

О.М. Гладкова, ст.викл.,
А.В. Пархоменко, канд. техн. наук, доц.
Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна
parhom@zntu.edu.ua

Дослідження та практична реалізація рекомендаційної системи для вибору апаратно-програмних платформ при автоматизованому проектуванні вбудованих систем

Запропоновано методику проектування вбудованих систем на основі методів та засобів он-лайн інженерії. Представлено веб-орієнтовану рекомендаційну систему, що дозволяє на основі видобутих з моделі вимог до проектованої вбудованої системи даних виконати пошук інформації в базі знань та сформувані рекомендації щодо використання готової апаратно-програмної платформи. Розроблена рекомендаційна система є складовою віддаленої лабораторії проектування вбудованих систем RELDES, за допомогою якої виконується швидке прототипування вбудованої системи на основі віддалених експериментів.

Ключові слова: рекомендаційна система, вбудована система, апаратно-програмні платформи, модель вимог, віддалена лабораторія, швидке прототипування.

DOI: 10.31474/1996-1588-2017-2-25-22-31

Вступ

Зростання функціональної та конструктивної складності сучасних вбудованих систем (ВС), вимоги зменшення часу проектування за умови забезпечення відповідної якості продукції, зростаюча кількість пропозицій щодо нових компонентів вбудованих систем – це лише частина проблем, з якими стикаються сьогодні проектувальники та які спричиняють появу нових підходів до проектування. Наприклад, відома методологія повторного використання компонентів (reuse) спрямована на скорочення часу виходу продукту на ринок та підвищення ефективності розробки. Саме тому, сьогодні серед розробників ВС є популярним використання готових програмних та апаратних компонентів. Як свідчать проведені дослідження, на ринку існує безліч пропозицій від розробників апаратно-програмних платформ, але задача вибору тої, яка задовольнить вимогам проекту залишається актуальною.

Аналіз досвіду [1-9] з питань вибору певної платформи для розробки ВС показав, що односторонньої рекомендації щодо потрібної платформи найчастіше отримати не вдається. Це обумовлено необхідністю врахування різних аспектів вибору, пов'язаних з досвідом розробника, його потребами та прихильностями, а також типом, складністю та вартістю проекту.

Для того, щоб дати чіткі рекомендації щодо вибору апаратно-програмної платформи для проектування ВС, перш за все треба, щоб вимоги до системи були чітко сформульовані. В роботі [10] було показано, що основною проблемою є відсутність стандартів розробки вимог до ВС та

запропоновано модель вимог, яка може стати джерелом даних для подальшого пошуку апаратно-програмної платформи. Але, потрібна рекомендаційна система (РС), яка на основі видобутих з моделі вимог дозволить виконати цей пошук та формування рекомендацій проектувальнику.

Дослідження показали, що на сьогоднішній день в основному рекомендаційні методи використовують хости з перегляду фільмів та музики, а також більшість онлайн-сервісів електронної комерції [11].

У роботі [12] наведено аналіз сайтів виробників електроніки та сайтів з її продажу з метою виявлення наявності системи рекомендацій, яка б підтримувала користувача на етапі вибору апаратно-програмної платформи. Виявлено, наприклад, що компанія Texas Instruments [13], яка випускає платформи (налагоджувальні плати) LaunchPad, пропонує інструмент BoosterPack Checker для перевірки сумісності платформ LaunchPad і додаткових модулів компанії BoosterPack. Фільтрація компонентів виконується за сумісністю згідно з кількістю контактних пінів, встановлених на платформі та додатковому модулі. Інший, не менш відомий виробник електроніки STMicrocontrollers [14], на основі вибраної налагоджувальної платформи пропонує перелік можливих сумісних платформ в рамках своєї продукції, а також всі супутні матеріали.

Таким чином, виробники електроніки пропонують деякі рекомендації, але при цьому концентруються на власній продукції, з метою її просування, та допомагають обрати додаткові можливості для розширення функціоналу своєї базової платформи, що не стане у пригоді

проектувальнику при виборі саме базової платформи.

Українські сайти з продажу електроніки [15-16]) тільки групують електронні компоненти за назвами або за призначенням (наприклад, платформи, сенсори, додаткові плати/шилди та ін.). Таким чином, вони лише упорядковують інформацію, що безумовно спрощує її пошук, але не надають рекомендацій щодо вибору.

Таким чином, створення РС для ефективного та швидкого вибору готових апаратно-програмних платформ при проектуванні ВС є актуальною науковою та практичною задачею.

Метою дослідження є реалізація математичного, програмного та методичного забезпечення рекомендаційної системи, яка дозволить отримати рекомендації щодо вибору апаратно-програмної платформи, виходячи з вимог до проєктованої вбудованої системи.

Задачами дослідження є: дослідження особливостей існуючих апаратно-програмних платформ для проєктування ВС; аналіз методів побудови рекомендаційних систем; створення концепції рекомендаційної системи для вибору апаратно-програмних платформ; розробка методики проєктування ВС з використанням методів та засобів он-лайн інженерії.

Дослідження особливостей апаратно-програмних платформ

Аналіз ринку апаратно-програмних платформ показав, що в загальному випадку існуючі платформи можна поділити на два типи в залежності від можливостей процесору, навколо якого побудована платформа [7]. В першому випадку це платформи на основі мікроконтролера (МК), найбільш популярними серед них є: Arduino(Uno, Leonardo, Mega, Mini, Yun та інші), TI MSP430

Launchpad, STM32 Nucleo, Strela, Iskra (Mini, Neo), Netduino, Teensy 3.2 та інші. У другому – одноплатний комп'ютер, представниками даного типу є: RaspberryPi, Beagleboard, Intel Galileo, pcDuino.

