

## ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ МУЛЬТИАГЕНТНОЮ ІНФОРМАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ НА ОСНОВІ BLE-ПРИСТРОІВ

У статті розглянуті методи вирішення проблем при створенні бездротових мереж на основі BLE (Bluetooth Low Energy) пристроїв. Досліджено алгоритми пошуку асоціативних правил формування сукупності товарів споживчого кошику, що базуються на зацікавленості клієнтів торговельних корпорацій у короткостроковому періоді. Описаний процес розробки апаратної реалізації автономного інформаційного пристрою зі зменшеними габаритами. Практичне значення виконаної роботи полягає у підвищенні інформованості покупця про товари та пришвидшення процесу оформлення транзакцій на касі.

**Ключові слова:** мультиагентні системи; асоціативні правила; Apriori; FPG; машинне навчання; BLE-пристрій; Arduino Uno; Arduino Micro.

### Постановка проблеми

Актуальність роботи обумовлена комп'ютеризацією суспільства, збільшенням необхідності бути проінформованим користувачем за рахунок нарощенням присутності електроніки в повсякденному житті з метою полегшення [1].

Об'єкт дослідження – алгоритми пошуку асоціативних правил формування сукупності товарів споживчого кошику, в яких будуть зацікавлені клієнти торговельних корпорацій у короткостроковий період.

Предметом дослідження є програмний комплекс інформаційної системи для аналізу даних отриманих з незалежних BLE-пристроїв та їх апаратна реалізація. Апаратна реалізація BTLE-пристрою з вбудованими функціями інформаційної системи має дозволяти організацію мережі. Наступним кроком після проектування апаратної частини є побудова інформаційної системи, яка аналізує дані отримані із незалежних BTLE-пристроїв, що розташовані в торговельному комплексі.

Мета роботи – удосконалення алгоритмів пошуку асоціативних правил для формування списку товарів споживацького кошику на основі даних розробленої незалежної інформаційної системи з використанням BLE-пристроїв та аналізу клієнтської активності торговельних комплексів. Задачею є розробка програмних додатків для користувачів з метою підвищення їх проінформованості та адміністратора з метою накопичення та аналізу даних про купівельну мотивацію. Важливою задачею є апаратна реалізація інформацій-

ного пристрою з метою зменшення габаритів та збільшення часу роботи в автономному режимі.

Задачею роботи є створення BLE-пристрою як незалежного компонента, який буде надавати інформацію користувачу. Такі прилади є універсальними, їх можна впровадити в будь-яку із сфер життя, спростивши процес донесення інформації до людини. Апаратний Bluetooth модуль підключається до Arduino через Serial інтерфейс, а карта пам'яті по інтерфейсу SPI, таким чином ми без складних допоміжних схем можемо одночасно підключити обидва пристрої до Arduino.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження сучасних вчених аргументують те, що для об'єднання повсякденних бездротових компонентів в мережу нам потрібні такі технології:

- для ідентифікації кожного з об'єктів потрібна проста, компактна технологія. Тільки за наявності системи унікальної ідентифікації можна збирати і збирати інформацію про кожен предмет. Такий функціонал можна забезпечити за допомогою RFID або QR-кодів. Для визначення більш точного місця знаходження речі може підійти технологія GPS;
- для відстеження змін у стані елементів об'єкти повинні оснащуватися певними сенсорами;
- для обробки та накопичення всіх даних з сенсорів має бути використовуваний вбудований комп'ютер, наприклад Raspberry Pi, Intel Edison;
- для обміну між пристроями інформацією можуть бути використані багато технологій бездротових мереж (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee).

Вже є рішення, здатні об'єднати різні пристрої і різні програмні комплекси в єдину систему. Для цього необхідні певні API, які здатні описувати логіку процесу, стани об'єктів цього процесу та може базуватись на теорії кінцевих автоматів. [2].

Впровадження інформативності в сучасну торговельну систему призведе до розвитку автоматизації процесу товароруку, прискорення обслуговування клієнтів, створить сприятливі умови для аналізу транзакцій покупців. З метою прискорення процесу товароруку, скорочення часу надання послуг у торгівлі та підвищення якості обслуговування населення на перший план висувається завдання механізації та автоматизації праці в торгівлі, особливо в роздрібній. Застосування техніки дає можливість доводити продукти харчування до споживача в більш короткий термін, із збереженням якості.

Механізація і автоматизація праці в роздрібній торгівлі має велике соціально-економічне значення в зв'язку зі скороченням трудомістких робіт і мало-кваліфікованої праці. Підвищення рівня механізації веде до полегшення праці торгових працівників, зниженню витрат обігу, підвищенню оборотності товарів, скороченню товарних втрат, зменшення часу простою автотранспорту, підвищенню коефіцієнта використання торговельних і складських приміщень магазинів, вдосконалення якості обслуговування покупців і скорочення їх часу, що витрачається на придбання товарів.

Новітні пристрої, так звані «інформаційні мітка», можуть обмінюватися з будь-якими іншими пристроями цифровою інформацією. Інформаційна мітка являє собою автономний пристрій з маленькими габаритами (приблизні розміри приладу 3 x 5 x 10 см), який дає вільний доступ до записаної в нього інформації всім сучасним пристроям на яких встановлена одна за перелічених далі ОС: Android, iOS, Windows Phone, Vaba, Symbian; WebOS, Ubuntu Touch, Firefox OS. Концепція «Інформаційних міток» має великі перспективи для розвитку у сфері торгівлі.

