

С.Ф. Чалий¹, В.О. Лещинський²

¹професор кафедри інформаційних управляючих систем,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна,
serhii.chalyi@nure.ua, ORCID:0000-0002-9982-9091

²доцент кафедри програмної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна,
volodymyr.leshchynskiy@nure.ua, ORCID:0000-0002-8690-5702

ТЕМПОРАЛЬНІ ПАТЕРНИ ВПОДОБАНЬ КОРИСТУВАЧІВ В ЗАДАЧАХ ФОРМУВАННЯ ПОЯСНЕНЬ В РЕКОМЕНДАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Розглянуто проблему врахування змін вимог користувача рекомендаційної системи при побудові пояснень щодо рекомендацій. Ця проблема може виникнути в результаті циклічних змін вимог користувача. Її рішення пов'язане з побудовою пояснення, що порівнює альтернативні варіанти вибору такого користувача. Розроблені моделі темпоральних патернів складаються з множини темпоральних відношень між подіями вибору користувачами товарів та послуг. Перший патерн містить альтернативи у вигляді послідовного вибору в часі декількох предметів або вибору тільки пари - першого і останнього предмета. Другий патерн, послідовно-альтернативного вибору, складається з послідовності виборів у часі, яка завершується першим патерном. Запропонований підхід до формування патернів заснований на побудові наборів даних, що містять в собі темпоральні залежності між групою виборів користувача для заданого рівня деталізації часу. Набір даних з темпоральними залежностями використовується для побудови темпорального графу процесу вибору користувача рекомендаційної системи. Останній включає в себе набір темпоральних патернів із зазначенням часу їх початку і завершення, що дає можливість визначити тривалість реалізації цих шаблонів. На основі патернів формуються підмножини темпоральних відносин для побудови пояснень щодо рекомендованого переліку товарів і послуг. Експериментальна перевірка розробленого підходу з використанням набору даних про продажі «Online Retail» показала можливість виділення темпоральних патернів навіть на коротких вихідних вибірках.

РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА, ПОЯСНЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ, ТЕМПОРАЛЬНІ ПАТЕРНИ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ

Чалий С.Ф., Лещинський В.О. Темпоральные паттерны предпочтений пользователей в задачах формирования объяснений в рекомендательной системе. Рассмотрена проблема учета изменений поведения пользователя рекомендательной системы при построении объяснений относительно рекомендаций. Данная проблема возникает в результате циклических изменений требований пользователя. Ее решение связано с построением объяснения, сравнивающего альтернативные варианты выбора пользователя рекомендательной системы. Разработанные модели темпоральных паттернов состоят из множества темпоральных отношений между событиями выбора пользователя товаров и услуг. Первый паттерн содержит альтернативы в виде последовательного выбора во времени нескольких предметов или выбора только пары - первого и последнего предмета. Второй паттерн, последовательно-альтернативного выбора, состоит из последовательности выборов во времени, которая завершается первым паттерном. Предложенный подход к формированию паттернов основан на построении наборов данных, содержащих в себе темпоральные зависимости между группой выборов пользователя для заданного уровня детализации времени. Набор данных с темпоральными зависимостями используется для построения темпорального графа процесса выбора пользователя рекомендательной системы. Последний включает в себя набор темпоральных паттернов с указанием времени их начала и завершения, что дает возможность определить продолжительность реализации этих шаблонов. На основе паттернов формируются подмножества темпоральных отношений для построения объяснений относительно рекомендованного перечня товаров и услуг. Экспериментальная проверка разработанного подхода с использованием набора данных о продажах «Online Retail» показала возможность выделения темпоральных паттернов даже на коротких исходных выборках.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА, ОБЪЯСНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ, ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ПАТЕРНЫ, ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ

Chalyi S., Leshchynskiy V. Temporal patterns of user preferences in the tasks of forming explanations in the recommender system. The problem of taking into account changes in the user's behavior of the recommendation system when constructing explanations for recommendations is considered. This problem occurs as a result of cyclical changes in user requirements. Its solution is associated with the construction of an explanation comparing the alternative choices of the user of the recommendation system. The developed models of temporal patterns consist of a set of temporal relationships between the events of users' choice of goods and services. The first pattern contains an alternative in the form of sequential selection in time of several objects or the selection of only a pair - the first and the last object. The second pattern, sequential-alternative choice, consists of a sequence of choices over time, which ends with the first pattern. The proposed approach to the formation of patterns is based on the construction of data sets containing temporal dependencies between a group of user choices for a given level of time detail. The temporal dataset is used to construct a temporal graph of the recommender system user selection process. The latter includes a set of temporal patterns with an indication of the time of their beginning and end, which makes it possible to determine the duration of the implementation of these patterns. On the basis of the patterns, subsets of temporal relationships are formed to build explanations for the recommended list of goods and services. Experimental verification of the developed approach using the "Online Retail" sales data set has shown the possibility of identifying temporal patterns even on short initial samples.