Є цілий ряд традиційних порівняльних факторів, які можна використати при виборі альтернатив апаратно-програмних платформ [7-9]. До них відносяться: можливості контролера (швидкість, енергоспоживання, периферійні пристрої на кристалі), доступні функції (підтримувані протоколи зв'язку, пам'ять), периферійні пристрої, що вбудовані на платформі, а також технічна підтримка (набір інструментів для створення програмного забезпечення, приклади застосування, тощо) від постачальника. У таблиці 1 наведено результати порівняння характеристики деяких найбільш популярних платформ.

При порівнянні специфікацій виявлено, що платформи на основі МК значно поступаються своєю продуктивністю одноплатним комп'ютерам. Але при виборі платформи для розробки проєкту брати до уваги лише одну специфікацію є не зовсім правильним. Наприклад, якщо необхідно побудувати просту систему керування рухомих об'єктом, яка передбачає керування приводами, сенсорами та іншою периферією, то цілком достатньо взяти платформу на основі мікроконтролера (наприклад, Arduino Uno, MSP430 Launchpad). Якщо ж стоїть задача реалізації складних процесів, наприклад, пов'язаних з обробкою медіа (розпізнавання образів, мови), або з мережевими задачами, то мікроконтролер не дозволить їх вирішувати ефективно, принаймні без додаткових модифікацій. Тому, в цих випадках доречно використовувати одноплатний комп'ютер (наприклад RaspberryPi, pcDuino3, Beagleboard).

Таблиця 1. Порівняльний аналіз апаратно-програмних платформ

Назва платформи	Процесор	Сімейство	ПЗУ	ОЗУ	Частота	Аналог	Цифра
Arduino Uno	ATmega328	AVR	32KB	2KB	16MHz	6	14
Arduino Due	ATSAM3X8E Cortex-M3	ARM	512KB	96KB	84MHz	16	54
MSP-EXP430G2 LaunchPad	MSP-EXP430G2	MSP430	16KB	512B	16MHz	8	16
Raspberry Pi 3	Broadcom BCM2837	ARM	-	1GB	1.2GHz	0	27
Intel Galileo	Quark SoC X1000	x86 Quark	8MB	512KB	400MHz	6	20

При створенні складної робототехнічної системи, що забезпечує керування різними робочими механізмами, обробку інформації з сенсорів та телеметрію, рекомендується розбивати задачі між МК та процесором. Це обумовлено тим, що через

багатозадачність, одноплатний комп'ютер може невчасно виконати критичну до часу задачу, а це є неприйнятним, особливо при створенні керованих рухомих об'єктів реального часу. Тому, проблему можливо розв'язати шляхом розподілу функцій

роботи з сенсорами та актуаторами на мікроконтролер, а обробки даних - на процесор. Тому, порівнювати ці два типи платформ є не завжди доречним. У таблиці 2 наводяться результати аналізу [5-9] загальної інформації щодо особливостей платформ на основі мікроконтролеру та одноплатних комп'ютерів, яка є корисною з точки зору формулювання рекомендацій щодо вибору платформ.

Як відомо, платформи на основі мікроконтролеру та одноплатні комп'ютери можна об'єднувати за допомогою інтерфейсів зв'язку (USB, локальна мережа, послідовне підключення портів вводу/виводу, радіоканал). Саме тому, сьогодні вже існують гібридні платформи, які об'єднують в собі мікроконтролер і мікропроцесор (наприклад, Arduino Yun, Embedded Pi).

Слід зауважити також на те, що на ринку пропонуються спеціалізовані апаратно-програмні платформи, орієнтовані на виконання конкретних задач (наприклад, для робототехнічних систем це Strela, Romeo BLE/ -mini).

Відмінність платформ також полягає у форм-факторі. Тому, особливої уваги потребують вимоги щодо компактності конструкції.

Не менш важливим критерієм при виборі є відкритість проекту та наявність Інтернет спільки, особливо для розробників без досвіду.

Як показав виконаний аналіз ринку апаратно-програмних платформ, є безліч пропозицій, що різняться за різними характеристиками та показниками, тому важливим етапом, що передуює вибору платформи має стати формулювання чітких вимог до проектованої системи [10].

Таблиця 2. Особливості апаратно-програмних платформ на базі МК та одноплатні ПК

Критерій	Платформи на основі МК	Одноплатні ПК
Складність розробки	Однозадачність. Точний контроль різних апаратних частин проекту.	Багатозадачність. Складні розрахункові процеси.
Продуктивність	≈10-100МГц, ≈10КБ RAM, ≈10-100КБ ROM	≈100-1000МГц, ≈100КБ RAM, ≈1ГБ ROM
Сенсори	З легкістю працюють з будь-якими сенсорами.	У деяких платформах (напр., RaspberryPi) є проблеми підключення аналогових пристроїв. Для взаємодії необхідно створювати додаткове програмне забезпечення (ПЗ).
Швидкість роботи у реальному часі	Повний контроль над часом	Можуть виникати затримки роботи через багатозадачність або помилки операційної системи (ОС).
Доступ до мережі	Додаткові модулі та глибинне знання протоколів	Підключення просте, модуль роботи з мережею є на платформі
Живлення	Споживає одиниці-десятки мА. Тижні роботи від батареї живлення.	Споживає сотні-тисячі мА. Потужного акумулятора вистачить на декілька годин.
Обробка відео	Не вистачає потужності.	OpenCV, апаратні відеокодеки, HDMI-вихід
Мова програмування	Частіше мова C/C++ та її різновиди.	Не обмежена мова C. В залежності від можливостей ОС.

