Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра
на тему

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ З ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА Е-23 мг
Спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
_____/Олег МІНЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник _____/ В'ячеслав МЕЛЬНИКОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Рецензент_____/Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)
Секретар ЕК _____/Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____
(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«___» _____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувачу вищої освіти Олег МІНЧЕНКО
1. Тема «Розробка комплексного лабораторного стенду з дослідження електричних машин»
затверджена наказом по академії № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.
2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, що відображені у періодичних виданнях, наукових роботах, монографіях
4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ДОСВІДУ РОЗРОБКИ МАСШТАБОВАНИХ ПРАКТИЧНИХ НАУКОВИХ ЛАБОРАТОРІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ, РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН, ВИСНОВКИ

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
_____Слайди презентації_____
_____

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2024р.

Керівник _____ В’ячеслав МЕЛЬНИКОВ
(підпис) (ім’я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Олег МІНЧЕНКО
(підпис) (ім’я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	02.10.24 – 05.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	06.10.24 – 15.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	16.10.24 – 29.10.24	
4	Виконання другого розділу дипломної роботи	30.10.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка) _____ Олег МІНЧЕНКО
(підпис) (ім’я, прізвище)

Нормоконтроль _____ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім’я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – 65, рисунків – 14; таблиць - 3; літературних джерел – 31.

В роботі було проведено ґрунтовний критичний аналіз розробки та впровадження сучасних навчальних лабораторій.

Розроблено загальні принципи адаптації фізичних процесів в електричних машинах напругою до 1000В до умов навчальних лабораторій та навчального процесу.

Розроблено структуру лабораторного практикуму з дисципліни «Електричні машини», яка містить десять лабораторних робіт.

Розроблено проектів основних споруд та технічну специфікацію на обладнання лабораторії електричних апаратів.

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ, НАВЧАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ, ТЕХНІЧНА СПЕЦИФІКАЦІЯ, ПРОЕКТУВАННЯ, НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС, ВІРТУАЛЬНА ТА ЗМІШАНА РЕАЛЬНІСТЬ.

1.

ABSTRACT

Pages of text – 65; pictures – 14; tables – 3; literary sources – 31.

The work conducted a thorough critical analysis of the development and implementation of modern educational laboratories.

General principles for adapting physical processes in electrical motors with voltages up to 1000V to the conditions of educational laboratories and the educational process were developed.

The structure of the laboratory practical course in the discipline "Electrical Devices" was developed, which includes ten laboratory works.

The projects of the main structures and technical specifications for the equipment of the electrical devices laboratory were developed.

ELECTRICAL MOTORS, EDUCATIONAL LABORATORY, TECHNICAL SPECIFICATION, DESIGN, EDUCATIONAL PROCESS, VIRTUAL AND MIXED REALITY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ
ВСТУП
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ ДОСВІД РОЗРОБКИ МАСШТАБОВАНИХ ПРАКТИЧНИХ НАУКОВИХ ЛАБОРАТОРІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ
1.1 Загальний огляд напрямку досліджень
1.2 Огляд дотичних робіт
1.3 Практична лабораторія віртуальної реальності
1.3.1 Огляд системи
1.3.2 Продуктивність обладнання та системи
1.3.3 Інтеграція курсу та логістика
1.4 Дизайн програмного забезпечення
1.4.1 Огляд програмної системи
1.4.2 Режим інтерфейсу користувача та глобальна/локальна система координат. Реєстраційні процеси
1.4.3 Система лабораторних інструментів, що активується обробником-активатором
1.4.4 Проміжне програмне забезпечення для генерації плану уроків лабораторного модуля
1.4.5 Перевірка руху інструментів взаємодії користувача та лабораторії через кінцевий автомат
1.5 Дослідження користувача
1.5.1 Учасники
1.5.2 Методологія досліджень
1.5.3 Результати та обговорення
1.5.3.1 Час завершення етапу та аналіз кількісті повторних спроб
1.5.3.2 Аналіз результатів концептуальної вікторини
1.5.3.3 Аналіз результатів опитування

1.6 Обговорення
Висновки до першого розділу
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН
2.1. Визначення переліку та змісту лабораторних робіт лабораторії електричних машин
2.2. Проектування основних приміщень та споруд
2.3. Проектування системи електропостачання лабораторії електричних машин
2.4. Складання технічної специфікації лабораторії електричних машин
Висновки до другого розділу
ВИСНОВКИ
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АСГД – асинхронізований гідрогенератор-двигун

АСГДК – асинхронізований гідрогенератор-двигун контрроторного виконання

СГ– синхронний генератор

ГГ – гідрогенератор

ГЕС – гідравлічна електрична станція

ГАЕС – гідравлічна акумулюючи електрична станція

ККД – коефіцієнт корисної дії

СГД – синхронний гідрогенератор-двигун

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування

КЗ – коротке замикання

ЛЕП – лінія електропередачі

ВСТУП

Актуальність дослідження полягає у тому, що практичні навички роботи з електричними апаратами є обов'язковою умовою підготовки висококваліфікованого фахівця електроенергетика. Проте на сучасному ринку електротехнічної продукції українського виробництва відсутній такий сегмент продукції як навчально-лабораторне обладнання для навчальних лабораторій енергетичного профілю. Наявна матеріально-технічна база кафедри

Проектування навчальної лабораторії електричних апаратів дозволить:

- Налагодити та систематизувати практичну підготовку фахівців енергетиків
- Заповнити характерну нішу ринку електротехнічної продукції
- Розробити технічні рішення з потокового виробництва даного виду електротехнічної продукції

Об'єкт дослідження: фізичні процеси в електричних апаратах

Предмет дослідження: адаптація фізичних процесів в електричних апаратах до умов навчальних лабораторій та навчального процесу

Завдання дослідження:

1. Проведення ґрунтовного критичного аналізу характерних фізичних процесів в електричних машинах напругою до 1000В
2. Розробка загальних принципів адаптації фізичних процесів в електричних машинах напругою до 1000В до умов навчальних лабораторій та навчального процесу
3. Розробка структури лабораторного практикуму з дисципліни «Електричні машини»

4. Розробка проектів комплексних лабораторних стендів лабораторії електричних машин

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ ДОСВІД РОЗРОБКИ МАСШТАБОВАНИХ ПРАКТИЧНИХ НАУКОВИХ ЛАБОРАТОРІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Загальний огляд напрямку досліджень

Останні досягнення у віртуальній реальності (VR), доповненій реальності (AR) і технології змішаної реальності (MR) дозволили а широкий спектр нових навчальних програм у таких галузях, як танець/рух (Chua et al. 2003; Chan et al. 2011), психологічна терапія (Pertaub et al. 2001; Anderson et al. 2003), будівництво/виробництво (Сет та ін. 2011), медицина/хірургія (Lampotang та ін. 2021; Freschi та ін. 2015), і освіта (Чіні та ін. 2012; Де Йонг та ін. 2013; Джонсон Гленберг 2018).

Занурення, яке забезпечують накладні дисплеї VR (HMD) у поєднанні з високою точністю емерджентного руху технології відстеження роблять MP особливо підходящим для освітніх програм наукової лабораторії, які потребують справжнього практичного тактильного та кінестетичного зворотного зв'язку. Віртуальний лабораторії загалом і наукові лабораторії VR/MR, зокрема, ще не отримали широкого поширення як фізичні і інструменти навчання лабораторним наукам про життя, враховуючи складність проектування, впровадження, тестування та обслуговування таких систем.

Більшість існуючих віртуальних наукових лабораторій використовують двовимірний комп'ютер екрани, клавіатури та миші як їх основна взаємодія пристроїв. Однією з основних критик таких підходів є неавтентична природа тактильних взаємодій/інтерфейсів користувача (TUI) реалізовано в поточних поколіннях 2D без ефекту занурення веб-віртуальні лабораторії (тобто комп'ютерна миша) (Stephens et ал. 2016). Навіть для захоплюючого досвіду VR, який використовує ручні контролери 6DOF, рівень тактильної

автентичності, необхідний для навчання психомоторних навичок, що мають відношення до лабораторії, досягти ефективних результатів навчання, таких як високий рівень мотивації чи формування у користувача почуття впевненості в собі наукова ідентичність залишаються обмеженими. Хоча багато концептуальних навчальних завдань з фізичних і природничих наук не вимагають тактильної автентичності під час роботи з лабораторними інструментами та використанням (наприклад, розуміння того, як виконувати обчислення на наборах даних), студентам подобається, вони набагато більше залучені до навчання та показують покращене запам'ятовування, коли концепції вивчені та застосовувати в практичній формі (Bigler and Hanegan 2011; Десай і Стефанек 2017; Catena і Carbonneau 2019). на водночас набуття справжніх тактильних психомоторних навичок є важливим для застосування науки в реальному житті налаштування досліджень і розробок.

Тут ми визначаємо досвід віртуальної реальності як досвід, у якому користувач повністю занурений у фізично неіснуюче цифрове 3D-середовище, з яким вони взаємодіють опосередковано за допомогою ручних контролерів з оптичним відстеженням. ми визначте системи AR як досвід без занурення, де користувач усе ще бачить фізичний світ навколо себе та в якому фізично неінтерактивний цифровий вміст просторово накладається на фізичний світ, тоді як голос, очі користувачів, та/або жести руками дозволяють нетактильну взаємодію з цей цифровий вміст. Ми також визначаємо системи MP, як правило, як системи віртуальної реальності, в яких один або кілька елементів фізичного світу (наприклад, руки користувача та/або фізичні об’єкти, які утримуються та маніпулюють користувачем) відстежуються в просторі і перейшли у віртуальний світ, де вони можуть взаємодіяти нефізично з віртуальними об’єктами, навіть коли вони взаємодіють фізично один з одним і з користувачем. На даний момент також корисно для подальшого розрізнення систем MP на ті, які «активно» забезпечують тактильне або кінестетичне примусовий зворотний зв'язок з користувачем від об'єктів у віртуальному середовищі за допомогою тактильних компонентів (тобто рукавичок або

костюмів з датчики тиску та/або приводи) від тих, які просто відстежувати позиції та орієнтацію ручного фізичного об’єкти «пасивним» способом (тобто без повернення будь-яких тактильний або кінестетичний силовий зворотний зв’язок з користувачем через елементи, що приводяться в дію/приводяться в дію). Поки «активне» апаратне MP є дорожчий і, як правило, призначений для агностику об’єктів (тобто здатний імітувати відчуття широкого діапазону різних віртуальні об’єкти на тілі користувача) за рахунок деяких елементи тактильної автентичності, «пасивна» апаратура MP може потенційно бути більш економічно ефективним і забезпечувати більш витончений або точний тактильний/кінестетичний зворотний зв’язок, але для вужчого діапазону віртуальних об’єктів.

«Активне» апаратне забезпечення MP наразі не може забезпечити економічно ефективне та масштабоване відтворення практичного «відчуття» проведення делікатних наукових тестів і експериментів.

На щастя, у фізичних і біологічних лабораторіях, користувач або стажер використовує лише обмежену кількість переносних лабораторій інструменти, які повинні взаємодіяти один з одним і з користувачами руками, а нескінченний список реагентів, якими вони маніпулюють, повинен насправді ніколи не торкайтеся їхніх рук. Точний і витончений маніпуляції та взаємодії між цими лабораторними інструментами це те, що надає користувачеві тактильну та кінестетичну силовий зворотний зв'язок, необхідний для психомоторного навчання. Таким чином, один із можливих способів влити тактильну автентичність у VR/MR навчальні системи наукової лабораторії без порушення навчання бюджету було б використання «пасивного» MP оптичного відстеження технології просторового відстеження наборів ручних лабораторних інструментів які передаються у віртуальний світ або «віртуалізовані» що їх фізична взаємодія один з одним і з руки користувача в реальному світі можуть продовжувати надавати повністю справжній тактильний і кінестетичний силовий зворотний зв'язок з користувачем навіть

тоді, коли віртуальні екземпляри відстежуваної фізичної лабораторії інструменти містять, передають і запускають реакції між віртуальними реактиви та зразки.

Ми прийняли цю стратегію, одночасно вирішуючи проблему. Проблема, що залишається, полягає в тому, як створити та ітеративно оптимізувати результативний досвід MP-лабораторії економічно ефективним способом, використовуючи структуру розробки вмісту без коду. Це підхід уже був прийнятий у деяких сферах із великим успіху (Lampotang et al. 2021), і буде важливим у програми з обмеженими ресурсами, такі як навчання STEM.Для вирішення згаданих проблем у навчанні наукової лабораторії ми розробили та впровадили практичний віртуальний

Лабораторна система Reality (HOVR) з режимами VR і MR в у цьому документі ми описуємо наш поточний прогрес у розробці а

набір HOVR Labs у галузі хімії та біохімії як доказ принципу для загальної основи для масштабована та економічно ефективна конструкція повністю настроюваних лабораторій HOVR у галузі фізичних і біологічних наук. Це система та структура були коротко представлені в нещодавно коротка стаття (Hamadani et al. 2022). Тут ми пропонуємо а детальний і повний опис нашої базової системи програмного забезпечення, включаючи апаратно-програмну інтеграцію необхідні для підтримки плавного перемикання між VR і модальності MR TUI з кожним лабораторним інструментом, а також наш підхід до структурованих електронних таблиць для реалізації вмісту без коду

робочий процес розробки. У режимі VR користувач взаємодіє з лабораторний інструмент, про який йде мова, використовує виключно контролери VR.

У режимі MP вибрані набори ручних фізичних лабораторних інструментів (які ретельно модернізовано маркерами відстеження) оптично відстежується та рендериться на HMD користувача для ввімкнення повна тактильна автентичність у роботі з лабораторним інструментом.

У нашій поточній роботі ми також надаємо детальний аналіз дослідження користувачів, яке ми провели в контексті аналітичного дослідження хімічний лабораторний курс, який підкреслює як сильні сторони, так і недоліки нашого узагальненого підходу. Через цього користувача дослідження, яке ми мали на меті перевірити наступні гіпотези/запитання:

1). Є справжнім кінестетичним/тактильним сенсорним зворотним зв'язком (тобто «практичний» фактор), який є критично важливим чинником інтересу користувача та мотивація до вивчення змісту лабораторних навичок?

2). Робить це «практичний» фактор посилює та покращує здатність користувача навчитися та зберегти знання STEM? 3). Чи можливо це щоб зменшити складність розробки індивідуальних VR/MR навчальний досвід, щоб ресурси можна було використовувати для розробки контенту замість розробки програмного забезпечення?

