

Оцінка ефективності застосування теоретико-ігрового підходу до організації коаліційної взаємодії об'єктів інтернету речей

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”*

В попередніх статтях нами було запропоновано теоретико-ігрові моделі та методи з організації взаємодії й інтеграції об'єктів Інтернету речей з метою поліпшення ефективності їх функціонування в умовах обмежених ресурсів. Для практичної перевірки працездатності наданого раніше підходу до організації коаліційної взаємодії таких об'єктів розроблено інструментальний засіб для моделювання процесів взаємодії, в якому використано програмне забезпечення з відкритим кодом. Наведено результат архітектурного проектування програмного забезпечення у вигляді діаграм пакетів і класів, а також реляційну модель даних, яка є розвитком теоретичної моделі, описаної раніше. Наведено результати моделювання управління мережею, які отримано за розробленим теоретико-ігровим методом, і виконано їх аналіз.

Ключові слова: Інтернет речей, теорія ігор, довіра, репутація, реляційна модель даних, діаграма пакетів, діаграма класів.

Вступ

Інтернет речей – це концепція комп'ютерної мережі, яка поєднує в єдиний інформаційний простір людей, дані, процеси і електромеханічні системи. Термін «Інтернет речей» (IP) вперше був введений Кевіном Ештоном у 1999 року під час його роботи для Procter & Gamble, щоб описати систему, в якій фізичні об'єкти могли бути пов'язані з дачачами і мережею Інтернет.

Кількість об'єктів Інтернету речей постійно збільшується. За прогнозами Gartner, Inc, ще до 2020 року більше 50 % великих бізнес-процесів і систем будуть містити елементи Інтернету речей (IoT – Internet of Things). Технології Інтернету речей базуються на концепції формування єдиного інформаційно-комунікаційного простору.

Питання взаємодії об'єктів Інтернету речей з метою підвищення їхньої ефективності в умовах обмеженості ресурсів є актуальним у цей час. Організація взаємодії об'єктів Інтернету речей з позиції теорії ігор, доповнена урахуванням довіри та репутації, надає можливість забезпечити необхідний рівень задоволеності клієнтів.

1. Аналіз публікацій

Значна кількість робіт присвячена темі Інтернету речей. Серед них виділимо роботи Кевіна Ештона та Роба ван Краненбурга, які власне й започаткували IoT. Офіційне визначення терміна «Інтернет речей» дано в рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку: Інтернет речей – це «глобальна інфраструктура для інформаційного суспільства, яка забезпечує можливість надання більш складних послуг шляхом з'єднання одне з одним (фізичних і віртуальних) речей на основі функціонально сумісних інформаційно-комунікаційних технологій як існуючих, так і тих, що розвиваються»[1].

«Речі» (things) у концепції IoT– це фізичні об'єкти або об'єкти віртуального (інформаційного) світу (віртуальні речі – це, наприклад, мультимедійний контент або прикладна програма), які можуть бути ідентифіковані та об'єднані через

комунікаційні мережі. На думку Роба ван Краненбурга [2]: «Інтернет Речей – це безперервний потік даних, який починається від нашого тіла BAN (Body Area Network), домашньої та робочої обстановки LAN (Local Area Network), міської інфраструктури WAN (Wide Area Network) і розчиняється в глобальній інформаційній системі VWAN (Very Wide Area Network)». Отже, IoT передбачає поєднання різних телекомунікаційних технологій, що відкриває можливості для надання сервісів нового типу. Це може бути інтеграція глобального цифрового мобільного стільникового зв'язку GSM з комунікаціями ближнього радіуса дії (Near Field Communication, NFC), персональними мережами на базі Bluetooth, бездротовими локальними мережами, бездротовими сенсорними мережами стандарту ZigBee в поєднанні з системою глобального позиціонування і технологією ідентифікації абонента (SIM-карти).

В основі формування єдиного інфокомунікаційного середовища лежить концепція конвергенції послуг, мереж, обчислювальної техніки і засобів зв'язку і комунікацій, адже ізольована система не може бути ефективною.

Виникають проблеми, зумовлені виникненням широкого спектра телекомунікаційних послуг і необхідністю їх надання в рамках єдиного універсального середовища. Однією з таких проблем є підвищення ефективності використання обмежених ресурсів (часу, енергії, радіочастотного спектра) [3].

Оскільки йдеться про інтеграцію та взаємодію об'єктів Інтернету речей, доцільно розглянути ці питання з позиції теорії ігор. У класичному поданні теорії ігор вивчається взаємодія агентів - суб'єктів, які мають свободу волі і здатні діяти раціонально, тобто максимізувати власну функцію корисності. Спочатку у теорії ігор розглядалися ситуації, коли як агенти виступали комерційні фірми, політичні партії, тобто сутності, в яких рішення приймаються людьми. На теперішній час методи теорії ігор виявилися затребуваними для використання в технічних системах, зокрема, телекомунікаційних мережах.

Відомі публікації, в яких задача прийняття рішення про вертикальну передачу обслуговування в бездротових гетерогенних мережах розглядається з позиції теорії ігор. Ігри маршрутизації в цей час являють собою не тільки найбільш розвинений, але й такий розділ мережних ігор, що досить стрімко розвивається [4], починаючи з роботи [5], яка присвячена маршрутизації неподільного трафіка.