Аналіз методів побудови рекомендаційних систем

Дослідженнями методів побудови рекомендаційних систем займаються такі вчені: М.В. Лобур [11], F. Ricci [17], B. Shapira [18], R. Burke [19], C. D. Manning [20], К.В. Воронцов [21], В. І. Донской [22] та інші..

Як свідчить проведений аналіз, методи, що найчастіше використовуються при створенні рекомендаційних систем, можна поділити на дві групи: колаборативний (collaborative) та контентний (content-based) [11,17,20,23,24]. Крім того, у [17,20,25] розглядається інший метод, що базується на апіорному знанні потреб користувача (knowledge-based), а також його різновид, який відокремився у самостійний метод – рекомендації на основі онтології (ontology-based). Особливо можна відокремити методи, які аналізують зміст об'єктів, а також методи, які використовують демографічні дані та уподобання користувачів (demographic, community-based). Також існує підхід до створення РС, який поєднує в собі декілька методів, це так звана гібридна фільтрація (hybrid).

Методи колаборативної та контентної фільтрації для надання рекомендацій, будуються довкола рейтингів та оцінок об'єктів, які були представлені користувачами. Тобто, вони використовують зворотній зв'язок з користувачами (їх оцінки, рейтинги та коментарі). Найчастіше, в Інтернет комерції використовується саме колаборативна фільтрація або гібридна на її основі. Вона полягає в порівнянні користувачів зі схожими інтересами або схожих об'єктів, та наданні рекомендації щодо нових об'єктів для конкретного користувача [26-28]. Контентна фільтрація посилається тільки на вподобання (оцінки) певного користувача у минулому і не враховує інтереси інших користувачів [29].

Методи, основані на знанні використовуються, коли в системі не зберігається попередня інформація про користувача, якому буде надаватися рекомендація. Основна концепція формування рекомендацій такими системами полягає в виявленні потреб користувача та подальшому пошуку в базі знань системи об'єктів, які відповідають цим вимогам. Подібні рекомендаційні системи можуть бути побудовані будуються на основі обмежень (constraint-based) та вибору близьких об'єктів [25]. Для першого випадку система шукає об'єкти, які строго відповідають заданим вимогам, у другому виконується пошук об'єктів близьких до заданих вимог з використанням міри подібності.

Одним із різновидів систем, основаних на знанні є онтологічні систем (ontology-based) [30]. Причиною виникнення таких систем є різниця представлення знань між різними людьми. Такі системи намагаються встановити уніфіковану мову представлення знань для подальшої можли-

вості роботи з ними, та таким чином звести до мінімуму концептуальну і термінологічну плутанину в системі між термінами профілю користувача та термінами профілю об'єкта [18].

Методи, які аналізують зміст об'єктів, використовуються, коли необхідно аналізувати інформацію про об'єкт. Такі методи застосовуються в системах для рекомендації документів, статей, web-сторінок, тобто об'єктів які складаються з текстової інформації [31-33].

Гібридна фільтрація використовується, коли потрібно доповнити або усунути недоліки якогось з методів. Основна її ідея полягає в об'єднанні декількох методів в один [19]. Алгоритми для цих методів базуються на визначенні схожості за допомогою знаходження значення міри подібності або відстані між векторами профілів користувачів або профілів об'єктів. Існує безліч способів підрахунку значення міри подібності, але на сьогодні можна виділити наступні: векторна косинусна міра; коефіцієнт кореляції Пірсона; евклідова відстань; коефіцієнт Жаккара; коефіцієнт Дайса.

У роботах [31-33] надається детальний порівняльний аналіз ефективності підрахунку значення міри подібності для задач знаходження подібності при аналізі документів, причому, наведені результати суттєво різняться. У роботі [31] відокремлюють гарні результати при використанні косинусної міри. У [32] в свою чергу позначають збалансовану роботу алгоритму з коефіцієнтом кореляції Пірсона. З цього можна зробити висновок, що результати роботи методів пошуку подібності залежать від особливостей вирішуваної задачі, тому необхідно проводити додаткові дослідження для визначення рекомендацій щодо їх застосування.

Базуючись на проведених дослідженнях, пропонується подальший розвиток методу, заснованого на знаннях, з використанням в якості обмежень вимог користувача щодо проекрованої ВС. Таким чином, концепція створення рекомендаційної системи полягає в побудові бази знань про існуючі апаратно-програмні платформи для проектування ВС, формуванні моделі вимог до ВС, а також в розробці інструментарію видобутку вимог користувача та пошуку рекомендацій.

Методика проектування ВС на основі методів та засобів он-лайн інженерії

Пропонована методика проектування ВС може бути представлена у вигляді узагальненої схеми алгоритму (рис. 1) та містить наступні основні кроки.

Крок 1. Формування моделі вимог для ВС. За основу приймаємо запропоновану раніше трирівневу модель вимог до ВС [10], яка включає в себе перш за все відомості про користувача (STRQ). Оскільки функціональність ВС ділиться між апаратними і програмними складовими, то

далі формуються функціональні апаратні та функціональні програмні вимоги (Feat_HW, Feat_SW). Останнім етапом є формування нефункціональних (SUPL) вимог та специфікації використання системи (Use Case).