Щоб відповісти на запитання 1 і 2, ми використали VR режим TUI як контроль і «пасивний» режим MR TUI як експериментальне втручання для перевірки тактильного впливу автентичність афективних і когнітивних результатів навчання.

Щоб відповісти на запитання 3, ми використали структурований Microsoft електронні таблиці Excel, які дозволяють розробникам контенту для викладачів створити повністю підготовлені лабораторні навчальні середовища налаштовані на потреби своїх студентів, а не на ресурси обмеження, пов'язані з витратами на розробку програмного забезпечення. Ключові інновації нашої роботи зведені в таблицю 1.

Незважаючи на обмежені модулі курсу та лабораторні інструменти, реалізовані в поточній системі, вона підходить для використання в середня школа, коледж нижчого рівня або безперервна освіта вступні курси хімії та біохімії які містять вступні лабораторні експерименти, такі як піпетка

калібрування. З більшою кількістю лабораторних інструментів і лабораторних модулів, більше курси виграють від цього підходу в майбутньому.

Ми представляємо загальну структуру, яка поєднує розробку контенту без коду, економічно ефективне відстеження інструментів лабораторії MP та автентичні віртуальні наукові лабораторії можуть принести користь іншим наукам та інженерні галузі, які вимагають автентичних практичних лабораторій.

Підрозділ 1.2 представляє короткий огляд попередньої відповідної роботи.

Підрозділ 1.3 містить огляд поточних лабораторій HOVR системи та пояснює, як працюють різні її підкомпоненти інтегрований. У підрозділі 1.4, надаємо детальний опис основне програмне забезпечення, його різні підкомпоненти та структуру, яку він реалізує. У підрозділі 1.5, представляємо користувача дизайн дослідження та наші попередні результати. Ми обговорюємо загальний дизайн системи, переваги, отримані уроки та майбутню роботу в підрозділі 1.6.

1.2 Огляд дотичних робіт

У сферах STEM віртуальні лабораторії доповнюють і взаємодіють традиційні очні лабораторії багатьма способами (Чіні та ін. 2012; Де Йонг та ін. 2013). Анімації, які ілюструють мікроскопічну або молекулярну основу для макроскопічного експерименту спостереження можна вбудовувати у віртуальні експерименти позитивні результати для навчання студентів (Moore et al. 2014).

Оцінювання в режимі реального часу з миттєвим відгуком також є корисним для тих, хто навчається STEM. З авансами у машинному навчанні та штучному інтелекті, адаптивний досвід навчання, який моделює рівень знань користувача (Taagepera and Noori 2000; Stahl and Hockemeyer 2019) на основі

таких оцінок у реальному часі, а потім пропонувати їх персоналізований вміст, налаштований відповідно до їхнього етапу розвитку також продемонстрували корисність у певних контекстах. Нарешті наш розуміння складних процесів навчання, заснованих на запитах і механізмів було перетворено програмою основи інтеграції знань для технологічно вдосконалених систем навчання (Лінн та Ейлон 2011; Де Йонг та ін. 2013 рік; Лінн та ін. 2015 рік; Лінн та ін. 2018).

Більшість існуючих віртуальних наукових лабораторій або симуляцій не мають ефекту занурення та використовують 2D-дисплеї на моніторі, клавіатуру, і стандартна миша для взаємодії з користувачем (UI). цифровий контент. Проте відсутність занурення та тактильних/кінестетична автентичність у таких двовимірних системах – які відмовляються усі переваги просторових обчислень обмежують їх можливості залучати та мотивувати учнів STEM.Незважаючи на ці обмеження, такі 2D віртуальні наукові лабораторії без ефекту занурення мають продемонстрували їхній вплив на навчання в різних контекстах (Бонде та ін. 2014; Фолконер і Ґрусс 2018).

Як комп’ютерна графіка та просторове відстеження/обчислення технології вдосконалилися, стало можливим створювати, впроваджувати та досліджувати вплив більш захоплюючого 3D віртуальні наукові лабораторії (Ali et al. 2014). У 2018 році Шелл Games випустили гейміфіковану хімічну лабораторію VR під назвою «Чемпіони HoloLab» з великим визнанням (Shell Games 2021). Зокрема, можливість просторового відстеження ручні контролери, гарнітури та MP-аксесуари VR/MP-системи з трьома або шістьма ступенями свободи (DOF). Методи відстеження DOF пропонують перспективу застосування міліметр/мілісекунда просторово-часова роздільна здатність просторових обчислень для практичних лабораторних навчальних програм та забезпечення зворотного зв'язку щодо психомоторики в режимі реального часу отримання з точністю, точністю та масштабом, які могли б ніколи не буде досягнуто в традиційному лабораторному навчальному середовищі.

Хоча віртуальне 2D без занурення та 3D з зануренням досвід лабораторії пропонує переваги для навчання STEM (Bonde et al. 2014), придбання практичних навичок навички вимагають, серед іншого, належного маніпулювання реальними лабораторними інструментами, і їх неможливо імітувати за допомогою комп'ютерних мишок, клавіатур або навіть трьох чи шести DOF VR контролери. На жаль, витрати на розробку занурювального контенту VR або MR наразі обмежують масштаб і масштаб наявної хімічної/біохімічної/наукової лабораторії VR MR досвід. Крім того, більшість сучасних робіт використовує VR (на відміну від MR) модальності TUI, у яких взаємодії з віртуальними екземплярами лабораторних інструментів і вмісту виключно контролерами VR. Такі контролери не дають користувачам справжній тактильний/кінестетичний сенсорний досвід утримання та маніпулювання справжніми лабораторними інструментами.

1.3 Практична лабораторія віртуальної реальності (HOVR) система

Система HOVR LAB складається з комбінації обладнання для відстеження комерційних і домашніх лабораторних інструментів та програмні компоненти; спеціальна основа Unity3D програмне забезпечення; структуровані електронні таблиці (так звані Lab Module Gen erators), які служать як вміст без коду, яким можна ділитися та редагувати засоби створення; і серія когнітивних і емоційних оцінок у режимі реального часу, які використовуються для ітеративного покращення та оптимізувати підготовлене віртуальне навчальне середовище для максимального досягнення результатів навчання студентів.

1.3.1 Огляд системи

Як показано на рис. 1.1, зовнішні елементи інтерфейсу користувача, спрямовані на студентів включають три основні класи об'єктів – лабораторні інструменти, лабораторні інструменти та дисплей для представлення

інструкцій і зворотного зв’язку користувачеві. Лабораторні інструменти функціонують як простий віртуальний реагент контейнерів і не читайте та не записуйте інформацію в або з користувача. Кожен лабораторний інструмент має заздалегідь визначену фіксовану точність і програмно контрольована точність. Наприклад, мікропіпетки, мензурки, пляшки з реагентами, дозатори розчинників і градуйовані циліндри є лабораторними інструментами, і це можливо цілеспрямовано та програмно неправильно відкалібрувати



Рисунок 1.1 Інтерфейсний дизайн системи HOVR Lab

Інтерфейсний дизайн системи HOVR Lab, орієнтований на користувача. Віртуальний лабораторний стіл має дисплей, який повідомляє користувачеві, які завдання йому потрібні для виконання, область подання для подачі реагентів або продуктів для оцінювання та лабораторні інструменти, якими можна керувати через контролери VR (в режим VR) або обробники MR (у режимі MR). Система також працює голосові команди для різних взаємодій мікропіпетка. На відміну від лабораторних інструментів, лабораторні прилади читають або записувати необроблені або проаналізовані дані користувачеві або від нього. Така лабораторія прилади включають цифрові ваги,

калькулятори, pH-метри, програмне забезпечення для аналізу даних/електронні таблиці та лабораторний зошит.

Учні читають покрокову інструкцію на дисплеї і використовуйте лабораторні інструменти та інструменти, щоб завершити серію завдання, які далі поділяються на етапи отримання відповідного зворотного зв’язку в реальному часі під час і після завершення кожної окремої віхи.

Кожен лабораторний модуль можна пройти в будь-якому з двох режимів TUI: MR-режим або VR-режим. Спочатку ми пояснимо потік системи режиму MP. У режимі MP попередньо вибраний набір фізичних лабораторних інструментів (тобто «обробників» фізичних лабораторних інструментів) кожен з них просторово відстежується під час фізичного маніпулювання користувачем і взаємодії один з одним, щоб забезпечити «пасивний» тактильний і кінестетичний силовий зворотний зв’язок з користувачем.

Ця інформація відстеження передається в основний Unity моделювання для оновлення позицій відтвореного віртуального екземпляри лабораторних інструментів у віртуальному середовищі.

Завдання, які користувач повинен виконати в даному модулі, розбиті на «віхи». Кожна віха визначається як певний стан віртуального світу і є задається шляхом визначення значення однієї або кількох змінних на один або кілька віртуальних об'єктів, якими маніпулює користувач або розміщується користувачем у визначеному «подання площа» для оцінки. Рядки електронної таблиці генерації лабораторних модулів визначають ці віхи за допомогою розкривного списку меню та попередньо відформатовані списки імен змінних і об’єктів які розробники вмісту можуть легко вибрати без попередньої гри досвід розробки або програмування. Вибравши із цих розкривних списків змінних і об’єктів, а потім визначення цільових значень і прийнятних допусків, вміст розробники можуть чудово створювати та вдосконалювати лабораторні модулі свобода і легкість. Електронні таблиці також можна вільно розповсюджувати, ділитися, змінювати та вдосконалювати, щоб створити

новий досвід, орієнтований на більше, менше або інші цілі навчання або групи користувачів. Рисунок 1.2 ілюструє потік інформації між підкомпонентами системи HOVR Labs. Відстеження SteamVR надає позиції та орієнтації контролерів VR і HMD. У режимі MP адаптовані 3D-друковані адаптери встановлюються на лабораторні інструменти для жорсткого утримання наборів ІЧ-відбиваючих кульок/маркерів на кожному фізичному лабораторному інструменті в непертурбативний спосіб для забезпечення пасивного оптичного відстеження (рис. 1.2, справа вгорі). Система захоплення руху Optitrack (Natural Point, Inc. Корвалліс, Орегон) стереоскопічно тріангулює 3D просторове положення кожного маркера та обчислює позу (положення та орієнтацію) кожної лабораторії інструмент, яким маніпулюють.

Потім ця інформація передається потоком в основну симуляцію Unity через програмне забезпечення Optitrack Motive і його плагін Unity3D. Активне відстеження лабораторних інструментів також доступний за допомогою комерційного або спеціально створеного SteamVR трекери (Gow et al. 2023) (рис. 2, нижній ліворуч). Додатково пасивного оптичного відстеження також можна досягти, використовуючи менше дорогі реперні маркери та набагато простіші (тобто на основі веб-камери) системи зображення для подальшого зниження витрат на обладнання для пасивне впровадження MP (Wu et al. 2017; Ahmadinia et ал. 2022 рік; Гарсіа-Руїс та ін. 2023).

Лише критичні лабораторні інструменти, які вимагають автентичного дотику зворотний зв'язок для сприяння навчанню відстежується рухом і представлений у режимі MR TUI. Взаємодія з лабораторними інструментами та інструменти, для яких не потрібна тактильна автентичність навчання (наприклад, зошити, калькулятори тощо) чи ні спрямованість набуття психомоторних навичок у сучасності модуль опосередковується контролерами VR.

У режимі віртуальної реальності учні використовують HTC Vive VR без об’єктів контролери для взаємодії з усіма об’єктами у віртуальному

середовищі. Optitrack фіксує потокову інформацію про рух вимкнено, а всі фізичні лабораторні інструменти видалено верстак. Інструменти віртуальної лабораторії генеруються як у режимі MP, але вони не слідкують за рухом фізичних лабораторних інструментів і потребують, щоб користувач керував ними за допомогою контролерів VR. Ця регульована тактильна автентичність є ключовим елементом нашого проектування системи. Таблиця створення лабораторного модуля працює незалежно від режиму TUI (MR або VR).

Після того, як інформація відстеження надходить у систему і генеруються інструменти віртуальної лабораторії, наступні етапи програмного забезпечення, яке керує представленням плану уроку/реалізація однакова.

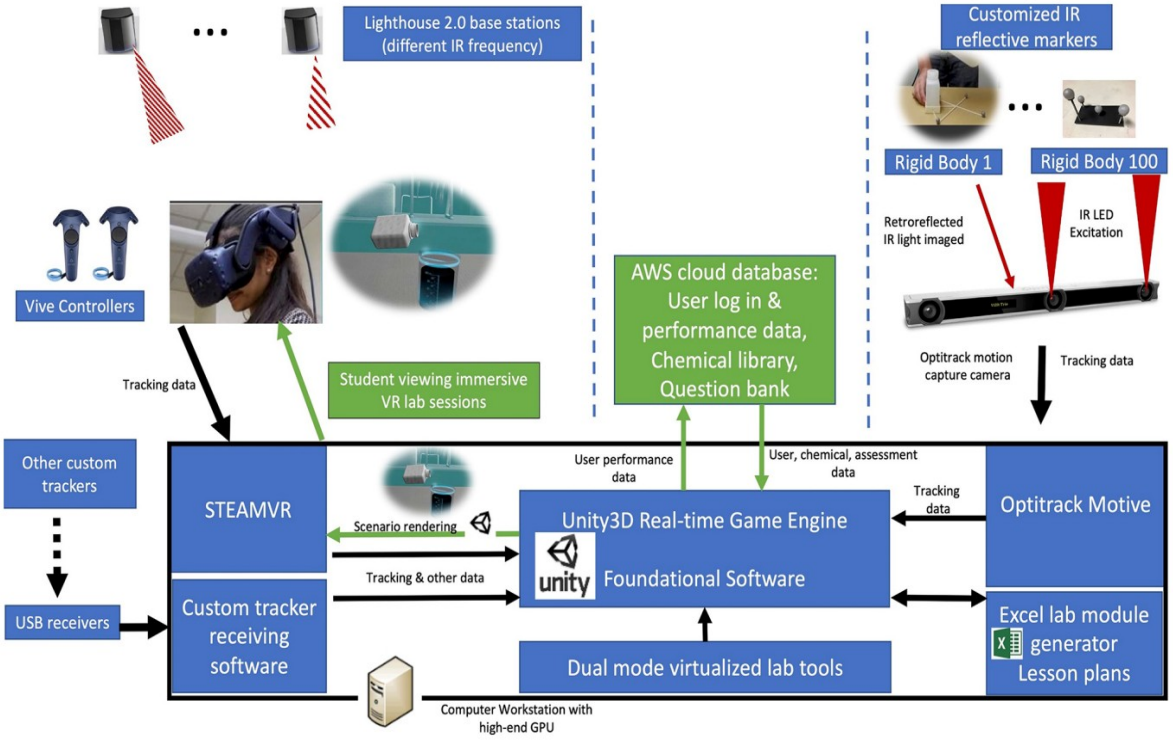


Рисунок 1.2 Огляд системи HOVR Lab

Обладнання оптичного відстеження, генератор лабораторних модулів, інструменти віртуальної лабораторії подвійного режиму (VR/MR), основне програмне забезпечення Uni ty3D і хмарна база даних AWS натерті разом, щоб забезпечити масштабовану розробку вмісту, плавну роботу користувача взаємодію та можливості оцінювання успішності студентів

1.3.2 Продуктивність обладнання та системи

Наша поточна система використовує ігри в реальному часі Unity3D двигун як основна платформа для програмного забезпечення моделювання.

