

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ ДРУКАРСТВА

ГОЖИЙ ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 004.94+004.71+004.777+004.738.5

**МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДИНАМІЧНОЇ
ВЗАЄМОДІЇ СЕРВІСІВ В WEB-СИСТЕМАХ АГРЕГАТОРАХ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології
(12 - інформаційні технології)

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Дихта Леонід Михайлович,
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили,
професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Коробчинський Максим Володимирович,
Военно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка
Міноборони України, м. Київ, професор п'ятої кафедри

доктор технічних наук, професор
Берко Андрій Юліанович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри інформаційних
систем та мереж

Захист дисертації відбудеться «31» січня 2020 р. о 15-00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.101.01 в Українській академії друкарства за адресою: 79020, м. Львів, вул. Під Голоском, 19, ауд. 101.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Української академії друкарства за адресою: 79006, м. Львів, вул. Підвальна, 17.

Автореферат розіслано «11» грудня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



В. Ц. Жидецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Постійно зростаючий попит на отримання інформації та стрімкий розвиток сучасних Internet-технологій на основі Web 2.0 привів до розширення функціональних можливостей та перетворення звичайних web-систем в системи інтеграції та агрегації інформації, які на базі аналізу та інтеграції контенту різних web-ресурсів дозволяють знаходити інформацію, що потрібна користувачу, та опрацьовувати її для того, щоб генерувати новий контент, який відповідає їх потребам.

Найбільш розвиненими технологіями інтеграції та агрегації даних, це технології, які працюють на основі технології Mashup. Використання Mashup технологій в системах обробки інформації відкривають нові можливості використання інформації та інформаційних ресурсів. Відомими корпораціями які займаються розробкою в галузі Mashup технологій є Microsoft, IBM, Google, Intel, тощо. Ключове місце у web-системах на основі Mashup посідають web-сервіси та їх динамічна взаємодія для збору та агрегації необхідної інформації.

Основним напрямом ефективного вирішення зазначених завдань є побудова ефективних динамічних моделей взаємодії, основою яких є системне використання математичних та імітаційних моделей, методів аналізу якості web-сервісів та різних інформаційних технологій, орієнтованих на вирішення завдань агрегування необхідної інформації.

Оскільки вирішення завдань динамічної взаємодії web-сервісів це наукомісткий процес, який вимагає системного застосування різних підходів і методів, та який неможливий без застосування сучасних методів моделювання, алгоритмів і програмних засобів для розробки web-сервісів та mashup додатків на їх основі, то тема досліджень *актуальна*.

Представлена в даній роботі теорія вирішення завдань динамічної взаємодії, розроблені моделі, методи та алгоритми ґрунтуються на дослідженнях та теоретичних результатах, які висвітлені в роботах Фішера (Т. Fischer), Бакалова (F. Bakalov), Наєрца (A. Nauerz), Алтінели (M. Altinel), Брауна (P. Brown), Мау (L. Mau) та Сінга (A. Singh) – характеристика сучасних підходів створення Mashup систем та опис роботи деяких сучасних Mashup додатків. В роботах Хамади (R. Hamadi), Хемаа (S. Chemaа), Валеро (V. Valero) – розглянуто моделювання композиції web-сервісів за допомогою мереж Петрі. Питання композиції web-сервісів досліджені в роботах Мендеса (J. Mendes), Меджахеда (B. Medjahed). Основні особливості моделювання Mashup наведено в роботах Мілоу (T. Milo) та Гріншпен (O. Greenshpan). Засоби створення web-інтерфейсів та сервісів на основі Mashup технологій досліджували в своїх роботах Вілкінсон (H. Wilkinson) та Максимальян (E. Maximilien). Вищеназвані питання досліджувалися також і вітчизняними науковцями: Харченко В.С., Кондратенко Ю.П. – структура і характеристика web-сервісів та гарантоздатних систем; Берко А.Ю. – дослідження mashup систем; Міхальов О.І., Зайцев Д., Бохан К., Худолей М. – моделювання систем за допомогою кольорових мереж Петрі; Дурняк Б.В, Сеньківський В.М. – розробка теоретичних засад побудови поліграфічних систем та інші. Згідно проведеного аналізу встановлено, що даний сегмент ІТ є мало дослідженим. Таким

чином, актуальною **науковою задачею** є підвищення ефективності взаємодії web-сервісів при агрегуванні інформації засобами моделювання та сучасних інформаційних технологій з урахуванням зростання обсягів інформації та розвитку web-технологій.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалась в ЧНУ ім. П.Могили. Тема дисертаційної роботи повністю відповідає науковим напрямам, які виконуються на факультеті комп'ютерних наук, зокрема науковим дослідженням в області web-систем, побудови інтелектуальних інформаційних систем. Робота виконувалась в рамках держбюджетних тем, зокрема таких: «Фундаментальні дослідження структуроутворення та технології інженерії поверхневих високоміцних структур з перемінною зносостійкістю» № 15.01БФ-01, «Розробка методів та алгоритмів інтелектуального аналізу даних на основі ймовірно-статистичних методів» № 0118U000862, «Розробка моделей та інструментальних засобів для підвищення ефективності взаємодії web-сервісів інтелектуальних додатків» № 0118U000863.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності web-систем агрегаторів шляхом розробки і дослідження інформаційної технології та моделей динамічної взаємодії web-сервісів. Досягнення мети здійснюється розв'язанням таких основних завдань:

- Аналіз існуючих методів інтеграції та взаємодії web-сервісів різних типів.
- Розвиток методу опису структури та взаємодії web-сервісів на основі спеціалізованої алгебри та мереж Петрі при створенні нових web-сервісів.
- Розробка комбінованих ітераційних операцій алгебри сервісів для представлення динамічної взаємодії web-сервісів.
- Побудова імітаційних моделей взаємодії web-сервісів на основі алгебри сервісів у вигляді часових ієрархічних кольорових мереж Петрі, які дають змогу дослідити параметри web-системи.
- Удосконалення інформаційної технології побудови web-сервісів за рахунок використання моделей взаємодії на основі алгебраїчного опису та побудови імітаційних моделей в середовищі *CPN Tools*.
- Розробка та апробація інструментальних засобів для розв'язання завдань інтеграції та взаємодії web-сервісів.

Об'єкт дослідження – процеси взаємодії web-сервісів в агрегуючих web-додатках.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційна технологія взаємодії web-сервісів для підвищення ефективності агрегуючих web-систем.

Методи дослідження. З урахуванням специфіки об'єкта досліджень й сформульованої мети методами дослідження є: для аналізу і обробки інформації – методи системного аналізу; для побудови алгебри сервісів та моделювання взаємодії web-сервісів і побудови моделей web-сервісів – методи теорії множин, методи ймовірно-статистичного моделювання, методи моделювання і мережі Петрі; для побудови практичних реалізацій – *CPN Tools* та методи, засоби і технології сучасного web-програмування.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну задачу розроблення моделей та сучасної інформаційної технології для розв'язання завдань ефективної взаємодії web-сервісів. При цьому отримано такі нові результати:

Вперше

– розроблено метод опису взаємодії web-сервісів на основі застосування комбінованих ітераційних операцій алгебри сервісів для побудови моделей взаємодії web-сервісів, що дало змогу враховувати динамічні особливості процесів інтеграції web-сервісів в агрегуючих web-системах.

– розроблено імітаційні моделі взаємодії web-сервісів у вигляді часових ієрархічних кольорових мереж Петрі, які дозволяють за рахунок опису web-сервісу на основі алгебри сервісів дослідити динамічні параметри web-системи.

Удосконалено

– інформаційну технологію побудови моделей динамічної взаємодії web-сервісів на основі розробки спеціалізованої алгебри, що відрізняється від відомих шляхом додавання нових операцій для моделювання агрегуючих сервісів та побудови імітаційних моделей в середовищі CPN Tools, що дало змогу підвищити ефективність взаємодії web-сервісів.

Отримали подальший розвиток

– Mashup технологія інтеграції web-сервісів через запровадження додаткових можливостей динамічного моделювання взаємодії web-сервісів на основі кольорових мереж Петрі, що дозволило підвищити ефективність та швидкодію web-систем.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що розроблені моделі та інформаційна технологія забезпечують: підвищення швидкодії завантаження контенту на 7%. При аналізі динаміки зміни показника відмов сервісів можна зробити висновок, що використання моделей взаємодії web-сервісів дозволило покращити показник відмов сервісів на 11%. Використання web-сервісів спроектованих за представленою технологією дозволило покращити індекс швидкості сервісів на 4%.

Результати досліджень впроваджено у навчальний процес Львівського IT Step University, Херсонського національного технічного університету та Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівно). Одержані результати розробок реалізовано в проектах IT-компаній «Template Monster» та «Moto CMS», що підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані дисертантом особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: [1] – розробка моделі в середовищі CPN Tools; [4] – запропоновано метод побудови моделей та реалізовано моделі web-додатків в середовищі CPN Tools; [7] – запропоновано та розроблено параметри управління контентом; [8] – розроблено та описано операції взаємодії web-сервісів; [9] – запропоновано та розроблено параметри управління контентом; [10] – опис основних складових моделі та розробка моделі визначення якості; [21] – запропоновано алгоритм обробки екологічних показників; [26] – запропоновано

алгоритм тестування; [28] – опис використання методу та алгоритму тестування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації були подані і обговорені більш ніж на 20 міжнародних науково-технічних конференціях, наукових семінарах та симпозиумах, зокрема: Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій, ISDMIT» (м. Залізний Порт, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019); Міжнародна наукова конференція «International conference on computer science and information technologies, CSIT» (м. Львів, 2017, 2018); Міжнародна наукова конференція «Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS» (м. Бухарест, 2017, м. Метц, 2019); Міжнародна конференція «Ольвійський форум» (м. Миколаїв, 2018); VIII Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень» (м. Ужгород, 2016); Міжнародна конференція «Могилянські читання» (м. Миколаїв, 2018); Міжнародна конференція «ДРУКОТЕХН-2018» (м. Львів, 2018); Міжнародна конференція «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні, ІТММ» (м. Дніпро, 2019); Всеукраїнська науково-практична конференція «Екологічна безпека населення та регіону, як основа державної безпеки» (м. Миколаїв, 2016); Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів «Інтелектуальні інформаційні системи» (м. Миколаїв, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019); Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Інформаційні технології і управління» (м. Кременчук, 2012); Всеукраїнська конференція студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Кривий Ріг, 2012).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 28 наукових праць, з яких 6 публікацій у фахових наукових виданнях України з технічних наук, 1 публікація у іноземному виданні, 21 публікація в збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із анотацій, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 162 сторінки основного тексту. Загальний обсяг дисертації складає 207 сторінок. Список використаних джерел складається із 122 найменувань на 13 сторінках. Дисертація містить 7 таблиць, 79 рисунків, а також має 3 додатки, розміщених на 32 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання дослідження, висвітлено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та їх апробацію, особистий внесок здобувача, опубліковані наукові праці, структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** дисертаційної роботи розглянуто завдання та інформаційно-обчислювальні аспекти взаємодії web-сервісів. Проведено аналіз сучасного стану досліджень в області технологій агрегації та моделювання web-сервісів.

