2019 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Мета, задачі та тематика курсового проєкту.....	5
2 Основні етапи курсового проєкту та терміни їх виконання.....	9
2.1 Вхідні дані до проєкту.....	9
2.2 Послідовність виконання курсового проєкту	9
3 Вимоги до оформлення, обсягу та змісту курсового проєкту.....	10
3.1 Структура пояснювальної записки.....	10
3.2 Вимоги до побудови основної частини курсового проєкту.....	11
4 Прототипування біомедичних систем з використанням Інтегрованого Середовища Розробки.....	12
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	23

ВСТУП

Найчастіше термін «прототипування» пов'язують з термінами «швидке прототипування» та «3D принтинг». Але, на сьогоднішній день прототипування - це назва декількох суміжних технологій, які активно використовуються при проектуванні об'єктів та процесів: prototyping of Embedded Devices; prototyping of Physical Design; prototyping of Online Components [1].

При розробці біомедичних систем мають застосовуватись як віртуальне так і фізичне прототипування, відповідно до особливостей проектування взаємопов'язаних електронної, механічної та програмної частин проекту [2-5].

Дослідження віртуального прототипу проектованого виробу дозволить: виявити помилки проекту на ранніх етапах створення проекту та, відповідно, зменшити час розробки та знизити витрати на доробку; дослідити більше альтернативних варіантів та шляхів розвитку проекту; виконати дослідження прототипу, які інколи є неможливими в реальних умовах на натурному макеті; не проводити фізичні експерименти, що потребують значного часу та матеріальних витрат. Наприклад, для створення та дослідження віртуальних прототипів схем та конструкцій роботизованих протезів використовуються сучасні системи автоматизованого проектування та моделювання (Altium Designer, AutoCAD, PROTEUS, Creo, Solid Edge, Autodesk Inventor та ін.). Але, у той же час, більшість фахівців погоджується, що створення фізичного прототипу має часто вирішальне значення для реалізації концепцій дизайну. Чим швидше розробники експериментують з новими продуктами, тим швидше вони отримують потрібні дані для подальших змін у проєкті. Крім того, створення фізичного прототипу – це зручний спосіб отримання зворотнього зв'язку з замовником.

У зв'язку з цим, виконання даного курсового проєкту несумнівно буде сприяти підвищенню рівня магістрів за освітньою програмою "Телемедичні та біомедичні системи", використанню ними у майбутній діяльності сучасних програмних інструментів та технологій розробки прототипів біомедичних систем. Студенти виконують курсовий проєкт в Інтегрованому Середовищі Розробки (ICP) з дисципліни «Вбудовані біомедичні системи та бездротові сенсорні мережі» в 9 (осінньому) семестрі.

1 МЕТА, ЗАДАЧІ ТА ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Мета курсового проєкту – дослідження та розробка прототипу біомедичної або телемедичної системи.

Задачі курсового проєкту:

- дослідження структурних та функціональних особливостей сучасних біомедичних та телемедичних систем;
- аналіз особливостей бездротових технологій та принципів побудови бездротових сенсорних мереж;
- дослідження можливостей Інтегрованого Середовища Розробки (ICR) біомедичних та телемедичних систем;
- розробка методики створення прототипу проєктованої системи з застосуванням ICR;
- розробка та дослідження віртуальної моделі прототипу проєктованої системи в ICR;
- розробка апаратного та програмного забезпечення фізичного прототипу;
- практична апробація розробленого фізичного прототипу.

Тематика курсового проєкту пропонується викладачем, або обирається студентами за власним бажанням.

Основні напрямки досліджень:

- 1) Дослідження та розробка стаціонарної системи моніторингу показників стану здоров'я пацієнтів;
- 2) Дослідження та розробка системи віддаленого моніторингу фізичного стану пацієнтів;
- 3) Дослідження та розробка системи управління для людей з особливими потребами;
- 4) Дослідження та розробка роботизованих протезів кінцівок людини;
- 5) Дослідження та розробка бездротової мережі для стеження за фізичним станом пацієнтів;
- 6) Дослідження та реалізація хмарних технологій для збору, візуалізації та обробки даних про показники стану здоров'я пацієнтів.
- 7) Дослідження та розробка нейроінтерфейсів для біомедичних систем.
- 8) Дослідження та розробка систем управління для користувачів з особливими потребами.