Формування Use Case може не здійснюватися для рекомендаційної системи, оскільки ці специфікації використовуються на етапах верифікації системи для складання протоколів тестування. Тому, вони можуть бути враховані на етапі швидкого прототипування ВС, а у сформованій моделі вимог для РС не фігурувати.

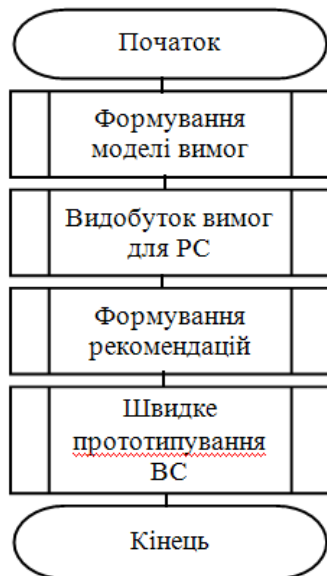


Рисунок 1 – Узагальнена схема алгоритму методики проектування ВС з використанням РС

Крок 2. Другим кроком є видобуток вимог для РС шляхом визначення потреб (функціональних та не функціональних) користувача, з яких у подальшому отримуємо вектор вимог компоненту X , при $x \in X$, де X – множина описів об'єктів.

Для того, щоб визначитись з потребами користувача, розроблено список запитів, на основі яких будуть сформульовані ознаки шуканої платформи:

- рівень знань користувача в розробці ВС;
- планована для підключення периферія;
- знання сімейства процесорів;
- знання мови програмування;
- обмеження цінового діапазону.

Відповідь на всі запити не є обов'язковою, але дозволяє уточнити вимоги користувача.

На основі цих відповідей формується вектор вимог до компоненту. Якщо задані вимоги f_1, \dots, f_n , при $f: X \rightarrow D_f$, де D_f – множина допустимих значень вимог, то вектор опису вимог компоненту можна представити у вигляді:

$$x = \vec{i}$$

Матриця компонентів-вимог розмірністю $l \times n$ усіх компонентів вибірки Y^l матиме наступний вигляд:

$$F = \vec{i} \vec{i}$$

Крок 3. Пошук рекомендації. Визначення тотожності між заданим користувачем вектором вимог $f(x) = (f_1(x), \dots, f_n(x))$ та властивостями платформ $f(y) = (f_1(y), \dots, f_n(y))$. В результаті користувач отримує перелік платформ, які задовольняють його потребам. Це може бути одна, або декілька платформ, в залежності від повноти його відповідей при формуванні

Крок 4. Швидке прототипування ВС на основі обраної платформи за допомогою віддалених експериментів.

Створювана рекомендаційна система вибору апаратно-програмної платформи є складовою віддаленої лабораторії RELDES [34, 35]. Місце рекомендаційної системи в структурі RELDES наведено на рисунку 2.

База знань рекомендаційної системи була сформована, виходячи з аналізу Інтернет сайтів з продажу, а також параметрів та характеристик найбільш використовуваних апаратно-програмних платформ. Вона включає в себе дані специфікацій кожної платформи. Додаткові атрибути, які не входять в специфікацію, такі як: рівень входження, відкритість та інші, були сформовані виходячи з результатів опитування експертів.