Проаналізовано та описано різні типи та технології web-сервісів, дано характеристику і проведена їх класифікація. Показано, що основою технології web-

сервісів є сервіс-орієнтована архітектура (SOA). Проаналізовано основні компоненти і стандарти побудови та функціонування сервіс-орієнтованої архітектури. Розглянуто та проаналізовано основні технології інтеграції та агрегування web-сервісів.

Виконано порівняльний аналіз інформаційних систем, технологій для вирішення завдань інтеграції та взаємодії web-сервісів на основі технології mashup. Проаналізовано інструментальні засоби для реалізації mashup- додатків, принципи роботи цих систем та технологій визначено їх переваги та недоліки.

Розглянуто та проведено аналіз основних методів моделювання взаємодії web-сервісів. На основі проведеного аналізу технологій моделювання та інформаційних технологій визначені і сформульовані основні завдання досліджень при побудові інформаційної технології та моделей для ефективної взаємодії web-сервісів.

В другому розділі розглянута постановка загальних задач та основні етапи побудови інформаційної технології взаємодії web-сервісів, математичні моделі та методи формалізації цих задач, алгебра сервісів, яка є основою для опису моделей web-сервісів та їх властивостей. Розроблена ієрархію інформаційної технології та методика її використання для різних типів задач взаємодії web-сервісів.

Побудова інформаційної технології взаємодії web-сервісів заснована на багатоетапному підході. Цей підхід складається з п'яти концептуально розділених етапів: специфікації (визначення типу сервісу); розробка структури сервісу на основі алгебри сервісів; моделювання взаємодії сервісів; вибору варіанту сервісу та генерації сервісу (рис. 1). Головними елементами інформаційної технології, яка пропонується, є алгебра сервісів та моделі взаємодії web-сервісів.

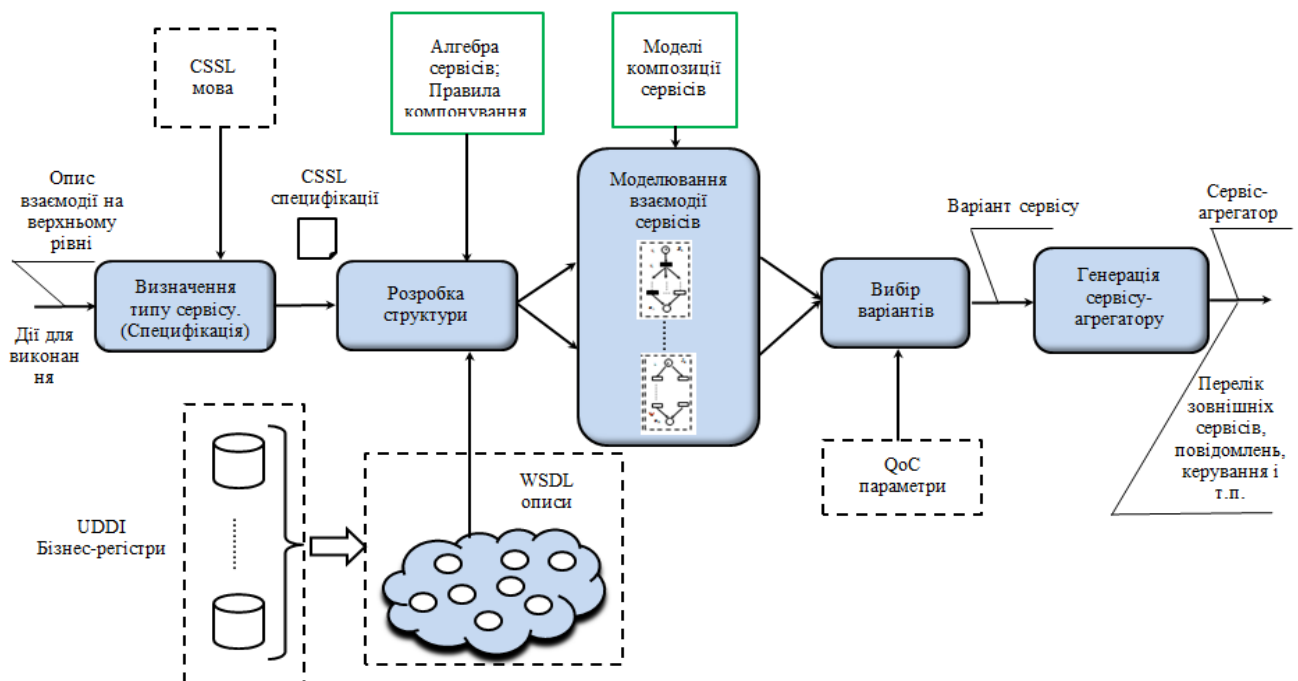


Рисунок 1 – Етапи реалізації інформаційної технології розробки web-сервісу агрегатору

Формально опис Mashup системи з точки зору взаємодії web-сервісів можливо представити наступним чином:

$$MS = \langle Din, Q, WS, OI, InWS, Dout, T \rangle \quad (1)$$

де $Din = \{din_i | i = \overline{1, N_{Din}}\}$ – набір вхідних даних; $Q = \{q_i | i = \overline{1, N_Q}\}$ – множина запитів користувачів; $WS = \{ws_i | i = \overline{1, N_{WS}}\}$ – множина базових web-сервісів, компонентів mashup-системи; OI – множина базових операцій взаємодії web-сервісів; $InWS = \{inws_i | i = \overline{1, N_{InWS}}\}$ – набір правил взаємодії web-сервісів; $Dout = \{dout_i | i = \overline{1, N_{Dout}}\}$ – набір вихідних даних; $T = \{t_i | i = \overline{1, N_T}\}$ – множина часових показників взаємодії елементів mashup-системи; $MS = \{ms_i | i = \overline{1, N_{MS}}\}$ – набір вихідних характеристик роботи mashup-системи.

При розв'язуванні завдань взаємодії web-сервісів у mashup-додатках використовуються різні математичні моделі взаємодії web-сервісів. Для визначення типу математичної моделі необхідно вирішити наступні завдання:

- Вибір множини моделей web-сервісів, які найбільш ефективних для вирішення завдань побудови моделей динамічної взаємодії web-сервісів при заданих умовах агрегації.
- Вибір множини операцій зі списку базових або комбінованих для створення моделей web-сервісів агрегаторів.
- Об'єднання моделей в єдину агрегуючу систему, для вирішення завдань динамічної взаємодії web-сервісів при розробці, наприклад для задачі багатокритеріального вибору структури web-сервісу;
- Міжмодельне узгодження в web-сервісі агрегаторі.

У зазначених моделях представлено врахування основних аспектів при розв'язанні проблем, пов'язаних з побудовою ефективних web-сервісів та підбором математичних моделей, а саме: визначення множини web-сервісів і визначення структури web-сервісу, врахування динаміки зміни інформації, врахування основних невизначеностей при побудові структури web-сервісу. Розроблена модель динамічного web-сервісу дає можливість описати web-сервіс і використовувати її в процесі побудови інших web-сервісів для збереження даних про структуру web-сервісу.

Для вирішення цих завдань розроблено підхід на основі моделей взаємодій web-сервісів, який ґрунтується на алгебро-логічному описі правил функціонування web-сервісу. Підхід складається з наступних етапів.

Етап 1. Попереднє визначення структури web-сервісу WSx , що ставиться у відповідність множині допустимих варіантів рішень $WSx_{S\beta}$, математичній моделі M_v , в межах якої знаходять структуру web-сервісу x :

$$M_v = \langle WSx \in WSx_{S\beta}, f_j(x), j \in J_v \rangle,$$

Етап 2. Представлення задачі модельного вибору ефективних структур сервісів. Формалізація здійснюється у наступному вигляді:

$$WSt^M = \langle M, \{r_i^{M(\alpha)}\}, \{r_i^{M(\beta)}\} \rangle, i \in N^M,$$

Етап 3. Розподіл показників оцінки якості та ефективності. Розподіл за допомогою моделей представляється у вигляді математичної структури вибору:

$$WSt^X = \langle X^{M^*}, \{r_i^{X(\alpha)}\}, \{r_i^{X(\beta)}\} \rangle, i \in N^X,$$

Етап 4. Міжмодельне узгодження. Об'єднання множини M^* в єдиний сервіс представляється у вигляді наступної структури вибору:

$$WSt^\pi = \langle M^*, \pi, \{r_i^{\pi(\alpha)}\}, \{r_i^{\pi(\beta)}\} \rangle, i \in N^\pi,$$

Етап 5. Побудова моделей ефективного сервісу. Проблема побудови моделей ефективного сервісу передбачає вирішення завдань вибору на структурах WSt^M , WSt^X , WSt^π . Формально це завдання представлено у вигляді наступної структури:

$$WSt = \langle WSt^M, WSt^X, WSt^\pi, \{r_i^\beta\} \rangle,$$

де через r_i^β позначені відношення, які обмежують вибір ефективних рішень при розробці динамічних web-сервісів.

При розробці web-систем необхідно враховувати механізми взаємодії web-сервісів, які дають уявлення про структуру web-системи та зв'язки web-сервісів при обробці інформації різного типу. Динамічні моделі взаємодії сервісів відображають функціональні можливості web-системи та дозволяють деталізувати механізми їх взаємодії.