Для розробки вбудованих біомедичних систем пропонується наступне обладнання, наведене в табл. 1.1, що придбане за кошти міжнародного освітнього проєкту BIOART "Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біоінженерії для бакалаврів та магістрів" Європейського Союзу.

Таблиця 1.1 – Перелік пропонованого обладнання

	Вигляд	Назва
1		Arduino Mega
2		Raspberry Pi 3 B+
3		3.5" 320x480 TFT LCD (ASC201) кольоровий дисплей для Arduino Mega 2560
4		WI-FI перемикач Sonoff TH 10A 16A від Itead
5		Датчик серцевого ритму PulseSensor (ADC190) для Arduino

Продовження табл. 1.1

6		Датчик пульсу MAX30102 (ADC218) для Arduino
7		Модуль ЕКГ Lead Heart Rate Monitor на основі чіпа AD8232 (для Arduino) та набір електродів Skintact
8		Wi-Fi модуль ESP8266 WittyCloud (AOC361) для Arduino
9		Wi-Fi модуль LuaNode32 с ESP-32 для Arduino (AOC515)
10		Bluetooth модуль HC-05 для Arduino (AOC165)
11		Модуль Xbee радіомодем DIGI XB24-AWI-001 для Arduino

Продовження табл. 1.1

12		Модуль GSM/GPRS/GNSS/Bluetooth HAT для RaspberryPi від Waveshare (DPC311)
13		Модуль температурного датчика DS18B20
14		Модуль датчика вологості та температури DHT22 (ADC124) для Arduino
15		Модуль барометра BMP180 (датчик атмосферного тиску) (ADC-148) для Arduino
16		Цифровий датчик температури Sensor-DS18D20 для Sonoff TH 10A 16A от Itead (AOC211) для Arduino
17		Шолом віртуальної реальності Oculus Go VR (32Gb)

2 ОСНОВНІ ЕТАПИ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ ТА ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

2.1 Вхідні дані до проєкту

Вхідною інформацією до виконання курсового проєкту є Завдання на курсовий проєкт, яке видається керівником проєкту.

2.2 Послідовність виконання курсового проєкту

Основні етапи курсового проєкту мають бути виконані до кінця наступних тижнів семестру (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Етапи та терміни їх виконання

№	Етапи курсового проєкту	Термін виконання, тиж.
1	Аналіз вимог до проєктованої біомедичної системи	2
2	Дослідження конструктивних та функціональних особливостей проєктованої біомедичної системи	3
3	Дослідження бездротових технологій передачі даних та принципів реалізації бездротових сенсорних мереж для біомедичних систем	4
4	Огляд сучасних програмних та апаратних засобів, що використовуються при прототипуванні біомедичних систем	5
5	Розробка методики створення віртуального прототипу біомедичної системи	6
6	Розробка віртуального прототипу біомедичної системи	7
7	Розробка апаратного та програмного забезпечення фізичного прототипу біомедичної системи	9
8	Оформлення пояснювальної записки до курсового проєкту	10
9	Попередня перевірка роботи керівником	11
10	Підготовка презентації та доповіді	12
11	Захист курсового проєкту	13

Контроль за виконанням курсового проєкту здійснює керівник відповідно з трудомісткістю етапів проєктування, графіком учбового процесу і графіком рубіжних контролів, що встановлює деканат. Для успішного виконання студентами курсового проєкту керівник призначає консультації, відповідно з планами учбового навантаження.

З ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ, ОБСЯГУ ТА ЗМІСТУ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Пояснювальна записка (ПЗ) до курсового проєкту виконується згідно з вимогами СТП15-96 "Пояснювальна записка до курсових та дипломних проєктів. Вимоги та правила оформлення". ПЗ повинна мати обсяг разом з додатками 80-120 сторінок.

3.1 Структура пояснювальної записки

ПЗ складається з таких обов'язкових частин:

- титульний аркуш;
- завдання на курсовий проєкт;
- реферат;
- зміст;
- вступ;
- основна частина;
- висновки;
- перелік посилань;
- додатки.

Титульний аркуш та Завдання на курсовий проєкт оформлюються на друкованих (готових) бланках (<http://www.zntu.edu.ua/novi-blanki-zntu>).

РЕФЕРАТ повинен містити опис параметрів пояснювальної записки (кількість сторінок, рисунків, таблиць, додатків, використаних джерел); мету проєкту; задачі, що вирішуються; об'єкт та методи дослідження; новизну роботи; практичну цінність виконаних розробок; ключові слова (10-14 основних термінів роботи).