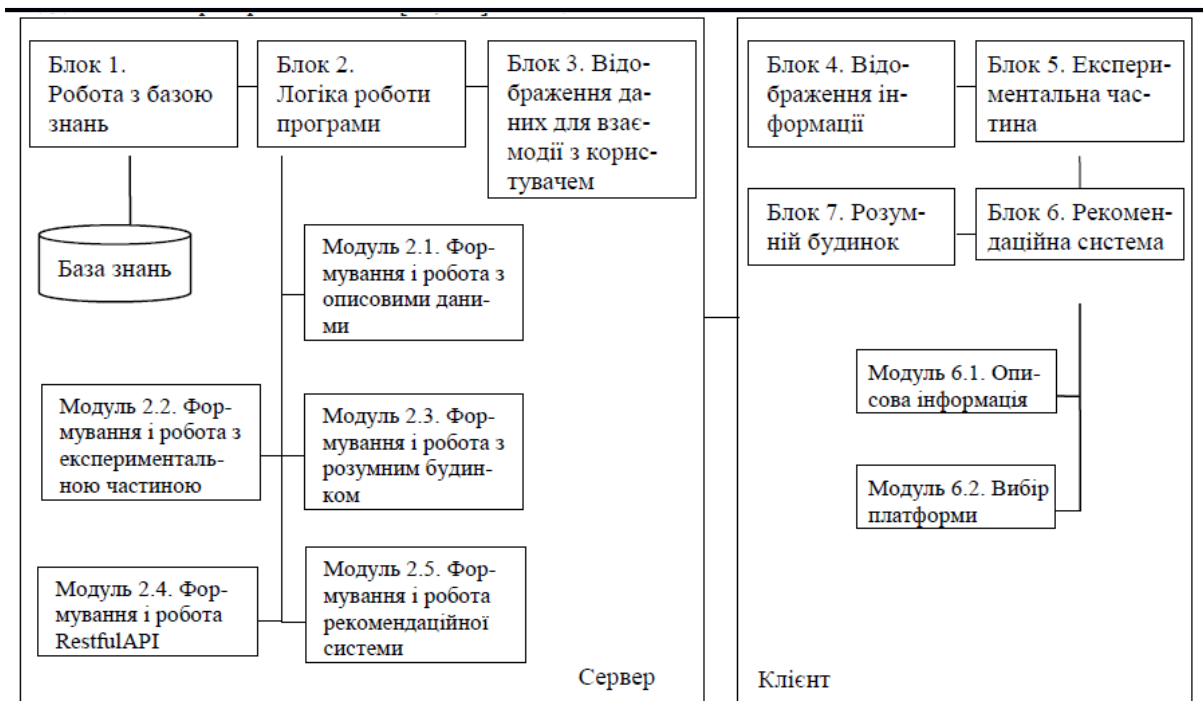


Рисунок 2 – Структурна схема віддаленої лабораторії RELED з інтегрованою рекомендаційною системою

Інтерфейс сторінки формування вибору платформи зображено на рисунку 3. Екранна форма може бути умовно поділена на дві частини – робота з базою знань та видобуток вимог користувача. Користувач має можливість переглянути інформацію, що міститься в базі знань, задаючи різні критерії пошуку. Для старту пошуку платформи та формування рекомендацій користувачу пропонується сформувати ряд запитів. В процесі пошуку, дані щодо апаратно-програмних плат-

форм беруться з бази знань та за допомогою наданого функціоналу Django передаються html-сторінці, на якій в циклі перебираються всі дані, і виводяться у вигляді карточок-рекомендацій. Для запропонованого варіанту платформи є можливість перейти на сайт компанії розробника для ознайомлення з більш детальною інформацією щодо параметрів та характеристик платформи, а також на головну сторінку лабораторії RELED для віддалених експериментів з платформою.

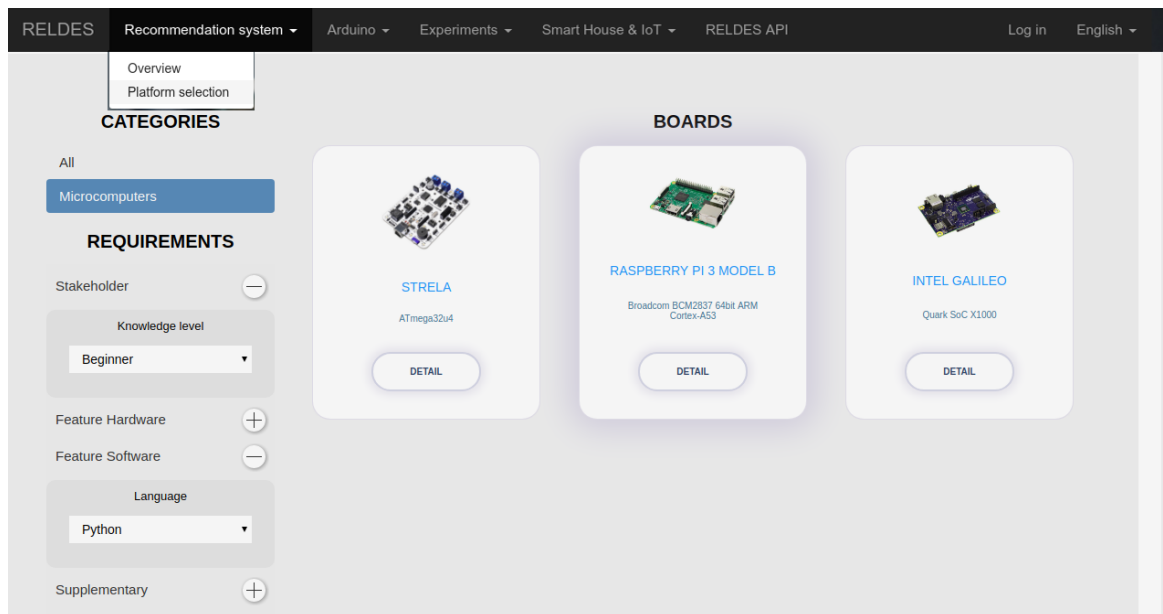


Рисунок 3 – Інтерфейс рекомендаційної системи

Висновок

Розробка та впровадження нових методик проектування ВС на основі методів та засобів он-лайн інженерії є актуальною науковою та практичною задачею з огляду на жорсткі вимоги ринку. Для підвищення ефективності процесу проектування ВС є доцільним повторне використання готових апаратно-програмних платформ, формування рекомендацій щодо їх вибору за допомогою веб-орієнтованої рекомендаційної системи та швидке прототипування ВС на основі обраних рішень за допомогою інструментарію віддаленої лабораторії.

Наукова новизна полягає в тому що: отримав подальший розвиток метод розробки

рекомендаційної системи на основі бази знань, який відрізняється від існуючих використанням вимог до ВС в якості обмежень; вперше запропоновано методику проектування ВС на основі методів та засобів он-лайн інженерії, що пропонує використання веб-орієнтованої рекомендаційної системи та віддаленої лабораторії на етапах вибору апаратно-програмної платформи та швидкого прототипування ВС.

Практична цінність полягає в тому, що розроблене математичне, програмне та методичне забезпечення може використовуватись в практиці проектування ВС для підвищення ефективності проектних робіт та зменшення термінів проектування.