#### Формулювання цілей статті

Ідея полягає в тому, щоб розмістити в кожній вітрині магазину (супермаркету, гіпермаркет, супермаркет) інформаційну мітку, на якій записана інформація про всі, розміщені на цій вітрині. Користувач може з легкістю прочитати детальну інформацію про будь-який продукт за допомогою свого мобільного пристрою. Клієнту пропонується інформація про склад продукту, адреси потужностей виробництва, фірму імпортера, ціна товару, технічні характеристики тощо.

Покупець має можливість додати до «електронної кошика» товар, який він бажає придбати і просто взяти його з полиці магазину [3]. А на касі просто відправити касиру зміст свого «кошика». В касира автоматично формується транзакція, покупець залишається лише оплатити покупки (наприклад за допомогою терміналу). Також продавці-консультанти можуть дізнаватись скільки товарів було взято покуп-

цями з полиць, а це дає можливість завжди вчасно викладати нові товари на полиці магазину.

Такий підхід дозволяє повністю автоматизувати процес купування будь-яких товарів у магазинах та відмовитися від необхідності роботи касирів, а це зменшить витрати на утримання магазинів, отже і цін товарів. Оскільки кожна інформаційна мітка являє собою окремих Bluetooth пристрій, і такі пристрої розміщені у кожній вітрині, утворюється певна Bluetooth мережа. За допомогою мережі Bluetooth пристроїв можна відносно точно позиціонувати клієнта в межах магазину, це дозволяє забезпечити Indoor навігацію. Bluetooth мережа може складатися з багатьох підмереж, що мають назви Bluetooth пікомереж.

Основним принципом дії Bluetooth мережі є функціонування пікомереж, яка об'єднує кілька пристроїв. Найбільш простим різновидом пікомережі є сукупність двох пристроїв – головного «master» (мобільний прилад покупця) і веденого «slave» (інформаційна мітка у вітрині). Головний пристрій ініціює і підтримує зв'язок між пристроями.

#### Виклад основного матеріалу

Для створення мережі було вирішено розробити апаратні елементи, що використовують Bluetooth для обміну даними. При цьому частотний діапазон 2,42–2,48 ГГц, потужність передавача 100 мВт, радіус дії 10 м та велика кількість вузлів потенційної мережі були достатніми умовами задачі. Швидкість передачі Bluetooth 4.0, аналогічно Bluetooth 3.0, може бути до 25 Мбіт/с, що є достатнім для вирішення поставлених задач в порівнянні з Wi-Fi, яка декларує швидкість передачі даних до 250 Мбіт/с. Обидва Bluetooth 4.0 і Wi-Fi використовують мережевий стандарт 802.11, щоб досягти своїх максимальних швидкостей та алгоритми шифрування AES.

Bluetooth модуль підключається до Arduino через Serial інтерфейс, а карта пам'яті по інтерфейсу SPI, таким чином ми без допомоги складних додаткових схем можемо одночасно підключити обидва пристрої до Arduino [4], як зображено на рис. 1. Micro SD модуль був апаратно підключений по SPI. В даній варіації Micro SD модуль буде являти собою slave-пристрій. SPI забезпечуватиме передачу великої кількості даних з достатньою швидкістю. На платі Arduino Uno були задіяні: цифровий pin13 (SCK), pin12 (MISO) та pin 11 (MOSI), pin4 для кола 'chip/slave select' (SS).

Ефективність алгоритму передачі SPI та широке розповсюдження використання в різних електронних пристроях зумовило застосування в апаратній реалізації автономного BLE пристрою. SPI є повнодуплексною шиною. Швидкість роботи шини лежить у діапазоні 1–50 МГц. В апаратній реалізації Serial інтерфейс використовувався для підключення BT модуля.

Друкована плата пристрою, що розробляється, має один послідовний порт (UART / Serial). Для обміну даними Serial використовуються цифрові порти вводу/виводу 0 (RX) та 1 (TX). Швидкість запису даних на інформаційний BLE пристрій була встановлена експериментально досліджена та зображена у табл. 1.

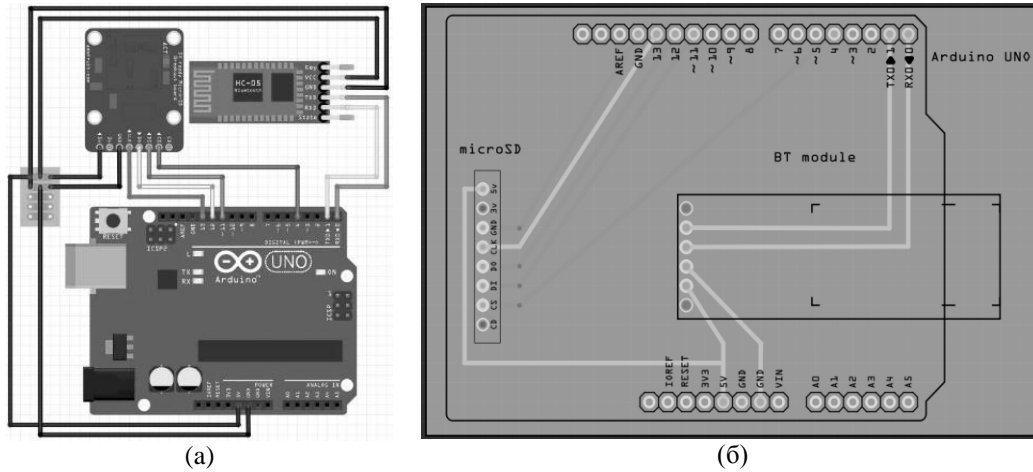


Рис. 1. Схематичний ескіз (а) та друкована плата (б) BLE пристрою

Таблиця 1

**Час необхідний для завантаження даних на BLE пристрій**

Обсяг інформації, byte	Час запису, ms	Час зчитування, ms
1	25	2
256	35	11
1024	66	39