У ВСТУПІ має бути висвітлений сучасний стан задачі, що вирішується; визначена галузь проєктування; наведена інформація

про проєктований об'єкт; визначена актуальність та мета курсового проєкту.

У **ВИСНОВКАХ** мають бути наведені результати досліджень та розробок, їх практичне значення та можливості подальшого використання. Обов'язково наводиться перелік основних розроблених файлів, їх призначення та назва програм, в яких вони створювалися.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ оформлюється згідно з вимогами ДСТУ. Обов'язковими є посилання на використані джерела у тексті пояснювальної записки.

У **ДОДАТКИ** необхідно винести текст програми та слайди презентації.

3.2 Вимоги до побудови основної частини курсового проєкту

Структура основної частини курсового проєкту в загальному випадку має наступний вигляд:

1. Аналіз особливостей сучасного процесу розробки біомедичних систем.
 - 1.1 Класифікація біомедичних систем
 - 1.2 Дослідження існуючих бездротових технологій
 - 1.3 Основні етапи створення прототипу біомедичної системи
2. Дослідження та вибір технологій та засобів прототипування.
 - 2.1 Програмні засоби підтримки процесу прототипування.
 - 2.2 Апаратні засоби підтримки процесу прототипування.
 - 2.3 Розробка методики прототипування за допомогою ІСР.
3. Розробка та дослідження прототипу біомедичної системи.
 - 3.1 Аналіз вимог до прототипу.
 - 3.2 Розробка та дослідження віртуального прототипу біомедичної системи.
 - 3.3 Розробка та дослідження фізичного прототипу біомедичної системи.

В першому розділі необхідно проаналізувати різновиди біомедичних систем, їх структурні та функціональні особливості, скласти їх класифікацію. Шляхом аналізу літературних джерел, а також відомостей з мережі Інтернет перелічити та висвітлити інформацію щодо існуючих бездротових технологій для створення

бездротових сенсорних мереж. Виконати огляд технологій прототипування біомедичних систем, а також етапів прототипування,

В **другому розділі** детально дослідити та обрати технологію та засоби прототипування біомедичної системи. Обґрунтувати вибір апаратних та програмних засобів розробки. Навести структуру ІСР та опис її складових. Розробити методіку прототипування. Навести її у вигляді UML діаграми, яка повинна відображати всі етапи процесу і дозволяти отримати закінчене проєктне рішення.

Третій розділ присвячується вирішенню задачі розробки та дослідження прототипу біомедичної системи. Перш за все, необхідно навести вхідну інформацію до проєкту та проаналізувати вимоги до прототипу. Виконати розробку та дослідження віртуального прототипу проєктованої системи. Реалізувати апаратне та програмне забезпечення фізичного прототипу. Виконати його тестування.

4 ПРОТОТИПУВАННЯ БІОМЕДИЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА РОЗРОБКИ

При прототипуванні важливу частину розробки займає процес моделювання та відлагодження електронної частини за допомогою ECAD-системи (Electronic Computer-Aided Design). В цій галузі сьогодні пропонується багато рішень: Altium Designer, OrCAD, Proteus VSM, Eagle та ін..

Altium Designer — комплексна система проєктування електронних пристроїв на базі друкованих плат, яка дозволяє розробнику створювати проєкти, починаючи з принципової схеми та VHDL-опису ПЛІС, проводити моделювання отриманих схем і VHDL-кодів, готувати файли для виробництва, а концепція Live Design, так зване живе проєктування, дозволяє завершити проєкт його налагодженням на платі NanoBoard. Контроль цілісності проєкту дозволяє відслідковувати зміни в частинах проєкту і синхронізувати їх. Використовуючи плату налагодження NanoBoard можливо налагоджувати ПЛІС-проєкти на етапі створення принципової схеми (рис.4.1).

PROTEUS VSM — програма-симулятор мікроконтролерних систем та електронних схем. Підтримує МК: PIC, 8051, Atmel, HC11, ARM7/LPC2000 та інші. Дозволяє достовірно моделювати і

налагоджувати досить складні пристрої, в яких може міститися кілька МК одночасно і навіть різних родин в одному пристрої. Пакет Proteus складається з двох частин: ISIS – програма синтезу та моделювання безпосередньо електронних схем і ARES – програма розробки друкованих плат (рис.4.2).