За механізмом взаємодії web-сервісів динамічні моделі взаємодії можливо поділити на:

1. *Моделі взаємодії web-сервісів за агрегованими відношеннями* (механізм $\langle Agr, Ws_n, \mathbb{R}, f \rangle$). Де f — оператор, який співставляє web-сервісам, які взаємодіють деяке відношення \mathbb{R}

$$R = f(\mathbb{R}) = f(\mathbb{R}_1, \dots, \mathbb{R}_d), \quad (2)$$

яке називається *агрегованим*, а взаємодія задається рівнянням

$$U^{Agr}_{Rf}(Ws) = U_{f(R)}(Ws) \quad (3)$$

Як *спосіб агрегування* f використовуються теоретико-множинні операції, а також більш складні — які є суперпозиціями теоретико-множинних операцій і операцій над відношеннями. Необхідність в операції над відношеннями виникає, наприклад, при виділенні з відносин R головної частини $R \setminus R^{-1}$, симетричної частини $R \cap R^{-1}$, при переході до двійкового відношення $(R^{-1}) = \Omega^2 \setminus R^{-1}$ та інш.

2. *Взаємодія, заснована на композиції* (механізм $\langle Com, Ws_n, R, f \rangle$). Йому у відповідність ставиться функція взаємодії:

$$U^{Com}_{R,f}(Ws) = f(U_{R1}(Ws), \dots, U_{Rd}(Ws)). \quad (4)$$

Спосіб композиції f визначається теоретико-множинними операціями. Існує ще *сукупно-екстремальна* взаємодія, яка є окремим випадком композиції, яку можна записати у вигляді:

$$U^{c3}(Ws) = \bigcup_{i=1}^d U_{w_i}(Ws) \quad (5)$$

де w_i — відношення, яке відповідає критерію f_i .

3. *Послідовна взаємодія* (механізм $\langle Seq, Ws_n, R, O \rangle$). Параметр O — це операція суперпозиції, а функція взаємодії задається рівнянням:

$$U^{Seq}_{\mathbb{R}}(Ws) = U_{Rd}(\dots U_{R2}(U_{R1}(Ws))\dots). \quad (6)$$

Послідовна модель взаємодії є узагальненням лексикографічної, яку може бути представлено у вигляді:

$$U_{\lambda}(Ws) = U_{wd}(\dots U_{w2}(U_{w1}(Ws))\dots) \quad (7)$$

4. *Паралельна взаємодія* (механізм $\langle Parl, Ws, R, O \rangle$). Параметр O – це операція суперпозиції, а функція взаємодії задається рівнянням:

$$U^{Parl}_{\mathbb{R}}(Ws) = U_{Rd}(\dots U_{R2}(U_{R1}(Ws))\dots)$$

Комбінацією цих механізмів взаємодії можуть бути інші, складніші типи взаємодії, які можуть бути створені за допомогою теоретико-множинних операцій, наприклад циклічна взаємодія, динамічний вибір тощо.

5. *Композиція взаємодії web-сервісів за агрегованими відношеннями* (механізм $\langle AC, R, g, f \rangle$, де $g = (g_1 \dots, g_k)$ – набір способів агрегування; f – спосіб композиції, який беруться із тих же класів, що і раніше. При цьому:

$$U^{AC}_{\tilde{R}g,f}(Ws) = f(U_{g1(\tilde{R})}(Ws), \dots, U_{gk(\tilde{R})}(Ws)) \quad (8)$$

Це найбільш складний тип композиції взаємодії web-сервісів, який надає можливість створювати багатофункціональні web-додатки з великими сервісними можливостями.

На основі представленого опису моделей була створена алгебра для опису взаємодії базових та композитних сервісів при створенні агрегуючих web-систем, та побудовані ієрархічні моделі web-сервісів різного призначення у середовищі *CPN Tools*.

В якості основних базових конструкцій для алгебри використовуються: послідовність, альтернатива та ітерація. Крім того, визначено комбіновані конструкції, якими є паралельність, довільна послідовність, дискримінатор та динамічний вибір. Конструкції були обрані для забезпечення загального та розширеного набору операцій для комбінації web-сервісів. Після визначення кожної конструкції дається формальна семантика оператора в термінах мереж Петрі.

Сервісна мережа – це множина

$$SN = (P, T, W, i, o, l),$$

де:

- P – кінцева множина позицій,
- $T = IT \cup TT$ – кінцева множина переходів, що представляють операції сервісів. IT – множина безпосередніх переходів, які схематично позначені чорними прямокутниками. TT – це множина часових переходів, що позначені порожніми прямокутниками.

- $W \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ являє собою набір спрямованих дуг (напрямок відносин),

- i – вхідна позиція, з $\bullet i = \{x \in P \cup T \mid (x, i) \in W\} = \emptyset$,
- o – вихідна позиція з $o \bullet = \{x \in P \cup T \mid (o, x) \in W\} = \emptyset$,
- $l : T \rightarrow A \cup \{\tau\}$ – функція маркування, де A набір імен операцій.

Припустимо, що $\tau \notin A$ і позначає приховану операцію.

Набір спрямованих дуг W також можна інтерпретувати як функцію. $W: (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \{0, 1\}$. Приховані операції – це переходи, які не можуть бути спостережувані. Вони використовуються для розрізнення зовнішньої і внутрішньої поведінки сервісу.

Web-сервіс – це множина

$$WS = (NameWs, Desc, Loc, URL, CS, SN),$$

де:

- $NameWs$ – це назва сервісу, яка використовується як її унікальний ідентифікатор,
- $Desc$ – опис сервісу, що надається,
- Loc – це сервер, на якому знаходиться сервіс,
- URL – це виклик web-сервісу,
- CS є набір сервісів-компонентів web-сервісу. Якщо $CS = \{NameWs\}$, тоді WS – базовий сервіс. В іншому випадку WS є складовою послугою,
- SN – це модель сервісної мережі динамічної поведінки сервісів.

Множина сервісів визначається за допомогою формальної граматики в нотации подібній BNF:

$$\begin{aligned} WS ::= & \varepsilon / X / Seq(WS_1, WS_2) / Choice(WS_1, WS_2) / Loop(WS) / \\ & Conc(WS_1, WS_2) / ArbSeq(WS_1, WS_2) / WS_1 //_C WS_2 / (WS_1/WS_2) \rightarrow WS_3 / \\ & [WS_1(p_1, q_1) : WS_2(p_n, q_n)] / Loop([WS_1(p_1, q_1) : WS_n(p_n, q_n)]) / Loop(Seq(WS_1, WS_2)) / \\ & Loop(ArbSeq(WS_1, WS_2)) / Loop(Choice(WS_1, WS_2)) \end{aligned}$$

де:

- ε являє собою *порожній* сервіс, тобто сервіс, який не виконує ніяких операцій.
- X являє собою сервіс-константу, яка визначає *базовий* сервіс.
- $(Seq(WS_1, WS_2))$ – представляє собою комбінований сервіс, який виконує завдання сервісу WS_1 , за яким виконується завдання сервісу WS_2 . $Seq(WS_1, WS_2)$ є оператором *послідовності*. Якщо нема різниці якій сервіс виконати першим, а який потім, то такий порядок дій називається *неупорядкованою послідовністю*. На практиці порядок вирішується за будь-якою умовою, так як порядок не важливий, то неупорядковану послідовність також можна розглядати як *послідовність*.
- $(Choice(WS_1, WS_2))$ – представляє собою комбінований сервіс, який виконується як сервіс WS_1 , або сервіс WS_2 . Коли один з сервісів обрано, тоді інший сервіс не розглядається. $Choice(WS_1, WS_2)$ – це оператор *альтернативного вибору*. Вибір не є довільним і залежить від умов. Таким чином, умовну конструкцію з булевими варіантами можна розглядати як сервіс вибору.
- $(Loop(WS))$ – являє комбінованим сервісом, який виконує певну кількість разів сервіс WS . $Loop(WS)$ є оператором *ітерації*.
- $(Conc(WS_1, WS_2))$ є комбінованим сервісом, який виконує завдання сервісів WS_1 і WS_2 незалежно та паралельно. Обидва сервіси включаються одночасно, і узагальнений сервіс очікує, поки обидва сервіси WS_1 і WS_2 не будуть завершені. $Conc(WS_1, WS_2)$ є *паралельним* оператором.

- $(ArbSeq (WS_1, WS_2))$ – представляє собою комбінований сервіс, який виконує завдання сервісу WS_1 , за яким виконується завдання сервісу WS_2 . Або спочатку виконується сервіс WS_2 , а потім сервіс WS_1 . $ArbSeq (WS_1, WS_2)$ є оператором довільної послідовності.
- $(WS_1 //_C WS_2)$ є комбінованим сервісом, який виконує сервіси WS_1 та WS_2 незалежно один від одного, з можливостями комунікації над множиною C пар операцій, тобто $//_C$ – є паралельним оператором зв'язку.
- $((WS_1 / WS_2) \rightarrow WS_3)$ є комбінованим сервісом, який очікує виконання одного з сервісів (або WS_1 , або WS_2), перш ніж активувати наступний сервіс WS_3 . \rightarrow – оператор дискримінатора. Сервіси WS_1 та WS_2 не зв'язані між собою.
- $[WS_1 (p_1, q_1) : WS_n (p_n, q_n)]$ – динамічний вибір, являє собою комбінований сервіс, який динамічно вибирає один сервіс серед n доступних сервісів WS_1, \dots, WS_n і виконує його. Він веде себе наступним чином: спочатку запит відсилається постачальнику послуг першого сервісу їх вхідні точки доступу p_1, \dots, p_n . Тоді, виходячи з отриманих відповідей, з їх точок доступу q_1, \dots, q_n та відповідно до певних критеріїв, обирається найкращий постачальник сервісу. $[:]$ є оператором динамічного вибору.
- $(Loop ([WS_1 (p_1, q_1) : WS_n (p_n, q_n)]))$ – є комбінованим сервісом, який певну кількість разів обирає завдання одного серед n доступних сервісів WS_1, \dots, WS_n і виконує його. $Loop ([WS_1 (p_1, q_1) : WS_n (p_n, q_n)])$ – оператор ітераційного динамічного вибору.
- $(Loop (Seq (WS_1, WS_2)))$ – являє комбінованим сервісом, який виконує певну кількість разів завдання сервісу WS_1 , за яким виконується завдання сервісу WS_2 . $Loop (Seq (WS_1, WS_2))$ є оператором ітераційної послідовності.
- $(Loop (ArbSeq (WS_1, WS_2)))$ – представляє собою комбінований сервіс, який виконує певну кількість разів завдання сервісу WS_1 , за яким виконується завдання сервісу WS_2 . Або спочатку виконується сервіс WS_2 , а потім сервіс WS_1 . $Loop (ArbSeq (WS_1, WS_2))$ є оператором ітераційної довільної послідовності.
- $(Loop (Choice (WS_1, WS_2)))$ – є комбінованим сервісом, який виконує певну кількість разів завдання сервісу WS_1 , або сервісу WS_2 . Якщо один з сервісів обрано, тоді інший сервіс не розглядається. $Loop (Choice (WS_1, WS_2))$ – це оператор ітераційного вибору.