Час запису інформації  $T$  розраховується за формулою  $T = V_{in} \cdot \frac{t}{V_n}$ , де:  $V_{in}$  – об’єм інформації,  $V_n$  – номінальний об’єм,  $t$  – час запису номінального об’єму. Досліджуваний прототип BLE пристрою демонстрував час передачі зображення розміром 800 x 600 пікселів, який дорівнював  $T = 5$  секундам, а текстової інформації менше 1 секунди. Існують методи прискорення цього процесу, наприклад обхід фай-

лової системи, або зменшення розміру переданої інформації.

Для зменшення габаритів доцільно використовувати Arduino-сумісну плату Arduino Micro. Також однією з причин такої заміни є зменшення енергоспоживання. У розробленому BLE пристрої  $U = 3,3V$  та  $I = [20mA, 50mA]$ . Для передачі 9 біт (одного символу і start-біта) витрачається від 66 mW до 165 mW. Порівняння енергоспоживання BLE та аналогічних технологій наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Таблиця енергоспоживання бездротових компонентів при передачі даних**

	BLE	Wi-Fi	ZigBee
Sleep	$8 \cdot 10^{-6} W$	$10 \cdot 10^{-6} W$	$4 \cdot 10^{-6} W$
Receive (Rx) Power	$28.5 \cdot 10^{-3} W$	$90 \cdot 10^{-3} W$	$84 \cdot 10^{-3} W$
Transmit (Tx) Power	$28.5 \cdot 10^{-3} W$	$350 \cdot 10^{-3} W$	$72 \cdot 10^{-3} W$
Avg. power per 10 messages per day	$50 \cdot 10^{-6} W$	$500 \cdot 10^{-6} W$	$414 \cdot 10^{-6} W$

З табл. 2 видно що технологія використана для автономного інформаційного пристрою є виправданою. Напрями вдосконалення апаратної реалізації розроблювального BLE пристрою зумовлені головними відмінностями Arduino Micro та Uno є:

1. Єдиний процесор – і для виконання програм, і для зв’язку по USB. Micro відрізняється від інших моделей Arduino, насамперед, тим, що в ній для виконання всіх функцій використовується один мікроконтролер – і для виконання програм, і для взаємодії з комп’ютером по інтерфейсу USB. У Arduino Uno та інших моделях для виконання цих двох функцій використовуються різні мікроконтролери, відповідно, USB-з’єднання з комп’ютером завжди залишається активним, незалежно від поточного стану головного мікроконтролера.

2. Визначення порту при перезавантаженні плати. У складі пристрою немає окремої мікросхеми, яка обслуговує послідовний зв’язок, тому використовувани послідовні порти є віртуальним – як в операційній системі ПК, так і на самому пристрої. При

запуску завантажувача, Micro автоматично створює екземпляр класу для роботи з послідовним інтерфейсом, точно так само, як комп’ютер створює екземпляр драйвера послідовного порту при підключенні Arduino. В системі підключена плата є екземпляром спеціального класу драйвера для роботи з USB (Connected Device Class – CDC). Така організація призводить до того, що при кожному перезавантаженні плати, USB-з’єднання з комп’ютером буде розриватися і встановлюватися знову.

3. Відсутність перезавантаження при відкритті послідовного порту. На відміну від Arduino Uno, Arduino Micro не перезавантажує завантажений скетч при кожному відкритті послідовного порту на комп’ютері. Це означає, що комп’ютер не отримує дані, відправлені платою до відкриття в операційній системі послідовного порту (у тому числі, наприклад, дані, що відправляються в блоці setup ()).

4. Роздільне функціонування USB и UART. У Arduino Micro, основний клас Serial асоційований з драйвером віртуального послідовного порту для з’єд-

нання з комп'ютером через USB. Фізично він не з'єднаний з виводами 0 і 1, як це зроблено на платах Arduino Uno і в більш старих версіях. Для звернення до апаратного послідовного порту (виводів 0 і 1, RX і

TX) використовується клас Serial1. Відмінності у розміщенні контактів вдосконаленого пристрою зображені на рис. 2.

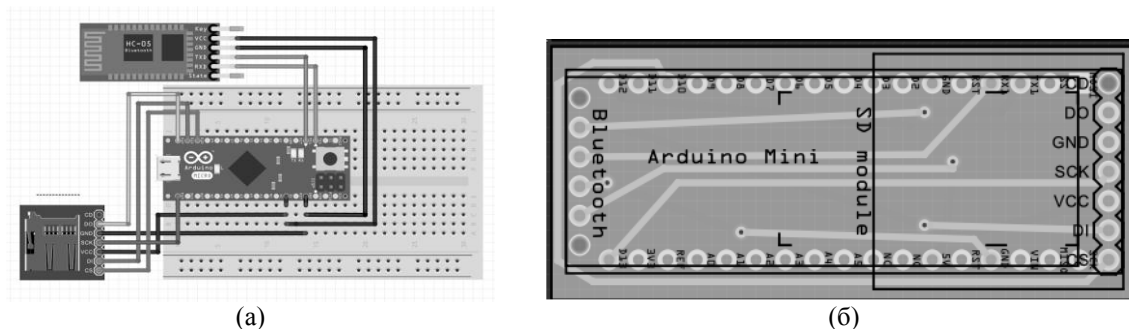


Рис. 2. Вдосконалена апаратна реалізація BLE пристрою, схематичний ескіз (а) та друкована плата (б)