HTC Vive Pro HMD відтворює віртуальне середовище користувача, і для цього використовується від 2 до 4 базових станцій Light House 2.0 Відстеження SteamVR контролерів HMD і VR. Одна камера Optitrack Trio кріпиться до стіни перед лабораторним стендом для стереоскопічного визначення світловідбивання положення маркерів і пасивне оптичне відстеження відповідних лабораторних інструментів. Настільний комп'ютер із процесором Intel Core i7 і відеокарта Nvidia GeForce GTX 1080 забезпечує віртуальну/змішану реальність. Наразі симуляція VR/MR працює зі швидкістю приблизно 90 кадрів на секунду (fps) із 11,1 мс. затримки, якої достатньо, щоб уникнути заколисування VR більшість користувачів. Приблизно з десятьма лабораторними інструментами, які одночасно відстежуються об'єктів, затримка відстеження руху Optitrack наразі становить близько 11,6 мс, що спостерігалося на панелі стану програмного забезпечення Optitrack Motive. Програмне забезпечення Optitrack Motive працює далі той самий комп'ютер, на якому встановлено програмне забезпечення моделювання Unity3D швидкість потокової передачі 120 кадрів в секунду. Програмне забезпечення Optitrack Motive і затримка потокового передавання, таким чином, оцінюється як 11,6 мс+1000/1 20 мс=20,03 мс. Chenechal та ін. вимірював HTC Vive

Середня затримка відображення додатка Unity від 31,33 мс відтворено до 1 мільйона полігонів (Chénéchal та ін. 2018).

Наша симуляція містить 210,7 тис. трикутників, що в межах діапазону перевірено в роботі Ченечаля. Наша система також використовує більше потужний графічний процесор. Таким чином, загальна затримка системи від оптичної системи відстеження до віртуального вмісту, що відображається користувача в HMD оцінюється менше ніж (20,03+31,33 ~) 51,36 мс. Це трохи вище, ніж типові затримки «рух до фотона» контролерів віртуальної

реальності (21-42 мс) (Warburton та ін. 2023). Оскільки наш дизайн взаємодії з користувачем потребує користувачів стояти перед лабораторним столом без будь-яких різких рухів симуляція не викликає багато руху нудота або відчуття затримки руху у користувачів. Ми розробили та випробували різні наукові лабораторії відстеження рішень. Дизайн і оптимізація обох активні та пасивні маркери відстеження та адаптери, що використовуються в систему HOVR Labs опубліковано в наших нещодавніх документах про розробку апаратного забезпечення (Ahmadinia та ін. 2022; Gow та ал. 2023).

1.3.3 Інтеграція курсу та логістика

Ця система розроблена для використання в середніх і вищих навчальних закладах. Ми докладаємо особливих зусиль зниження вартості та складності налаштування системи. для для кожної VR/MR станції необхідно таке обладнання: ігровий комп'ютер із процесором GPU (~$500–1500); один~2.5' x ~ 5' розкладний стіл (~$50); один споживчий рівень. Гарнітура віртуальної реальності (від ~300 доларів США за окремий Oculus/Meta Quest з контролерами до $1200 за HTC Vive Pro з базовими станціями та контролерами); один оптичний трекінг камера (від ~100 доларів США за простий костюм веб-камери, здатний відстежувати реперний маркер із низькою точністю, до 4000 доларів США за підійде стереоскопічна інфрачервона камера стеження Optitrack Trio для високоточного оптичного відстеження); набір фізичних лабораторних інструментів пластикові склянки, піпетки, підставки для наконечників, пластикові пробірки для зразків, та ін.) з адаптерами для кріплення маркера (ТОВ «HOVR Labs») і маркери для відстеження (світловідбиваючі кульки коштують ~5 доларів США за штуку). від Natural Point або HOVR Labs LLC). Головне скло лабораторні інструменти замінюються пластиковими версіями кожного разу, коли це можливо, щоб мінімізувати небезпеку та відповідальність за роботу з скляний посуд. Примітно, що неправильно відкалібрований можна перепрофілювати або інші

непрацездатні лабораторні інструменти, які все ще відчувають функціональні лабораторні інструменти для наших цілей. Оптичний трекінг адаптери також можна надрукувати на 3D-принтері та встановити на них інструменти лабораторії. Періодичне калібрування відстеження SteamVR і система відстеження мотивів Optitrack необхідні щомісяця. Це калібрування системи займає лише а кілька хвилин і автоматизовано в нашому протоколі. Зручний робочий процес і база даних користувачів розроблені та впроваджені для зберігання інформації користувача та полегшення інтеграції курсу.

Впровадження досвіду лабораторії VR/MR розроблений таким чином, щоб бути мінімально інвазивним для стандартного навчання середовищ. Усе, що ми маємо у лабораторіях VR або MR зроблено (включаючи описаний модуль калібрування піпетки і перевірено тут) можна легко скоротити та спростити або став довшим і суворішим/вимогливішим залежно від цільова аудиторія та часові обмеження. Переживання описані тут були розміщені у спеціальній VR-студії з дві VR/MR лабораторні станції. Ігрові студії VR/MR зараз зазвичай зустрічається в музеях, торгових центрах і багатьох коледжах кампуси по всьому світу зазвичай мають 5 або більше таких VR/MR станції. Наша студія VR/MR має навчений персонал, який обслуговує обладнання та розмістіть лабораторію VR або MR.

Навчання нових співробітників, які не були знайомі наше дослідження або загалом із VR/MR проводилися кожного семестру за потреби та займали близько двох днів. Ми в даний час здатний обробляти студентів за допомогою досвіду лабораторії VR/MR на продуктивність приблизно п'яти 90-хвилинних лабораторій на станцію на день.

З 5 станціями VR/MR це забезпечить пропускну здатність приблизно 125 досвідів на тиждень при максимальній потужності.

На початку семестру класний керівник повідомляє склад класу та бажаний експериментальний модуль працівникам лабораторії за допомогою форматованої форми Excel. Тоді персонал призначає та розповсюджує

ідентифікатори користувачів і паролі кожному студенту через безпечний канал. У випадку дослідження користувачів, співробітники випадковим чином розподілили студентів на різні експерименти або контрольні групи.

Файл, що містить відображення між справжню інформацію про студента (клас, ім’я та електронна адреса) та ідентифікатор системи та пароль були доступні лише локально персонал із захисту інформації студентів. Цей список Excel містить призначений ідентифікатор користувача, пароль і експериментальні групи (без реальної інформації про студента) потім було завантажено в хмарна база даних інтегрована з основним програмним забезпеченням моделювання щоб завантажити правильний режим (VR або MR) і модуль досвід під час входу користувача студента.

Протягом семестру студенти отримали запрошення на спробуйте нашу платформу та забронюйте час для лабораторії віртуальної реальності через спільний доступ календар. Учні виконували анкети та тести та переглянули підготовчі уроки через онлайн-навчання платформи. Співробітники лабораторії налаштували програмне та апаратне забезпечення перед тим, як кожна партія студентів приходила до студії VR для сесії.

Після того, як усі учні закінчать дослід наприкінці семестру співробітники можуть завантажити записи про успішність студентів із хмарної бази даних і повернути файл інструктора для оцінювання.

Основними труднощами, з якими ми зіткнулися, були навчання персоналу лабораторії, інструкторів і студентів для ефективного використання системи спосіб. Щоб вирішити ці проблеми, ми зробили серію підручники для кожного підтипу користувача. У нас є файл із «контрольним списком персоналу лабораторії» та відеоінструкції, щоб нагадати персоналу лабораторії про точне кроки, необхідні для відкриття, використання та обслуговування системи.

Також є покроковий посібник із 3D-друку необхідного набори маркерів і місця їх кріплення на лабораторних інструментах. А в лабораторії зберігається кілька інструментів резервної лабораторії з трекерами для швидкої заміни, якщо якісь трекери зламаються. Вікторини та VR система бронювання студій була впроваджена в нашому кампусі платформа управління навчанням. Ми також розробили навчальне відео, яке студенти можуть переглянути перед показом аж до лабораторії. В основному програмному забезпеченні моделювання віртуальної лабораторії ми додано багато віх, щоб орієнтувати студента-користувача, наприклад, який кнопку контролера, яку потрібно натиснути, і коли. З цими адаптаціями матеріалів, ми змогли швидко навчити персонал лабораторії в різних семестрах під час розробки та тестування систему та безперебійне виконання досліджень користувачів.

1.4 Дизайн програмного забезпечення

1.4.1 Огляд програмної системи

Програмне забезпечення для MP моделювання HOVR Lab призначене для дозволяють розробникам вмісту легко налаштовувати та оптимізувати досвід лабораторії, роблячи взаємодію з віртуальним лабораторним середовищем інтуїтивно зрозумілою для студентів. Система було розроблено з використанням робочого процесу розробки Agile, і основні шаблони проектування програмного забезпечення, що використовуються, включають стан шаблон, співпрограма, обробка подій і шаблон одиночного елемента.

Основна базова система програмного забезпечення ініціалізує досвід VR/MR з використанням такої послідовності (рис. 1.3):

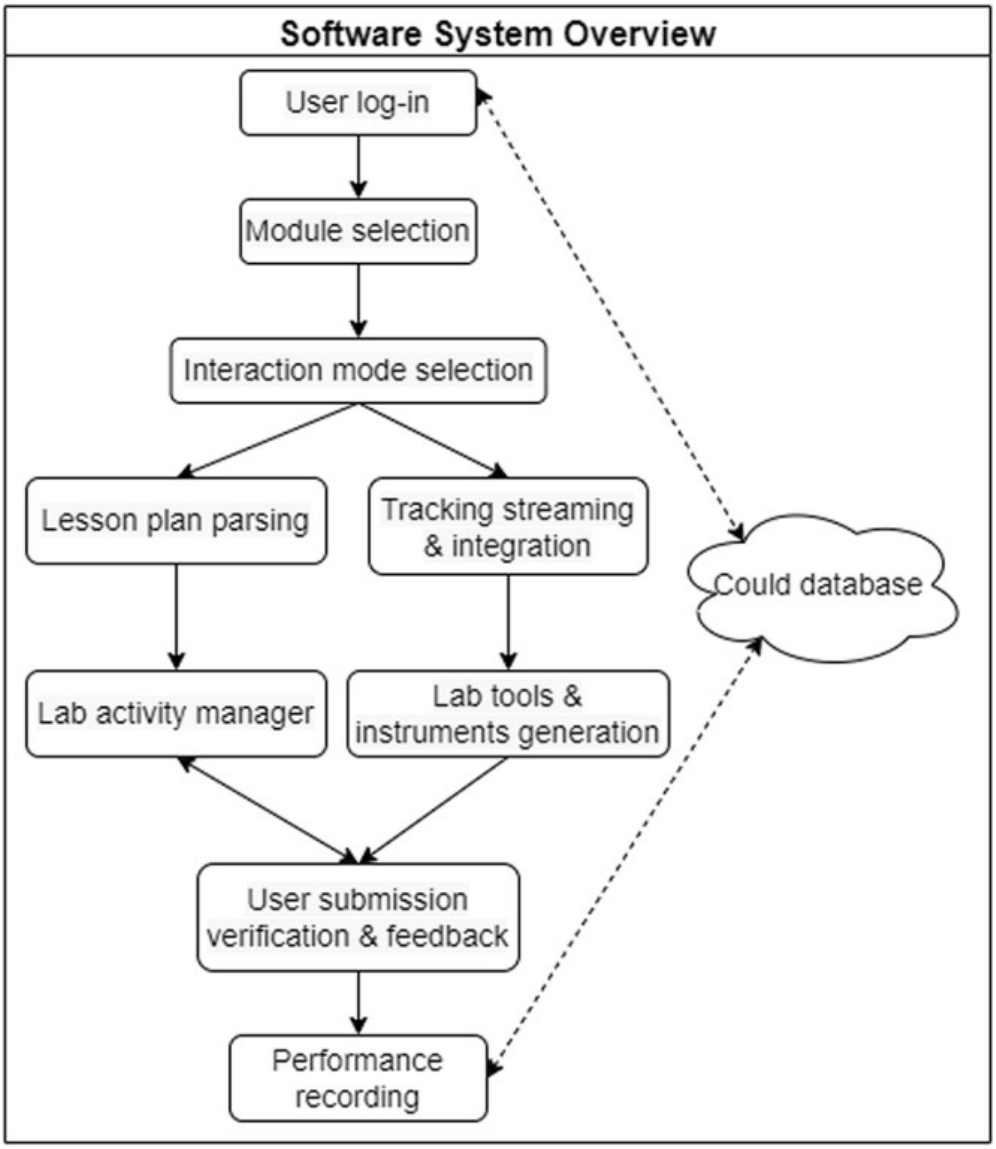


Рис. 1.3 Огляд програмної системи

Вхід користувача, вибір модуля, вибір режиму взаємодії, розбір електронних таблиць Lab Module Generator, SteamVR і (у режимі MP) ініціалізація рухового оптичного відстеження, світове калібрування/реєстрація, створення екземпляра обробника/інструменту/інструменту та, нарешті, керування лабораторною діяльністю та компоненти перевірки введених користувачем даних. Після ініціалізації послідовність завершена, інструкції для кожної віхи читаються/відображаються на екрані відображення завдань.