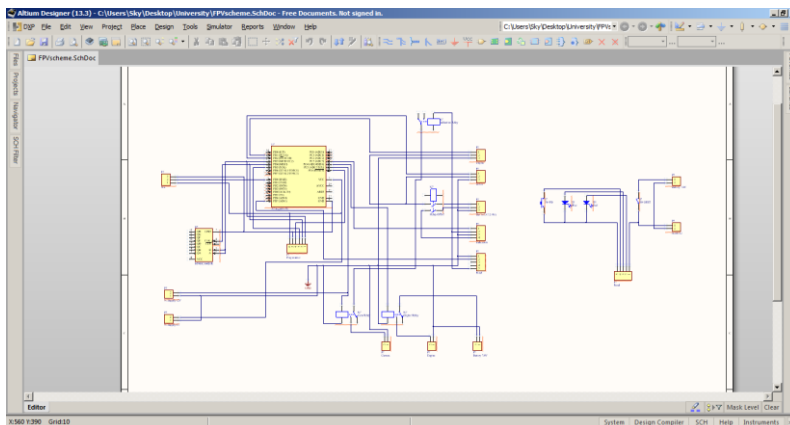


Рисунок 4.1 – Приклад проєкту в Altium Designer

Моделювання роботи програмованих пристроїв – мікроконтролерів, мікропроцесорів, DSP та ін., здійснюється шляхом завантаження в програму файлу з *.hex розширенням. Hex – файл створюється спеціальними інструментами (наприклад, AVR Studio, WinAVR, Atmel Studio). Після розробки електронних моделей модулів системи та програм для МК, проводиться моделювання роботи системи в цілому, шляхом об'єднання в один проєкт Proteus всіх модулів системи та завантаження *.hex-файлів. Це дозволяє виявити помилки, які були допущені або у програмі, або у самій схемі, а також відстежити й налагодити алгоритм роботи МК. Після цього, hex-файли прошиваються у програмну пам'ять мікроконтролерів і тестуються вже на прототипі пристрою (рис.4.3).

Atmel® Studio - інтегроване середовище розробки для розробки 8- і 32- бітних додатків від компанії Atmel. Atmel Studio надає повне і просте у використанні середовище для написання та налагодження додатків, на мові /C++ або на асемблері. Містить асемблер і симулятор, що дозволяє відстежити виконання програми. Atmel

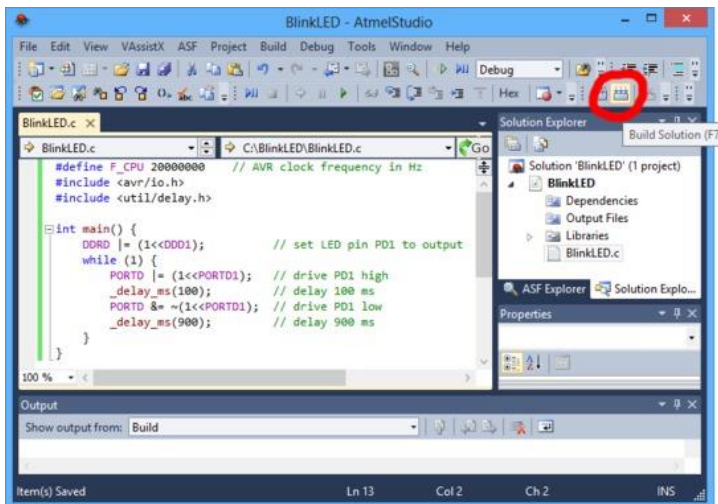


Рисунок 4.4 – Робоче середовище Atmel Studio

Arduino - це зручна платформа швидкої розробки електронних пристроїв для новачків і професіоналів. Платформа користується величезною популярністю в усьому світі завдяки зручності і простоті мови програмування, а також відкритій архітектурі і програмному коду. Пристрій програмується через USB без використання програматорів. Мікроконтролер на платі програмується за допомогою мови Arduino (заснований на мові Wiring) і середовища розробки Arduino (засноване на середовищі Processing). Проекти пристроїв, засновані на Arduino, можуть працювати самостійно, або ж взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютері (Flash, Processing, MaxMSP). Плати можуть бути зібрані користувачем самостійно або придбані готові. Програмне забезпечення доступне для безкоштовного скачування (рис.4.5).