Мережа BLE пристроїв накопичує дані в БД, яка містить у собі транзакції торговельної компанії. Кожен запис бази даних – список придбаних покупцем товарів одним платежем. Цей платіж (транзакція) називається ринковим кошиком. Нехай  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_n\}$  – сукупність товарів кількістю  $n$ . Нехай  $R$  – множина

транзакцій  $R = \{T_1, T_2, T_r, \dots, T_m\}$ , в якій кожен об'єкт  $T$  – це вибірка товарів із  $E$ . При цьому  $T = \{e_j \mid e_j \in E\}$  [5].

У торговельній сфері такими об'єктами є товари, представлені в прайс-листі, який надано замовником у зашифрованому вигляді (табл. 3).

Таблиця 3

Ідентифікатори товарів, надані замовником

Ідентифікатор	Назва товару	Ціна
0	product a23	15
1	product b52	20
2	product c67	32
3	product d98	8
4	product e15	55

Вони відповідають такій сукупності об'єктів:  $E = \{product a23, product b52, product c67, product d98, product e15\}$ .

Прикладами транзакцій можуть бути  $T_1 = \{product a23, product c67\}$ ,  $T_2 = \{product b52, product d98, product e15\}$ .

Множину транзакцій до яких належить об'єкт  $i_j$ , позначимо таким чином:

$$R_{i_j} = \{T_r \mid e_j \in T_r; j = 1..n; r = 1..m\} \subseteq R$$

Нехай множина  $R$  представлена таким чином (табл. 4).

Таблиця 4

Транзакції товарів

Номер транзакції	Номер товару	Назва товару	Ціна, грн
15554	1	Product b52	20
15554	2	Product c67	32
15554	4	Product e15	55
15555	3	Product d98	8
15555	3	Product d98	8
15555	2	Product c67	32
15556	0	Product a23	15
15556	1	Product b52	20
15556	4	Product e15	55

У цьому прикладі, множина транзакцій, яка вміщає в собі об'єкт product b52, представляє собою наступну множину:

$$R(product\ b52) = \{ \{ product\ b52, product\ c67, product\ e15 \}, \{ product\ a23, product\ b52, product\ e15 \} \}.$$

Довільну вибірку елементів (itemset) позначимо так:  $C = \{e_j \mid e_j \in E; j = 1..n\}$ ; наприклад  $C = \{product\ e15, product\ b52\}$ . Набір, до якого належить  $k$  елементів, називається  $k$ -елементним набором. Сукуп-

ність транзакцій, яким належить вибірка  $C$ , позначимо наступним чином:

$$R_C = \{T_r \mid C \subseteq T_r; r = 1..m\} \subseteq R; \quad (1)$$

В даному прикладі:

$$R(product\ b52, product\ e15) = \{ \{ product\ b52, product\ c67, product\ e15 \}, \{ product\ a23, product\ b52, product\ e15 \} \}.$$

Співвідношення транзакцій, яким належить  $C$  і загальної кількості транзакцій, називається підтримкою (support) вибірки  $C$  і позначається  $Supp(C)$ :

$$Supp(C) = \frac{|R_C|}{|R|}; \quad (2)$$

Для вибірки  $\{product\ b52, product\ e15\}$  підтримка буде становити 0,67, оскільки ця вибірка належить двом транзакціям, а всього транзакцій три. При пошуку вибірок, які цікавлять аналітика він може вказати мінімальне значення підтримки цих наборів  $Supp_{min}$ . Коли величина підтримки вибірки більша ніж мінімальне задане значення ( $Supp(C) > Supp_{min}$ ), набір називається частим.

При встановленні асоціативних правил треба визначити сукупність усіх частих наборів  $K = \{C \mid Supp(C) > Supp_{min}\}$ . Виходячи з даного приклада при  $Supp_{min} = 0,6$ , частими вибірками є такі:  $\{product\ b52\} Supp_{min} = 0,67$ ,  $\{product\ e15\} Supp_{min} = 0,67$ ,  $\{product\ c67\} Supp_{min} = 0,67$ ,  $\{product\ b52, product\ e15\} Supp_{min} = 0,67$ .

Рішення задачі пошуку асоціативних правил, як і будь-якої задачі, зводиться до обробки вхідних даних і отримання результатів. Результати, одержані при вирішенні даної задачі, прийнято представляти у вигляді асоціативних правил. У зв'язку з цим у їх пошуку виділяють два етапи: пошук вибірок елементів, які часто зустрічаються та встановлення асоціативних правил виходячи з отриманих частих наборів.

Асоціативні правила мають такий вигляд: *якщо (умова), то (результат)*, де умова – зазвичай не логічне вираження (як у класифікаційних правилах), а набір елементів з множини  $E$ , з яким пов'язані (асоційовані) об'єкти, входять до результату правила. Приклад: асоціативне правило: «*якщо (product a23, product b52), то (product e15)*» означає, що якщо споживач купує *product a23* і *product b52*, то він купує і *product e15*. Асоціативні правила легкі для сприйняття людиною, і це є їх перевагою, також їм притаманна проста інтерпретація мовами програмування. Проте вони не завжди бувають корисними. Крім корисних та тривіальних категорій асоціативних правил є такі види правил як незрозумілі правила. Вони містять у собі ту інформацію, що не пояснювана. Підставою для отримання таких закономірностей можуть виступати аномальні значення чи приховані знання. Такі правила зазвичай для прийняття рішень використовувати не можна, тому що їх нез'ясовність може призвести до непередбачуваних результатів. Для кращого розуміння потрібен додатковий аналіз.

