

УДК 681.3

*С. Ремарович*

## АГЕНТНА МОДЕЛЬ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ МЕТАФОРИ БДЖОЛИНОГО ВУЛИКА

Представлено новий підхід до пошуку інформації, який заснований на метафорі бджолиного вулика. Запропонована модель бджолиного вулика в тому значенні, що вона імітує окремі види типової поведінки бджіл. Це є проста модель, яка описує процеси, що мають місце у Веб-пошуку. Підхід надає можливість розподіленого обчислення PageRank Веб-сторінок.

### Вступ

Світова мережа містить великі обсяги інформації, які використовуються різними застосуваннями. Інформація представляється багатьма джерелами Інтернет. Роль пошуку є важливим процесом у питанні отримання інформації з урахуванням великої кількості різнорідних джерел та значних обсягів [1, 2]. Різні підходи, що розкривають проблеми пошуку, представлені в [3–9].

Пропонується дослідити можливість, які відкриває розгляд поведінки суспільних комах. Суспільні комахи (мурашки, медоносні бджоли, терміти, оси і т.п.) показують чудовий рівень суспільної поведінки. Зокрема, вони спілкуються, хоча в дуже елементарний спосіб, один з одним. Наприклад, вони можуть спілкуватися щодо розташування джерел їжі. Вони навіть співробітничать у напрямку досягнення деякої мети. Зокрема, вони можуть співробітничати щодо принесеної їжі. Комахи відрізняються за своїм організаційним рівнем без будь-якого централізованого контролю [10]. Взаємодія комах та їх поведінка організовані за певними правилами. Гіпотеза полягає у тому, що поведінка суспільних комах сприяє розробці агентної моделі Веб-пошуку джерел інформації.

### 1. Метафора бджолиного вулика

Поведінка медоносних бджіл була широко вивчена вченими природничих наук. Одна з цілей їх дослідження полягала у відтворенні моделі поведінки бджіл, особливо їх колективного вибору джерела нектару. В роботі [11] розроблена

математична модель поведінки бджолиного вулика і подальше удосконалення моделі пізніше представлено в [12].

Медоносні бджоли – це суспільні комахи, які живуть у колоніях. Бджоли збирають їжу (нектар) з джерел, розташованих на відстані до 10 км від вулика. Колонія використовує прості правила, щоб відіслати бджіл у напрямку до кращого доступного джерела нектару. В цьому процесі фуражування, бджоли повертаються з нектаром і інформацією про джерело. Так як джерела не постійні, з'являються нові, існуючі джерела стають виснаженими, то інформація про джерела є актуальною. Колонія пристосовується до постійно змінної ситуації. Щоб підтримувати достатнє надходження їжі, необхідне розвідування сусідньої місцевості щодо нових джерел і експлуатації існуючих. Іншими словами, є бджоли, які виконують місію фуражування, і є розвідники джерел.

Бджоли фуражування посилають інформацію про розташування джерел їжі, які вони відвідали, інші бджоли здатні отримувати цю інформацію. Ці дії можна розглядати як переговори бджіл. Важливу роль у процесі комунікації грає танець похитування. У роботі [13] досліджені механізм переговорів і інформація, якою спілкуються бджоли. Існує гіпотеза, що дистанція і напрямок, в якому знаходяться джерела їжі, кодуються в танці похитування, хоча вони не є єдиними видами інформації, якими керуються бджоли. Ми припускаємо, що танець похитування являє собою засіб повідомлення про джерело їжі. Танцівник знає не тільки дистанцію і

напряму джерела їжі, але й якість джерела їжі, оскільки тривалість танцю залежить від якості джерела.

Теоретична модель бджолиного вулика вперше була запропонована в роботі [11]. Модель містить множину джерел інформації – S. Бджоли танцюють, рекламуючи джерело  $s_i$ , або продовжують фуражування з джерела  $s_i$ , або спостерігають танцівників, що сприяють рекламуванню джерел  $s_1, s_2, \dots$ , або слідуєть до нового джерела з множини джерел  $s_1, s_2, \dots$  після переговорів. Кожен вибір джерел характеризується за допомогою вірогідностей.

У роботі [14] проведено експеримент, спрямований на дослідження того, як бджоли вибирають джерела нектару. В оточенні колонії були розміщені два джерела нектару, один з них 400 миль на північ, інший 400 миль на південь. 12 бджіл тренувалося літати до північного джерела, інші 15 бджіл до південного джерела. Джерела були різної якості. Південне було краще (концентрація цукру 2.5 одиниць) ніж північне (1.0 одиниці). Опівдні, джерела були переставлені. Наступного ранку джерела були переставлені знову й опівдні ще раз. Емпіричне спостереження показало, що число бджіл, що фуражують кращі джерела, зростає з часом, тоді як число бджіл, що фуражують гірші джерела, зменшилось. Експерименти з імітаційною моделлю дали ступінь схожості з емпіричними спостереженнями.

Пізніше в [12] представлена інша імітаційна модель, яка дала експериментальні результати, подібні оригінальному емпіричному досвіду [14]. Був сформульований набір правил, вдосконалено поняття бджоли фуражера.

Відповідно до моделі потенційна бджола фуражера спочатку “незайнята”. Вона не знає про зовнішні джерела нектару. Незабаром, вона літатиме до джерел нектару. Політ може здійснюватися у ролі розвідника, тобто немає інформації про місце призначення. Бджола може відвідати танцпол, спостерігати виконавців танцю і ставати новобранцем, отримати інформацію про джерело фуражування,

запам'ятавши позиційну інформацію. Ця модель була успішною у деяких видах поведінки колективного фуражування.