TinkerCAD (<https://www.tinkercad.com>) - онлайн-сервіс і середовище моделювання для робіт з 3D об'єктами і електронними схемами, що пропонується компанією Autodesk. Відмінними рисами є відкритість, безкоштовний доступ, широкі функціональні можливості редактора. Веб-додаток має підтримку платформи Arduino та дозволяє редагувати код, а також дає можливість у візуальному режимі будувати схем і виконувати інтерактивну імітацію їх роботи у

реальному часі. Працювати над схемами можна спільно з іншими людьми, використовуючи бібліотеку компонентів (рис.4.6).

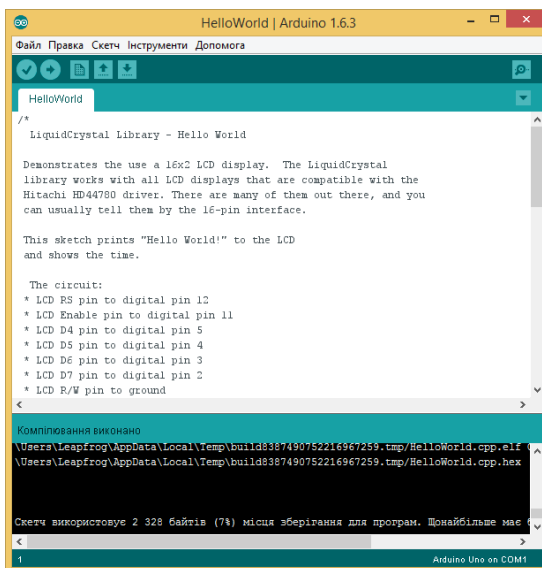


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд Arduino IDE

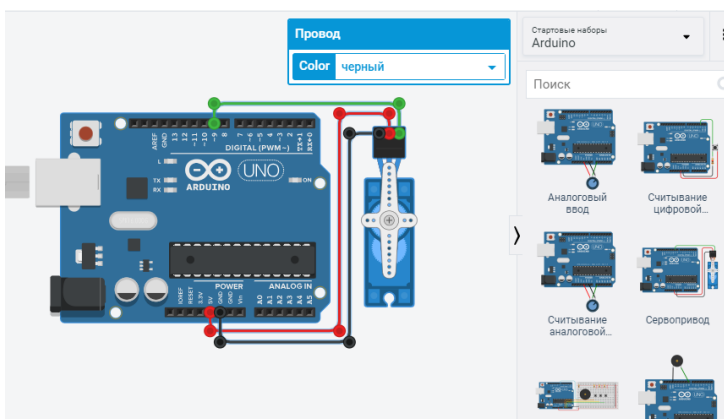


Рисунок 4.6 – Робоча сторінка TinkerCAD

Processing (<https://processing.org/download/?processing>) – це IDE призначене для вивчення основ інтерактивної комп'ютерної графіки (створення анімації, інтерфейсів та простих ігор). Processing не потребує встановлення. Середовище є безкоштовним і знаходиться у вільному доступі. Мова програмування Processing є діалектом Java але з деякими особливостями для роботи з графікою та інтерактивним наповненням. Processing багато чого взяв з PostScript (що послужило основою для формату PDF) та OpenGL (специфікація 3D графіки). Оскільки Processing та Arduino IDE тісно пов'язані між собою, а саме, перший є нащадком другого, то вони можуть взаємодіяти, що дозволяє створювати простий графічний інтерфейс для зручного керування Arduino платформою або навпаки (рис.4.7). Дані можуть передаватися між скетчем Processing і платою Arduino за допомогою порту послідовної взаємодії. Для роботи з послідовним портом у Arduino і Processing використовується бібліотека Serial.

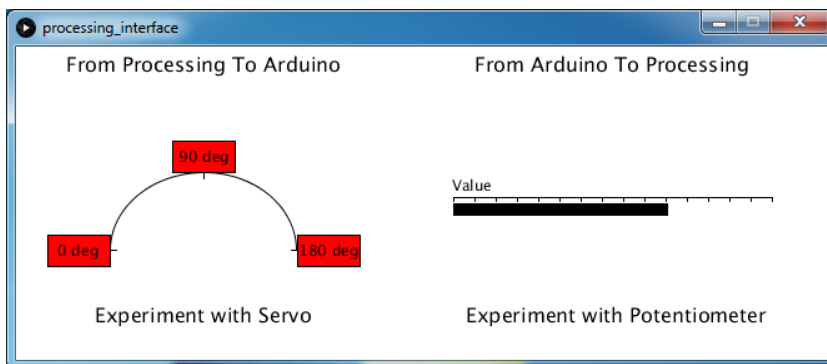


Рисунок 4.7 – Приклад проекту розробки інтерфейсу для взаємодії між платформою Arduino та Processing.