Список літератури

1. Отладочные платы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronix.ru/forum/index.php?showtopic=139462>
2. Какую платформу (arduino, raspberry, stf32) выбрать для обучения и сборки рабочего решения? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://toster.ru/q/283729>
3. IoT разработка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dou.ua/forums/topic/19262/>
4. Ардуино vs STM32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://catethysis.ru/arduino-vs-stm32/>
5. Arduino и Raspberry PI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/company/piter/blog/255701/>
6. RoboCraft [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://robocraft.ru/blog/technology/400.html>
7. How to select your next development board [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/select-next-development-board/3>
8. Choosing the right embedded development board [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/embedded-development-board>
9. Гид по выбору платформы разработки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://amperka.ru/page/development-board-guide>
10. Parkhomenko A. Complex requirements analysis for the high-level design of Embedded Systems / A.Parkhomenko, O.Gladkova // Вісник НУ "Львівська політехніка". Серія "Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика". – 2014. – №808.– с.3-9.
11. Stekh Y. Fuzzy models for recommendation systems / Y.Stekh, M.Lobur, V.Artsibasov, O.Glushko // Proceedings of the XXIII Polish-Ukrainian Conference on CAD in Machinery Design – Implementation and Educational Problems, Lviv, October 10-11, 2014. – Lviv: NU LP, 2014. - p. 155-159
12. Гладкова О.М. Дослідження рекомендаційних систем в області проектування вбудованих систем управління рухомими платформами/ О.М. Гладкова // Тези доповідей щорічної НПК викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів та студентів, Тиждень науки-2017, Запоріжжя, 18–21 квітня 2017. -Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – с.698
13. Texas Instruments [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ti.com/>
14. STM32 Open Development Environment [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.st.com/en/ecosystems/stm32-open-development-environment.html>
15. Интернет магазин "Ардуино в Украине" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino-ua.com/>
16. Электронные компоненты [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/>
17. Ricci F. Recommender Systems: Handbook / F.Ricci, L.Rokach, B.Shapira, P.B.Kantor //Springer Science+Business Media, LLC. – 2011. – 845 p.
18. Shoval P. An ontology-content-based filtering method / P.Shoval, V.Maidel, B.Shapira // International Journal of Information Theories & Applications. – 2008. – Vol.15. – p. 303-314
19. Burke R. Hybrid web recommender systems/ R. Burke // In: The Adaptive Web, Springer Berlin / Heidelberg. – 2007. – p. 377–408.
20. Manning Ch. D. Introduction to Information Retrieval / Ch. D.Manning, P. Raghavan, H. Schütze // Cambridge University Press.- 2008. — 504 p.
21. Воронцов К. В., Машинное обучение. Курс лекций [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение_\(курс_лекций%2C_К.В.Ворон-](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение_(курс_лекций%2C_К.В.Ворон-)

цов)

22. Донской В. И. Алгоритмические модели обучения классификации: обоснование, сравнение, выбор/ В. И. Донской. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2014. – 228 с.
23. Isinkaye F.O. Recommendation systems: Principles, methods and evaluation / F.O.Isinkaye, Y.O.Fo-lajimi, B.A.Ojokoh // Egyptian Informatics Journal.– 2015. – Vol. 16, Issue 3. – p. 261–273
24. Дьяконов А.Г. Алгоритмы для рекомендательной системы: технология LENKOR / А.Г. Дьяконов // Бизнес информатика. – 2012. - №1(19). – с. 32-39
25. Гомзин А.Г. Системы рекомендаций: обзор современных подходов / А.Г. Гомзин, А.В. Коршунов // Труды института системного программирования РАН . – 2012. – том 22. – с.401-417
26. O'Mahony M.P. An Evaluation of the Performance of Collaborative Filtering / M.P. O'Mahony, N.J.Hurley, G.C.M. Silvestre // Proceedings of the 14th Irish Conference on Artificial Intelligence & Cognitive Science AICS. – 2003. – p.171-175
27. П'ятикоп О.Є. Дослідження методу колаборативної фільтрації на основі близьких елементів // Наукові праці ДонНТУ, Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". – 2013. - №2 (18). – с. 109- 114
28. Amatriain X. The wisdom of the few: a collaborative filtering approach based on expert opinions from the web/ X.Amatriain, N.Lathia, J. M. Pujol, H.Kwak, N.Oliver // Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval Boston, MA, USA – July 19-23, 2009. – p. 532-539
29. Pazzani M.J. Content-Based Recommendation Systems / M.J. Pazzani, D. Billsus // SpringerLink: The Adaptive Web, LNCS. – 2007. – vol.4321. – p. 325–341
30. Tarus J. K. Knowledge-based recommendation: a review of ontology-based recommender systems for e-learning / J.K. Tarus, Z.Niu1, G. Mustafa // Artificial Intelligence Review. – 2017. – p.1-28
31. Антонова А.Ю. Об использовании мер сходства при анализе документации / А.Ю. Антонова, Э.С. Клышинский // Труды 13й Всероссийской научной конференции "Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции", Воронеж, Россия. – 2011. – с.134-138
32. Huang A. Similarity Measures for Text Document Clustering, NZCSRSC. – 2008. – p. 49 – 56.
33. Rafi M. An improved semantic similarity measure for document clustering based on topic maps / M. Rafi, M.S. Shaikh // Proceedings of 5th International Conference on Computer Engineering and Technology IC-CET'13, Vancouver, Canada, April 13-14, 2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1303/1303.4087.pdf>.
34. Parkhomenko A. Development and Application of Remote Laboratory for Embedded Systems Design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, E. Ivanov, A. Sokolyanskii, S. Kurson // International Journal of Online Engineering (iJOE). – 2015. – Vol.11. – No. 3. – p.27-31
35. Parkhomenko A. Implementation of Reusable Solutions for Remote Laboratory Development / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Ya. Zalubovskiy // International Journal of Online Engineering (iJOE). – 2016. – Vol.12. – No. 7. – p.24-29