Окремий випадок гри в бездротовій мережі, що складається лише з пар прийом-передача, розглянуто в роботі [6]. На основі моделі мережі побудовано ігрову модель, в якій функції корисності вибираються таким чином, щоб гра зводилася до потенційної, тобто гри, за якої стимул всіх гравців змінити свою стратегію можна виразити за допомогою єдиної глобальної функції.

У статті [7] дано рішення задачі вибору мобільним користувачем точки доступу безпроводної мережі з декількох доступних, яке оснований на некооперативній грі з рівновагою Неша і егоїстичній поведінці гравців. У роботі виконано аналіз «ціни анархії» та стійкості такої гри.

У статті [8] як некооперативну гру розглянуто задачу формування топології бездротової Ad-hoc мережі, в якій на площині розташовані вузли, що оснащені бездротовими передавачами. Потрібно призначити передавачам такі потужності, щоб забезпечити зв'язність мережі і мінімізувати сумарну потужність. Для вирішення задачі запропоновано два алгоритми формування мережі, що використовують метод подвійних найкращих відповідей.

У попередніх роботах авторів розглядалися такі питання: в статтях [9,10] вирішено задачу формування принципів кооперативної взаємодії мобільних

абонентів в Ad-hoc мережах. Необхідність такої взаємодії пояснюється наявністю різних типів послуг, вимог, що пред'являються до якості зв'язку, доступних ресурсів мережі у кожного з абонентів. Метою такої взаємодії є взаємовигідний обмін радіоресурсами. Запропоновано розглядати обмінну схему, ґрунтуючись на коаліціях теорії кооперативних ігор, а для розподілу виграшу гравців (мобільних абонентів) використовувати вектор Шеплі.

У статті [11] запропоновано некооперативний механізм обміну для організації взаємодії мобільних абонентів в Ad-hoc мережах. Наведений механізм запозичено з методів децентралізованого управління багатоагентними технічними і соціально-економічними системами згідно з Теорією активних систем. Описано аналіз «плати за анархію» запропонованого рішення на математичних моделях. Розглянуто пошук методів обмеження обчислювальної складності алгоритму, а також досліджено механізми обміну з іншими функціями корисності агентів.

Метою цієї роботи є практична перевірка розробленого та поданого раніше методу організації коаліційної взаємодії об'єктів Інтернету речей та оцінювання його ефективності.

2. Результати перевірки розробленого методу організації коаліційної взаємодії об'єктів Інтернету речей

2.1. Інструментальні засоби

Як середовище об'єктно-орієнтованого проектування мовою UML використано програмне забезпечення з відкритим кодом Modelio (www.modelio.org).

Моделювання системи проводилося з використанням емулятора TRMSim–WSN0.5 [12], який містить набір реалізованих моделей довіри, а також дозволяє додавати власні моделі. Для моделювання застосовано динамічну мережу, що складається з 50% сенсорів і 10% базових станцій.

Крім того, у даному емуляторі є можливість вибору поведінки зловмисника, на підставі якого реалізуються такі типи атак:

- погані рекомендації;
- змова;
- маскування (шантаж);
- блокування вузла;
- блокування вузла за наявністю умов;
- «Сібіл» атака;
- суперечлива поведінка.

Емулятор мережної взаємодії TRMSim–WSN0.5 має можливість налаштувати основні параметри імітованої мережі. До таких параметрів відносяться:

- Num executions – кількість запитів клієнтів до конкретної мережі;
- Num networks – кількість різних випадкових імітованих мереж для перевірки поведінки системи при зміні початкових умов. У кожній мережі буде виконано Num executions запитів на обслуговування від кожного віртуального об'єкта;
- Min Num Sensors – мінімальна кількість віртуальних об'єктів в імітованій мережі;
- Max Num Sensors – максимальна кількість віртуальних об'єктів в імітованій мережі;

- % Clients – кількість в відсотках віртуальних об'єктів, які не надають послуг;
- % Relay Servers – кількість в відсотках віртуальних об'єктів, які не надають конкретну послугу;
- % Malicious Servers – відсоток шкідливих віртуальних об'єктів, які надають послуги;
- Radio Range – дальність дії;
- Delay – час затримки між двома послідовними запитами (використовується для кращого керування);
- Collusion – при виборі дозволено формувати шкідливі змови в мережі;
- Oscillating – при виборі, деякі сервери періодично змінюють свою поведінку від доброзичливої до шкідливої та навпаки. Проте визначені відсотки % Clients, % Relay Servers, % Malicious Servers) залишаються незмінними.

2.2. Архітектурне проектування

Діаграма пакетів (package diagram) показує пакети і залежності між ними. За наявності пакетів для класів представлення і пакетів для класів предметної області пакет представлення залежить від пакета предметної області, якщо будь-який клас пакета представлення залежить від будь-якого класу пакета предметної області. Таким чином, міжпакетна залежність узагальнює залежності між їх вмістом.

Пакети класів забезпечують логічну організацію системи в фазі конструювання. Вони надають інформацію про підпорядкованість і зовнішніх учасників, а також про структуру, яка містить у собі всі класи. Діаграми пакетів класів є UML-еквівалентом класичних блокових діаграм.