RECOMMENDER SYSTEM, EXPLANATION OF RECOMMENDATIONS, TEMPORAL PATTERNS, PROCESS MINING

Вступ

Рекомендаційні системи відбирають для користувача товари або послуги у відповідності до його персональних вподобань [1]. Застосування рекомендацій значно спрощує для споживача вирішення проблеми вибору з набору однотипних товарів з схожими характеристиками. Тому рекомендації широко використовуються при онлайн-продажах товарів, перегляді фільмів за допомогою стрімінгових сервісів, пропозиціях туристичних турів, виборі наукових конференцій, огляді новин [1, 2].

Для побудови рекомендацій такі системи використовують інформацію про продажі та рейтинги товарів, а також про зміну останніх з часом [1,3]. Однак рейтинги можуть бути спотворені в результаті шилінг-атак [4, 5]. Рекомендований перелік товарів або послуг після атаки відображає вподобання не користувача, а атакуючого. Такі рекомендації обмежують раціональний вибір користувача та знижують довіру до результатів роботи рекомендаційної системи.

Для підтримки довіри користувача рекомендації доповнюють поясненнями [6], яке має давати відповідь на запитання «Чому отримана така рекомендація?» [7-9]. Оцінка впливу пояснень на вибір користувачів показала, що користувачі рідше відмовляються від рекомендованого предмета після отримання пояснення [6, 10]. Уподобання користувача змінюються з часом, тому динаміку їх інтересів доцільно враховувати при побудові рекомендацій та пояснень до цих рекомендацій [11-15]. Пояснення, що враховує циклічні зміни вподобань споживачів, базується на використанні темпоральних знань. Останні визначають залежності між подіями вибору користувача [12, 16]. Формування цих знань потребує визначення темпоральних патернів зміни вподобань користувача. Такі патерни формуються для часового інтервалу зміни потреб споживачів [13, 14] з використанням даних про послідовність їх вибору [17]. Таким чином, проблема побудови пояснень з урахуванням змін вимог користувачів на основі темпоральних патернів є актуальною.

Для вирішення цієї проблеми необхідно визначити набір базових темпоральних відношень і з них сформувати патерни.

В роботі [18] для формалізації темпоральних відношень запропоновано використовувати ймовірнісні темпоральні правила. Кожне правило задає впорядкованість у часі для пар подій, дій або станів. Ймовірність застосування правила залежить від його ваги. Вага правила розраховується з урахуванням частоти його реалізації для відомих процесів, які представляються у вигляді послідовності подій [19].

Модель пояснення, що враховує темпоральну динаміку вимог користувачів, запропонована в роботі [20]. Дана модель в якості пояснення використовує

числову оцінку зміни інтересів користувачів на заданому інтервалі часу. Основна ідея такого пояснення полягає в тому, що користувач з більшою ймовірністю вибере предмет, попит на який збільшується на момент прийняття рішення. В роботі [21] виконано деталізацію пояснення для декількох інтервалів в рамках заданого періоду часу. При деталізації виділяються інтервали, на яких темпоральні правила є узгодженими. Підхід до узгодження темпоральних правил відрізняється від класичного визначення, запропонованого в [22]. Темпоральні правила є узгодженими в тому випадку, якщо вони що відображають одночасне збільшення (або зменшення) інтересу до предмета з боку декількох користувачів. В цілому існуючі підходи до побудови пояснень з урахуванням темпоральної динаміки вподобань користувачів враховують узгоджені зміни попиту на товари і послуги. Темпоральне пояснення показує зростання попиту на рекомендований предмет, тим самим надаючи користувачу обґрунтування для вибору предмета в поточний момент часу. Такі пояснення інтерпретують процес формування рекомендації у вигляді «Предмет відібраний відповідно до інтересів користувача, популярний, його вибирають все частіше останнім часом. Тому рекомендаційна система запропонувала даних предмет користувачеві». Однак дане пояснення не дозволяє порівняти альтернативні варіанти вибору, щоб користувач отримав відповідь на питання «Чому цей предмет є кращим?. Чи є можливість вибрати альтернативний предмет?». Для того, щоб користувач переконався в раціональності отриманої рекомендації, в поясненні необхідно порівняти темпоральну динаміку [2, 12] для декількох альтернатив. На основі такого порівняння споживач отримає мотивацію для вибору найбільш популярної в даний момент альтернативи, що відповідає його інтересам.