Віртуальний прототип механічної частини біомедичної системи може бути спроектований та досліджений в середовищі будь-якої MCAD-системи. **PTC Creo** - це масштабоване, функціонально сумісне програмне забезпечення для автоматизованого конструювання виробів. Дозволяє командам створювати, аналізувати, переглядати і максимально використовувати проекти виробів, засобами дво- та тривимірного проектування, параметричного і прямого моделювання (рис. 4.8).

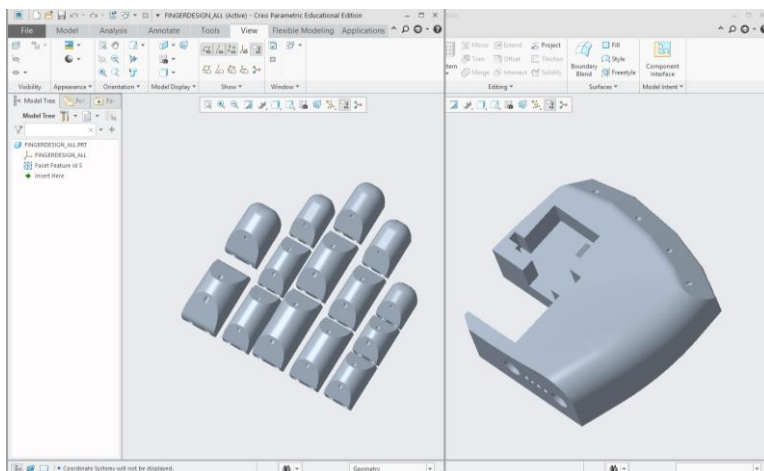


Рисунок 4.8 – Приклад проекту компонентів роботизованого протезу в середовищі Creo.

Спеціалізована віддалена лабораторія проектування вбудованих систем REIDES (REmote Laboratory for Embedded Systems Design) (<http://swed.zntu.edu.ua>) орієнтована на допомогу розробнику у швидкому та ефективному виборі типових проектних рішень на основі готових апаратно-програмних платформ. Лабораторія забезпечує віддалений доступ до експериментального обладнання на базі платформи Arduino.

Лабораторія дозволяє користувачам: отримувати і аналізувати інформацію про специфікації готових апаратних і програмних компонентів для їх повторного використання, виконувати вибір апаратних платформ, розробку програмного коду, тестування на сумісність та працездатність апаратної і програмної частин проєктованої системи. Віддалене тестування компонентів дозволяє швидко оцінити можливість їх застосування та прийняти рішення про їх інтеграцію в проєкт, тим самим знижуючи ризики і часові витрати на проєктування.

Набір експериментів залежить від специфіки проєктованої ВС. На цей час, в якості типових рішень для проєктування системи управління рухомими об'єктами пропонуються експерименти на основі серводвигуна, рідкокристалічного дисплею, світлодіодного світлофора, ультразвукового датчика відстані (рис. 4.9).

Сценарій використання лабораторії передбачає як використання готових шаблонів програм для стендових пристроїв, так розробку програм користувачами з нуля.