Діаграми класів. Класи аналізу відображають функціональні вимоги до системи і моделюють типи об'єктів. Сукупність класів аналізу являє собою початкову концептуальну модель системи. Ця модель є простою і дозволяє зосередитися на реалізації функціональних вимог, не відволікаючись на деталі реалізації та забезпечення ефективності й надійності. Для вирішення цих питань згодом модель аналізу трансформується в проектну модель. У ході аналізу варіантів використання в їх потоках подій виявляються класи трьох типів:

- граничні класи (boundary classes), що є посередниками при взаємодії системи з дійовими особами та з апаратною базою;
- класи-сутності (entity classes), що відповідають за зберігання даних;
- керуючі класи (control classes), які реалізують бізнес-логіку і забезпечують координацію поведінки об'єктів у системі.

Правилом виділення граничних класів є таке: для кожного зв'язку між дійовою особою і варіантом використання створюється або призначається граничний клас, який відповідає за дану взаємодію. Правило виділення класів-сутностей: класи-сутності – це, як правило, класи, що являють собою ключові абстракції системи. Правило виділення керуючих класів: для кожного варіанта використання створюється відповідальний за його реалізацію клас управління.

Проектування класів містить такі дії: деталізацію проектних класів; уточнення операцій і атрибутів; моделювання станів для примірників класів; уточнення зв'язків між класами. При деталізації проектний клас може бути розбитий на кілька класів з міркувань, пов'язаних з його реалізацією в коді. Клас може бути видалений з моделі, якщо його екземпляри є посередниками, що не несуть змістовних обов'язків. Обов'язки класів, певні в процесі аналізу і

документовані у вигляді операцій аналізу, перетворюються на операції, які будуть реалізовані в коді. При цьому кожній операції присвоюється коротке ім'я, яке характеризує її, визначається повна сигнатура операції, створюється короткий опис операції, що містить сенс всіх її параметрів, визначається видимість операції, визначається область дії операції (операція примірника або операція класу). Якщо метод, який реалізує операцію, реалізує нетривіальний алгоритм, то він моделюється на діаграмі діяльності. Уточнення атрибутів класів полягає в такому: задаються типи атрибутів, їх множинність і значення за замовчуванням (необов'язково); задається видимість атрибутів; за необхідності визначаються похідні (обчислювані або такі, що виводяться) атрибути, статичні атрибути.

Для доопрацювання емулятора мережної взаємодії TRMSim-WSN0.5 програма доповнена класом виведення результатів моделювання в файл (таблиця).

Клас OutcomeToFile реалізує патерн поведінки «Спостерігач» (англ. Observer) – поведінковий шаблон проектування. Патерн створює механізм у класі, який дозволяє примірнику об'єкта цього класу отримувати оповіщення від інших об'єктів про зміну їх стану, тим самим спостерігаючи за ними. Шаблон «спостерігач» застосовують у тих випадках, коли система має такі властивості:

- існує, як мінімум, один об'єкт, що розсилає повідомлення;
- є не менше одного одержувача повідомлень, причому їх кількість і склад можуть змінюватися під час роботи програми;
- немає потреби дуже сильно пов'язувати взаємодіючі об'єкти, що корисно для повторного використання.

Цей шаблон застосовують у ситуаціях, в яких відправника повідомлень не цікавить, що роблять одержувачі з наданою їм інформацією.

Якщо екземпляри деякого класу реалізують складну поведінку та змінюють свою поведінку залежно від стану, то для цього класу будують діаграму станів. При побудові діаграми уточнюють операції, оскільки вони можуть бути пов'язані з подіями, що викликають зміну станів, і з діями на переходах і всередині станів. Уточнюються атрибути, оскільки поточний стан екземпляра визначається сукупністю значень його атрибутів.

Потім уточнюються зв'язки між класами. Асоціації, створені на етапі аналізу, які відповідають тимчасовим з'єднанням між об'єктами, замінюються на залежності. Решта асоціацій замінюється на агрегації або композиції. Вказуються потужності на полюсах, напрямки зв'язків, типи множинних зв'язків (set, ordered, bag, sequence), кваліфікатори. Класи асоціацій перетворюються на звичайні за допомогою матеріалізації зв'язків. Деякі зв'язки узагальнення можуть бути перетворені шляхом метаморфози підтипів.

Реляційна модель даних підсистеми обчислення довіри та репутації (рис. 1) надає засоби опису даних на основі тільки їх природної структури, тобто без потреби введення якоїсь додаткової структури для цілей машинного представлення.

Власне дані поділяються на три складові.

1. Довідники містять переліки фіксованих типів взаємодій пристроїв та змінюваних в умовах змінної структури мережі Інтернету речей переліків користувачів та їх пристроїв, що знаходяться в зоні досяжності.

2. Історія взаємодій містить перелік зареєстрованих подій – результатів взаємодій, що відбувалися між пристроями, в аналізованому часовому вікні.

3. До обчислюваних сутностей, які використовуються як вихідні дані у наступних ітераціях, належать переліки належності користувачів та їх пристроїв до відповідних товариств, які динамічно змінюються протягом функціонування системи.