Таким чином, існуючі підходи до побудови пояснень не дозволяють виділити альтернативні варіанти поведінки користувача. Для вирішення задачі побудови пояснень з урахуванням темпоральної динаміки альтернативного вибору необхідно виділити підмножини темпоральних залежностей, що характеризують ці альтернативи. Такі залежності входять до складу темпоральних патернів, що відображають циклічність вибору користувачів у часі. Тому вирішення задачі формалізації та побудови темпоральних патернів альтернативного вибору дає можливість виділити темпоральні відношення для таких альтернатив та використати отримані відношення для побудови пояснень.

2. Постановка задачі

Метою статті є розробка моделей темпоральних патернів зміни вподобань користувачів рекомендаційної системи з часом для формування пояснень щодо рекомендованого переліку товарів та послуг.

Для досягнення мети дослідження вирішуються такі задачі: розробка моделей темпоральних патернів альтернативного та послідовно-альтернативного користувача рекомендаційної системи; розробка підходу до автоматизованої побудови патернів вибору користувача; експериментальна перевірка підходу до побудови темпоральних патернів вибору користувача рекомендаційної системи.

3. Моделі темпоральних патернів вподобань користувачів

Темпоральний патерн складається з темпоральних залежностей, що визначають послідовність вибору множиною користувачів товарів або послуг із визначеної групи. Наприклад, групи м'яких дитячих іграшок, групи подарункових навчальних наборів, тощо. Даний патерн задає темпоральний порядок для елементів e_i множини подій E вибору споживача. Кожна подія відповідає дії користувача із вибору товару або послуги. Темпоральний порядок для кожної пари подій $(e_i, e_j) \in E$ задається на послідовності дискретних моментів часу $T = \langle t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_j, \dots \rangle$. Послідовність T є лінійно упорядкованою і тому має властивість антирефлексивності. Відповідно, множина упорядкованих у часі пар подій не може містити пари $(e_i, e_i): e_i \in E$.

Для кожної пари (e_i, e_j) упорядкованих у часі подій можуть виконуватись два альтернативних обмеження:

- пара (e_i, e_j) визначає події вибору споживачів, між якими не було зроблено іншого вибору, тобто ці події є послідовними у часі;
- між подіями пари (e_i, e_j) можуть існувати інші події вибору товарів або послуг користувачем.

Перший випадок відповідає темпоральному відношенню X-типу [18]. Дане відношення для подій вибору користувача має такий вигляд:

$$X_i: e_i \mapsto e_{i+1}, \quad (1)$$

де e_i та e_{i+1} – події вибору, що виникли на двох послідовних моментах часу t_i та $t_{i+1} > t_i$.

У другому випадку темпоральна упорядкованість задається F – відношенням [18], що має такий вигляд для подій вибору користувачів e_i та e_{i+n} :

$$F_{i,n}: e_i \mapsto e_{i+n}. \quad (2)$$

Темпоральне відношення (2) складається з послідовності відношень (1), тобто:

$$F_{i,n} = \langle X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i+n-1} \rangle. \quad (3)$$

Згідно (3), темпоральне відношення $F_{i,n}$ та послідовність відношень $X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i+n-1}$ задають альтернативні варіанти поведінки користувача для визначеного періоду часу. У випадку послідовності $X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i+n-1}$ користувач вибирає декілька предметів із заданої групи, а у випадку відношення $F_{i,n}$ – вибирає лише перший (подія e_i) та останній предмети (подія e_{i+n}).

Тому набір темпоральних відношень видів (1) та (2) задають патерн темпоральної динаміки вподобань користувачів.

В залежності від поведінки користувачів можуть бути виділені паралельний (альтернативний вибір) та послідовно-альтернативний патерни.

Перший патерн P містить щонайменше два альтернативних варіанти вибору споживача, представлених X та F – відношеннями.

$$P = \{F_{i,n}, \langle X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i+n-1} \rangle\}. \quad (4)$$

Схематичне зображення патерна представлено на рис. 1.