References

1. "Debugging platforms" ["Otladochnyye platy"], available at: <https://electronix.ru/forum/index.php?showtopic=139462>
2. "What platform (arduino, raspberry, stm32) to choose for studying and project developing?" [Kakuyu platformu (arduino, raspberry, stf32) vybrat' dlya obucheniya i sborki rabocheho resheniya], available at: <https://toster.ru/q/283729>
3. "IoT developing" [IoT razrabotka], available at: <https://dou.ua/forums/topic/19262/>
4. "Arduino vs STM32" [Arduino vs STM32], available at: <http://catethysis.ru/arduino-vs-stm32/>
5. "Arduino and Raspberry PI" [Arduino i Raspberry PI], available at: <https://habrahabr.ru/company/piter/blog/255701/>
6. "RoboCraft" [RoboCraft], available at: <http://robocraft.ru/blog/technology/400.html>
7. "How to select your next development board", available at: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/select-next-development-board/3>
8. "Choosing the right embedded development board", available at: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/embedded-development-board>
9. "Guide for choosing platform for development" [Gid po vyboru platformy razrabotki], available at: <http://amperka.ru/page/development-board-guide>
10. Parkhomenko A., Gladkova O. (2014) "Complex requirements analysis for the high-level design of Embedded Systems", Visnik NU "Lviv polytechnic". Series "Computer systems and networks" [Visnyk NU "Lviv'ska politekhnika». Seriya "Komp'yuterni systemy proektuvannya. Teoriya i praktyka], №808, p.3-9
11. Stekh Y., Lobur M., Artsibasov V., Glushko O. (2014) "Fuzzy models for recommendation systems",

Proceedings of the XXIII Polish-Ukrainian Conference on CAD in Machinery Design – Implementation and Educational Problems, p. 155-159

12. Gladkova O.M. (2017) "Investigation of recommendation systems in the field of embedded system design for mobile platforms control", [Doslidzhennya rekomendatsiynykh system v oblasti proektuvannya vbudovanykh system upravlinnya rukhomymy platformamy], Proceedings of the annual scientific conference of teachers, researchers, young scientists, graduate students and students [Tezy dopovidey shchorichnoyi NPK vykladachiv, naukovtsiv, molodykh uchenykh, aspirantiv ta studentiv], p.698

13. "Texas Instruments", available at: <http://www.ti.com/>

14. "STM32 Open Development Environment", available at: <http://www.st.com/en/ecosystems/stm32-open-development-environment.html>

15. "Internet shop Arduino in Ukraine" [Internet magazin Arduino v Ukraine], available at: <https://arduino-ua.com/>

16. "Electronic components" [Elektronnyye komponenty], available at: <http://www.kosmodrom.com.ua/>

17. Ricci F., Rokach L., Shapira B., Kantor P.B. (2011), "Recomender Systems: Handbook", Springer Science+Business Media, LLC, 845 p.

18. Shoval P., Maidel V., Shapira B. (2008) "An ontology-content-based filtering method", International Journal on Information Theories & Applications, Vol.15, p. 303-314

19. Burke R. (2007) "Hybrid web recommender systems", The Adaptive Web, Springer Berlin/Heidelberg, p. 377-408.

20. Manning Ch. D., Raghavan P., Schütze H. (2008) "Introduction to Information Retrieval", Cambridge University Press, 504 p.

21. Vorontsov K. V., "Machine learning. Course of lectures" [Mashinnoye obucheniye. Kurs lektsiy], available at: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение_\(курс_лекций_%2C_K.B.Воронцов\)](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение_(курс_лекций_%2C_K.B.Воронцов))

22. Donskoy V. I. (2014) "Algorithmic models of classification training: substantiation, comparison, choice" [Algoritmicheskiye modeli obucheniya klassifikatsii: obosnovaniye, sravneniye, vybor], Simferopol, DI-AYPI, 228 p.

23. Isinkaye F.O., Folajimi Y.O., Ojokoh B.A. (2015) "Recommendation systems: Principles, methods and evaluation", Egyptian Informatics Journal, Vol. 16, Issue 3, p. 261-273

24. Dyakonov A.G. (2012) "Algorithms for the recommendation system: LENKOR technology" [Algoritmy dlya rekomendatel'noy sistemy: tekhnologiya LENKOR], Business informatics [Biznes informatika], №1(19), p. 32-39

25. Gomzin A.G., Korshunov A.V. (2012) "System recommendations review, modern approaches" [Sistemy rekomendatsiy: obzor sovremennykh podkhodov], Proceedings of the Institute of System Programming of the Russian Academy of Sciences [Trudy instituta sistemnogo programmirovaniya RAN], vol. 22, p.401-417

26. O'Mahony M.P., Hurley N.J., Silvestre G.C.M. (2003) "An Evaluation of the Performance of Collaborative Filtering", Proceedings of the 14th Irish Conference on Artificial Intelligence & Cognitive Science AICS, p.171-175