Тоді користувач виконує завдання, подання користувача оцінюється цільове значення (яке може залежати від отриманих даних або подані на попередніх етапах), а потім надається зворотний зв’язок на основі того, чи належним чином користувач досяг віха. Дані оцінювання студентів завантажуються в реальному часі до хмарної бази даних після завершення кожного етапу щоб мінімізувати затримки виклику читання-запису бази даних, які могли б інакше вплине на продуктивність системи.

1.4.2 Режим інтерфейсу користувача та глобальна/локальна система координат. Реєстраційні процеси.

Система HOVR Labs має кілька систем координат які потрібно відкалібрувати один з одним, щоб задовольнити потреби відстеження нашої програми. Для найвибагливіших наукові лабораторії програми відстеження інструментів нам потрібні субміліметрові 3D просторова реєстрація точність і точність для всіх ці системи координат.

Ми визначили спільну глобальну систему координат з його походження біля переднього лівого кута фізичної лабораторії лавка (рис. 1.4, вгорі ліворуч). Ми використовували виготовлену на замовлення Г-подібну форму. Надрукований на 3D-принтері інструмент калібрування/реєстрації містить три пасивні ІЧ світловідбиваючі кульки для вирівнювання Optitrack систему координат і початок цієї спільної глобальної системи координат із субміліметровою точністю реєстрації.

Система координат UNITY3D взята на облік із цією загальною системою координат, встановивши об’єкт «центр калібрування» (розташований на віртуальному лабораторному стенді, де L-подібний кут інструменту калібрування/реєстрації буде)

як джерело UNITY3D. Потім система координат HTC Vive/SteamVR реєструється в загальній системі координат шляхом монтування однієї або кількох опорних

Трекери або контролери HTC Vive на або під інструментом калібрування/реєстрації, виготовленим на 3D-друкі (рис. 1.4, вгорі ліворуч). Кожен з 3D-друкованих адаптерів використовується для встановлення пасиву набори маркерів із жорстким корпусом або маркери активного відстеження.

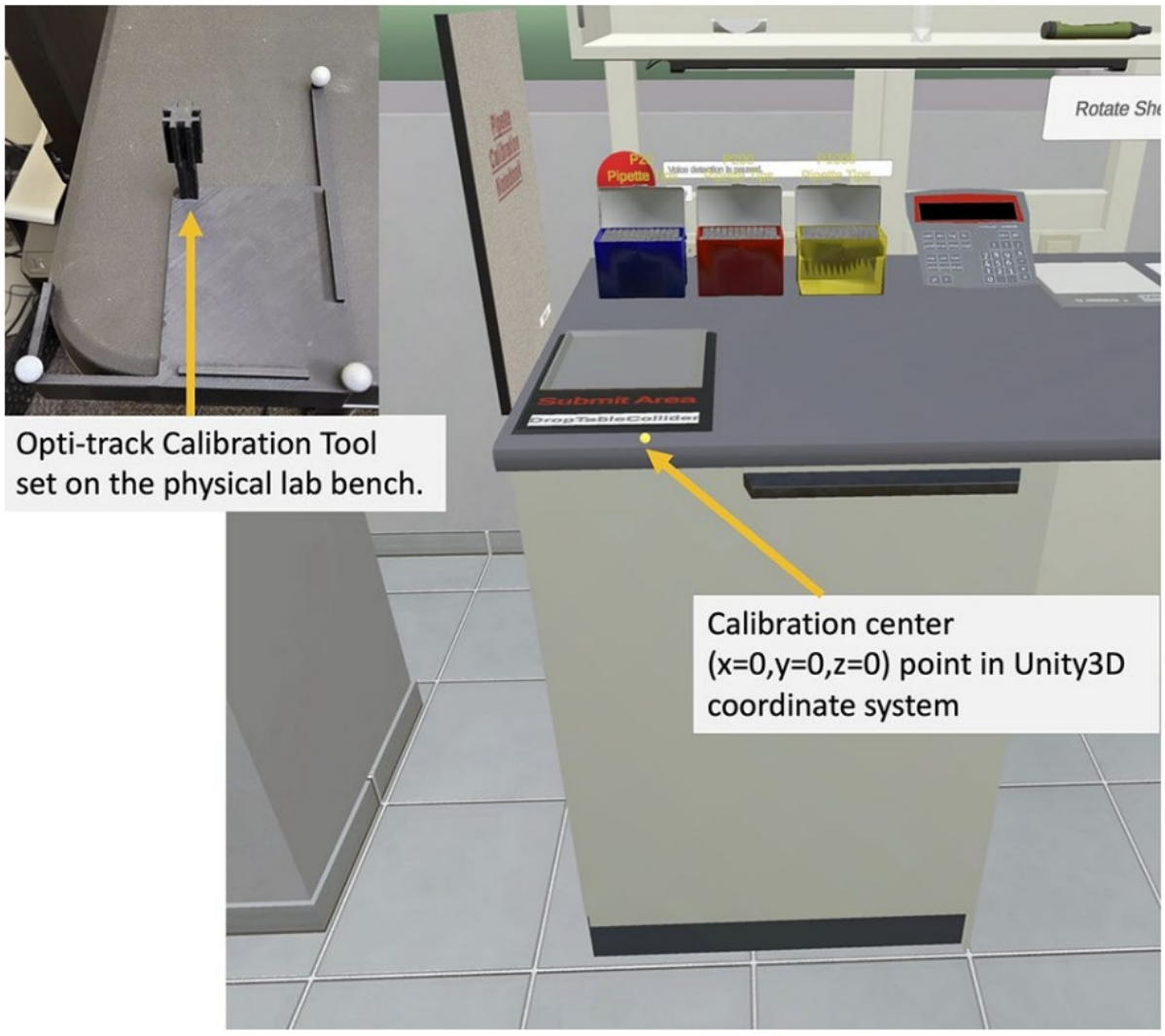


Рисунок 1.4 Процедури реєстрації та калібрування системи координат. Системи координат реального, HTC Vive/SteamVR, Unity3D та Світи Optitrack вирівнюються на основі показаних центрів калібрування

Лабораторний інструмент також повинен мати свою локальну систему координат на реєстрацію в єдиній світовій системі координат. Це досягається за допомогою спеціально розробленого 3D-друкованого інструменту орієнтаційної реєстрації, який розміщує кожен адаптер у визначена орієнтація відносно фізичного лабораторного стенду. Це комбінований міжнародний/глобальний і лабораторний інструмент/протокол локальної реєстрації дозволяє виявити навіть найдрібніші функціональні взаємодії між різними активними чи пасивними гусеничні ручні лабораторні інструменти.

Усі назви твердих тіл лабораторних інструментів і початкова орієнтація попередньо визначені в програмному забезпеченні Motive.Після ініціалізації моделювання в середовищі Unity 3D, алгоритм поєднує обробники інструментів віртуальної лабораторії з правильними дані відстеження твердого тіла, що передаються з Motive так що обробники інструментів віртуальної лабораторії належним чином узгоджені і зареєстровані на справжніх ручних лабораторних інструментах, якими маніпулює користувач.

Весь процес світового/глобального калібрування/реєстрації займає 5–10 хв і складається з:

1). стандартний SteamVR процес калібрування приміщення;

2). Калібрування/реєстрація Optitrack Motive world за допомогою L-подібного інструменту калібрування;

3). відкриття основного програмного забезпечення моделювання; і 4). калібрування/реєстрація світу SteamVR одним клацанням миші за допомогою трекер або контролер Vive. Місцеві реєстраційні дані для інструменти відстежуваної лабораторії зберігаються у файлах даних, які зчитуються та безпосередньо застосовується до відстежуваних об’єктів Motive і SteamVR коли студенти входять у систему, щоб студенти та співробітники не мали цього робити турбуватися про цю процедуру калібрування, якщо немає нових лабораторних інструментів додаються. Загальне калібрування залишається

стабільним протягом приблизно один місяць, коли лабораторний стіл, камера та Lighthouse базові станції не переміщуються.

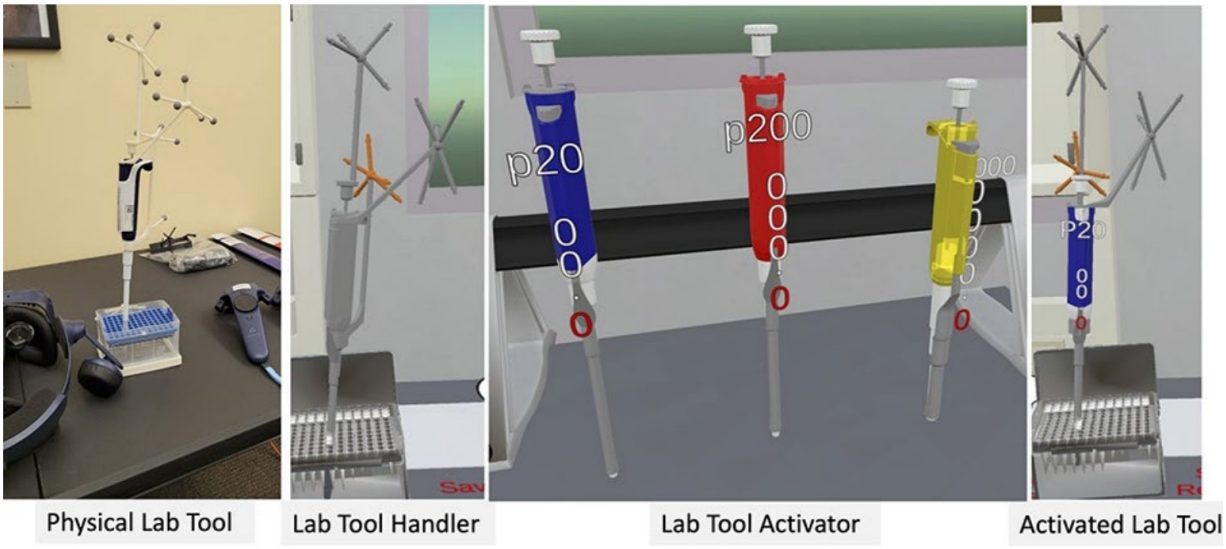


Рисунок 1.5 Система лабораторних інструментів, що активується обробником-активатором.

Система дозволяє маніпуляції з лабораторними інструментами в режимі MP або BP. «Робочники» лабораторних інструментів використовуються для збирання необмеженої кількості повністю функціональних «активованих лабораторних інструментів» в «активаторах лабораторних інструментів», розташованих на невеликому «нескінченному» полиця з усіма можливими лабораторними інструментами

1.4.3 Система лабораторних інструментів, що активується обробником-активатором

У наукових або хімічних лабораторних експериментах студенти повинні маніпулювати багатьма різними лабораторними інструментами, але, як правило, послідовно, а не одночасно. Їм теж часто потрібно маніпулювати кількома екземплярами лабораторного інструменту. Наприклад, студенти можуть мати кілька склянок, пробірок і мікропіпеток на столі, але вони, швидше за все, лише триматимуть і користуватимуться один або, максимум,

два одночасно. Щоб дозволити одному відстежуваному ручному фізичному лабораторному інструменту здійснювати взаємодію з усіма віртуальними екземплярами цього конкретного лабораторного інструменту, ми розробили система обробник-активатор-активований лабораторний інструмент (рис. 1.5).

«Обробники» — це віртуальні об’єкти, положення та орієнтація яких просторово зареєстровані за допомогою реального лабораторного інструменту через описані вище методи під час гри в режимі MP. У режимі VR обробники відстежують позиції та орієнтації двох контролерів Vive та всіх фізичних лабораторних інструментів вилучаються з лави запасних. У режимі MP з відстеженням руху фізичні лабораторні інструменти для поточного модуля розташовані на стенд разом із контролерами Vive (рис. 1.5, крайнє зліва зображення). Маркери, які використовуються для відстеження, видно на обробнику об’єктів, щоб переконатися, що користувачі знають про маркери, а не знають випадково вдаряйте маркери об предмети під час використання. Вони також виділені сірим кольором і функціонують лише для підняття, переміщення та вилучити «активовані» лабораторні інструменти — функціональні екземпляри відповідний тип лабораторного інструменту, з яким вони «працюють» (рис. 1.5, друге зображення зліва). «Активатори» (рис. 1.5, третє зображення зліва) функціонують для створення екземплярів лабораторних інструментів і є зазвичай розташовується на лабораторній полиці. Коли «обробник» рухається на відповідний «активатор», він підбирає новий/невикористаний екземпляр «активованого» лабораторного інструменту (рис. 1.5, крайнє праворуч зображення), який тепер повністю функціональний і може містити/маніпулювати реагенти. Користувач може використовувати жести або голосові команди видалення активованих (тобто, що містять реагент) екземплярів лабораторні інструменти на стіл. При висадці активовано екземпляр лабораторного інструменту на лабораторному столі, обробник сірого кольору сітка з'являється знову, і її можна використовувати, щоб підібрати іншу екземпляр того самого лабораторного інструменту.

Користувачі можуть створювати необмежену кількість віртуальних екземплярів лабораторних інструментів, кожен зі своїм реагентом, для створення віртуальних бібліотек реагентів.

Ця система мінімізує кількість відстежуваних лабораторних інструментів необхідний для моделювання певного лабораторного досвіду та мінімізує оклюзія маркера, безлад фізичного лабораторного столу та потенціал пошкодження маркера/лабораторного інструменту/адаптера.