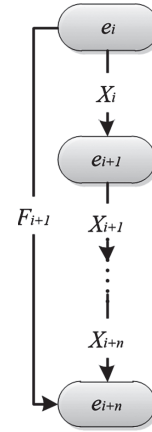


Рис. 1. Темпоральний патерн альтернативного вибору

Другий патерн L поєднує представлену X-залежностями послідовність вибору товарів та послуг та паралельний патерн P :

$$L = \langle X_{i-k}, X_{i-k-1}, \dots, X_{i-1}, P \rangle. \quad (5)$$

Схематичне зображення патерну L представлено на рис. 2.

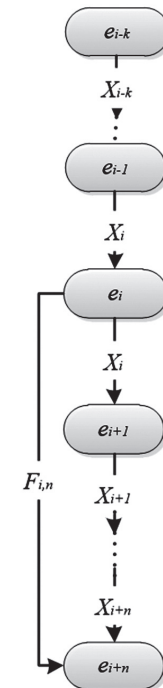


Рис. 2. Темпоральний патерн послідовно-альтернативного вибору

Представлені патерни задають базові альтернативи темпоральних змін у вподобаннях користувача, тобто визначають цикли його вибору. Поєднання декількох патернів дає можливість визначити більш складні варіанти поведінки користувача.

Особливість даних патернів полягає в тому, що вони визначаються для групи схожих з точки зору користувача предметів. Схожими ці предмети є в сенсі забезпечення потреб споживача на визначеному інтервалі часу.

Побудова таких патернів дає можливість створити пояснення згідно із представленим у роботі [20] методом. Використання моделей (4) та (5) дає можливість визначити множину темпоральних відношень, які забезпечують формування пояснення.

Пропонується підхід до побудови темпоральних патернів з використанням технології інтелектуального аналізу процесів. Остання орієнтована на формування графових моделей послідовності дій дискретних процесів (наприклад, бізнес-процесів) на основі аналізу логів (журналів подій). Лог складається з послідовності подій. Кожна подія містить інформацію про дії, що були виконані у відповідній інформаційній системі. Побудова темпоральних патернів передбачає виконання таких етапів.

Етап 1. Підготовка вибірки даних на заданому інтервалі часу. На даному етапі виконується відбір цільової підмножини товарів із апріорно заданої групи, що дає можливість відобразити у патерні альтернативний вибір споживачів. Відбір цільової підмножини може виконуватись, наприклад, за критерієм популярності (кількості продажів товарів), або ж для товарів із переліку, рекомендованого певному споживачеві.

Етап 2. Формування нової, упорядкованої у часі, множини подій на основі сумування кількості покупок (вибору) предметів для заданого рівня грануляції часу.

На даному етапі визначається кількість продажів певного предмету за день, тиждень, місяць, тощо, та формується подія продажу розрахованої кількості товару.

Етап 3. Підготовка вхідних даних для інтелектуального аналізу. На даному етапі формується нова послідовність подій, що відображає X та F – темпоральні відношення між вибором споживача для заданого рівня грануляції часу.

Етап 4. Формування множини темпоральних патернів вибору користувачів рекомендаційної системи з використанням одного із методів інтелектуального аналізу процесів. Дана послідовність етапів дає можливість сформувати та візуалізувати темпоральні патерни, визначити їх тривалість у часі та використати їх для аналізу поведінки користувача рекомендаційної системи.

Для побудови пояснень додатково виконується етап побудови множини темпоральних відношень.

Етап 5. Побудова темпоральних відношень X та F – типів для патернів. Дані відношення формуються з урахуванням визначеної на етапі 4 тривалості темпоральних патернів. Для кожного з відношень обчислюється вага як нормована різниця продажів для подій у складі відношення.

В подальшому зважені X та F – відношення у складі темпорального патерну можуть бути використані для побудови пояснень методами [20, 21].

3. Побудова темпоральних патернів засобами інтелектуального аналізу процесів

Експериментальна перевірка запропонованого підходу до побудови патернів зміни вибору користувачів у часі виконана з використанням набору даних «Online Retail», що містить інформацію про продажі подарункових товарів у мережі супермаркетів у Великобританії. Такі товари продаються у значних кількостях з певною періодичністю, з урахуванням святкових та робочих днів, що дає можливість сформувати темпоральні патерни циклічної зміни вподобань споживачів на вибірці невеликого розміру.