Перелік методів і атрибутів класу OutcomeToFile
та їх функціонального призначення

Метод, атрибут	Функціональне призначення
Controller	Об'єкт-контролер
Network	Поточна мережа
TRModel_WSN trmodel_wsn	Поточна модель
requiredService	Сервіси необхідні кожному клієнту
delay	Затримка
simulationThread	Потік імітатора
simulation	Поточна імітація
C	Повертає покажчик на контролер або виключення
Controller	Створює покажчик на контролер або виключення
public void saveCurrentNetwork	Метод зберігає в файл поточні результати
public void loadCurrentNetwork	Метод завантажує з файла поточні результати
void _currentNetwork	Метод повертає поточну мережу
void isSimulationRunning	Метод повертає булівську величину: запущена імітація чи ні
public void set_TRMParameters	Метод встановлює параметри моделі з файла
public void saveParametersFileCo ntent	Метод зберігає контент в обраний файл
public void get_ParametersFileCo ntent	Метод відновлює зміст поточного файла
public void get_DefaultParameters FileContent	Метод відновлює зміст файла за замовчуванням
public void set_delay	Метод встановлює затримку візуалізації
void set_parametersFile	Метод встановлює ім'я файла параметрів

Для того, щоб вивчити рівень успіху у встановленні взаємодії за допомогою неманіпульованого механізму обміну в мережах Інтернету речей, а потім зробити відповідні висновки, було проведено моделювання за різних початкових умов. Засобами моделювання вивчено три різні й незалежні ситуації для вивчення в цілому восьми можливих станів випадкових мереж:

1. Змова шкідливих віртуальних середовищ.
2. Коливальна поведінка віртуальних середовищ.
3. Динамічні мережі.

Для всіх цих станів контролювалося середнє значення задоволеності від взаємодії в мережі Інтернету речей.

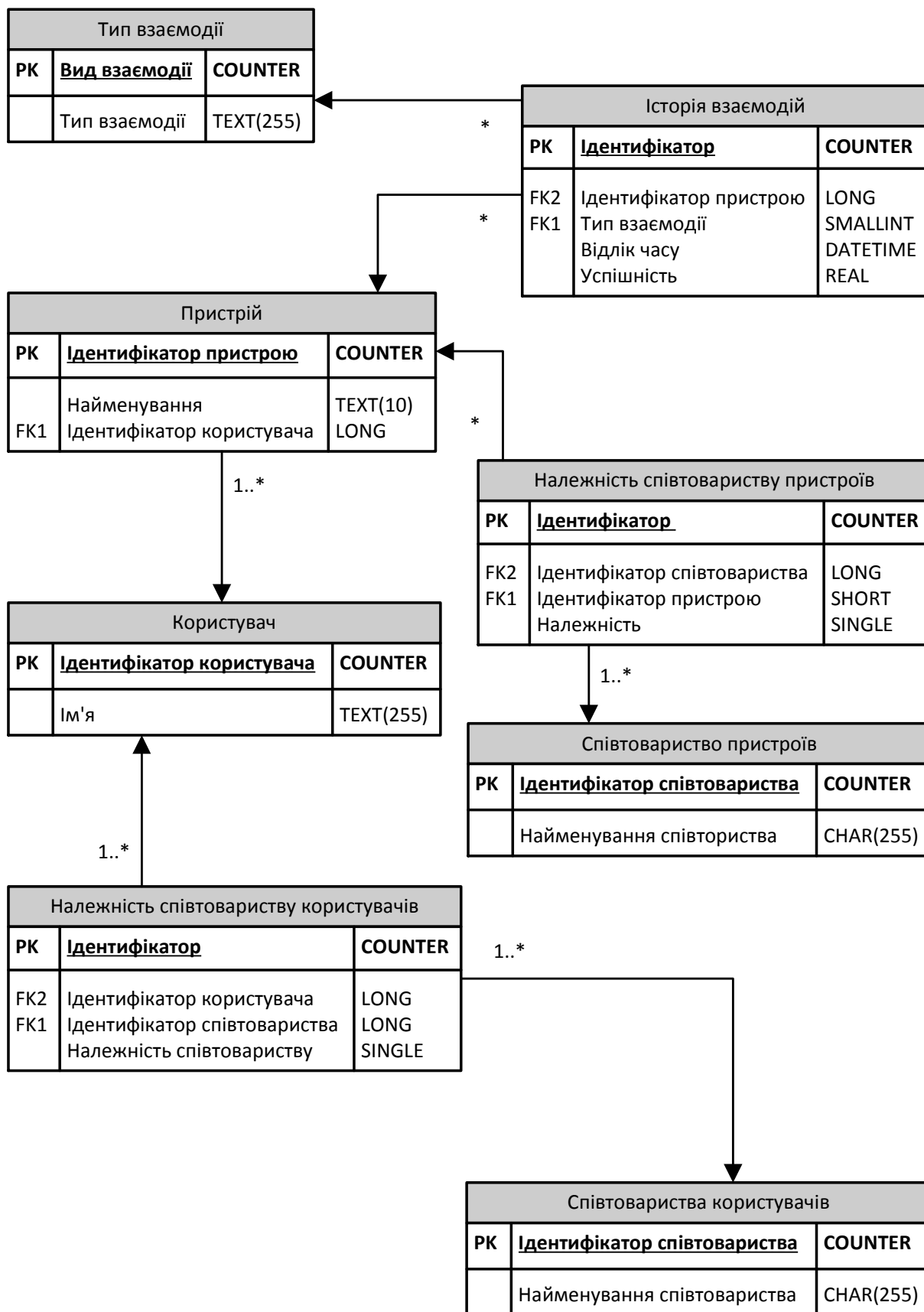


Рис. 1. Спрощена реляційна модель даних підсистеми обчислення довіри та репутації