Формальне визначення операторів взаємодії в термінах мереж Петрі наступне. Нехай $WS_i = (Name_{WS_i}, Desc_i, Loc_i, URL_i, CS_i, SN_i)$ для $SN_i = (P_i, T_i, W_i, i_i, o_i, l_i)$ для $i=1, \dots, n$, буде n web-сервісів таким, щоб $P_i \cap P_j = \emptyset$ та $T_i \cap T_j = \emptyset$ для $i \neq j$.

Позиція i є початковим маркуванням сервісу WS_i , тобто тільки i містить маркери. Виконання сервісу WS_i починається, коли маркер знаходиться в позиції i і закінчується, коли маркер досягає позиції o .

Семантика алгебри може бути використана для доказу алгебраїчних властивостей конструкцій web-сервісів. Алгебраїчні властивості представлені в таблиці. Вони необхідні для перетворення і оптимізації комбінованих web-сервісів на основі таких операційних показників web-сервісів, як *вартість* та *швидкодія*.

Таблиця – Опис властивостей операторів алгебри сервісів

№	Алгебраїчні властивості
1	$Seq(WS_1, (Seq(WS_2, WS_3))) = Seq((Seq(WS_1, WS_2)), WS_3)$
2	$Seq(\varepsilon, WS) = WS$
3	$Seq(WS, \varepsilon) = WS$
4	$Choice(WS_1, WS_2) = Choice(WS_2, WS_1)$
5	$Choice(WS_1, Choice(WS_2, WS_3)) = Choice(Choice(WS_1, WS_2), WS_3)$
6	$Choice(WS, WS) = WS$
7	$Seq(Choice(WS_1, WS_2), WS_3) = Choice(Seq(WS_1, WS_3), Seq(WS_2, WS_3))$
8	$ArbSeq(WS_1, WS_2) = Choice(Seq(WS_1, WS_2), Seq(WS_2, WS_1))$
9	$Loop(WS) = WS$
10	$WS_1 //_C WS_2 = WS_2 //_C WS_1$
11	$WS_1 //_{\emptyset} (WS_2 //_{\emptyset} WS_3) = (WS_1 //_{\emptyset} WS_2) //_{\emptyset} WS_3$
12	$WS //_{\emptyset} \varepsilon = WS$
13	$Conc(WS_1, WS_2) = Conc(WS_2, WS_1)$
14	$Conc(WS_1, Conc(WS_2, WS_3)) = Conc(Conc(WS_1, WS_2), WS_3)$
15	$Conc(WS, \varepsilon) = WS$
16	$WS_1 //_{\emptyset} WS_2 = Conc(WS_1, WS_2)$
17	$(WS_1/WS_2) \rightarrow WS_3 = (WS_2/WS_1) \rightarrow WS_3$
18	$(WS_1/\varepsilon) \rightarrow WS_2 = Seq(WS_1, WS_2)$
19	$(WS_1/WS_2) \rightarrow \varepsilon = Choice(WS_1, WS_2)$
20	Якщо $WS_j = \varepsilon$ тоді $\prod_{i=1}^n S_i = \prod_{i=1, i \neq j}^n S_i$
21	$ArbSeq(WS_1, WS_2) = ArbSeq(WS_2, WS_1)$ (отримано з (8) та (4))
22	$ArbSeq(WS, WS) = Seq(WS, WS)$ (отримано з (8) та (6))
23	$ArbSeq(WS, \varepsilon) = WS$ (отримано з (8), (2), (3) та (6))
24	$Loop([WS_1(p_1, q_1) : WS_n(p_n, q_n)]) = [WS_1(p_1, q_1) : WS_n(p_n, q_n)]$ (отримано з (9))
25	$Loop(Seq(WS_1, WS_2)) = Seq(WS_1, WS_2)$ (отримано з (9))
26	$Loop(ArbSeq(WS_1, WS_2)) = ArbSeq(WS_1, WS_2)$ (отримано з (9))
27	$Loop(Choice(WS_1, WS_2)) = Choice(WS_1, WS_2)$ (отримано з (9))
28	$Loop(Choice(WS, WS)) = WS$ (отримано з (6) та (9))
29	$Loop(Choice(WS_1, WS_2)) = Choice(WS_2, WS_1)$ (отримано з (4) та (9))
30	$Loop(Choice(WS_1, Choice(WS_2, WS_3))) = Choice(Choice(WS_1, WS_2), WS_3)$ (отримано з (5) та (9))

Оператори, які наведені в алгебрі сервісів відповідають загальним алгебраїчним властивостям, таким як комутативність, асоціативність та дистрибутивність. Використання сервісної алгебри з представленим набором операцій дозволяє використовувати її для моделювання взаємодій web-сервісів більш складними типами мереж Петрі. На основі представленого підходу розроблено моделі web-сервісів з різними типами складних взаємодій. Приклад побудови композитного сервісу за допомогою алгебри сервісів у вигляді мережі Петрі наведено на рис. 2. Використання сервісної алгебри з представленим набором операцій дозволяє використовувати її для моделювання взаємодій web-сервісів більш складними типами мереж Петрі.

Для ефективного вирішення завдань побудови інформаційної технології (див. рис. 1) розроблено ієрархію інформаційної технології на основі динамічної взаємодії

web-сервісів (рис. 3) та методику її застосування (рис. 4). Інформаційна технологія заснована на використанні процедур, які працюють у складі процесів та реалізовані у вигляді окремих операцій (рис. 3). Групи операцій використовуються залежно від типу процедури та від конкретної задачі взаємодії web-сервісів.

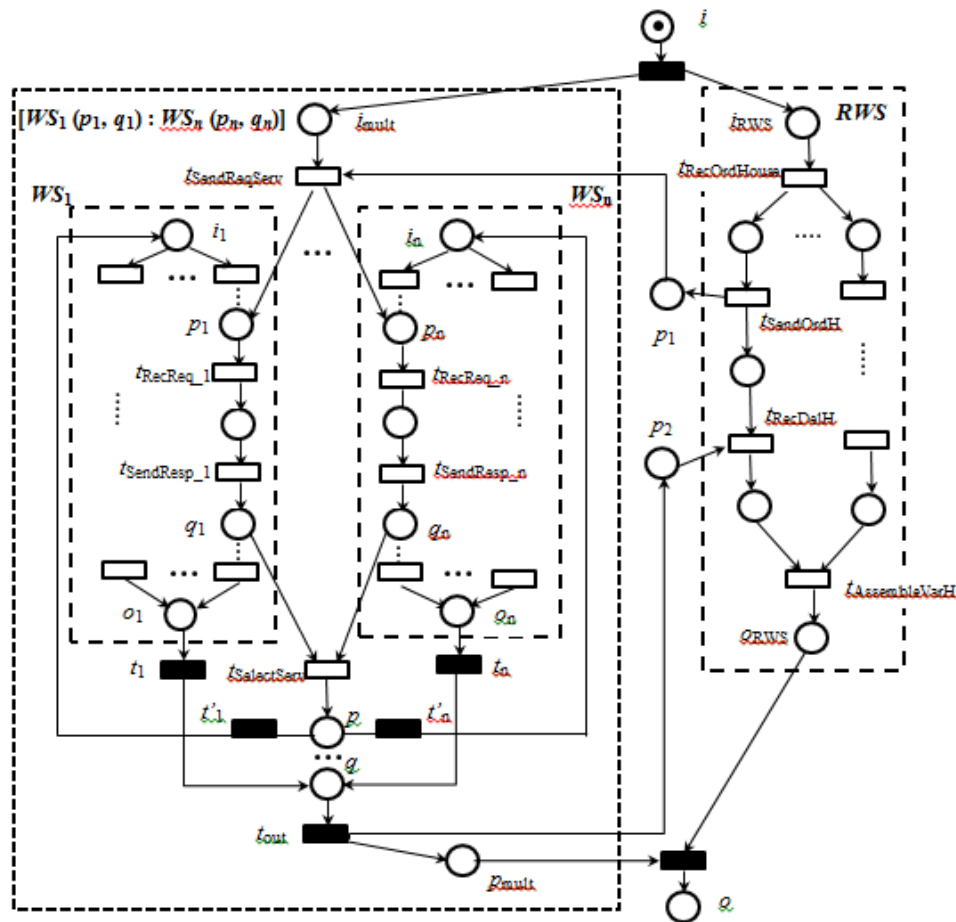


Рисунок 2 – Приклад побудови композитного сервісу за допомогою алгебри сервісів у вигляді мережі Петрі ($([WS_1(p_1, q_1) : WS_n(p_n, q_n)] //_C RWS)$)

В третьому розділі розглянуто питання побудови моделей взаємодії web-сервісів за допомогою кольорових мереж Петрі. Визначено, що найбільш зручним для побудови моделей web-сервісів є ієрархічні часові мережі Петрі, тому що з їх допомогою можна побудувати ієрархічні моделі складних систем, та дослідити їх динаміку. Реалізовано імітаційні моделі сервісів в середовищі *CPN Tools* та виконано імітацію їх поведінки. Побудовані імітаційні моделі дозволяють будувати web-сервіси для збору інформації враховуючи часові затримки в різних випадках при надходженні інформації.