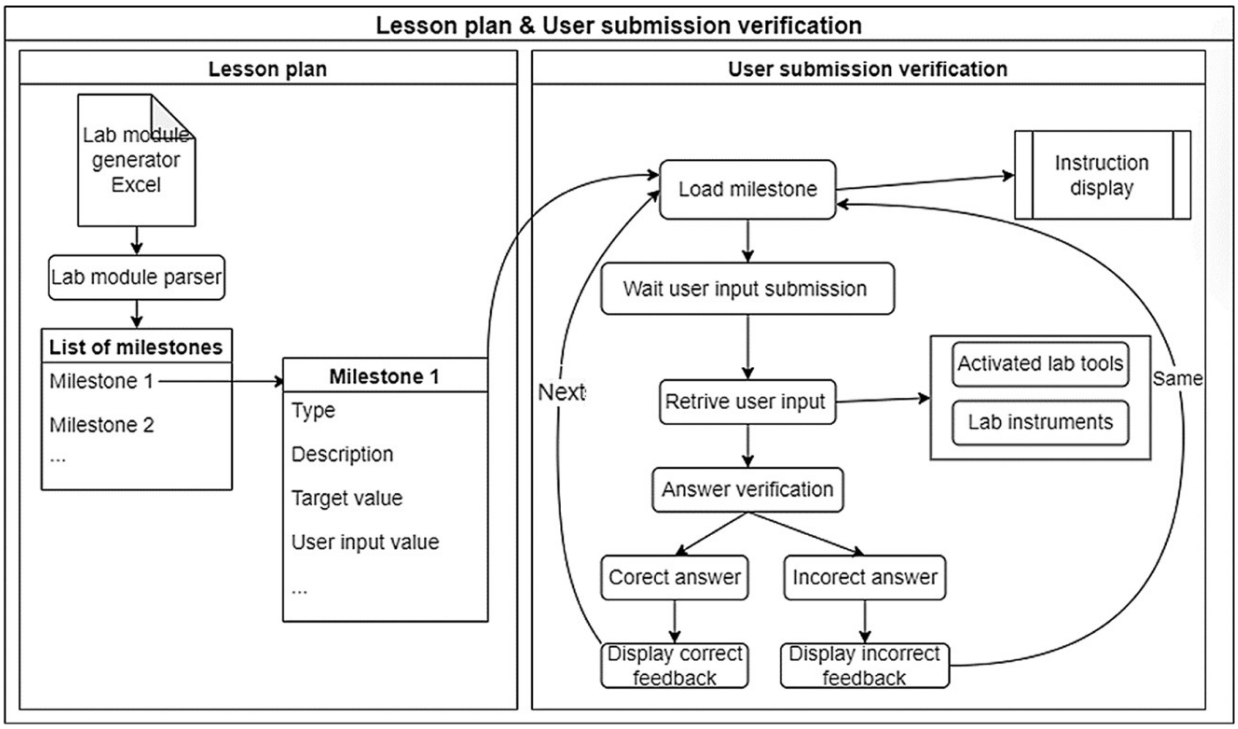


Рисунок 1.6 Розробка програмного забезпечення для аналізу плану уроку та перевірки роботи учнів

Творці вмісту можуть вказати, які лабораторні інструменти будуть використовуються в режимі MR і потребують обробників, і які будуть використовується в режимі VR через Lab Module Generator.

1.4.4 Проміжне програмне забезпечення для генерації плану уроків лабораторного модуля

Творці контенту можуть вибирати з попередньо визначених етапів під час побудови свого досвіду HOVR Lab за допомогою генератора лабораторних модулів. Кожна віха визначається логічні критерії, яким має відповідати віртуальне середовище користувача, щоб перейти до наступної віхи.

Після готовності студент представляє стан віртуального лабораторне середовище для оцінювання на кожному етапі. Якщо проміжні критерії виконані, позитивні на слух і письмові надається зворотній зв’язок, а наступний етап/завдання відображається на екрані дескриптора завдання. Якщо критерії одного (або необов'язково кілька) етап не виконано (одночасно), студент отримує відповідний зворотний зв'язок і будь-який заохочується повторно спробувати віху або повертається до попередньої віхи, щоб згадати або повторно проаналізувати свої дані (рис. 1.6).

Наразі система має такі класи етапів: інформаційний, збір даних, аналіз даних на основі калькулятора, аналіз даних на основі електронних таблиць, фізичне подання, перевірка використання, оцінка залежно від даних, множинний вибір оцінка та висновок. «Інформаційні» віхи орієнтують користувача та забезпечують текстовий огляд групи про віхи, які їм буде запропоновано виконати; в цьому користувач підтверджує, що готовий продовжити. Етапи «фізичного підпорядкування» вимагають, щоб учень виготовити та надати продукт або зразок, який відповідає специфіці критерії (наприклад, концентрація розчиненої речовини знаходиться в межах заданого діапазону, pH буферного розчину знаходиться в межах зазначеного діапазону тощо). Потрібні етапи «перевірки використання» лабораторного інструменту що одна або більше змінних конкретного лабораторного інструменту знаходяться в заданому стані або в межах певного діапазону значень (наприклад, наконечник піпетки ввімкнений і чистий, верх піпетки повністю натиснутий, напівпресований, або не пресований зовсім тощо). У етапах «збирання даних» студент повинен правильно записати необроблені дані з

лабораторного приладу в свій лабораторний зошит (див. рис. 1.7) з урахуванням точності їх вимірювання.

Деякі етапи також використовують необроблені дані, отримані/записані/зберігається в попередніх етапах для оцінки аналізу даних користувача навички. Потрібні етапи «Аналіз даних на основі калькулятора».

студентам використовувати віртуальний калькулятор, щоб виконувати прості обчислення з використанням необроблених даних (наприклад, правильно виконувати перетворення тощо). Етапи «Аналіз даних на основі електронних таблиць» попросіть студентів вийти з досвіду VR і виконати більше розширений аналіз своїх даних за допомогою Microsoft Excel електронні таблиці (наприклад, лінійні відповідності, нелінійні відповідності, статистичний аналіз тощо). Результатом їхнього аналізу Excel є надіслано назад до середовища Unity3D для оцінки та зворотній зв'язок. Двовимірний графічний інтерфейс користувача (GUI) на робочому столі дозволяє студентам бачити свій лабораторний ноутбук і, таким чином, їхні записані необроблені дані з попередніх кроків/віх модуль. На рисунку 1.8 показано зовнішній інтерфейс користувача, який бачить користувач на робочому столі без свого HMD «Оцінювання з вибором відповідей» проводяться відповідно до практичні експерименти для поєднання концепцій і теорії викладав з практичними застосуваннями на лабораторному стенді. У деяких випадки, віхи «оцінювання з множинним вибором» надаються творцем контенту; в інших випадках оцінки можуть бути випадковим чином витягнуті з онлайнової бази даних стандартизованих запитання, які відповідають конкретним навчальним цілям або концептуальні карти, визначені експертами з дисципліни (наприклад, Американське хімічне товариство, Американське товариство біохімії і молекулярної біології та ін.). Нарешті, в кінці серії «збирання даних», «аналіз даних» і «множинний вибір». оцінювання» віхи, які студентів можуть попросити зробити логічних тверджень і робити висновки з їх необроблених і проаналізовані дані в «оцінках, що залежать від даних» і

«висновках» відповідно. Наприклад, студенти можуть запитають, чи підтверджують їхні дані твердження, що вони піпетування було відтворюваним або їхню піпетку було відкалібровано досвід калібрування піпетки.

Як і в реальній лабораторії, користувач може збирати дані низької якості. У таких випадках розробник контенту може вибрати негайно виявити помилку і вимагати від учня щоб пригадати свої дані, перш ніж перейти до наступного етапу, або вони можуть дозволити студенту продовжити неправильно отримані дані (як у справжній лабораторії) і виявити їх помилка, як вони природно зробили б у подальшому аналізі даних або етапах висновків, які обидва залежать від результатів етапів збору даних. Якщо вибрано останню опцію, розробник вмісту може вимагати від користувача повторного отримання та повторно проаналізувати свої необроблені дані, повернувши користувача назад до попередній етап збору даних.

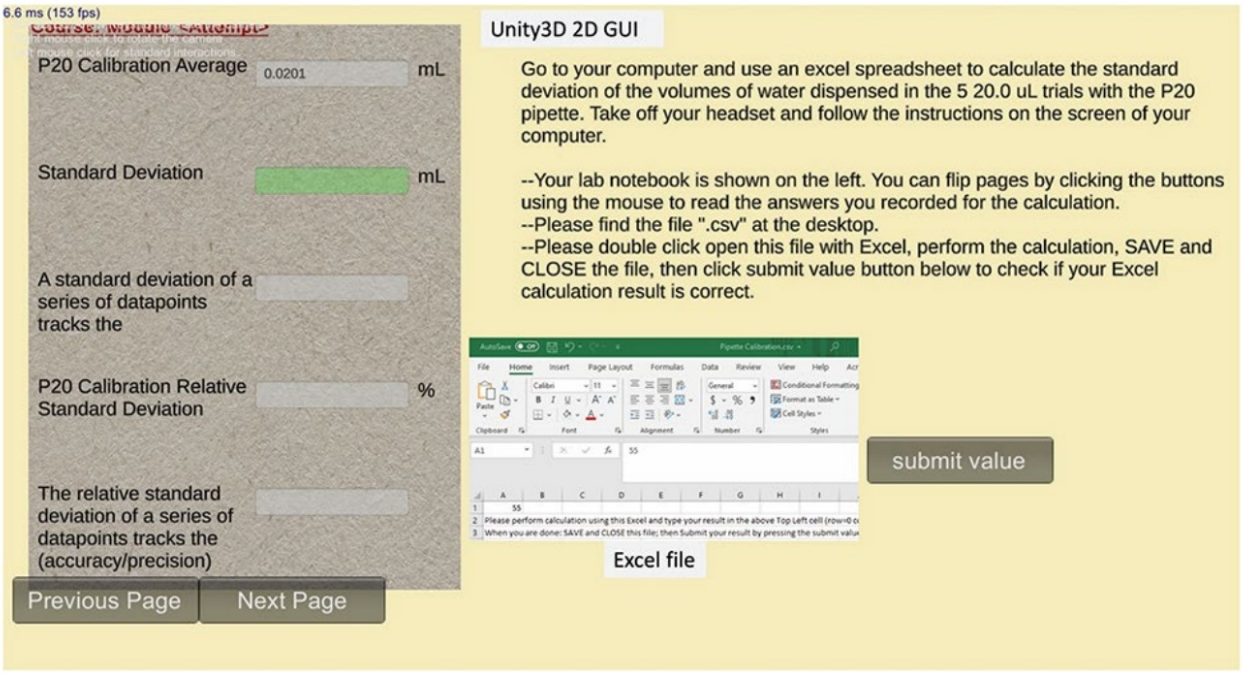


Рисунок 1.8 Приклад аналізу даних — віха Excel.

Для складних обчислень, які неможливо виконати за допомогою простого калькулятора VR, студентам пропонується зняти HMD і використовувати шаблон Excel для виконання розрахунків. Студенти можуть переглянути свій

лабораторний зошит і надсилати відповіді через двовимірний графічний інтерфейс, який відображається на робочому столі

1.4.5 Перевірка руху інструментів взаємодії користувача та лабораторії через кінцевий автомат

У багатьох випадках бажано контролювати та оцінювати лабораторний інструмент використання залежно від часу, але незалежно від модуля.

Це дозволить оцінити, чи траєкторія стани, через які проходить лабораторний інструмент, є правильним чи неправильним використанням і чи досяг користувач довготривале збереження відповідних психомоторних результатів навчання, пов’язаних із використанням лабораторних інструментів. На основі віх, «перевірка використання» в одному стані, описана вище, недостатня для таких «комплексних перевірок використання». Кінцевий автомат є одним із основних шаблонів проектування, які зазвичай використовуються у програмуванні Unity3D. Такі кінцеві автомати можуть

являють собою сукупність можливих станів, в яких знаходиться лабораторний інструмент може існувати і історія чи траєкторія станів лабораторний інструмент перебував під час даного експерименту. У зазначенні траєкторії станів, які визначають правильне та неналежне використання для а даний лабораторний інструмент, ми вмикаємо в режимі реального часу кілька станів або «складні» перевірки використання».

Наприклад, у випадку з піпетником, його наконечник може бути включений або вимкнений; його верх можна відпустити/підняти, натиснути частково або натиснути повністю; його кінчик (якщо є) також можна заповнити або порожній; і наконечник також може бути забруднений реагентом, або чистий. Можна визначити правильне чи неправильне використання лабораторного інструменту як проходження кінцевої машини піпетувальника через певні послідовності станів. Таким чином, цей підхід

дозволяє безперервно оцінювати використання лабораторних інструментів у всіх лабораторних модулях.

1.5 Дослідження користувача

1.5.1 Учасники

Тридцять один студент другого курсу курсу кількісного аналізу Каліфорнійського державного університету Сан-Маркос (CSUSM) брав участь у цьому дослідженні як частина курсового завдання. План експерименту був

розглянуто та затверджено IRB CSUSM. Учасники завершив весь процес віртуальної лабораторії в межах призначеного час (менше 2 годин, включаючи вікторини та віртуальне лабораторне дослідження).

1.5.2 Методологія досліджень

Користувачі були випадковим чином розподілені на три групи: (1) MV,

(2) VM і (3) Control. Користувачі в MV і VM групи взяли участь у двох віртуальних лабораторіях (VL):

Змішана реальність (MR) і віртуальна реальність (VR) по-різному

порядку (детальніше дивіться в таблиці 2). Контрольна група досвідчених навчальні сесії про взаємодію з віртуальними об’єктами, але не завершив етапний експеримент віртуальної лабораторії. Користувачі відповідали як на запитання вікторини, так і на запитання опитування.

У модулі калібрування піпетки є 34 етапи. Час, витрачений на проходження кожної віхи та їх кількість кількість повторів, які користувачі повинні зробити, щоб досягти правильного результату записані в режимах MR і VR. Вікторина, що складається стандартизованих і підтверджених предметів концепції хімії надається до та після кожного досвіду віртуальної лабораторії (вікторини до

VL1, після VL1, до VL2 та після VL2, відповідно). Концептуальна вікторина складалася з 9 пізнавальних питань.

Однак будь-які запитання з індексом зручності понад 90% або менше 10% (занадто легко або надто важко) були виключені з аналіз. Аналіз проводився на основі середнього бали за решту трьох запитань у кожній експериментальній або контрольній групі.

Крім того, питання опитування включали елементи з наступних трьох інструментів/категорій і були надані користувачів після кожного досвіду VR: (1) Внутрішня мотивація (3 питання) (Intrinsic Motivation Inventory 1994), (2) Self Ефективність (1 запитання) (Pintrich et al. 1991) і (3) Користувач Досвід (7 питань) (Tcha-Tokey та ін. 2016).

1.5.3 Результати та обговорення

1.5.3.1 Час завершення етапу та аналіз кількісті повторних спроб

Усереднення часу, витраченого студентами на кожну віху, і як часто вони повторювали це, перш ніж отримати правильну відповідь дали захоплюючі ідеї. Результати показали, що 24 із 34 завершено основні етапи в модулі калібрування піпетки швидше в режимі MR (середній час, витрачений на милю 75,72 с у режимі MR проти 95,52 с у режимі VR). Також студенти завершив модуль із меншою кількістю повторних спроб у режимі MP (середня кількість повторів = 0,61 у MR проти 0,82 у VR).