Основою для асоціативних правил є часті вибірки. Так закономірності, побудовані на підставі сукупності  $S$ , є можливими комбінаціями об'єктів, що входять у нього. Наприклад, для набору  $\{product\ b52, product\ c67, product\ e15\}$ , можуть бути побудовані такі правила:

*якщо (product b52), то (product c67); якщо (product b52), то (product e15); якщо (product b52), то (product c67, product e15);*

*якщо (product c67), то (product b52); якщо (product c67), то (product e15); якщо (product c67), то (product b52, product e15);*

*якщо (product e15), то (product b52); якщо (product e15), то (product c67); якщо (product e15), то (product b52, product c67);*

*якщо (product b52, product c67), то (product e15); якщо (product b52, product e15), то (product c67); якщо (product c67, product e15), то (product b52);*

Отже, набір асоціативних правил може містити в собі надзвичайно велику їх кількість і бути важким для розуміння людиною. До того ж, не всі з побудованих правил несуть у собі корисну інформацію. Для оцінки їх корисності вводиться термін підтримка (support) – показує, скільком відсоткам транзакцій притаманне це правило. Оскільки основою для правила є вибірки, то, значить, правило  $V \Rightarrow W$  має підтримку, рівну підтримці набору  $C$ , який складають  $V$  і  $W$ :

$$Conf_{V \Rightarrow W} = Supp_C = \frac{|R_{C=V \cup W}|}{|R|}; \quad (3)$$

Очевидно, що цілком однакове значення підтримки у правил, які будуються на основі однієї і тієї ж вибірки. Термін достовірність (confidence) – показує ймовірність того, що з наявності в транзакції вибірки  $V$  слідує присутність у ній набору  $W$ . Достовірністю правила  $V \Rightarrow W$  є співвідношення транзакцій, які містять  $V$  і  $W$ , і транзакцій, до яких входить вибірка  $V$ :

$$Conf_{V \Rightarrow W} = \frac{|R_{C=V \cup W}|}{|R_V|} = \frac{Supp_{V \cup W}}{Supp_V} < Supp_W; \quad (4)$$

Очевидно, що зі збільшенням достовірності, буде покращуватися якість правила. У правил, які побудовані на основі однієї і тієї ж вибірки, достовірність може відрізнятись. Достовірність не дає змогу визначити корисність правила. Якщо відсоток присутності у транзакціях вибірки  $W$  за наявності в ній набору  $V$  менше, ніж відсоток присутності вибірки  $W$ , то випадково вгадати наявність у транзакції набору  $W$  більш вірогідно, ніж виявити це за допомогою правила  $V \Rightarrow W$ .

Термін поліпшення (improvement) – показує, чи корисніше правило, ніж випадкове вгадування. Поліпшення правила є співвідношенням транзакцій, яким належать вибірки  $V$  і  $W$ , до добутку транзакцій у яких присутня вибірка  $V$ , та транзакцій, що містять набір  $W$ :

$$Conf_{V \Rightarrow W} = \frac{|R_{C=V \cup W}|}{|R_V \parallel R_W|} = \frac{Supp_{V \cup W}}{Supp_V \cdot Supp_W}; \quad (4)$$

Наприклад,  $impr$  (якщо (product b52, product e15), і (product c67) =  $0,67 / (0,67 * 0,67) = 1,49$ . Якщо поліпшення перевищує одиницю, це означає, що з використанням правила передбачити наявність набору  $W$  імовірніше, ніж випадково вгадати, і навпаки. В останньому випадку можна використати негативне правило, тобто правило, яке пророкує відсутність набору  $W$ :  $V \Rightarrow$  не  $W$ . Щоправда, на практиці такі правила мало застосовні. Наприклад, правило: «якщо (product c67, product b52), то не (product e15)» мало корисна, оскільки слабо відображає поведінку покупця.

Дані оцінки використовуються при генерації правил. Аналітик під час визначення правил задає мінімальні значення перерахованих величин. До кінцевого набору правил, які є рішенням до задачі, не включаються ті, що не задовольняють зазначеним умовам. Виходить, що не можна поєднувати різні правила, навіть якщо вони мають спільне смислове

навантаження. Наприклад, такі правила:  $V = \{e_1, e_2\} \Rightarrow W = \{e_3\}$ ;  $V = \{e_1, e_2\} \Rightarrow W = \{e_4\}$  не можна поєднати в одне  $V = \{e_1, e_2\} \Rightarrow W = \{e_3, e_4\}$ , адже достовірності у них будуть різні, а отже можуть бути видалені, а деякі – ні.

Алгоритм Аргіогі базується на властивості антимонотонності. Пошук частих наборів об'єктів – процес, що породжує необхідність великого об'єму ресурсів для обчислення, а отже і часових затрат. Можливий спосіб вирішення цієї задачі – аналіз всіх потенційних комбінацій елементів. Для цього необхідно  $O^{|E|}$  операцій, де  $|E|$  – кількість об'єктів над якими проводять операції.