2.3. Перевірка працездатності розробленого методу організації коаліційної взаємодії об'єктів Інтернету речей з урахуванням довіри і репутації

Рис. 2 наочно показує результати моделювання управління за розробленим методом процесів виключення та реінтеграції віртуальних об'єктів, які мають місце в мережі Інтернету речей. Тут наведено початковий стан мережі, де кожен віртуальний об'єкт має у взаємодії випадкові інші віртуальні об'єкти. Надалі після декількох ітерацій мережа досягає рівноваги, виникає ізоляція колишніх доброзичливих віртуальних середовищ, а потім відбувається реінтеграція мереж, коли вони перестають бути шкідливими знову.

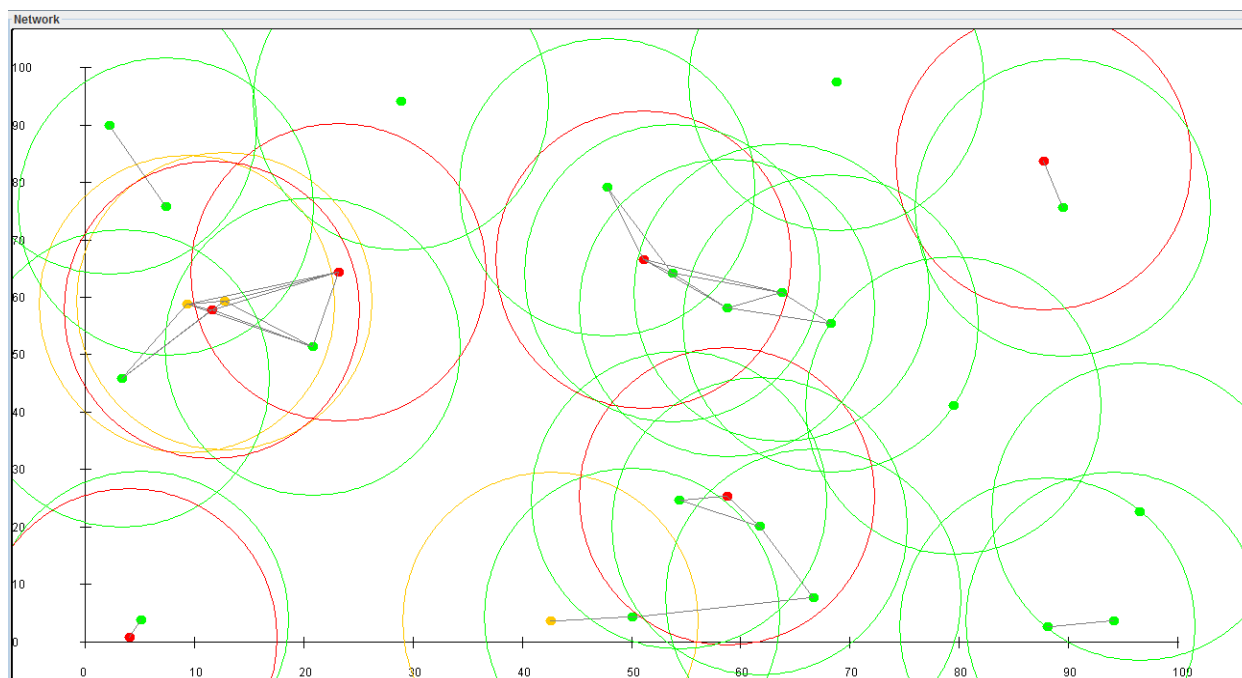


Рис. 2. Приклад результатів моделювання в середовищі TRMSim-WSN0.5 процесів відторгнення та реінтеграція віртуальних середовищ мережі Інтернету речей