27. Pyatykop O.E. (2013) "Investigation of Collaborative Filtration Method Based on Close Elements" [Doslidzhennya metodu kolaboratyvnoyi fil'tratsiyi na osnovi blyz'kykh elementiv], Scientific Papers of DonNTU, Series "Informatics, Cybernetics and Computer Science" [Naukovi pratsi DonNTU, Seriya "Informatyka, kibernetyka ta obchyslyval'na tekhnika], №2 (18), p. 109- 114

28. Amatriain X, Lathia N., Pujol J. M., Kwak H., Oliver N. (2009) "The wisdom of the few: a collaborative filtering approach based on expert opinions from the web", Proceeding SIGIR '09 Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, Boston, MA, USA, p. 532-539

29. Pazzani M.J., Billsus D. (2007) "Content-Based Recommendation Systems", SpringerLink: The Adaptive Web, LNCS, vol.4321, p. 325-341

30. Tarus J.K., Niu1 Z., Mustafa G. (2017) "Knowledge-based recommendation: a review of ontology-based recommender systems for e-learning", Artificial Intelligence Review, p.1-28

31. Antonova A.Yu. Klyshinsky E.S. (2011) "About similarity measures in the analysis of documentation" [Ob ispol'zovanii mer skhodstva pri analize dokumentatsii], Proceedings of the 13th All-Russian Scientific Conference on Electronic Libraries: Perspective Methods and Technologies, Digital Collections [Trudy 13y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii "Elektronnyye biblioteki: perspektivnyye metody i tekhnologii, elektronnyye kolleksii], Voronezh, Russia, p.134-138

32. Huang A. (2008) "Similarity Measures for Text Document Clustering", NZCSRSC, p. 49 – 56.

33. Rafi M., Shaikh S.M. (2013) "An improved semantic similarity measure for document clustering based on topic maps", Proceedings of the 5th International Conference on Computer Engineering and Technology ICCET'13, Vancouver, Canada, available at: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1303/1303.4087.pdf>.

34. Parkhomenko A., Gladkova O., Ivanov E., Sokolyanskii A., Kurson S. (2015) "Development and Application of Remote Laboratory for Embedded Systems Design", International Journal of Online Engineering (iJOE), Vol.11, No. 3, p.27-31

35. Parkhomenko A., Gladkova O., Sokolyanskii A., Shepelenko V., Zalubovskiy Y. (2016) "Implementation of Reusable Solutions for Remote Laboratory Development", International Journal of Online Engineering (iJOE), Vol.12, No. 7, p.24-29

Надійшла до редакції 15.11.2017

О.Н. ГЛАДКОВА, А.В.ПАРХОМЕНКО

Запорожский национальный технический университет (Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОМЕНДАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫБОРА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ

Предложена методика проектирования встроенных систем на основе методов и средств онлайн инженерии. Представлена веб-ориентированная рекомендационная система, позволяющая на основе добытых из модели требований к проектируемой встроенной системы данных выполнить поиск информации в базе знаний и сформировать рекомендации по использованию готовой аппаратно-программной платформы. Разработанная рекомендационная система является составляющей удаленной лаборатории проектирования встроенных систем RELDES, с помощью которой выполняется быстрое прототипирование встроенной системы на основе удаленных экспериментов.

Ключевые слова: рекомендационная система, встроенная система, аппаратно-программные платформы, модель требований, удаленная лаборатория, быстрое прототипирование.

O.N. GLADKOVA, A.V.PARKHOMENKO

Zaporizhzhya National Technical University (Ukraine)

RESEARCH AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF RECOMMENDATION SYSTEM FOR THE SELECTION OF HARDWARE-SOFTWARE PLATFORMS FOR THE EMBEDDED SYSTEMS COMPUTER AIDED DESIGN

Due to the increasing complexity and the reduction of design time in the field of embedded systems, it is necessary to implement new approaches that will help to solve these problems. The reuse methodology is one of such approach. Nowadays there are a lot of hardware/software platforms producers offer their products. So, the access to a huge variety of solutions is open to the user. Because of this diversity, the time that is spent on the selection of the right platform increases significantly, which leads to the design time is slowing down. Thus it isn't effective.

One solution to the problem of information redundancy in the field of hardware and software platforms for developing embedded systems is the recommendation system that will give the user the recommendations about the platform, depending on user requirements. Research has shown that recommendation systems are used in various areas to provide recommendations on music, movies, books, electronic products, news, and web-pages. However, there is a lack of recommendation systems for the choice of hardware-software platforms. Overall, online sales resources of electronic components already offer information which filtered to the groups, such as development platforms, shields, sensors, etc.

Methods of recommendation systems developing were investigated. Based on these investigations, the improvement of a knowledge-based method is proposed. User requirements for the embedded system are used as constraints. Thus, the concept of the recommended system is: building a knowledge base of hardware-software platforms for the embedded system development; formulation of the embedded system requirements model; development of tools for obtaining user requirements and finding recommendations.

The paper proposes the technique for embedded systems design based on methods and tools of online engineering. Furthermore, a web-based recommendation system is presented. It allows to search the information in the knowledge base based on the data that extracted from the model of requirements for the embedded system. After that, the recommendation about the necessary hardware-software platform is generated. This recommendation system is part of the RELDES - remote laboratory of embedded systems design. With the help of this laboratory, a rapid prototyping of the embedded system performs based on remote experiments.

Key words: recommendation system, embedded system, hardware-software platforms, requirements model, remote lab, rapid prototyping.