Ця знахідка свідчить про тактильну автентичність лабораторного інструменту маніпуляції, надані в режимі MP, допомагають студентам орієнтуватися працювати в лабораторії швидше, ефективніше та інтуїтивно зрозуміліше.

На жаль, відмінності між групами не є статистично значущими через малий розмір вибірки. З 24 етапів, виконаних швидше в MR режимі, 8 мали середню різницю в часі між режимом MP (середній витрачений час=153,40 с) і режим VR (середній час витрачено = 200,81) більше 30 с. Крім того, в межах

цих восьми віх, студенти завершили віху з меншою кількістю повторних спроб у режимі MR (середня кількість вилучень=1,19 у режимі MR проти 1,76 у режимі VR). Примітно, що ці мильні камені були найскладнішими у виконанні та найважчими (1) дрібна моторика, наприклад дозування рідини з піпетки виміряти масу випущеної рідини на вагах, та (2) виконання обчислень (наприклад, перетворення виміряної маси в об'єм, визначення стандартного відхилення, відносне стандартне відхилення, діапазон, систематична похибка та % систематична помилка зібраних даних). Це може натякати що режим MR полегшує студентам розуміння найскладніші концепції, необхідні для аналізу даних полегшення набуття справжньої дрібної моторики та лаб техніки.

1.5.3.2 Аналіз результатів концептуальної вікторини

Для аналізу концептуальної вікторини ми використали відсоткову зміну

метрика, визначена як (Після VL1 концептуальна вікторина оцінка - До VL1 оцінка концептуальної вікторини / Pre-VL1×100%) для відстеження навчання виграш для кожної підгрупи студентів в результаті два втручання. Як показано в таблиці 3, вікторина отримує бали збільшення як для груп MV, так і для VM. Однак, бали контрольної групи знизилися. Це наводить на думку що досвід віртуальної лабораторії покращує розуміння студентами концепцій.

1.5.3.3 Аналіз результатів опитування

Відповіді на опитування реєструються за шкалою від 0 до 100, де 0 означає зовсім не згоден, а 100 означає згоден повністю.

Як показано в таблиці 4, користувачі оцінили роботу режиму MP більш позитивно, ніж версії режиму VR, за винятком 4-ї і 5 питання. Користувачі вважають режим MP веселішим, приємно, і практично, і стимулююче.

Ці результати нашого попереднього аналізу є обнадійливими. Однак ми маємо обмежений розмір вибірки. Далі дослідження будуть проведені з більшою кількістю користувачів і запитань підтвердити висновки.

1.6 Обговорення

Системи VR та MR, ймовірно, відіграватимуть важливу роль у майбутнє наукової лабораторної освіти. Поки можуть вони ніколи не замінять повністю традиційні експерименти в мокрій лабораторії майже напевно подолає критичні прогалини в навчанні, надаючи докладний відгук про показники ефективності в реальному часі, які часто вислизають від інструкторів у традиційних умовах. MR системи набагато дешевші у придбанні, обслуговуванні та реалізувати порівняно з традиційними мокрими лабораторіями, і вони також пропонують зменшені проблеми безпеки/відповідальність, більшу свободу учням вчитися у свій час, робити помилки необхідні для навчання, покращення взаємодії, більша зосередженість та гейміфікація для підвищення інтересу учнів.

Система HOVR Labs використовує лабораторні інструменти з відстеженням руху або «віртуалізовані» інструменти, щоб надати студентам справжні тактильні/кінестетичний зворотний зв'язок під час експериментів. Його обробник-активатор-активована система лабораторних інструментів дозволяє кожному лабораторному інструменту функціонувати у MR-режимі або VR-режимі, таким чином увімкнувши щільно контрольовані дослідження важливості «практичного» фактора для наукового навчання та залучення. Це також дозволяє використання обмеженого набору фізичних об’єктів із відстеженням руху контролювати/обробляти необмежену кількість віртуальних екземплярів цих лабораторних інструментів. Ми використовуємо цю систему, щоб перевірити, чи автентичний тактильний зворотний зв'язок і захоплююче моделювання покращити навчання студентів, самоефективність і участь у лабораторії хімії та біохімії.

Використання Lab Module Generator як проміжного програмного забезпечення, яке дає можливість розробникам контенту адаптувати досвід HOVR Lab до різноманітних груп студентів без кодування значно зменшити витрати на розробку, тестування та оптимізація фізичного та життєвого досвіду HOVR Lab наук.

Поточне покоління нашої системи має прийнятний частоту кадрів/затримку та демонструє, що системи MP можуть бути життєздатний і економічно ефективний підхід до навчання для вищ налаштування освіти.

Конструкція нашої системи забезпечує зручне навчання в аудиторії інтеграція, як описано в розд. 1.3.3. Станція компактна з низькобюджетним обладнанням і зручним процесом налаштування. Ми протестували та покращили робочий процес із студентами класу.

Наші попередні результати дослідження користувачів показують, що студенти витрачав менше часу на етап і потребував менше повторних спроб за віху в режимі MP. Це говорить про те, що тактил автентичність, що забезпечується для маніпуляцій лабораторним інструментом у режимі MP допомагає студентам краще орієнтуватися у середовищі віртуальної лабораторії ефективно. Наші результати тесту показують, що MR і VR режими модуля калібрування піпетки розширені студенти розуміння основних концепцій у порівнянні з контрольна група. Крім того, студенти більше віддають перевагу режиму MP ніж режим VR у більшості запитань Intrinsic Мотивація (IM), самоефективність (SE) і досвід користувача (UE) опитування.Наші попередні дані свідчать про те, що обидва способи віртуальної лабораторії покращують навчання студентів. Учні виконали віхи швидше в режимі MP і мали більше прихильне ставлення до режиму MP. Подальший користувач необхідно буде провести дослідження з більшими розмірами вибірки щоб підтвердити ці висновки. Проектування, впровадження та тестування цієї системи допомогло нашому міждисциплінарному закладу отримати знання команда комп'ютерників,

розробників обладнання, програмного забезпечення інженери, цифрові художники та експерти з хімії/біохімії. Конструкції активного і пасивного трекерів і основне програмне забезпечення пройшло кілька ітерацій покращити якість відстеження, швидкість моделювання та дизайн взаємодії з користувачем. У майбутньому ми працюватимемо над додаванням нових вміст і функціональність системи.

Наприклад, більше інструменти віртуалізованої лабораторії можуть бути створені для збільшення колекції лабораторних інструментів, які педагоги можуть використовувати для адаптації своїх експериментів. До нього буде додано більше хімікатів і реакцій бібліотека реактивів. Ми також продовжуємо розширювати та вдосконалювати інтеграція бази даних і масштабні дослідження користувачів для тестування вплив досвіду MP на навчання студентів. після створення та тестування додаткових модулів, ми також зацікавлені у проведенні більш довгострокових досліджень ефективності, щоб побачити чи зацікавленість, зацікавленість і знання студентів утримання покращується після кількох VR або MR лабораторні заняття.

Висновки за першим розділом

Лабораторний практикум є невід’ємною частиною якісної підготовки висококваліфікованих фахівців енергетичної галузі. В умовах воєнних або карантинних обмежень особливу актуальність набувають нові форми проведення лабораторного практикуму з використанням засобів віртуальної реальності або змішаної реальності.

В розділі розглянуто досвід таких лабораторних робіт та проаналізовано останні тенденції у даному напрямку розвитку системи інженерної практичної підготовки.

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРТІВ

2.1. Визначення переліку та змісту лабораторних робіт лабораторії електричних апаратів

Лабораторний практикум з дисципліна «Електричні апарати» повинен відповідати змісту дисципліни та відображати усі його характерні розділи.

До орієнтовного переліку лабораторних робіт відносяться такі лабораторні роботи як:

1. Дослідження контактних систем електричних апаратів.
2. Дослідження характеристик вимірювальних приладів в електричних апаратах.
3. Дослідження роботи електромагнітних апаратів.
4. Дослідження теплових процесів в електричних апаратах.
5. Дослідження роботи вакуумних та газонаповнених апаратів.
6. Дослідження методів захисту електричних апаратів.
7. Дослідження електронних апаратів.
8. Дослідження розрахунків та проектування електричних апаратів.
9. Дослідження надійності електричних апаратів.
10. Дослідження безпеки експлуатації електричних апаратів.

Особливість вказаних лабораторних робіт полягає у тому, що вони повинні мати можливість бути відпрацьованими у навчальній аудиторії протягом 4 академічних годин. При цьому навчальна аудиторія на має високовольтного вводу електричних мереж, знаходиться у найпростішому укритті та має загальну площу близько 50м^2.

В умовах воєнного стану та особливостей прифронового міста Харкова лабораторія електричних апаратів повинна мати поряд найпростіше укриття,

яке може забезпечити присутність повного складу академічної групи на період повітряної тривоги.

2.2. Проектування основних приміщень та споруд

Основні приміщення та споруди лабораторії електричних машин передбачено розташовувати в підвальних приміщеннях першого корпусу Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, який знаходиться за адресою м.Харків, вул. Університетська 16, корп. 1, ауд 8/1

Дана локація відповідає вище наведеним вимогам і на даний час має необхідну інфраструктуру. На рисунку 2.1. наведено результати розробленого проекту основних споруд лабораторії. На рисунках 2.2 – 2.4 наведено візуалізацію 3D моделі лабораторії. 3D модель була розроблена в програмному середовищі Blender на підставі розробленого проекту.

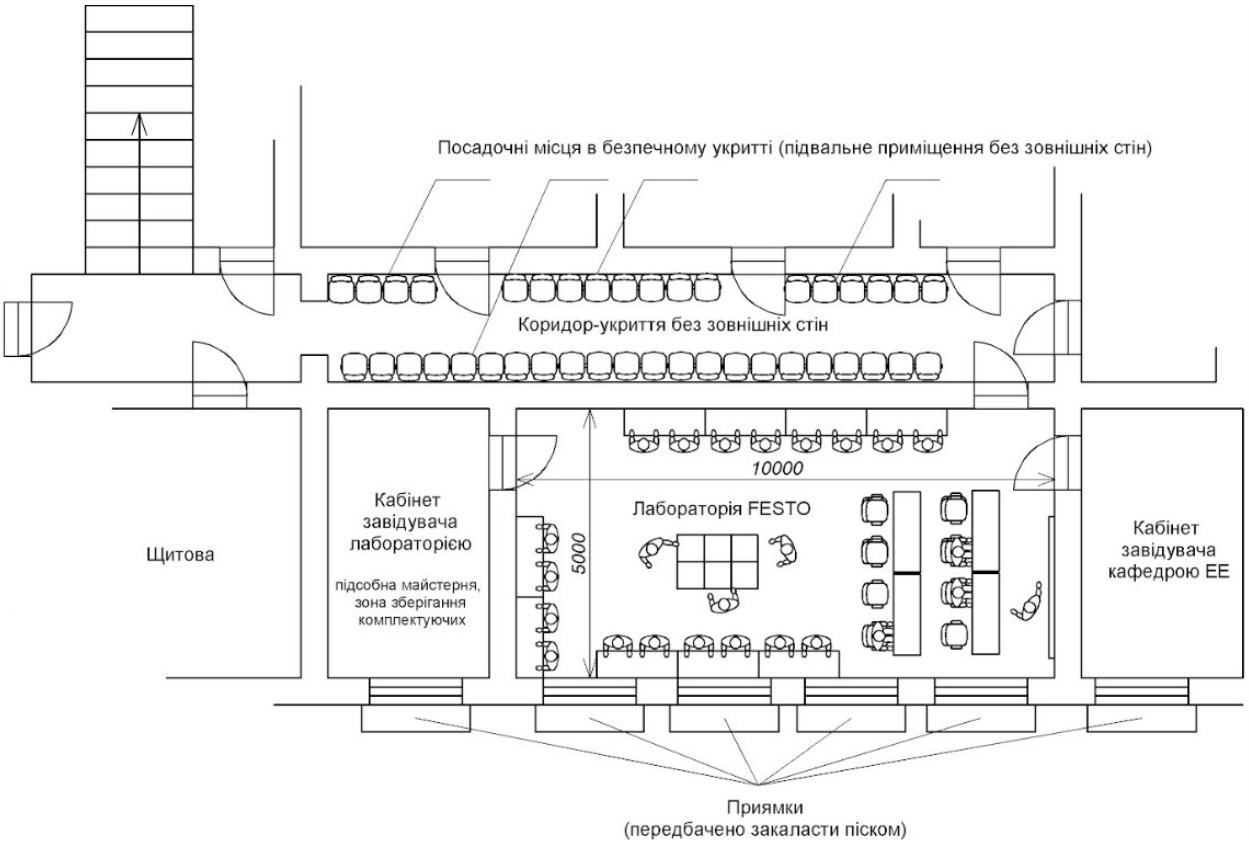


Рисунок 2.1. Планування основних споруд лабораторії електричних апаратів



Рисунок 2.2. Зовнішній вигляд лабораторії електричних апаратів



Рисунок 2.3. Зовнішній вигляд лабораторії електричних апаратів



Рисунок 2.4. Зовнішній вигляд лабораторії електричних апаратів



Рисунок 2.5. Зовнішній вигляд лабораторії електричних апаратів.