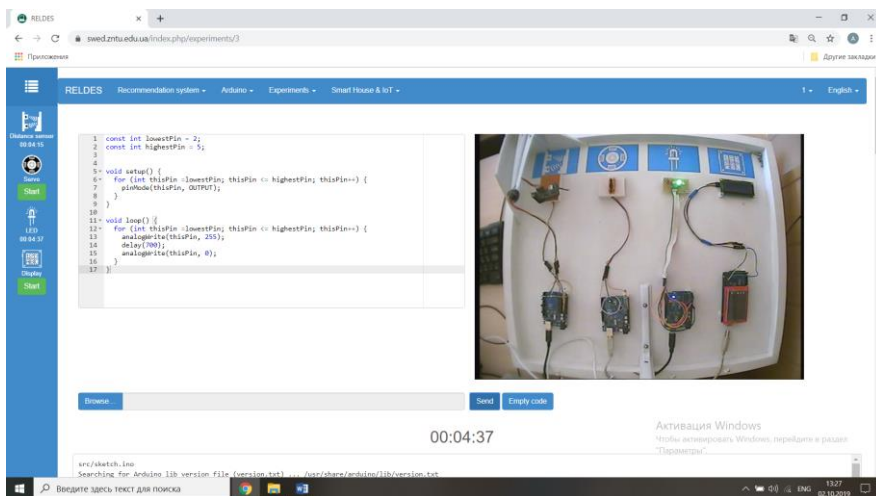


Рисунок 4.9 – Інтерфейс сторінки експериментів лабораторії RELDES

Віддалена лабораторія Smart House & IoT (<http://swed.zntu.edu.ua>) (рис. 4.10) призначена для практичного вивчення різних платформ, пристроїв, протоколів та інтерфейсів для реалізації систем Розумний будинок та IoT технологій. Вона поєднує в собі декілька підсистем для керування процесами: мікроклімату, освітлення, генерації сонячної енергії, вентиляції та кондиціонування, доступу, захисту даних та ін. Дозволяє вивчати мобільні та хмарні технології, методи обміну даними та обробки великих масивів даних. Надає практичні навички з реалізації сучасних цифрових систем та технологій шляхом виконання дистанційно керованих експериментів, вивчення описів цих експериментів, реалізації різних сценаріїв керування та програмування. На основі віддаленої лабораторії розроблено декілька сценаріїв, що передбачають як індивідуальну роботу з окремими експериментами, так і роботу в команді для визначення логіки роботи системи в цілому, програмування і моніторингу складних процесів.

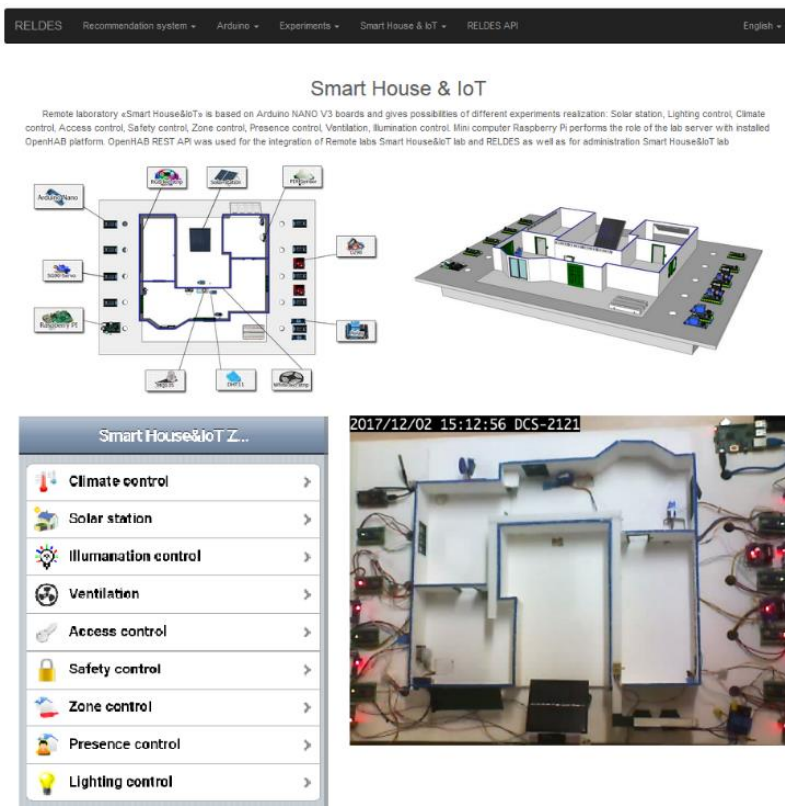


Рисунок 4.10 – Головне вікно інтерфейсу віддаленої лабораторії Smart House & IoT

OpenHAB (Open Home Automation Bus) (<http://www.openhab.org/>) – створений на Java open source проєкт з реалізації технології «smart house», розповсюджується під ліцензією GPLv3, та для організації роботи web-інтерфейсу використовується Jetty. Ця відкрита платформа здатна виконувати такі функції як вмикання та вимикання освітлення, керування розетками, тощо (рис. 4.11). OpenHAB надає засоби для організації роботи різних систем, обладнання та інтерфейсів домашньої автоматизації. При цьому OpenHAB не залежить від протоколів і обладнання, надаючи окремий рівень абстракції, що дозволяє взаємодіяти з різними типами

пристроїв і програмного забезпечення. Для визначення керуючої логіки використовуються скрипти, написані на спеціальній предметно-орієнтованій мові програмування, розроблений за допомогою Eclipse –Xtext.