Математичне визначення моделі на кольорових мережах Петрі наступне:

$$CPT = \{\Sigma, S, T, F, M_0, Type, Type_T, Type_M, I_m\}, \quad (9)$$

де Σ – кінцева множина непустих типів, (т. з. наборів кольорів); S – кінцева множина позицій; T – кінцева множина переходів; F – множина дуг, яка включає дві підмножини вхідних та вихідних дуг по відношенню до переходу; M_0 – початкове маркування мережі; $Type$ – множина типів; $Type_T$ – множина, яка відображає

доступну множину типів у позиціях мережі; $Туре_M$ – множина типів маркерів, що ініціюють перехід; I_{in} – множина умов ініціації переходів.



Рисунок 3 – Ієрархія інформаційної технології моделювання взаємодії web-сервісів

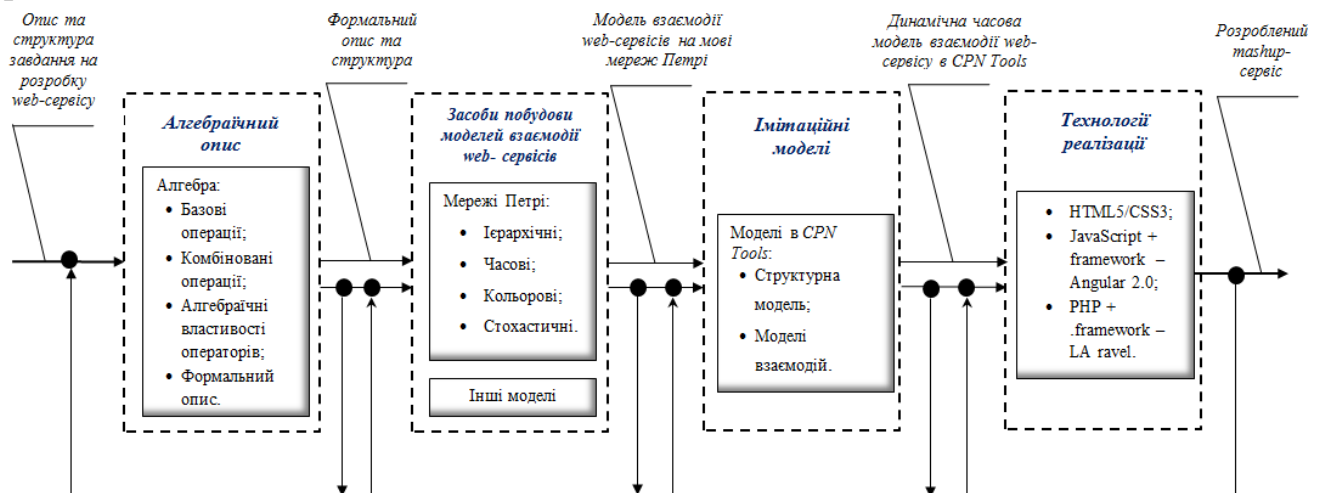


Рисунок 4 – Методика застосування інформаційної технології для розв'язання завдань при розробці web-сервісу агрегатору

Для побудови моделей взаємодії web-сервісів на основі кольорових мереж Петрі необхідно виконати наступну послідовність: визначити множину позицій $S = \{S_1, S_2, \dots, S_g\}$, станів web-сервісу; визначити множину переходів $T = \{t_1, t_2, \dots, t_v\}$, які відповідають web-сервісу, та визначають його дії; визначити множину дуг F , та задати початкове маркування мережі M_0 ; визначити можливі операції з іншими web-сервісами, та відобразити їх у T_p множині типів у позиціях T_m мережі; визначити маркери, що ініціюють переходи, і умови ініціалізації переходів I_{in} (часові).

Побудова моделі web-сервісу в *CPN Tools* здійснюється за наступним загальним алгоритмом:

Крок 1. Визначення складу web-сервісу та декларування параметрів сервісу (параметри моделювання, тип черги).

Крок 2. Моделювання (завдання декларацій системи та параметрів моделі).

Крок 3. Моніторинг параметрів системи, що моделюється.

Крок 4. Імітаційний експеримент (запуск системи обробки заявок в черзі).

Крок 5. Корегування параметрів (якщо потрібно).

Крок 6. Аналіз результатів моделювання.

Для побудови моделі базового web-сервісу в *CPN Tools* використовується три окремих модельних аркуша. На першому аркуші зображено загальна модель web-системи верхнього рівня (рис. 5а), на другому – мережа другого рівня з моделлю генератора заявок (рис. 5б), на третьому – мережа другого рівня з моделлю web-сервісу обробки заявок, що надходять від користувачів (рис. 5в).

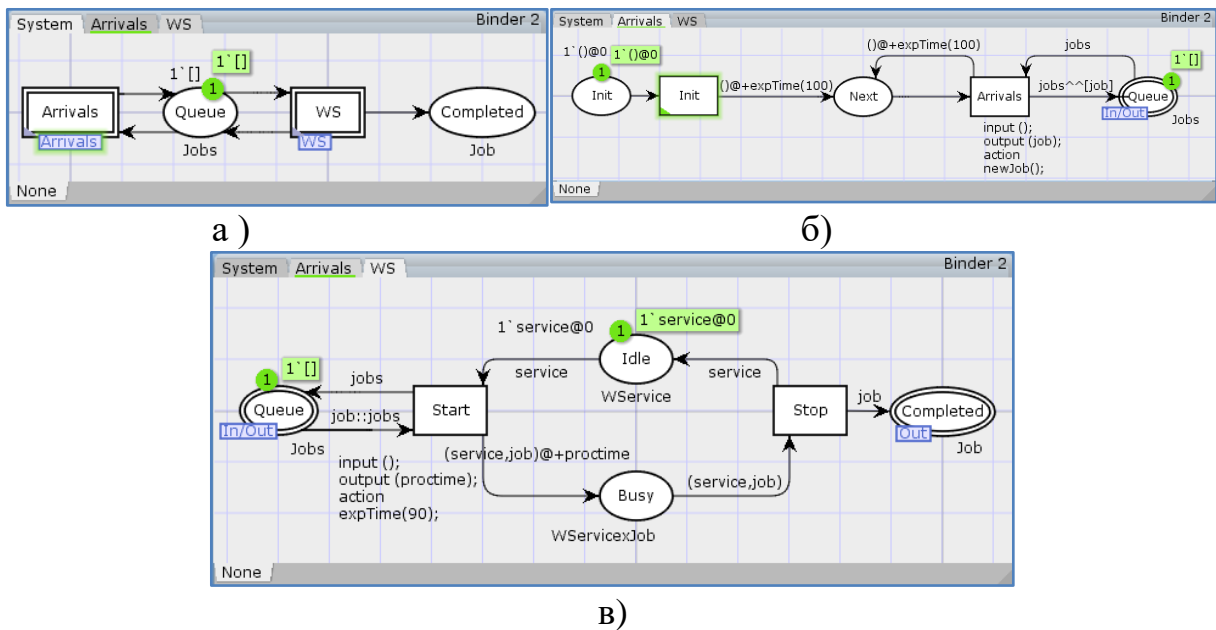


Рисунок 5 – Базова модель web-сервісу в *CPN Tools*: а) модель web-системи верхнього рівня; б) мережа другого рівня з моделлю генератора заявок; в) мережа другого рівня з моделлю web-сервісу обробки заявок, що надходять від користувачів

При моделюванні web-сервісів виникає необхідність накопичення та збереження статистичної інформації про процес моделювання. Для розв’язання цієї задачі в *CPN Tools* були використані спеціальні інструменти моніторингу виконання процесу моделювання в мережі (*монітори*). Серед моніторів обрано моніторинг параметрів черги web-системи.

При побудові моделі web-сервісу за допомогою *CPN Tools* використовуються наступні моделі взаємодії: моделі взаємодії web-сервісів на основі базових операторів та моделі взаємодії web-сервісів на основі комбінованих операторів. На рис. 6 представлена модель агрегованого web-сервісу для прикладу об’єднання декількох типів операторів взаємодій. Модель побудована на основі операцій алгебри сервісів та базової моделі комбінованого web-сервісу. Проведено імітаційне моделювання різних варіантів завантаження web-сервісу.

Для оцінювання якості взаємодії web-сервісів були визначені та систематизовані головні показники роботи web-сервісів. Представлені параметри дозволяють всебічно оцінити web-сервіси та якість їх використання.

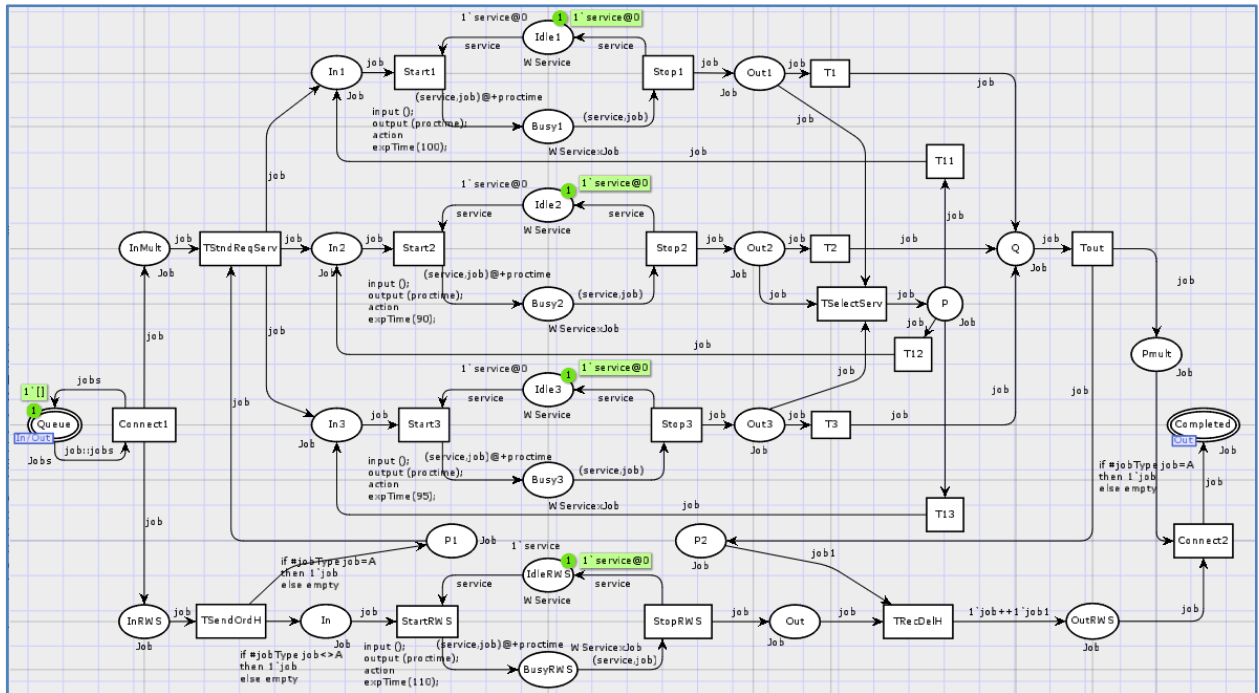


Рисунок 6 – Приклад реалізації моделі агрегованого web-сервісу об’єднання декількох типів операторів взаємодій