В алгоритмі Аргіогі застосована така властивість: мінімальна підтримка підмножини сукупності повинна бути завжди вищою або рівною підтримці цієї сукупності. Наприклад, підтримка вибірок  $\{Product\ a23, Product\ b52\}$ ,  $\{Product\ a23, Product\ e15\}$ ,  $\{Product\ b52, Product\ e15\}$  буде завжди вищою, а бо рівною підтримці сукупності  $\{Product\ a23, Product\ b52, Product\ e15\}$ . Річ у тім, що транзакція, котра містить  $\{Product\ a23, Product\ b52, Product\ e15\}$ , також

повинна містити  $\{Product\ a23, Product\ b52\}$ ,  $\{Product\ a23, Product\ e15\}$ ,  $\{Product\ b52, Product\ e15\}$ , причому зворотне твердження не правильне. Така властивість називається анти-монотонністю і використовується для зменшення простору пошуку. Якби її не існувало, то пошук багатоеlementних вибірок був би практично не можливим, тому що стрімко зростали б обчислення. Антимонотонність можна визначити по іншому: якщо розмір набору об'єктів зростає, то підтримка не змінюється, або ж зменшується. З усього вищесказаного випливає, що деяка  $n$ -elementна сукупність буде часто повторюваною лише за умови, що всі її  $(n-1)$ -elementні підмножини будуть часто повторюваними.

Усі потенціальні вибірки об'єктів з  $E$  можна представити решіткою, котра починається з порожньої множини, за нею ідуть 1-elementні вибірки, потім 2-elementні і т. д. На  $n$  рівні решітки представлені  $n$ -elementні вибірки, пов'язані з усіма своїми  $(n-1)$ -elementними підмножинами. Модифікований алгоритм Аргіогі зображений на рис. 3.

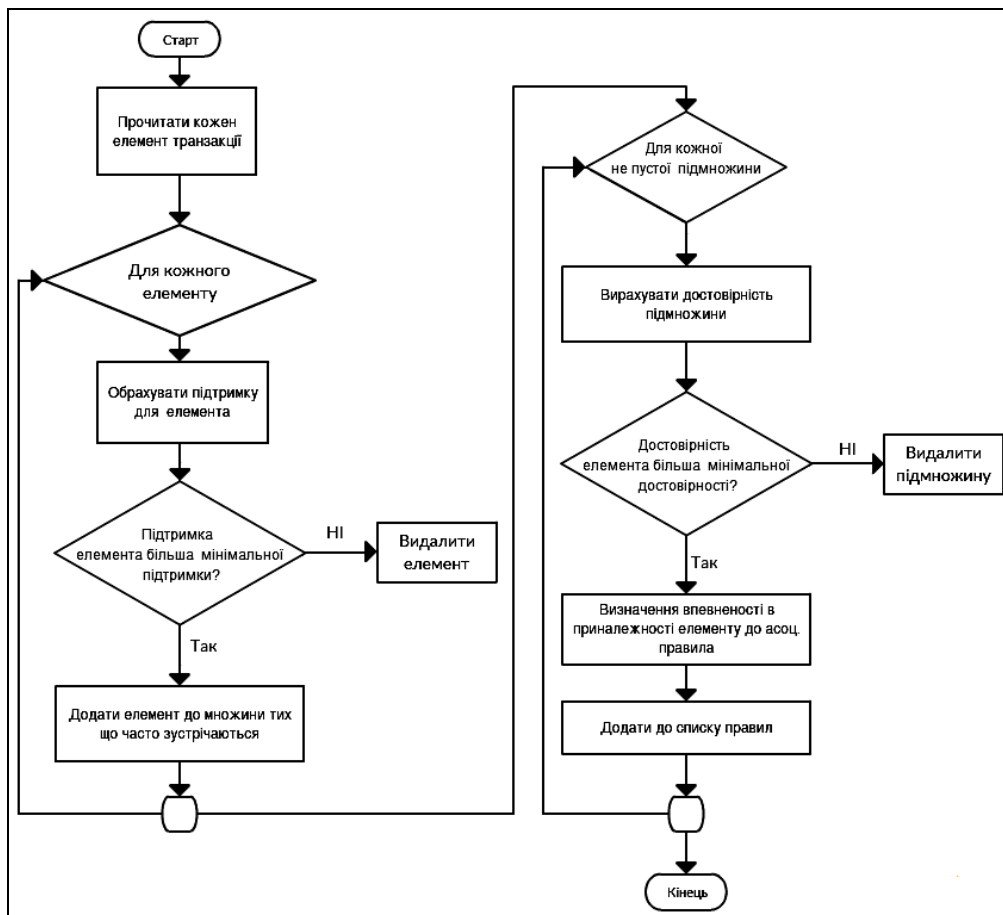


Рис. 3. Алгоритм Аргіогі з урахуванням впевненості приналежності товару до асоціативного правила

Мультиагентна архітектура програмного продукту дозволяє розглядати BLE пристрої вітрин торговельного комплексу та мобільні додатки як агентів, взаємодія яких та ролі є динамічними [6; 7] і направлена на дрейфування даних про активність користувачів до BLE пристроїв синхронізації з БД торговельного комплексу (рис. 4). Підчас передачі

даних використовується пам'ять мобільного пристрою для перенесення попередніх даних інших клієнтів до наступного BLE пристрою доти доки не дістантись каси і виконати повна синхронізація даних про власну та загальну купівельну активність накопичену в бездротовій мережі.