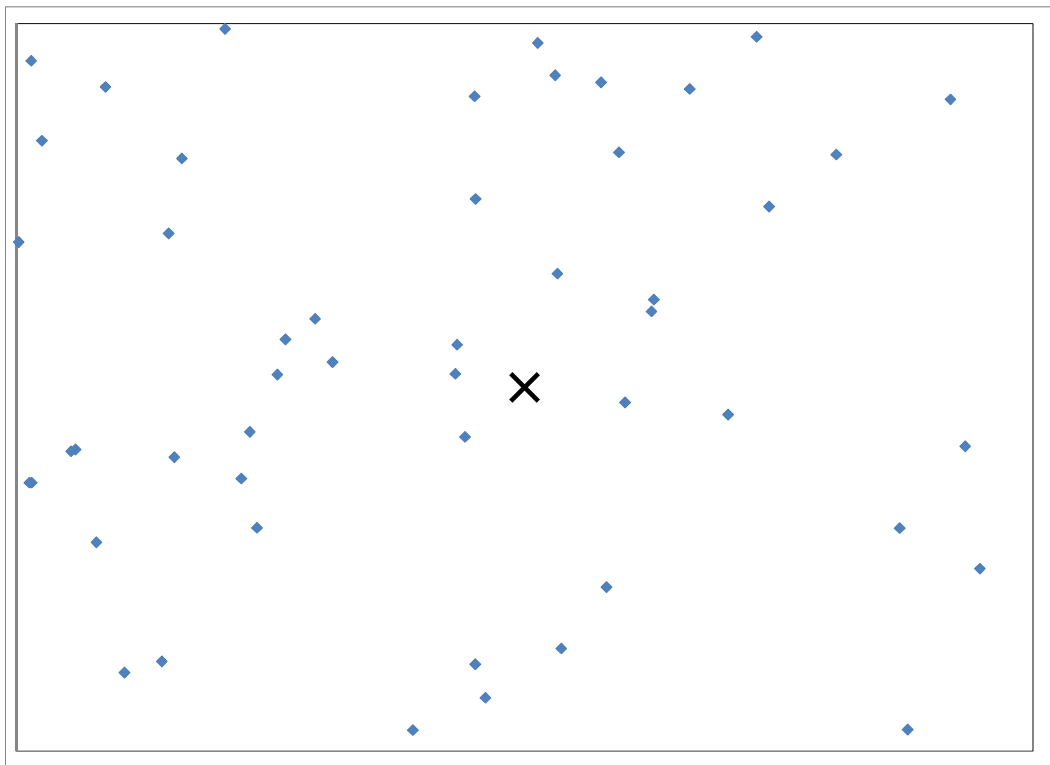
Висновки

Отже, можна зробити такі висновки:

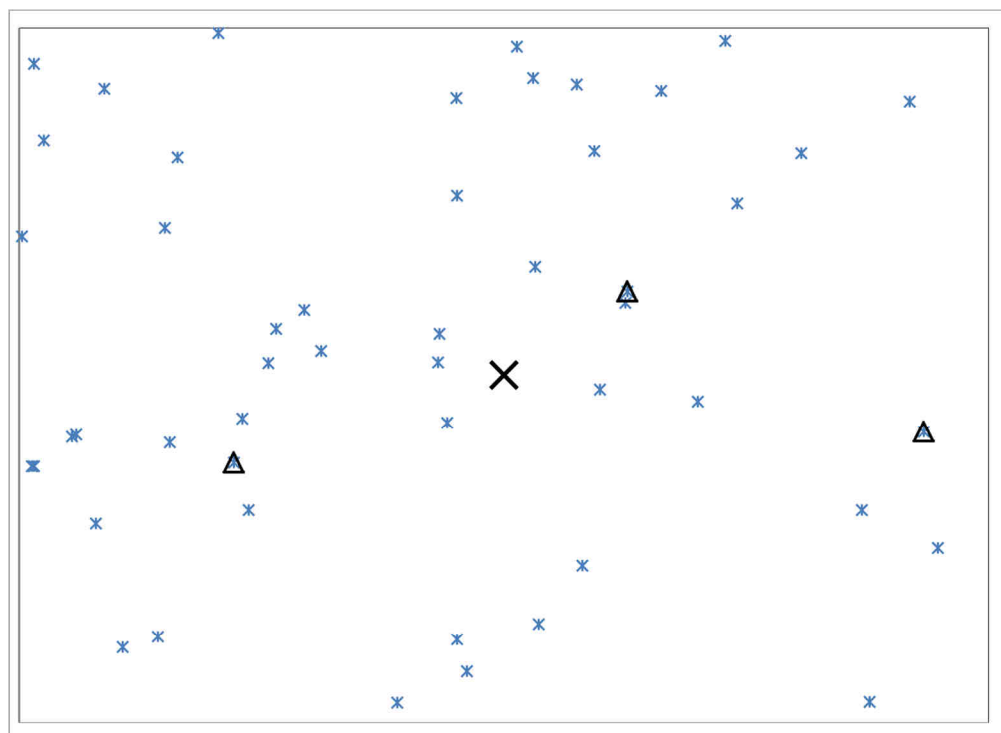
1. У стабільній системі неманіпульований метод організації коаліційної взаємодії об'єктів Інтернету речей з урахуванням довіри і репутації може забезпечити добрий рівень задоволеності. В мережах з підвищеною кількістю шкідливих віртуальних об'єктів задоволеність клієнтів несуттєво знижується (до 96 %).

2. У найбільш неблагополучних випадках (кількість недоброзичливих об'єктів Інтернету речей сягає 10 %) системі вдається забезпечити часткове задоволення більше, ніж 90 % клієнтів, навіть у динамічних мережах зі шкідливими змовами і осцилюючою поведінкою віртуальних абонентів.

Загалом, неманіпульований метод організації коаліційної взаємодії об'єктів Інтернету речей забезпечує рівень задоволеності більше, ніж звичайні методи.