Для реалізації підходу створення mashup-сервісів на основі моделей динамічної взаємодії було розроблено та реалізовано фреймворк для побудови агрегуючих сервісів. Даний фреймворк дозволяє створювати агрегуючі сервіси на основі індивідуальних запитів користувача. Фреймворк надає користувачеві персоналізовані гібридні програмні модулі, які генеруються автоматично на основі персональної інформації користувача та інформації про контент, який необхідно зібрати з різних джерел (сервісів або додатків) та об’єднані в один інтегрований інструмент. Фреймворк дозволяє відображати поточну інформацію про головні елементи контенту в режимі реального часу, а також структуру створеного mashup-додатку.

В четвертому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання створення прикладних web-систем, які консолідують та інтегрують інформацію, використовуючи інформаційну технологію та моделі моделювання взаємодії web-сервісів. З метою реалізації практичних завдань використовувались: сучасні методи та засоби моделювання, сучасні технології розробки програмного забезпечення; сучасні засоби для побудови користувацьких web-інтерфейсів. В якості прикладів розробки web-систем агрегаторів були створені проекти композитних сервісів: поліграфічного, ріелтерського та фармацевтичного сервісів.

Для кожного з проектів було розроблено структурну схему web-сервісу. У якості інструмента структурного аналізу використана діаграма потоків даних (DFD) в нотації подібній нотації Гейна-Сарсона. На верхньому рині моделювання за допомогою комбінації введених операторів для поліграфічного web-сервісу

структура моделі представлена у вигляді:

Seq (Seq (Registering, Loop (ArbSeq (EnerPrivateOffice, Choice (WSPC, Seq (WSPC, DesWS))))), Choice (FWS, Seq (FWS, DWS))).

Результати, які отримані при аналізі ієрархічної мережі цілком, та результати, які отримані при аналізі мереж другого рівня та головної мережі окремо, співпадають: в системі є два тупикові маркування (вихід з системи), відсутні зациклення, всі переходи спрацьовують. На рис. 7 представлено модель поліграфічного web-сервісу.

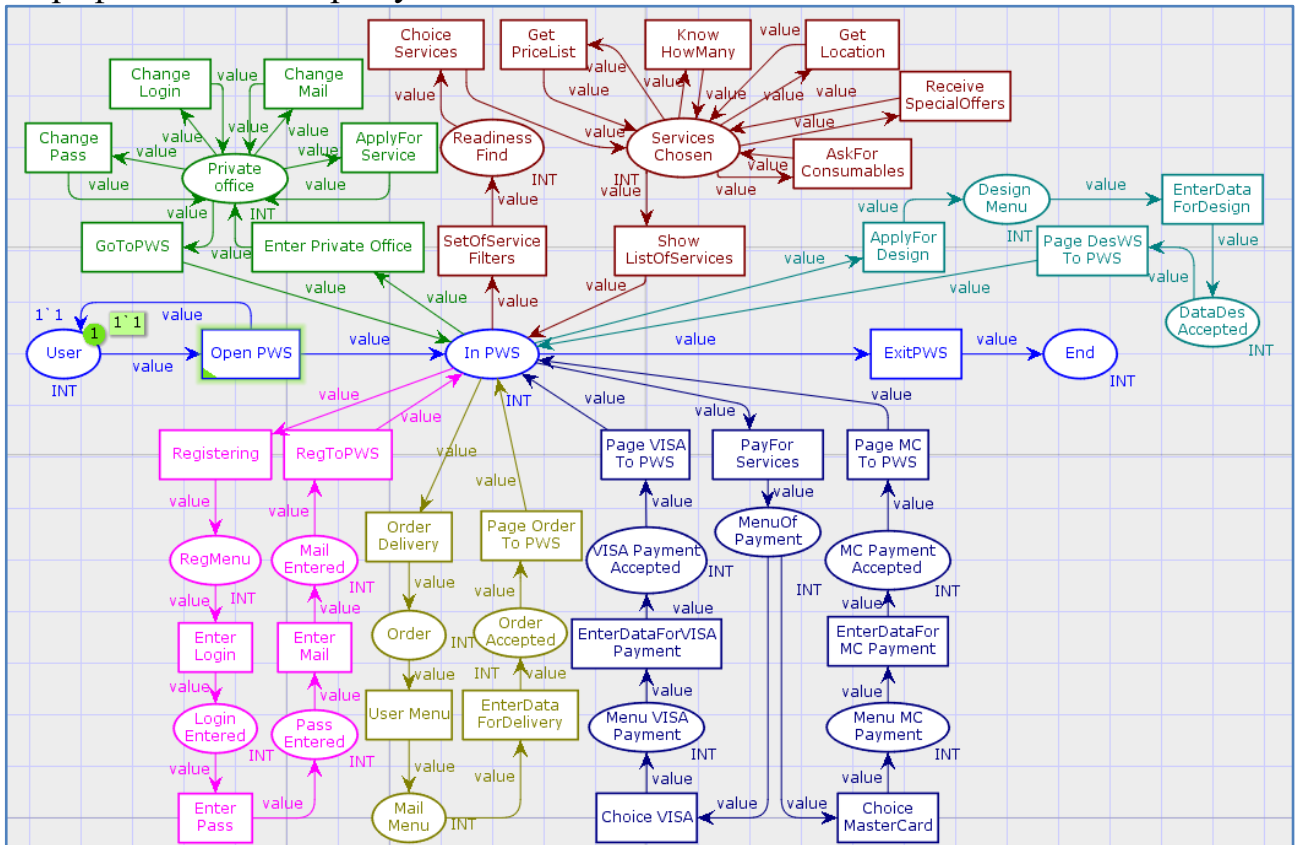


Рисунок 7 – Модель поліграфічного web-сервісу

Розроблені моделі композитних web-сервісів у вигляді мереж Петрі були представлені в ієрархічному вигляді з метою аналізу окремих мереж другого рівня. Це дає можливість аналізувати окремо всі частини мережі та використовувати результати для формування висновків про коректність побудови всієї мережі.

Для розрахунку показників ефективності функціонування web-сервісів була проаналізована інформація про показники швидкодії створених web-сервісів в порівнянні з відомими фармацевтичними, ріелтерськими та поліграфічними сервісами. Аналіз був проведений на основі даних з незалежних ресурсів: www.sitechecker.pro, www.similarweb.com, та з сервісу Google Analytics. Були розглянуті та проаналізовані наступні показники: швидкість завантаження (ресурс: www.sitechecker.pro), часові показники, які витрачені на відвідування сторінки, кількість розглянутих сторінок, середній показник відмов (ресурс: www.similarweb.com, Google Analytics), та показники швидкодії web-ресурсу, такі як: перше відображення всього вмісту, індекс швидкості, час до повної взаємодії

сервісів, перше значне відображення, перший простий ЦП, максимальна потенційна затримка першого введення, загальна швидкість ресурсу (ресурс: www.similarweb.com). Аналіз показників ефективності при створенні сервісу поліграфічних послуг наведено на рисунках 8-10.

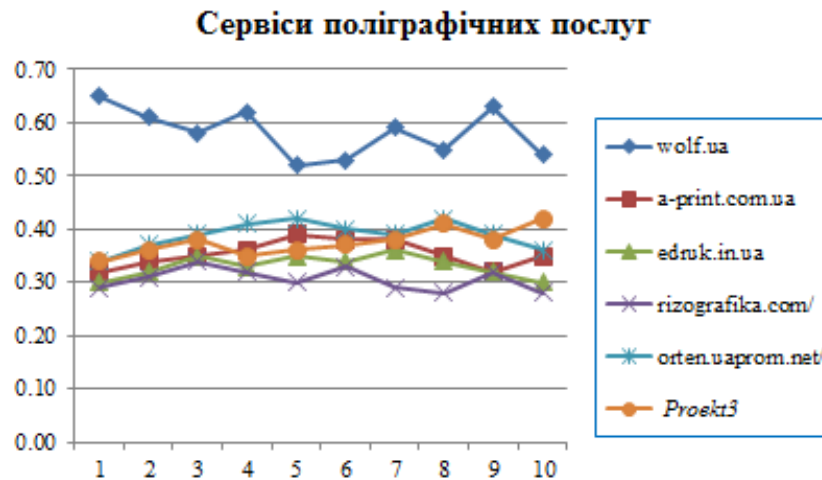


Рисунок 8 – Динаміка показника швидкості завантаження контенту по сервісам поліграфічних послуг