Найпростіше укриття за правилами двох стін

2.3. Проектування системи електропостачання лабораторії електричних апаратів

Лабораторія електричних апаратів має наступний перелік споживачів електричної енергії

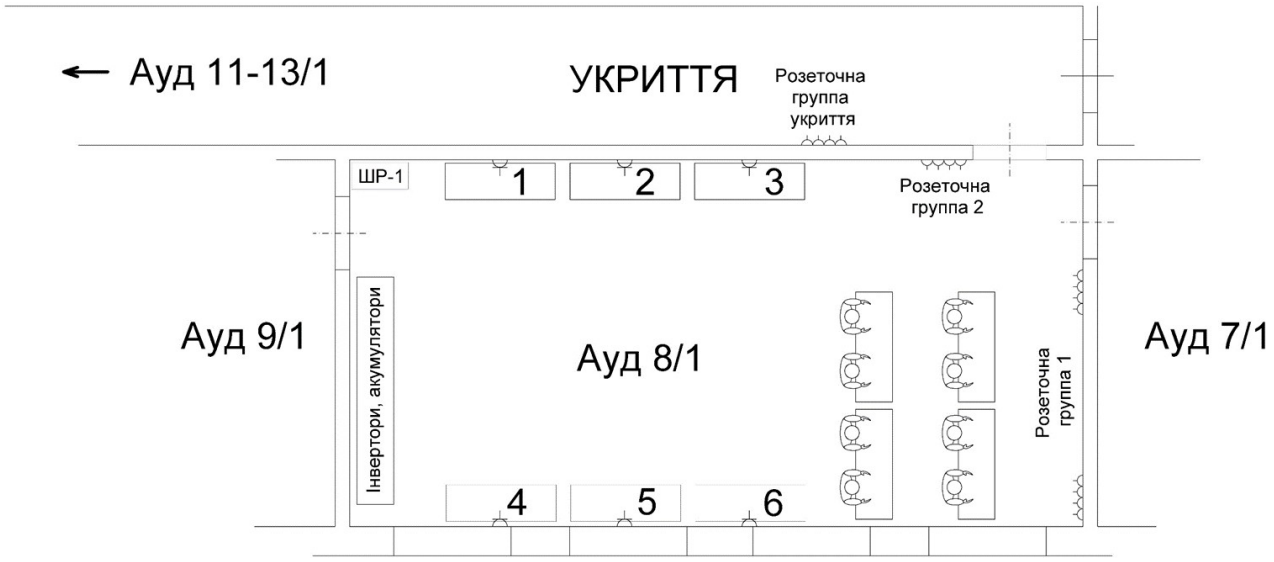
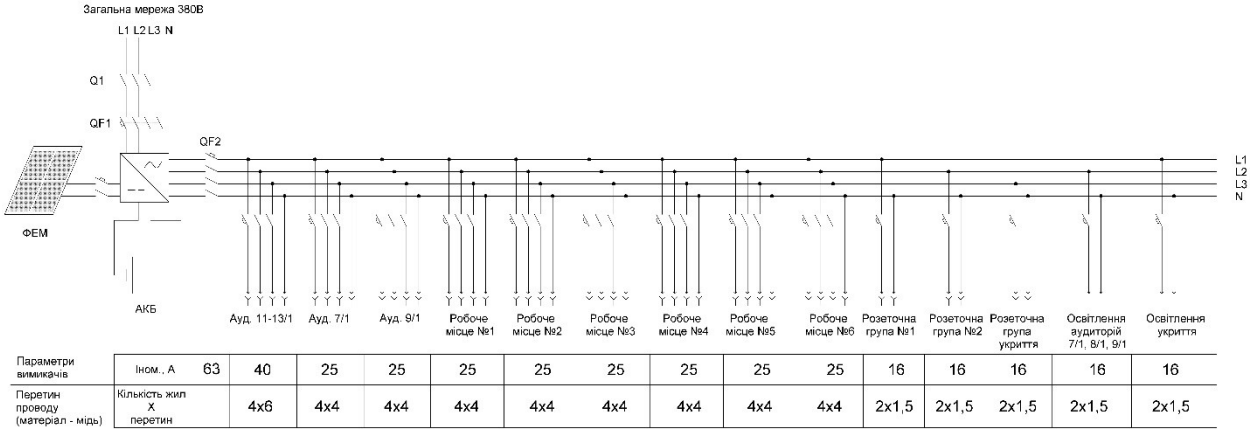


Рис. 2.6. План лабораторії електричних апаратів



Параметри вимикачів	Іном., А	63	40	25	25	25	25	25	25	25	25	16	16	16	16	16
Перетин проводу (матеріал - мідь)	Кількість жил X перетин		4x6	4x4	4x4	4x4	4x4	4x4	4x4	4x4	4x4	2x1,5	2x1,5	2x1,5	2x1,5	2x1,5

Рисунок 2.7. Схема електропостачання лабораторії електричних апаратів

2.4. Складання технічної специфікації лабораторії електричних апаратів

Технічна специфікація є заключним документом проектування лабораторії електричних апаратів. В даній роботі вона складена за вимогами

оформлення документації по тендерним процедурам та закупівлі обладнання за правилами та процедурами Міністерства освіти і науки України

ТЕХНІЧНА СПЕЦИФІКАЦІЯ

Інформація по предмету закупівлі:

№	Опис товару	Код за ДК 021:2015
1	Лабораторія електричних апаратів	44160000-9

1. ГРАФІК ПОСТАВКИ ТА ЗАВЕРШЕННЯ

№ рядка	Назва товару	Одиниця вимірю-вання	Кількість	Термін поставки (днів)
1.	Пакувальна станція «Складні механічні процеси маніпуляції»	комплект	1	120
2.	Консоль керування	штука	2	120
3.	Пульт цифровий для індикації вхідних та симуляції вихідних сигналів	комплект	1	120
4.	Блок живлення навчальний 24 В з кабелем живлення із захистом від короткого замикання	штука	2	120
5.	Комплект заготовок «Корпуси циліндрів»	комплект	2	120
6.	Візок для навчальних станцій	штука	2	120
7.	Контролер для модульних станцій в навчальному виконанні Siemens S7-1516-3PN/DP (MPS)	штука	1	120
8.	Станція сортування заготовок	комплект	1	120
9.	Компресор, безшумний 50 л/хв. (рівень шуму 50 Дб)	штука	2	120
10.	Програмне забезпечення Step 7 TIA Portal, 8 навчальних ліцензій	штука	1	120
11.	Контролер для модульних станцій в навчальному виконанні Festo CECC LK (MPS) CODESYS V3.5	штука	1	120

12.	Комплект навчального обладнання «Старт у мехатроніку»	комплект	1	120
13.	Набір доповнень для комплекту «Старт у мехатроніку»	комплект	1	120
14.	Додаткові кнопки та індикатори для комплекту «старт у мехатроніку»	комплект	1	120
15.	Світловідбивний датчик для комплекту «Старт у мехатроніку»	штука	1	120
16.	Інтерфейс для підключення станцій до навчального комплекту з мікроконтролерів для комплекту «Старт у мехатроніку»	комплект	1	120
17.	Комплект обладнання з мікроконтролером Ардуїно для комплекту «Старт у мехатроніку»	комплект	1	120
18.	Навчальний стенд мобільний 2-сторонній	штука	1	120
19.	Тримач кабелів електричних	штука	1	120
20.	Плита для розміщення компресора на стенді	штука	1	120
21.	Комплект елементів «Вивчення пневматики»	комплект	1	120
22.	Комплект елементів «Вивчення електропневмоавтоматики»	комплект	1	120

2. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ТОВАРІВ

Лабораторія має являти собою безпечне обладнання, розроблене для навчальних цілей, із сумісними підключеннями за допомогою спеціальних кабелів з роз’ємами 2 мм та 4 мм. Очікувана специфікація та вимоги до технічних, якісних та кількісних характеристик Товарів приведені у Таблицях та описах цієї Технічної специфікації.

1. Пакувальна станція «Складні механічні процеси маніпуляції»

Станція забезпечує пневматичний контроль складного процесу пакування та керування кроковими двигунами за допомогою мікроконтролерів. Станція

також надає ознайомлення з використанням цифрових датчиків. Станція модульна, в навчальному виконанні, сумісною з іншими модульними станціями.

Станція упаковує заготовки в автоматизованому процесі. Конвеєр переносить заготовку в позицію збору двоосьового модуля обробки. Пакувальний модуль дістає картонну коробку, розгортає її та готує до завантаження. Модуль обробки з двома осями транспортує заготовку в картонну коробку: ця операція виконується кроковим двигуном по осі X і циліндром з прецизійним керуванням по осі Z. Картон закривається і передається на конвеєрний модуль. Конвеєрний модуль транспортує упаковану заготовку в кінцеве положення.

Кроковий двигун з контролером переміщує лінійну вісь у певні позиції з високою точністю позиціонування.

Пневматичні датчики кінцевого положення визначають положення циліндра та контролюють пакувальний механізм.

Станцію можна використовувати окремо або разом з іншими станціями в різних точках системи або процесу.

Технічні характеристики

Робочий тиск: 600 кПа (6 бар)

Живлення: 24 В постійного струму, 4,5 А

Квадратні/круглі розміри заготовки: макс. 40 мм

15 цифрових вхідних сигналів

14 цифрових вихідних сигналів

Розміри (Ш x Г x В): 350 x 700 x 900 мм

2. Консоль керування

Консоль керування модульною навчальною станцією з роз'ємом SysLink

Складається з панелі керування, комунікаційної панелі, пустої панелі та кріпильної рами з роз’ємом SysLink.

Кнопка Пуск з LED, кнопка Stop, кнопка Reset з LED, 2 світлових індикатори, безпечні роз’єми 4 мм для з'єднання входів/виходів. На зворотному боці розташовані роз’єми SysLink і Sub-D для підключення до будь-якого типу ПЛК.

Пульт цифровий для індикації вхідних та симуляції вихідних сигналів

Пульт SimuBox служить для індикації вхідних та моделювання вихідних сигналів модульної навчальної станції або ПЛК. Можливі два наведені нижче типи застосування.

Імітація входів для випробування програми ПЛК.

Моделювання вихідних сигналів (з окремим живленням 24 В) для керування станцією MPS.

Пульт має роз'єм SysLink.

Технічні характеристики

Робоча напруга 24 В пост. струму

Напруга сигналу 24 пост. струму

Інтерфейс SysLink, IEEE488

Перемикачі: 9, не фіксованих та 9 фіксованих

Світлодіоди: 9

4. **Блок живлення навчальний 24 В з кабелем живлення із захистом від короткого замикання**

Технічні характеристики:
Вхідна напруга: 85 - 265 В змінного струму (47 - 63 Гц)
Вихідна напруга: 24 В пост. струму, із захистом від короткого замикання

Вихідний струм: макс. 4 А

Розміри: 170 x 240 x 92 мм

5. **Комплект заготовок «Корпуси циліндрів**

Сумісний з модульними навчальними станціями

складається з 4 чорних, 4 червоних пластикових корпусів циліндрів та 4 алюмінієвих корпусів циліндрів.

Зовнішній діаметр: 40 мм

Висота (чорний): 22,5 мм

Висота (червоний і алюміній): 25 мм

6. **Візок для навчальних станцій**

Сумісний з модульними навчальними станціями, наскрізні отвори в бічній і задній панелях дозволяють упорядковано прокласти кабелі. Симетричний дизайн візка означає, що з обох боків є варіанти кріплення панелі керування, проміжної полиці та ящиків. З обох боків візка є місце для монтажної плати для електричних з’єднань і стійки для ПЛК. Профілі для кріплення формату А4 дозволяють використовувати додаткові навчальні блоки на візку.

Технічні характеристики

Розміри (В = x Ш x Г):

750 x 350 x 700 мм

Обсяг поставки

Візок з коліщатками

Проміжна полиця

7. **Контролер для модульних станцій в навчальному виконанні Siemens S7-1516-3PN/DP**

Сумісний з модульними навчальними станціями

Карта пам'яті в комплекті

Інтерфейс: PROFINET IRT з 2-портовим комутатором

Система кріплення до візку для навчальних станцій

Розмір (Ш x В) 305 мм x 300 мм

Можна розмістити на столі або в навчальній станції

Система кріплення з листової сталі з порошковим покриттям

Інтегрований блок живлення, AC 110/230 В / DC 24 В, 4 А

19-дюймова панель з 2 штекерними роз'ємами SysLink для станції MPS і панелі керування, кожен з яких має по 8 цифрових входів та 8 цифрових виходів і 1 15-контактному штекерному з'єднанню Sub-D з 4 аналоговими входами та 2 аналоговими виходами; перемичка аварійної зупинки для підключення схеми безпеки для відключення 8 цифрових виходів.

8. Станція сортування заготовок

Станція контролює процес сортування на основі властивостей заготовки. Станція сортує заготовки на три гілки. Датчик визначає, коли заготовка розміщена на станції, і запускає транспортування заготовки до точки сортування: пневматичний стопор (циліндр з коротким ходом) зупиняє заготовку, поки конвеєр продовжує працювати, і передає її для сортування на один із трьох рядів. Оптичні та індуктивні датчики визначають властивості заготовки та розрізняють заготовки за кольором і матеріалом. Електричний поворотний модуль сортує заготовку. Датчик контролює рівень заповнення гілок.

Технічні характеристики

Робочий тиск: 600 кПа (6 бар)

Живлення: 24 В постійного струму

Квадратні/круглі розміри заготовки: макс. 40 мм

8 цифрових датчиків

4 цифрові приводи

9. Компресор

Масляний, малошумний (не більше 45 дБ) компресор. Призначений для експлуатації у навчальних класах. З регулятором тиску та вологовідділювачем.

Технічні характеристики

Тиск: 800 кПа (8 бар) Рмакс

Потужність: 50 л/хв.

Об'єм котла: 24 л

Відведення стисненого повітря: ¼ дюйма або KD4

Шумова емісія: 45 дБ(А)/1 м

Тривалість увімкнення: макс. 50%

Регулятор тиску з манометром

10. **Програмне забезпечення Step 7 TIA Portal, 8 навчальних ліцензій**

Застосовуються спеціальні ліцензійні умови для навчальних закладів

11. **Контролер для модульних станцій в навчальному виконанні з підтримкою CODESYS V3.5**

Сумісний з модульними навчальними станціями

Підтримка мов програмування для IL, LD, FBD, ST, SFC і CFC за допомогою CODESYS®, відповідно до Стандарту МЕК 61131-3.

Технічні характеристики

4 x IO-Link master

1 пристрій IO-Link

Ethernet підключення

USB підключення

CANopen

Входи/виходи:

12 цифрових входів (24 В постійного струму)

8 цифрових виходів (24 В постійного струму, 500 мА)

Модуль розширення IO-Link:

8 цифрових входів (24 В постійного струму)

8 цифрових виходів (24 В постійного струму, 500 мА)

Інтерфейсу IO-Link

Виконання:

Модульна Рама A4, настільний варіант, розмір 1, (Ш x В) 305 мм x 300 мм

19-дюймова панель імітації модуля з 2 штекерними роз'ємами SysLink для навчальної станції і панелі керування, кожен з 8 цифровими входами та 8 цифровими виходами та 1 15-контактним штекерним з'єднанням Sub-D з 4 аналоговими входами та 2 аналоговими виходами, перемичкою аварійної зупинки для підключення схеми безпеки для відключення 8 цифрових виходів.

Інтегрований блок живлення 110/230 В/24 В, 4 А

Можна розмістити на столі або в станції MPS.