Набір даних «Online Retail» містить таку ключову інформацію, важливу для побудови темпоральних патернів: StockCode – код товару; InvoiceDateTime – дата та час покупки; Quantity – кількість проданого товару; CustomerID – код покупця.

Інформація про дату та час покупки, а також кількість проданих товарів дає можливість сформувати дані про продажі для визначеного рівня грануляції часу.

Результати експерименту представлені на рис. 3 та рис. 4.

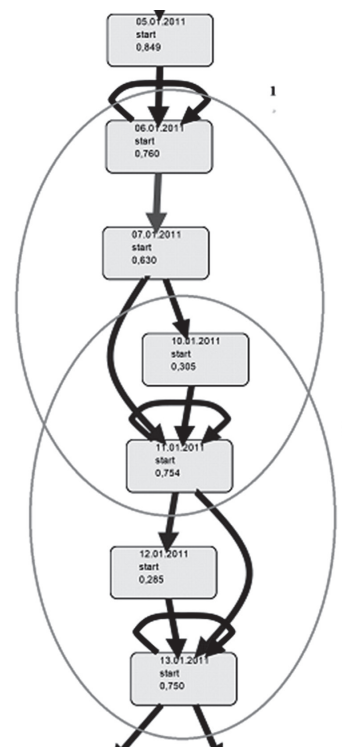


Рис. 3. Патерни послідовно-альтернативного вибору користувачів

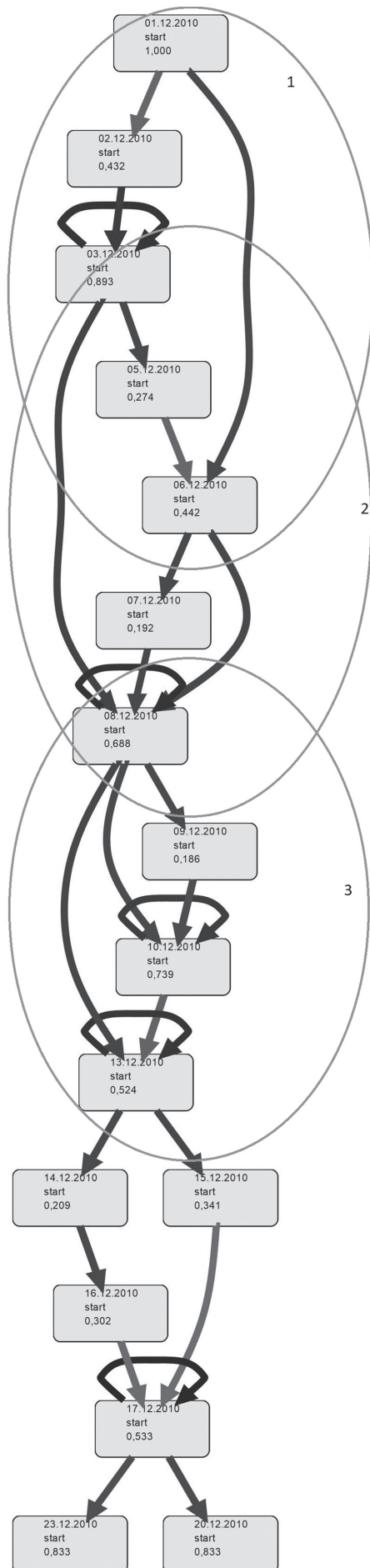


Рис. 4. Патерни альтернативного вибору користувачів

Реалізація підходу до побудови темпоральних патернів вподобань користувача в рамках експериментальної перевірки має такі особливості.

При відборі вхідних підмножин даних використовувався місячний період часу, оскільки повний набір даних містить інформацію за рік.

Для порівняння альтернативного вибору користувачів була відібрана група з трьох найбільш популярних подарункових товарів. Популярність оцінювалась за максимальною кількістю покупок за один день.

Тривалість патерну визначалась інтервалом часу між двома подіями темпоральної залежності типу F .

За результатами експерименту отримано темпоральні патерни альтернативного та послідовно-альтернативного вибору тривалістю 4-5 днів.

Отримані патерни відповідають моделям (4) та (5). Патерн альтернативного вибору містить два базових варіанти поведінки користувача. Перший варіант полягає у послідовному виборі 4-5 предметів протягом визначеного періоду часу. Цей варіант відображається послідовністю X – залежностей. Альтернативний варіант полягає у виборі предметів лише у першого та останнього предметів. Дана альтернатива представляється F – залежністю.