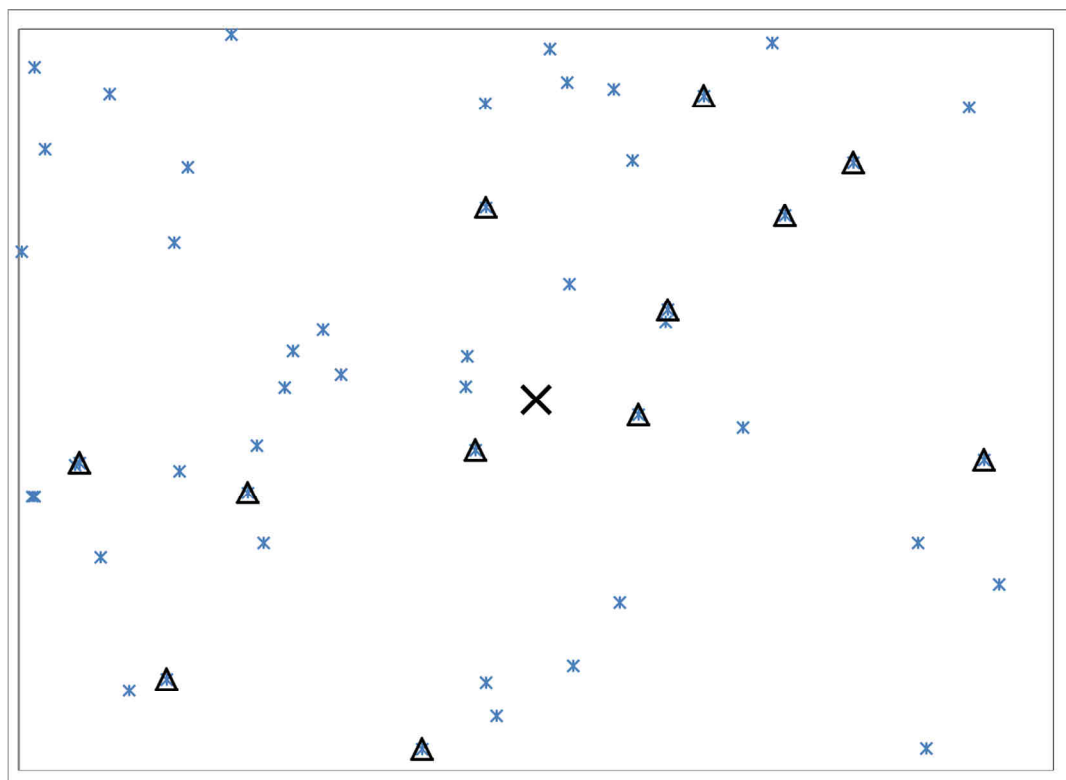


а

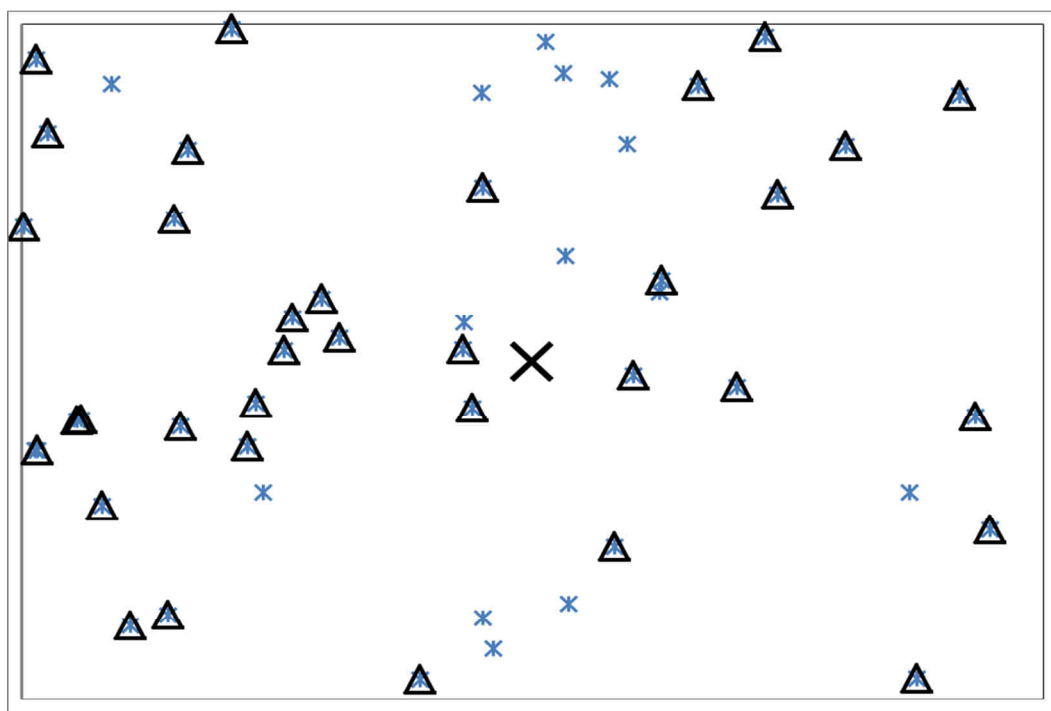


б

Рис. 3. Вихідні умови до моделювання розповсюдження довіри в мережі Інтернету речей: а – вихідна модельна ситуація, виділено суб'єкта довіри; б – виділено вузли-об'єкти довіри, до яких є довіра за власним досвідом суб'єкта