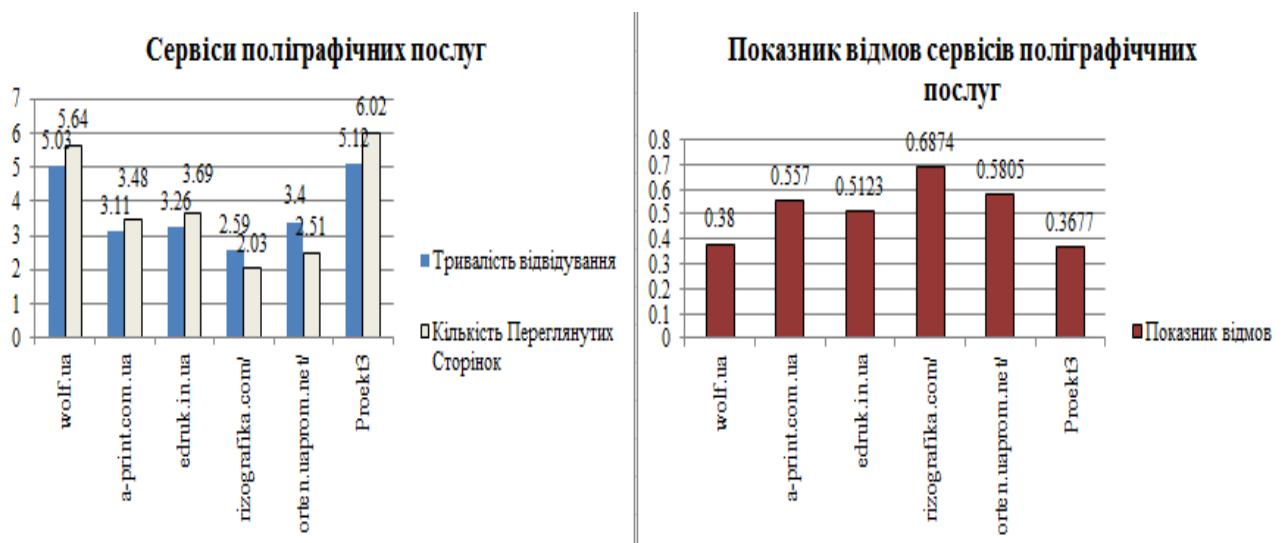


Рисунок 9 – Якісні показники по сервісам надання поліграфічних послуг

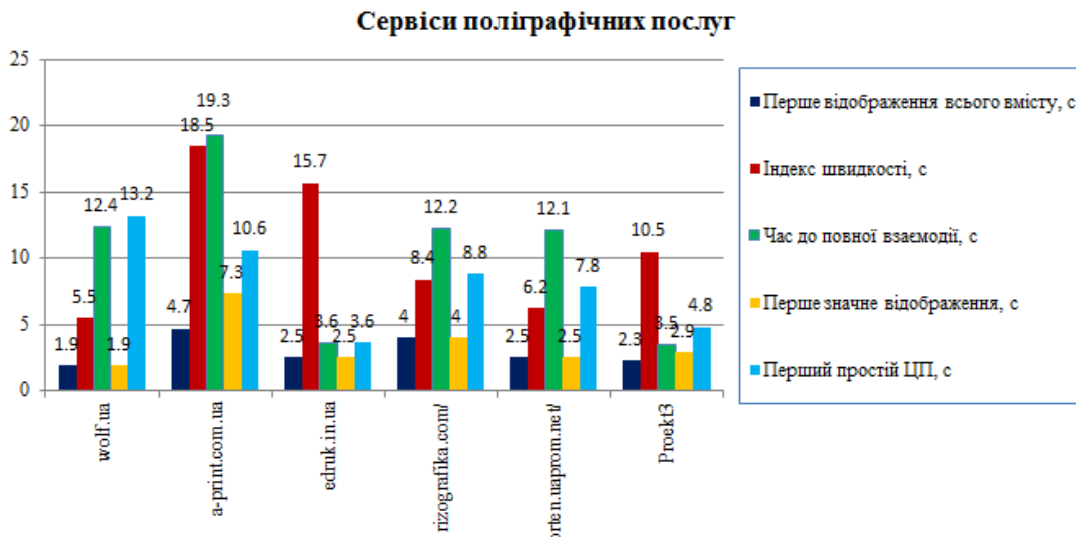


Рисунок 10– Показники швидкодії по сервісам надання поліграфічних послуг

В додатках наведено ключові фрагменти програмного коду фреймворку, документи щодо впровадження розробок, а також список публікацій здобувача.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, розв’язано актуальне наукове-прикладне завдання підвищення ефективності взаємодії web-сервісів при агрегуванні інформації засобами моделювання та сучасних інформаційних технологій з урахуванням зростання обсягів інформації та розвитку web-технологій.

1. Виконано аналіз сучасного стану досліджень в області моделювання web-сервісів та mashup систем та визначено основні напрямки розроблення моделей та інформаційної технології для підвищення ефективності взаємодії web-сервісів при агрегуванні інформації, що дало змогу сформулювати задачі дисертаційного дослідження, а також визначити шляхи їх розв’язання.

2. Розроблено метод опису структури та взаємодії web-сервісів на основі спеціалізованої алгебри сервісів та мереж Петрі при створенні нових web-сервісів, який засновано на алгебраїчному описі операцій взаємодії web-сервісів, представлення операцій на мові мереж Петрі та формальному описі властивостей моделей.

3. Розроблено комбіновані ітераційні операції алгебри сервісів для представлення динамічної взаємодії web-сервісів, що дає можливість врахування динаміки web-сервісів при моделюванні.

4. Розроблено імітаційні моделі взаємодії web-сервісів у вигляді часових ієрархічних кольорових мереж Петрі, які дозволяють за рахунок формального опису взаємодії на основі алгебри сервісів та можливостей середовища CPN Tools дослідити динамічні параметри web-системи.

5. Удосконалено інформаційну технологію побудови моделей динамічної

взаємодії web-сервісів на основі розробки спеціалізованої алгебри, що відрізняється від відомих шляхом додавання нових операцій для моделювання агрегуючих сервісів та побудови імітаційних моделей в середовищі CPN Tools, що дало змогу підвищити ефективність взаємодії web-сервісів.

6. Розвинена mashup технологія інтеграції web-сервісів через запровадження додаткових можливостей динамічного моделювання взаємодії web-сервісів на основі кольорових мереж Петрі, що дозволяє підвищити ефективність та швидкодію web-систем.

7. Розроблено структуру та програмне забезпечення інструментального засобу для розв'язання завдань інтеграції та взаємодії web-сервісів у вигляді фреймворку на основі модельного підходу. Побудовано архітектуру фреймворку, яка має постійне ядро та змінні модулі, за допомогою яких забезпечується адаптація до вимог конкретного проекту mashup системи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гожий О.П. Моделювання розподілу енергетичних ресурсів на основі кольорових мереж Петрі / О.П. Гожий, В.О. Гожий // Науково-технічний журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія» - Вип. 8(125), Харків, 2015. – С. 107-112.
2. Гожий В.О. Алгебра для моделювання взаємодії web-сервісів // Системные технологии. – 2018. – Вип. 5 (118). – С. 121-132.
3. Гожий В.О. Моделювання поліграфічного web-сервісу за допомогою кольорових мереж Петрі // Системные технологии. – 2019. – Вип. 3 (122). – С. 99-109.
4. Гожий В.О. Використання ієрархічних часових мереж Петрі для моделювання web-сервісів // В.О. Гожий, І.О. Калініна // Наукові праці: науково-методичний журнал. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. П. Могили. – Миколаїв, 2018. Т. 317. Вип. 305. – С. 30-35.
5. Гожий В.О. Моделювання взаємодії web-сервісів в mash-up системах на основі кольорових мереж Петрі // Наукові праці: науково-методичний журнал. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. П. Могили. – Миколаїв, 2018. Т. 320. Вип. 308. – С. 64-70.
6. Гожий В.О. Нечіткий когнітивний аналіз ризиків при тестуванні програмного забезпечення // Науково-технічний журнал «Вісник Львівської політехніки» - Вип. 826, Львів, 2015. – С. 96-106.
7. Gozhyj A. Web Resources Management Method Based on Intelligent Technologies / A.Gozhyj, I.Kalinina, V.Vysotska, V.Gozhyj // Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol.871. Springer. 2018. – pp. 206-221 ISBN 978-3-030-01069-0. *
8. Gozhyj A. Web service interaction modeling with colored Petri nets / A.Gozhyj, I.Kalinina, V.Gozhyj, V.Vysotska // 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Metz. – 2019. pp. 319-323. *
9. Gozhyj A. The method of web-resources management under conditions of uncertainty based on fuzzy logic / A.Gozhyj, I.Kalinina, V.Vysotska, V.Gozhyj // Proceedings of

the 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, (CSIT 2018). – V.1.-Lviv: “Vega and Ko”. – 2018, pp. 347-352. *

10. Gozhyj A. Fuzzy cognitive analysis and modeling of water quality // A. Gozhyj, I. Kalinina, V. Gozhyj // 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Bucharest. – 2017, pp. 289-294. *
11. Гожий В.О. Моделювання взаємодії web-сервісів у mash-up додатках // матеріали XIV Міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту, ISDMCI'2019». – Залізний порт: ХНТУ. – 2019 р. – С. 40-42.
12. Гожий В.О. Особливості моделювання взаємодії web-сервісів на основі CPN-Tools // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції: Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2019: Дніпро, 26-28 березня 2019 р. – Дніпро: НМетАУ, 2019. – С. 117-118.
13. Гожий В.О. Моделювання агрегуючих web-сервісів в середовищі CPN Tools // Інтелектуальні інформаційні системи: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів: тези доп., 19-21 лютого 2019 р. – ЧНУ ім. Петра Могили; ХНТУ; ТОВ «ГлобалЛоджик-Україна» - Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2019. – С. 88-90.
14. Гожий В.О. Моделі представлення взаємодії сервісів в агрегуючих web-системах // «Інформаційні технології друкарства» ДРУКОТЕХН-2018, збірник наукових праць (тези доповідей і вибрані статті) VII міжнародної науково-технічної конференції, м. Львів, 15-16 листопада 2018 р. – Львів: Укр. акад. друкарства, 2018. – С. 51-52.
15. Гожий В.О. Аналіз характеристик QoS для оцінювання web-сервісів // Могилянські читання – 2018: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти: XXI Всеукр. наук.-метод. конф.: тези доповідей Комп'ютерні науки. Технічні науки, Миколаїв, 12-17 листоп. 2018 р. ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. – С. 15-18.
16. Гожий В.О. Моделювання web- додатків за допомогою нечітких ситуаційних мереж // матеріали XIV Міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту, ISDMCI'2018». – Залізний порт, ХНТУ. - 2018 р. – С. 46-47.
17. Гожий В.О. Підхід до побудови нечітких ситуаційних мереж для моделювання складних динамічних систем // Інтелектуальні інформаційні системи: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів: тези. Миколаїв, 14-16 лютого 2018 р. /ЧНУ ім. Петра Могили; ХНТУ; ТОВ «ГлобалЛоджик-Україна» – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018 – С. 3-4.
18. Гожий В.О. Моделювання взаємодії web-сервісів при створенні WSA // Ольвійський форум – 2018: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі: XII Міжнар. наук.-практ. конф. 7-10 червня 2018 р., м. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018 р. – С. 42-43.