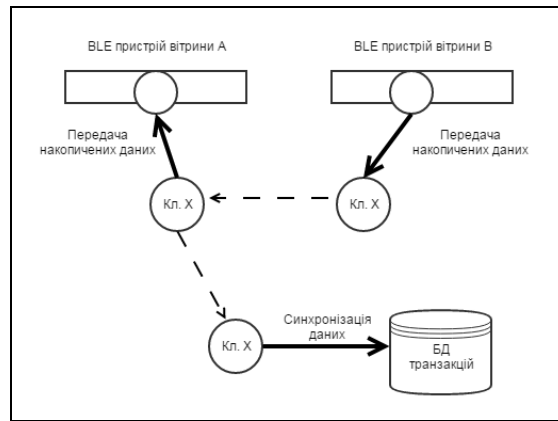


Рис. 4. Переміщення клієнта (Кл. X) та трансферування даних бездротовою MAC

Після того як була зчитана база даних транзакцій, для кожного елемента вираховується підтримка, яка потім порівнюється з мінімальною підтримкою, що була встановлена аналітиком. Якщо підтримка більша, то елемент додається до множини тих, що часто зустрічаються. Ця операція повторюється для всіх елементів записів бази даних. Для утворених не пустих підмножини вираховується достовірність, яка потім порівнюється з мінімальною достовірністю, встановленою аналітиком.

Класичний алгоритм Apriori виконує аналіз лише на основі фактичних транзакцій клієнта. Мережа, яку

$$Conf_{V \Rightarrow \{W, S\}} = \frac{|R_{C=V \cup W}|}{|R_V|} + \frac{|R_{C=V \cup S}|}{|R_V|} = \frac{Supp_{V \cup W}}{Supp_V} + \frac{Supp_{V \cup S}}{Supp_V} < Supp_W + Supp_S; \quad (5)$$

Ці причини можуть бути усунені маркетинговим агентом торговельного підприємства, завдяки асоціативним правилам, що надані вдосконаленим алгоритмом Apriori. Формування отриманих асоціативних правил відбувається на основі співставлення множини елементів переглядів та множини елементів транзакцій.

**Висновки**

У результаті виконання роботи розроблено робочі програмні додатки для клієнтів та аналітиків (рис. 5).

можна побудувати на основі запропонованих BLE-пристроїв, дає можливість сформувати список переглядів товарів, які з невизначених причин не ввійшли до транзакції. Гіпотетично такими причинами можуть бути: невідповідність цінової політики категорії товару, незадовільна якість, тощо. Сукупність елементів (товарів), дані про перегляди інформації яких накопичила мультиагентна система (MAC) позначимо як  $S = \{s_j \mid s_j \in E; j = 1..n\}$ , тоді впевненості приналежності товару до асоціативного правила можна визначити на основі формули (4):

Аналітик має можливість завантажити базу даних транзакцій, або додати їх в ручному режимі. Після встановлення значень мінімальної підтримки та достовірності, користувач, натискаючи кнопку «Обробити транзакції» завантажує нове вікно. У вікні «Результати» відображені результати виконаних обчислень, тобто асоціативні правила сформовані на основі обробки даних за допомогою визначеного алгоритму. У аналітика є можливість відправити ці дані менеджеру по продажам.

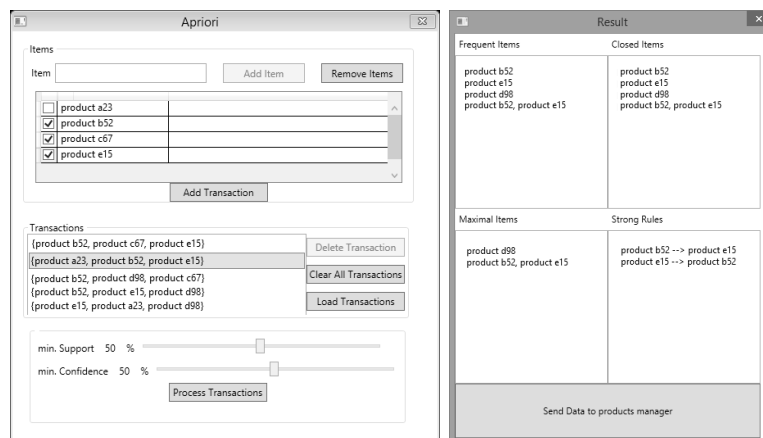


Рис. 5. GUI додатку для аналізу асоціативних правил формування кошику покупця

Розроблена апаратна реалізація інформаційного пристрою зі зменшеними габаритами порівняно з аналогами та збільшений час роботи в автономному режимі. Практичне значення виконаної роботи

полягає у підвищенні інформованості агента-покупця про товари та пришвидшення процесу оформлення транзакції на касі. Проведено роботу з оптимізації апаратної реалізації пристрою.

У результаті виконання роботи розроблено робочі програмні додатки, та сам пристрій, а також реалізований алгоритм пошуку асоціативних правил, який надає торговельному підприємству можливість формування прогнозів на короткостроковий період щодо потенційного списку товарів, котрі будуть придбані клієнтами.

Практичне значення виконаної роботи:

- підвищення інформованості покупця про товари та пришвидшення процесу оформлення транзакції на касі;

- проведення оцінки списку товарів, які переглянув мотивований покупець та аналізу їх у відповідності з придбаними товарами у відповідній транзакції, а на основі цього оптимізувати систему торгівлі, пов'язану з підготовкою товарів, їх рекламою, а також стимулюванням торговельної діяльності (цінові знижки, пільги, премії тощо).