а



б

Рис. 4. Застосування оцінок репутації до визначення довіри до об'єктів мережі Інтернету речей – розповсюдження довіри завдяки репутації: а – враховано репутацію за рекомендаціями найближчих сусідів; б – враховано репутацію за рекомендацією всіх оточуючих

Список літератури

1. Рекомендация МСЭ-Т Y.2069. Термины и определения для Интернета вещей [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2069-201207-I!!PDF-R&type=items.
2. Chastotnik. Сравнение возможностей и платформ Интернета вещей [Электронный ресурс] / Chastotnik. – 2017. – Режим доступа: <https://chastotnik.com.ua/a-sravnenie-vozmozhnostey-i-platform-interneta-veshchey>.
3. Z Pólkowski, Z. ICT Green Ecosystem [Text] / Z. Pólkowski, J. Vasilev, R. Ghandi // Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management. – 2016. – No. 82. – P. 61–73.
4. Новиков, Д.А. Игры и сети [Текст] / Д.А. Новиков // Математическая теория игр и ее приложения. – 2010. – Т.2. – Вып.1. – С. 107–124.
5. Papadimitriou, C.H. Worst-Case Equilibria [Электронный ресурс] / С.Н. Papadimitriou, Е. Koutsoupas. – 2009. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.154.6817&rep=rep1&type=pdf>.
6. Ошмарин, Д.В. Распределение канальных ресурсов в сетях когнитивного радио на основе теории игр [Текст] / Д.В. Ошмарин // Бизнес-информатика. – 2010. – №4(14). – С. 38-45.
7. Cesana, M. Game Theoretic Analysis of Wireless Access Network Selection: Models, Inefficiency Bounds, and Algorithms [Text] / M. Cesana, N. Gatti, I. Malanchini // GameComm. – 2008. – October 20, Athens, Greece.
8. Базенков, Н. И. Динамика двойных наилучших ответов в игре формирования топологии беспроводной ad hoc сети [Текст] / Н. И. Базенков // Управление большими системами / Сборник трудов. Выпуск 43. М.: ИПУ РАН, 2013. – С. 217-239.
9. Вартамян, В. М. Теоретико-ігровий підхід до кооперації в автономних бездротових мережах (англ. мовою) [Текст] / В. М. Вартамян, В. В. Туркіна // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2016. – №5. – С. 131–136.
10. Вартамян, В. М. Взаимодействие мобильных абонентов в беспроводных самоорганизующихся Ad-hoc сетях как кооперативная игра [Текст] / В. М. Вартамян, В. В. Туркина // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2015. – №4. – С. 81–87.
11. Туркина, В. В. Неманипулируемые механизмы обмена как основной принцип организации взаимодействия мобильных абонентов в Ad-hoc сетях [Текст] / В. В. Туркина. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2016. – №6. – С. 222–227.
12. Marmol, F.G. TRMSim-WSN, Trust and Reputation Models Simulator for Wireless Sensor Networks [Text]/ F.G. Marmol, G.M. Perez// IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC 2009), Communication and Information Systems Security Symposium. – 2009. – P. 1-5.

Надійшла до редакції 13.11.2017

Ценка ефективності застосування теоретико-ігрового підходу до організації коаліційного взаємодія об'єктів інтернету речей

В предыдущих статьях нами были предложены теоретико-игровые модели и методы по организации взаимодействия и интеграции объектов Интернета вещей в целях улучшения эффективности их функционирования в условиях ограниченных ресурсов. Для практической проверки работоспособности представленного ранее подхода к организации коалиционного взаимодействия таких объектов разработано инструментальное средство для моделирования процессов взаимодействия, в котором используется программное обеспечение с открытым кодом. Приведен результат архитектурного проектирования программного обеспечения в виде диаграмм пакетов и классов, а также реляционная модель данных, которая является развитием теоретической модели, представленной ранее. Описаны результаты моделирования управления сетью, полученные по разработанному теоретико-игровому методу, и выполнен их анализ.

Ключевые слова: Интернет вещей, теория игр, доверие, репутация, реляционная модель данных, диаграмма пакетов, диаграмма классов.

Evaluation of Efficiency of Application of the Theoretical-Game Approach to Organization of Coalitive Interaction of Objects of Internet of Things

In the previous articles, we proposed theoretical game models and methods for organizing the interaction and integration of objects of the Internet of things. It is allow improving the efficiency of their functioning in conditions of limited resources. For practical verification of the efficiency of the previously it presented approach to organizing the coalitionship of such objects and we have developed an instrumental tool for simulating interaction processes that uses open source software. The result of the architectural design of software is presented in the form of diagrams' and classes' packages. Also we assumed the relational data model as the development of the theoretical model have already presented. The results of simulation of network management are examined. It obtained from the game-theoretical method, which is developed. Analysis of the results is carried out.

Keywords: Internet of things, game theory, trust, reputation, relational data model, package diagram, class diagram.

Відомості про авторів:

Вартанян Василь Михайлович – д-р техн. наук, зав. каф. 602 «Маркетингу», Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Туркіна Вікторія Валентинівна – асистент каф. 602 «Маркетингу», Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.