Патерни альтернативно-послідовного вибору також містить базову послідовність із X – залежностей. Однак в альтернативному варіанті покупець пропускає вибір одного із предметів, що відображається F – залежністю. Ключові характеристики отриманих патернів наведено у табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1

Характеристики темпорального патерну
послідовно-альтернативного вибору

Тип залежності	Кількість залежностей у складі патерну	Тривалість, днів
Next	4-5.	1-3
Future	1-2	3-5
Патерн в цілому	4-5	3-5

Таблиця 2

Характеристики темпорального патерну
альтернативного вибору

Тип залежності	Кількість залежностей у складі патерну	Тривалість, днів
Next	4	1-2
Future	1-2	2-5
Патерн в цілому	5-6	5

На рис. 3 представлені патерни з послідовно-альтернативного вибору, що відображають еволюційні зміни вподобань користувачів. В даному випадку задано базову послідовність вибору користувача, що представлена X – залежностями. Наприклад, $(06.01.2011)X(07.01.2011)X(10.01.2011)X(11.01.2011)$.

Споживач може пропустити один із товарів. Такий пропуск представлений, наприклад, залежністю $(07.01.2011)F(11.01.2011)$.

На рис. 4 представлено темпоральні патерни, що відображають 5-денні цикли альтернативних вподобань користувача. Тривалість циклу задається правилами $(01.12.2010)F(01.12.2010)$, $(03.12.2010)F(08.12.2010)$, $(08.12.2010)F(13.12.2010)$. Такі патерни показують, що користувач може вибрати від двох до 5 товарів із заданої групи на протязі 5 днів. Альтернативні шляхи по графу, наприклад $(01.12.2010)F(01.12.2010)$ або $(01.12.2010)X(02.12.2010)X(03.12.2010)X(05.12.2010)X(06.12.2010)$ вибираються різними користувачами.

Тому при виборі $01.12.2010$ рекомендаційна система має надати такі рекомендації та пояснення, які б мотивували споживача реалізувати другу послідовність вибору. Наприклад, пояснення може подавати такі властивості вибраного $01.12.2010$ предмету, які потребують доповнення предметами, що вибирались $02.12.2010$, $03.12.2010$ та в наступні дні. Фактично таке пояснення є подальшим розвитком традиційної рекомендації «разом з цим товаром покупки придбали такі товари».

Відмінність запропонованого підходу полягає в прогнозуванні вибору товару в майбутньому, з використанням патерну змін вподобань користувачів з часом.

Висновки

Розглянуто проблему врахування змін поведінки користувача рекомендаційної системи при побудові пояснень до рекомендацій. Дана проблема виникає внаслідок як циклічних (наприклад, сезонних) змін вимог користувача, так і внаслідок еволюції його потреб.

Запропоновано моделі темпоральних патернів альтернативного вибору та послідовно-альтернативного вибору споживача. Патерни складаються із множин темпоральних відношень між подіями вибору користувачами товарів та послуг. Використовуються темпоральні відношення для пари послідовних подій, та парою подій вибору, між якими виникали інші події. Перший патерн містить альтернативу у вигляді послідовного вибору у часі декількох предметів або ж вибору лише пари — першого й останнього предмету. Другий патерн, складається з послідовності виборів у часі, яка завершується першим патерном.

Виявлення патернів у послідовності даних щодо зробленого користувачем вибору дає можливість сформувати набори темпоральних залежностей, які можуть бути враховані при формуванні рекомендацій, а також використані при побудові пояснень, що враховують темпоральну динаміку інтересів користувача.

Запропоновано підхід до виявлення темпоральних патернів з використанням технології інтелектуального аналізу процесів.

Даний підхід передбачає формування наборів даних, що містять у собі темпоральні залежності між групою виборів користувача для заданого рівня грануляції часу. Набір даних із темпоральними залежностями використовується для побудови темпорального графу процесу вибору користувача рекомендаційної системи, що містить у собі набір темпоральних патернів та дає можливість визначити тривалість цих шаблонів. З урахуванням тривалості патернів формуються підмножини темпоральних відношень для побудови пояснень щодо рекомендованого переліку товарів та послуг.

Експериментальна перевірка розробленого підходу з використанням набору «Online Retail» показала можливість виділення темпоральних патернів навіть на коротких вибірках для підмножини найбільш популярних предметів.