Проведено роботу по оптимізації апаратної реалізації пристрою. Досліджено особливості алгоритму пошуку асоціативних правил сукупності товарів, у яких зацікавлені користувачі. Таким алгоритмом було

обрано алгоритм Apriori. Головними його позитивними рисами є: простота, зрозумілість, відносно легка реалізація, велика кількість його модифікацій (AprioriTid, AprioriHybrid). Антимонотонність є головною особливістю цього алгоритму. Ця особливість надає можливості для перебору великих масивів інформації за досить малий проміжок часу.

Проаналізувавши алгоритм Apriori стає зрозуміло що процес генерування кандидатів у популярні предметні вибірки є досить затратним. Обчислювальні та часові затрати можуть бути неприйнятно великі. Алгоритм Apriori потребує багаторазового перебору набору транзакцій. Кількість переборів відповідає кількості предметів у найбільшому предметному наборі.

Алгоритм FPG є альтернативою Apriori в сфері пошуку асоціативних правил. Порівняння швидкодії двох алгоритмів на основі FPG [8] приведено на рис. 6. З графіка видно, що зі збільшенням числа транзакцій у наборі час виконання пошуку частих предметних наборів для Apriori збільшуються набагато швидше ніж для FPG.

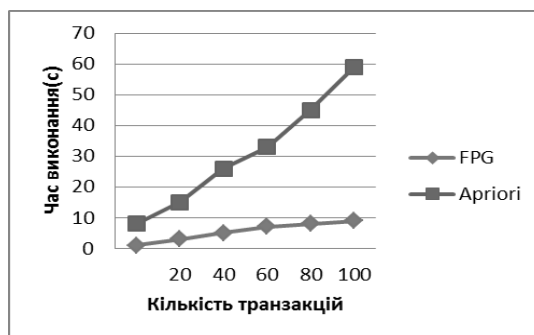


Рис. 6. Залежність часу виконання від кількості транзакцій

В алгоритмі FPG менший час аналізу транзакцій досягається за допомоги ряду особливостей:

- переформатування набору транзакцій в компактну деревовидну структуру (Frequent-Pattern Tree);
- при побудові дерева використовується технологія divide and conquer, яка дозволяє розбити одну складну задачу на декілька простих;

- уникає характерного для Apriori генерування кандидатів, що є досить затратним процесом.

Алгоритмічна частина, котра відповідає за знаходження всіх наборів елементів, які задовольняють порог  $Supp_{min}$  і генерацію правил з наборів елементів, знайдених з достовірністю, що задовольняє порог  $Conf_{min}$ , може бути легко розділеною на потоки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сайко В. Г. Мережі бездротового ширококутного доступу : [навчальний посібник] / В. Г. Сайко, В. Я. Казіміренко, Ю. М. Літвінов. – К. : ДУТ, 2015. – 196 с.
2. Bessis N., Dobre C. Big Data and Internet of Things: A roadmap for smart environments (Studies in computational intelligence). Springer Publ., 2014. – 450 p.
3. Hokey Min, William P. Galle, (1999) «Electronic commerce usage in business-to-business purchasing», International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19 Iss: 9. – Pp. 909–921.
4. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
5. AL-Zawaidah F. H., Jbara Y. H. & Marwan A. A. (2011). An improved algorithm for mining association rules in large databases, World of Computer Science and Information Technology Journal, 1(7), 311–316.
6. Lin H. Architectural Design of Multi-Agent Systems: Technologies and Techniques. Idea Group Inc (IGI) Global Publ., 2007, 421 p.
7. Pinninck A. P. A multiagent network for peer norm enforcement. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems / A. P. Pinninck, C. Sierra, W. M. Schorlemmer. – 2010. – № 21(3). – Pp. 397–424.
8. Ke-Chung Lin. An improved frequent pattern growth method for mining association rules / Ke-Chung Lin, I-En Liao, Zhi-Sheng Chen // Expert Systems with Applications. – Volume 38. – Issue 5. – May, 2011. – Pp 5154–5161.



**Бурлаченко И. С., Ендзевич А. В.,**

*Черноморский государственный университет им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина*

**Исследование алгоритмов поиска ассоциативных правил мультиагентной информационной системой на основе BLE-устройств**

*В статье рассмотрены методы решения проблем при создании беспроводных сетей на основе BLE (Bluetooth Low Energy) устройств. Исследованы алгоритмы поиска ассоциативных правил формирования совокупности товаров потребительской корзины, основанные на заинтересованности клиентов торговых корпораций в краткосрочном периоде. Описан процесс разработки аппаратной реализации автономного информационного устройства с уменьшенными габаритами. Практическое значение проделанной работы заключается в повышении информированности покупателя о товарах и ускорения процесса оформления сделок на кассе.*

**Ключевые слова:** мультиагентные системы; ассоциативные правила; Apriori; FPG; машинное обучение; BLE устройство; Arduino Uno; Arduino Micro.

**Burlachenko I. S., Yendzevych O. V.,**

*Petro Mohyla Black Sea State University, Mykolaiv, Ukraine*

**Investigation of association rules search algorithm using multi-agent information systems based on BLE-devices**

*In paper the methods that are resolved in the creation of wireless networks based on BLE (Bluetooth Low Energy) devices was proposed. The algorithms of search associative rules of the basket of consumer goods forming based on customer interest corporations trading in the short term were investigated. The process of developing hardware implementation of independent information unit with reduced dimensions was suggested. The practice part of the research in raising buyer awareness of goods and speed up the process of registration of transactions was done.*

**Key words:** multi-agent systems; association rules; Apriori; FPG; machine learning; BLE device; Arduino Uno; Arduino Micro.

© Бурлаченко И. С., Ендзевич О. В., 2015

*Дата надходження статті до редколегії 05.11.2015*