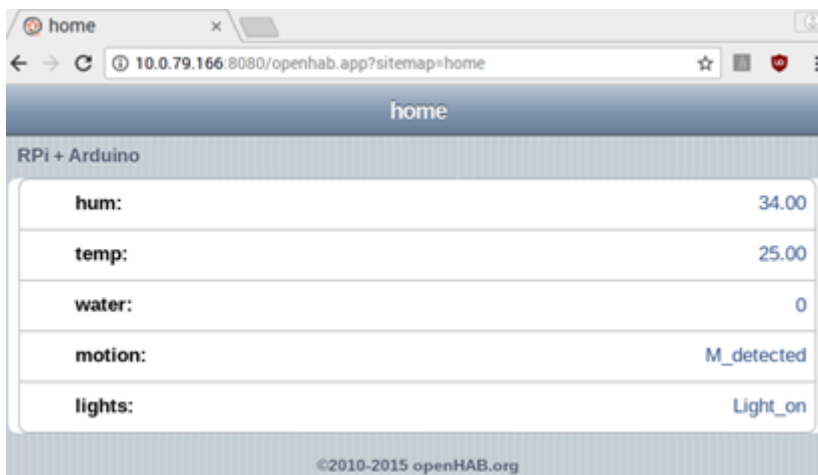


Рисунок 4.11 – Сторінка OpenHab

Лабораторія домашньої автоматизації MYHOME (Legrand), що призначена для навчання студентів основним принципам створення систем домашньої автоматизації, принципів побудови силових шаф, принципам розміщення обладнання, практичних принципів шинної організації, програмування систем домашньої автоматизації, розвитку розуміння алгоритмів роботи систем домашньої автоматизації та використання можливості розширення системи за допомогою стороннього програмного забезпечення та апаратних засобів систем автоматизації різноманітних виробників.

Лабораторія об'єднує дві частини: щит захисного обладнання та автоматизації та демонстраційний стенд (рис.4.12). Система містить підсистему керування освітленням, підсистему термоконтролю та можливості віддаленого доступу до системи, створення простих та складних сценаріїв.

Протокол OpenWebNet, що використовується в системі, дозволяє інтегрувати додатково компоненти від інших виробників. Також в

системі MY HOME використовується мережевий протокол TCP / IP. За його допомогою можна легко розширювати і комбінувати систему. Крім того, існує можливість здійснювати конфігурацію системи автоматизації та розробку сценаріїв управління за допомогою програмних засобів MyHomeSuite, ScenarX, MySweetHome.



Рисунок 4.12 – Лабораторія MYHOME (а.53а)

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. A. McEwen and H. Cassimally, Designing the Internet of things. Wiley, 2014, 338 p.
2. Пархоменко А. В. Віддалений та віртуальний інструментарій в інжинірингу: монографія / А.В. Пархоменко, Г.В. Табунщик, М.О. Поляков, О.М. Гладкова, Т.І. Каплієнко, Т.Ю. Ларіонова, за заг. ред.. проф.. К. Хенке. Запоріжжя: Дике поле, 2015, 250 с.
3. Пархоменко А. В. Автоматизоване проектування електронних засобів в середовищах Creo та Altium Designer: навчальний посібник, 2-ге вид. / А.В. Пархоменко, А.В. Притула, В.М. Кришук. Запоріжжя: Дике поле, 2016, 250с.
4. Пархоменко А. В. Програмно-апаратна платформа для навчання технологіям Інтернету речей: навчальний посібник / А.В. Пархоменко, А.В. Туленков, О.В. Соколянський, Я.І. Залюбовський, А.В. Пархоменко. Запоріжжя: Дике Поле, 2017, 120 с.
5. Пархоменко А. В. Інженерія вбудованих систем: навчальний посібник / А.В. Пархоменко, О.М. Гладкова, Я.І. Залюбовський, А.В. Пархоменко. Запоріжжя: Дике поле, 2017, 220 с.

Примітка.

Книга 1 доступна в мережі Інтернет.

Книги 2-5 знаходяться у репозитарії НУ «Запорізька політехніка» за посиланнями:

<http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/318>

<http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/1426>