Стабільна система кріплення з листової сталі з порошковим покриттям

Можна розширити за допомогою 19-дюймових модулів моделювання

12.Комплект навчального обладнання «Старт у мехатроніку»

Комплект у складі: магазинна станція, конвеєрна станція, станція переносу заготовки, компресор, 3 інтерфейси EasyPort для підключення станцій до комп'ютера, програмне забезпечення, набір заготовок та інструментів, документація, Систейнери для зберігання обладнання, підручники та навчальні матеріали.

13.Набір доповнень для комплекту «Старт у мехатроніку»

у складі:

1 х Профільна плита

2 х 4/2 розподільник з одним електромагнітом

2 х Кінцеві датчики, магнітні

2 х Пневматичний циліндр двосторонньої дії

1 х Оптичний датчик

1 х Електрична кнопка

1 х Електричний перемикач

1 х Індикаторна лампа

1 х Набір монтажних профілів

1 х Набір заготовок

14.Додаткові кнопки та індикатори для комплекту «Старт у мехатроніку»

1 х електрична кнопка (контакти НО і НЗ)

1 х перемикач

1 х індикаторна лампа

В комплекті з монтажними матеріалами і сполучним кабелем.

15.Світловідбивний датчик

Оптоволоконний дифузний датчик в комплекті з оптичними волокнами, сполучним кабелем і монтажними матеріалами.

16.Інтерфейс для підключення станцій з комплекту «Старт у мехатроніку» до навчального комплекту з мікроконтролерів

Інтерфейс обробляє двійкові сигнали, що входять і виходять із мікроконтролера. Вхідні сигнали від станції надходять, наприклад, від кінцевих вимикачів і датчиків, тоді як вихідні сигнали до станції керують компонентами станції, такими як електромагнітні клапани.

Керування пристроєм мікроконтролера, підключення, кодування у візуальному середовищі, спостереження за рухом таких компонентів, як циліндри, клапани, конвеєри тощо під час виконання програми.

Технічні характеристики

6 вхідних і 6 вихідних каналів до та від мікроконтролера

Перетворює вхід і вихід 5 В контролерів на сигнал 24 В до станцій

Вхід живлення через циліндр

Інтерфейс складається з плоского кабелю з адаптером для плати мікроконтролера і адаптером для розподільника багатоконтактної вилки станції. Він також включає блок живлення та з'єднувальні кабелі.

17.Комплект обладнання з мікроконтролером Ардуїно для підключення станцій з комплекту «Старт у мехатроніку»

Пакет включає:

1х мікроконтролер Ардуїно

1х комбінована дошка

1х Монтажна плата

1х кабель живлення

1х кабель USB

1х Лоток для зберігання

18.Навчальний стенд мобільний 2-сторонній

Можливість роботи з обох боків стенду, оснащений алюмінієвою профільною плитою з кроком 50 мм для кріплення навчального обладнання та рамами для кріплення електричних компонентів.

Зовнішні розміри Д 1556 х Ш 780 х В 1773

19.Тримач кабелів електричних

Кріпиться на лабораторний стенд, сумісний з наборами лабораторних кабелів 4 мм.

Розміри: Ш 150 х Г 136 х В 63.

20.Плита для розміщення компресора на стенді

Встановлюється на лабораторний стенд, розміри: Ш 748 х Г 403 х В 30.

21.Комплект елементів «Вивчення пневматики»

З промисловими компонентами, в спеціальному навчальному виконанні, з можливістю кріплення на алюмінієву профільну плиту з кроком 50 мм з навчального стенду,

Електричні підключення сумісні з безпечними лабораторними кабелями 4 мм

Склад комплекту:

3/2-розподільник із кнопкою, н.з.

3/2-розподільник із кнопкою, н.в.

5/2-розподільник із селекторним перемикачем

3/2- розподільник із селекторним перемикачем, , н.з.

3/2-розподільник із роликовим важелем, н.з.

Датчик положення, пневматичний, з кріпленням для циліндра

Таймер пневматичний, н.з.

Клапан послідовності тиску

3/2 розподільник, з одностороннім пневмоуправлінням

5/2 розподільник, з одностороннім пневмоуправлінням

5/2 імпульсний розподільник, з двостороннім пневмоуправлінням

Перекидний клапан (АБО)

Клапан двох тисків (І)

Клапан швидкого вихлопу

Односторонній клапан регулювання потоку

Циліндр пневматичний односторонньої дії

Циліндр пневматичний двосторонньої дії

Клапан з фільтром-регулятором

Регулятор тиску

Манометр

Розгалужувач

Полімерний пневмошланг

22.Комплект елементів «Вивчення електропневмоавтоматики»

З промисловими компонентами, в спеціальному навчальному виконанні, з можливістю кріплення на алюмінієву профільну плиту з кроком 50 мм з навчального стенду,

Електричні підключення сумісні з безпечними лабораторними кабелями 4 мм

Склад комплекту:

Сигнальний блок, електричний

Релейний блок

Кінцеві вимикачі правий та лівий

Датчик положення, оптичний, М12

Датчик положення, електронний, з кріпленням для циліндра

Два 3/2-розподільники з електроуправлінням та світлодіодом, нормально відкритих

5/2-розподільник з електроуправлінням, зі світлодіодом

5/2-розподільник з електроуправлінням, зі світлодіодом

Датчик тиску з дисплеєм

Односторонній клапан регулювання потоку

Циліндр односторонньої дії пневматичний

Циліндр двосторонньої дії пневматичний

Клапан з фільтром-регулятором

Розгалужувач

Полімерний пневмошланг

3. ВИМОГИ ДО ТАРИ ТА УПАКОВКИ

Товар відвантажується в упаковці, що відповідає характеру Товару, який поставляється. Пакування повинне відповідати встановленим нормам і стандартам, яке забезпечує збереження вантажу при транспортуванні до місця призначення та розвантаженні транспортного засобу.

Транспортна тара має відповідати вимогам забезпечення збереження цих вантажів, збереження чіткого маркування, яких потрібно дотримувати під час їх затарювання (пакування), завантаження, перевезення (з дотриманням встановлених температурних умов), вивантаження, а також можливості виконання перевантажувальних операцій та штабелювання вантажу механізованим способом.

Товар повинен транспортуватися та зберігатися відповідно до рекомендацій виробника.

4. ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА ВИПРОБУВАННЯ

Постачальник повинен здійснити стандартний набір перевірок та перед відправкою з заводу-виробника переконатися, що кожна позиція Товару, що поставляється, відповідає відповідним положенням Технічної специфікації.

Основний контроль буде здійснюватися вповноваженими представниками Покупця при доставці Товарів до місця призначення, як зазначено в статті 2 Умов Контракту. Сюди серед інших входитиме зовнішній контроль на відсутність механічних пошкоджень, перевірка вимогам цієї Технічної специфікації.

5. УМОВИ ПОСТАВКИ, УСТАНОВКИ І ОБСЛУГОВУВАННЯ

Офіційний представник пропонованого товару повинен забезпечити:

1. Обладнання повинно бути новим.
2. Гарантійний термін на обладнання: 12 місяців.
3. Умови доставки: за рахунок постачальника.

4. Ціна включає в себе всі витрати на транспортування, навантаження, страхування, розвантаження, монтаж та пуско-налагоджувальні, базове навчання з експлуатації обладнання та техніки безпеки.

Висновки за другим розділом

В даному розділі відповідно завдання було розроблено проект навчальної лабораторії електричних апаратів. Розроблено структуру лабораторного практикуму та складений перелік лабораторних робіт з дисципліни електричні апарати. Спроектовано основні споруди лабораторії з врахуванням умов воєнного стану та воєнної небезпеки. Розроблено проект системи електропостачання, який передбачає резервне живлення від фотоелектричної електростанції потужністю 30 кВт. Відповідно до переліку лабораторних робіт було визначено перелік обладнання та складено відповідну технічну специфікацію

ВИСНОВКИ

1. В роботі було проведено ґрунтовний критичний аналіз розробки та впровадження сучасних навчальних лабораторій.

2. Розроблено загальні принципи адаптації фізичних процесів в електричних апаратах напругою до 1000В до умов навчальних лабораторій та навчального процесу.

3. Розроблено структуру лабораторного практикуму з дисципліни «Електричні апарати».

4. Розроблено проектів основних споруд та технічну специфікацію на обладнання лабораторії електричних апаратів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ahmadinia A, Singh A, Hamadani K, Jiang Y (2022) Tracking objects using QR codes and deep learning. In: Proceedings of the SPIE 12701, fifteenth international conference on machine vision (ICMV 2022). Rome, Italy

2. Ali N, Ullah S, Alam A, Rafique J (2014) 3D interactive virtual chemistry laboratory for simulation of high school experiments. In: Proceedings of Eurasia graphics. pp 1–6 Anderson P, Rothbaum B,Hodges L (2003) Virtual reality exposure in the treatment of social anxiety.Cognitive And Behavioral Practice 10:240–247

3. Bigler AM, Hanegan NL (2011) Student content knowledge increases after participation in a hands-on biotechnology intervention. J Sci Educ Technol 20:246–257. https://doi.org/10.1007/s10956-010-9250-7

4. Bonde MT, Makransky G, Wandall J et al (2014) Improving biotech education through gamified laboratory simulations. Nat Biotechnol 32:694–697. https://doi.org/10.1038/nbt.2955

5. Catena RD, Carbonneau KJ (2019) Guided hands-on activities can improve student learning in a lecture-based qualitative biomechanics course. Anat Sci Educ 12:485–493. https://doi.org/10.1002/ase.1832

6. Chénéchal M Le, Chénéchal M Le, Vive JCHTC (2018) HTC vive pro time performance benchmark for scientific research to cite this version : HAL Id : hal-01934741 HTC Vive Pro time performance benchmark for scientific research. In: ICAT-EGVE

7. Chini JJ, Madsen A, Gire E et al (2012) Exploration of factors that affect the comparative effectiveness of physical and virtual manipulatives in an undergraduate laboratory. Phys Rev Spec Top Phys Educ Res 8:1–12. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010113

8. Chua PT, CrivellaR, Daly B, et al (2003) Training for physical tasks in virtual environments:Tai Chi. IEEE Virtual Reality 87–94

9. Chan JCP, Leung H, TangJKT, Komura T (2011) A virtual reality dance training system using motioncapture technology. IEEE Transactions on Learning Technologies 4:187–195

10. De Jong T, Linn MC, Zacharia ZC (2013) Physical and virtual laboratories in science and engineering education. Science 340:305–308. https://doi.org/10.1126/science.1230579

11. Desai N, Stefanek G (2017) A literature review of the different approaches that have been implemented to increase retention in engineering programs across the United States. In: Proceedings of the 2017 ASEE Zone II conference

12. Faulconer EK, Gruss AB (2018) A review to weigh the pros and cons of online, remote, and distance science laboratory experiences. Int Rev Res Open Distance Learn 19:155–168

13. Freschi C, Parrini S, DinelliN, et al (2015) Hybrid simulation using mixed reality for interventionalultrasound imaging training. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. https://doi.org/10.1007/s11548-014-1113-x

14. García-Ruiz P, Muñoz-Salinas R, Medina-Carnicer R, Marín-Jiménez MJ (2023) Object localization with multiplanar fiducial

15. Markers_ Accurate Pose Estimation _ SpringerLink. In: Pattern recognition and image analysis. pp 454–465

16. Gow S, Macshane J, Ahmadinia A, et al (2023) Miniaturization and

geometric optimization of SteamVR active optical trackers. In: Proceedings of the SPIE 12449, optical architectures for displays and sensing in augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR) IV, 1244921. San Francisco, California

17. Hamadani KM, Jiang Y, Ahmadinia A, et al (2022) Framework for scalable content development in hands-on virtual and mixed reality science labs. In: 2022 8th international conference of the immersive learning research network (iLRN) 1–6Intrinsic Motivation Inventory (1994) Intrinsic Motivation Inventory

(IMI). In: The Intrinsic Motivation Inventory, Scale description

18. Johnson-Glenberg M (2018) Immersive VR and education: embodied design principles that include gesture and hand controls. Front Robot AI 5:1–19. https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00081

19. Lampotang S, Bigos AK, Avari K et al (2021) SMMARTS: an open architecture development platform for modular, mixed, and augmented reality procedural and interventional simulators. Simul Healthc 16:353–361. https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000503

20. Linn MC, Eylon B-S (2011) Science learning and instruction -taking advantage of technology to promote knowledge integration. New York

21. Linn MC, McElhaney KW, Gerard L, Matuk C (2018) Inquiry learning and opportunities for technology. In: International handbook of the learning sciences. Routledge, pp 221–233

22. Linn MC, Palmer E, Baranger A et al (2015) Undergraduate research experiences: impacts and opportunities. Science. https://doi.org/10.1126/science.1261757

23. Moore EB, Chamberlain JM, Parson R, Perkins KK (2014) PhET interactive simulations: transformative tools for teaching chemistry. J Chem Educ 91:1191–1197

24. Pintrich PR, Smith DAF, Garcia T, McKeachie WJ (1991) A manual for the use of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ)

25. Pertaub DP, Slater M, Barker C (2001) An experiment on fear of public speaking in virtual reality.Studies in Health Technology and Informatics 81:372–378ShellGames (2021) Schell Games. https://www.schellgames.com/

26. Stahl C, Hockemeyer C (2019) Knowledge space theory Stephens LA, Lamb R, Riman J, et al (2016) Considering virtual labs: A SUNY preliminary report

27. Seth A, Vance JM, Oliver JH (2011) Virtualreality for assembly methods prototyping: A review. Virtual Real 15:5–20.

28. Taagepera M, Noori S (2000) Mapping students' thinking patterns in learning organic chemistry by the use of knowledge space theory. J Chem Educ 77:1224

29. Tcha-Tokey K, Christmann O, Loup-Escande E et al (2016) Proposition and validation of a questionnaire to measure the user experience in immersive virtual environments. Int J Virtual Real I 16:33–48

30. Warburton M, Mon-Williams M, Mushtaq F, Morehead JR (2023) Measuring motion-to-photon latency for sensorimotor experiments with virtual reality systems. Behav Res Methods 55:3658–3678. https://doi.org/10.3758/s13428-022-01983-5

31. Wu PC, Wang R, Kin K, et al (2017) DodecaPen: accurate 6DoF tracking of a passive stylus. In: UIST 2017 - Proceedings of the 30th annual ACM symposium on user interface software and technology. Association for Computing Machinery, Inc, pp 365–374