Список літератури:

- [1] Aggarwal C. Recommender systems: The Textbook. — New York: Springer. — 2017. — 498 p.
- [2] Raza S., Ding C. News Recommender System Considering Temporal Dynamics and News Taxonomy // IEEE International Conference on Big Data. — 2019. — P. 920-929. doi: 10.1109/BigData47090.2019.9005459
- [3] Fararni K., Aghoutane B., Riffi J., Abdelouahed S. Comparative study on approaches of recommendation systems // Embedded Systems and Artificial Intelligence. — 2020. — P. 753-764.
- [4] Chala O., Novikov, L., Chernyshova, L. Method for detecting shilling attacks in e-commerce systems using weighted temporal rules // EUREKA: Physics and Engineering. — 2019. — Vol. 5. — P. 29-36. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00983
- [5] Chala O., Novikov, L., Chernyshova, L. Method for detecting shilling attacks in recommender systems using objective feedback // EUREKA: Physics and Engineering. — 2020. — Vol. 5. — P. 21-30. doi: 10.21303/2461-4262.2020.001394.
- [6] Tintarev N., Masthoff J. Evaluating the effectiveness of explanations for recommender systems // User Model User-Adap Inter. — 2012. — Vol. 22. — P. 399–439.
- [7] Zachary C. L. The mythos of model interpretability // Communications of the ACM. — 2016. — P. 1-6.
- [8] Miller T. Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences // Artificial Intelligence. — 2019. — Vol. 267. — P. 1-38. doi: 10.1109/BigData47090.2019.9005459
- [9] Tsai C., Brusilovsky P. Explaining recommendations in an interactive hybrid social recommender // Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '19). — 2019. — P. 391-396.
- [10] Dominguez V., Messina P., Donoso-Guzmán I., Parra D. The effect of explanations and algorithmic accuracy on visual recommender systems of artistic images // Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '19). — 2019. — P. 408-416.
- [11] Nan D., Yichen W., Niao, H., Le S. Time-Sensitive Recommendation From Recurrent User Activities // Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'15). — 2015. — Vol. 2. — P. 3492–3500.

- [12] Campos P. G., Diez F., Cantador I. Time-aware recommender systems: a comprehensive survey and analysis of existing evaluation protocols // User Modeling and User-Adapted Interaction). – 2014. – Vol. 24(2). – P. 67-119. doi: 10.1007/s11257-012-9136-x
- [13] Ma Y., Narayanaswamy B., Lin H., Ding H. Temporal-contextual recommendation in real-time // Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining (KDD '20). – 2020. – P. 2291–2299. doi: 10.1145/3394486.3403278
- [14] Rabiou I., Naomie S., Aminu D., Akram O. Recommender system based on temporal models: A Systematic Review // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(7). – P. 2204. doi: 10.3390/app10072204
- [15] Chalyi S., Leshchynskiy V., Leshchynska I. Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system // EUREKA: Physics and Engineering. – 2019. – Vol. 4. – P. 34–40.
- [16] Chalyi S., Pribylnova I. The method of constructing recommendations online on the temporal dynamics of user interests using multilayer graph // EUREKA: Physics and Engineering. – 2019. – Vol. 3. – P. 13-19. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00894
- [17] Wang C., Min Z., Ma W., Liu Y. Modeling item-specific temporal dynamics of repeat consumption for recommender systems // WWW '19- The World Wide Web Conference. – 2019. – P. 1977–1987.
- [18] Levykin V., Chala O. Development of a method for the probabilistic inference of sequences of a business process activities to support the business process management // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 3 (95). – P. 16–24.
- [19] Levykin, V., Chala, O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control systems // EUREKA: Physics and Engineering. – 2018. – Vol. 5. – P. 3-10.
- [20] Chalyi S., Leshchynskiy V. Method of constructing explanations for recommender systems based on the temporal dynamics of user preferences // EUREKA: Physics and Engineering. – 2020. – Vol. 3. – P. 43-50.
- [21] Chalyi S., Leshchynskiy V., Leshchynska I. Detailing explanations in the recommender system based on matching temporal knowledge // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol 4. – No 2 (106). – P. 6-13.
- [22] Thagard P. Computational Models in Science and Philosophy. Introduction to Formal Philosophy. – 2018. – P. 457-467.

Надійшла до редколегії 07.10.2020