19. Гожий В.О. Когнітивне моделювання ризиків при розробці ІТ проектів // матеріали XIII Міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту, ISDMCI'2017». – Залізний порт: ХНТУ. – 2017 р. – С. 257-258.
20. Гожий В.О. Представлення моделей складних систем у просторі станів // Інтелектуальні інформаційні системи: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів: тези. Миколаїв, 15-17 лютого 2017 р. / ЧНУ ім. Петра Могили; ХНТУ; ТОВ «ГлобалЛоджик-Україна» – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2017. – С. 82-83.
21. Гожий О.П. Методика аналізу екологічних показників та індикаторів для оцінювання стану екологічної ситуації в регіоні. / О.П. Гожий, І.О. Калініна, Н.Ю. Андреева, В.О. Гожий // науково-практична конференція «Екологічна безпека населення та регіону, як основа державної безпеки»: [матеріали конференції]. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили. – 2016. – С. 54-56.
22. Гожий В.О. Система підтримки прийняття рішень для оцінювання фінансового стану підприємства // Праці VIII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, УжНУ, 26.09-01.10 2016. – С. 89-90.
23. Гожий В.О. Розробка інформаційної системи для оцінювання фінансового стану підприємства // Матеріали XII Міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту, ISDMCI'2016». – Залізний порт: ХНТУ. – 2016 р. – С. 191-192.
24. Гожий В.О. СППР для оцінювання поточного фінансового стану ІТ-підприємства // Інтелектуальні інформаційні системи: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів: тези. Миколаїв, 16-17 лютого 2016 р. / ЧНУ ім. Петра Могили; ХНТУ; ТОВ «ГлобалЛоджик-Україна» – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – С. 83-84.
25. Гожий В.О. Застосування методів нечіткого когнітивного моделювання для дослідження ризиків під час тестування програмного забезпечення // Інтелектуальні інформаційні системи: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів: тези. Миколаїв, 16-17 лютого 2015 р. / ЧДУ ім. Петра Могили; ХНТУ; ТОВ «ГлобалЛоджик-Україна» – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2015. – С. 30-31.
26. Гожий В.О. Застосування нечітких когнітивних карт при оцінці ризиків при тестуванні програмного забезпечення/ В.О. Гожий, І.О. Калініна // Матеріали XI міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2015)». – Залізний порт: ХНТУ. 25-28 травня 2015. – С. 269-270.
27. Гожий В.О. Реалізація паралельного алгоритму евристичного пошуку. Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі: Матеріали V всеукраїнської конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, КНУ, Кривий Ріг, 20-22 березня 2012 р. – С. 110-111.

28. Гожий В.О. Автоматизація функціонального тестування на основі технології візуального пошуку/ В.О. Гожий, І.О. Калініна // «Нові перспективи: економіка, транспорт, інформаційні технології, екологія, редакторська та журналістська майстерність». Тези доповідей на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених: 12-14 грудня 2012 р. – Кременчук: інформаційні технології і управління, 2012. – Кременчуцький університет економіки, С. 80-81

* Публікація входить до наукометричної бази Scopus.

АНОТАЦІЇ

Гожий В. О. Моделі та інформаційна технологія динамічної взаємодії сервісів в web-системах агрегаторах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Українська академія друкарства, Львів, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розробці моделей, інформаційної технології та їх застосуванню для розв'язання актуальної задачі підвищення ефективності взаємодії web-сервісів при агрегуванні інформації засобами моделювання та інформаційних технологій з урахуванням зростання обсягів інформації та розвитку web-технологій. Розроблено метод опису взаємодії web-сервісів на основі алгебри сервісів та застосування комбінованих ітераційних операцій в алгебрі сервісів для побудови моделей взаємодії web-сервісів, що дало змогу враховувати динамічні особливості процесів інтеграції web-сервісів в mashup-системах. Для дослідження web-сервісів розроблено імітаційні моделі взаємодії web-сервісів у вигляді часових ієрархічних кольорових мереж Петрі, які дозволяють за рахунок опису web-сервісу на основі алгебри сервісів дослідити динамічні параметри web-системи.

Розроблено та удосконалено інформаційну технологію побудови моделей динамічної взаємодії web-сервісів на основі спеціалізованої алгебри, для моделювання агрегуючих сервісів за допомогою включення нових операцій та побудови імітаційних моделей в середовищі CPN Tools, це дало змогу підвищити ефективність взаємодії web-сервісів. Інформаційна технологія реалізована у вигляді фреймворку для автоматизованої генерації web-сервісів агрегаторів.

Розроблено mashup технологію інтеграції web-сервісів через запровадження додаткових можливостей динамічного моделювання взаємодії web-сервісів на основі кольорових мереж Петрі, що дозволило підвищити ефективність та швидкодію web-систем. На основі запропонованого підходу реалізовані ефективні web-сервіси, які забезпечують підвищення швидкодії при отриманні інформації.

Ключові слова: web-сервіс, mashup, взаємодія web-сервісів, модель, інформаційна технологія, алгебра сервісів, мережа Петрі, кольорова мережа Петрі, часові ієрархічні моделі сервісів, фреймворк.

Гожий В. А. Модели и информационная технология динамического взаимодействия сервисов в web-системах агрегаторах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Украинская академия книгопечатания, Львов, 2020.

Диссертация посвящена разработке моделей, информационной технологии для решения актуальной задачи повышения эффективности взаимодействия web-сервисов при агрегировании информации средствами моделирования и информационных технологий, с учетом роста объемов информации и развития web-технологий. Разработан метод описания взаимодействия web-сервисов на основе алгебры сервисов и применения комбинированных итерационных операций в алгебре сервисов для построения моделей взаимодействия web-сервисов, что позволяет учитывать динамические особенности процессов интеграции web-сервисов в mashup-системах. При разработке web-систем учитываются механизмы взаимодействия web-сервисов, которые дают представление о структуре web-системы и связи web-сервисов при обработке информации разного типа. Была разработана и представлена классификация динамических моделей взаимодействия web-сервисов, которые отличаются механизмом взаимодействия. На основе представленного описания моделей была создана алгебра для описания взаимодействия базовых и композитных сервисов при создании агрегирующих web-систем, которая объединяет существующие web-сервисы для построения более сложных, и улучшает эффективность их взаимодействия.

Для определения основных операторов алгебры и для описания взаимодействия web-сервисов были определены следующие базовые конструкции: пустой сервис, последовательность, альтернативный выбор, цикл, параллельность, произвольная последовательность, параллелизм с коммуникацией, дискриминатор, динамический выбор. Предложенная алгебра проверяет свойство замыкания. Это позволяет строить более сложные и комбинированные сервисы путем агрегирования и повторного использования существующих сервисов из-за декларативного выражения сервисной алгебры. Для построения сложных взаимодействий web-сервисов необходимо использовать конструкции с более широким функционалом. Они разрабатываются на основе комбинированных операций для выполнения итерационных процедур. Определены следующие комбинированные конструкции: итерационный динамический выбор, итерационная последовательность, итерационная произвольная последовательность, итерационный выбор. Приведены примеры построения моделей сложных сервисов.

Для исследования web-сервисов разработаны имитационные модели взаимодействия web-сервисов в виде временных иерархических цветных сетей Петри, которые позволяют за счет описания web-сервиса на основе алгебры сервисов исследовать динамические параметры web-системы.

Разработана и усовершенствована информационная технология построения моделей динамического взаимодействия web-сервисов на основе специализированной алгебры, для моделирования агрегирующих сервисов посредством включения новых операций и построения имитационных моделей в среде CPN Tools, это позволило повысить эффективность взаимодействия web-сервисов. Информационная технология реализована в виде фреймворка для автоматизированной генерации web-сервисов агрегаторов.

Разработана mashup технология интеграции web-сервиса из-за введения дополнительных возможностей динамического моделирования взаимодействия web-сервисов на основе цветных сетей Петри, что позволило повысить эффективность и быстродействие web-систем. На основе предложенного подхода реализованы эффективные web-сервисы, обеспечивающие повышение быстродействия при получении информации.

Ключевые слова: web-сервис, mashup, взаимодействие web-сервисов, модель, информационная технология, алгебра сервисов, сеть Петри, цветная сеть Петри, временные иерархические модели сервисов, фреймворк.

Gozhiy V.A. Models and information technology of dynamic interaction of services in web-systems aggregators. – On the right of manuscript.

Thesis for a Ph.D degree on technical sciences in specialty 05.13.06 – information technologies. – Ukrainian Academy of Printing, Lviv, 2020.

The dissertation is devoted to the development of models, information technology and their application for solving the urgent task of improving the effectiveness of interaction of web-services in the aggregation of information by means of modeling and information technologies, taking into account the growth of information volumes and the development of web-technologies. A method of describing the interaction of web-services based on service algebra and the use of combined iterative operations in service algebra to build models of interaction of web-services, which allowed to take into account the dynamic features of the process of integration of web-services in mashup systems. For the study of web-services, simulation models of interaction of web-services in the form of temporal hierarchical color Petri nets have been developed, which allow to investigate the dynamic parameters of the web-system through the description of the web-service based on the algebra of services.

Information technology of dynamic interaction modeling of web-services based on specialized algebra was developed and improved, for modeling of aggregating services by means of inclusion of new operations and construction of simulation models in CPN Tools environment, which allowed to increase the efficiency of interaction of web-services. Information technology is implemented as a framework for automated generation of aggregator web services.

The mashup technology of integration of web-services was developed by introducing additional possibilities of dynamic modeling of interaction of web-services on the basis of Petri color networks, which allowed to increase the efficiency and speed of web-systems. On the basis of the proposed approach, effective web-services are implemented, which increase the speed of information receipt.

Keywords: web-service, mashup, interaction of web-services, model, information technology, algebra of services, Petri net, color Petri net, temporal hierarchical models of services, framework.