## 2. Агентна модель пошуку інформації

Модель бджолиного вулика можливо розглядати з точки зору вирішення проблеми пошуку [15–17]. Одне з найраніших згадувань у цьому напрямку належить до 1986 р., коли в [18] запропонували в короткій формі модель бджолиного вулика для різнорідних знань в експертній системі. В роботах [19, 20] вивчені методи мульти-агентного моделювання, використовуючи моделі бджолиного вулика.

Як базис для моделювання та імітації поведінки бджоли використовується SeSAm (Shell for Simulated Agent Systems) [21] – поліпшена версія системи AL-OSIS, яка була спеціально розроблена для того, щоб моделювати поведінку мурашок [22]. Ця оболонка моделювання забезпечує універсальне середовище для моделювання й експериментування з системами, які засновані на агенті, з метою підтримати конструювання складних моделей. Система забезпечує графічний інтерфейс, має інструментальні засоби для збору й аналізу даних протоколу і т. д. У SeSAm моделювання середовища засновано на двовимірних картах. Третя розмірність може бути представлена як комбінація декількох двовимірних карт. Об'єкти системи можуть бути ресурсами або агентами. Агенти виконують дії, тоді як ресурси не впливають на світ. Щоб збагатити середовище, визначають події як зміни в середовищі без певного джерела. Під час експерименту моделювання ці події можуть трапитися у певний інтервал часу, з певною вірогідністю або в певній ситуації.

Агент визначається за допомогою чотирьох фіксованих категорій:

- сенсорних здібностей;
- внутрішніх параметрів;
- процедури вибору дії, включаючи

всі внутрішні уявлення, які використовуються для цього;

- дій, які змінюють внутрішній і зовнішній світ.

Система SeSAm забезпечує задані за умовчанням рішення для кожної з цих категорій. Стандартні примітиви сенсорних і виконавчих здібностей можуть бути адаптовані за допомогою графічних редакторів, залежно від предметної області. У кожного агента є поточна діяльність, яка визначає дії, які він виконує самостійно в середовищі в кожний момент часу. Ця діяльність може бути вибрана двома способами: або тому, що міститься в плані, якому слідує агент, або тому, що вона вибрана як реакція, застосовуючи правило з більш високим пріоритетом. Завершення поточної діяльності може управлятися певними цільовими ситуаціями або простими простоями. У будь-який час рефлексні правила, які визначають аварійні ситуації, можуть перервати нормальне виконання. Щоб підтримати моделювання, введені ролі поведінки; щоб структурувати сукупність видів діяльності, визначені скелетні плани і аварійні правила. Ці ролі відповідають стереотипам. На відміну від класу агента, який, наприклад, представляє змодельований різновид, агенти можуть перемикає свою роль.

У роботі [23] фуражування бджіл використано для того, щоб удосконалити спільний процес фільтрації інформації.

Один з останніх проектів [17] використовує метафору бджолиного вулика в системі «case-based recommender». Ідея полягає у тому, щоб використати танець бджоли для отримання найбільш подібного випадку. Випадок відповідає джерела нектару. База випадків являє собою набір джерел нектару. Запит користувача порівнюється зі всіма випадками у базі випадків. Найподібніший випадок повертається користувачу. Бджоли вирішують покинути або продовжувати відвідувати джерело залежно від того, наскільки запит є подібним до відвіданого випадку. Вірогідність покидання джерела зменшується зі збільшенням схожості між запитом і джерелом. Бджоли починають фуражування випадково і через деякий час з'являється джерело з найвищим числом бджіл.

Розглянемо можливості процесу пошуку та отримання інформації у зазначений спосіб. Є дві цілі щодо нашої моделі: перша полягає у тому, що вона має моделювати поведінку біологічного вулика, а друга – має моделювати пошук інформації. Для досягнення першої цілі буде достатньо, якщо модель покаже ступінь схожості з поведінкою фуражування. Початкові дослідження моделі проведені в [11] та [17]. Наша модель вулика включає наступні об'єкти, умовна назва яких відповідає метафорі: «танцпол», «аудиторію» і «кімнату відправки» (диспетчерську). Призначення та функціонування об'єктів розглянемо далі.

«Диспетчерська кімната» забезпечує додаткову гнучкість моделі. Це є відображенням гіпотези, що деякі бджоли в аудиторії можуть бути не готові слідувати до будь-якого джерела. Вони або не стають захопленими танцівником у межах деякого часу, або може не бути танцівників. Таким чином, вони вирішують виконувати фуражування без попередньої розвідки. Це краще, ніж залишитися в аудиторії у небезпеці голодування. У початковому стані бджоли вилітають з диспетчерської кімнати, коли прибуває новий запит.

Модель є гнучкою завдяки певній кількості параметризованих атрибутів. Параметрами моделі є наступні:

- повне число агентів  $N$  (BIOR + BISB) в початковому стані, яке складається з бджіл, що знаходяться в кімнаті спостереження (BIOR), і тих, які почали фуражування (BISB);

- початкове розподілення бджіл між спостерігачами (BIOR) і фуражирами (BISB);

- максимальний час, що приділяється для танцю відповідного джерела (максимальний час танцю MDT);

- максимальний час, який бджола може провести в стані спостереження.

Слід зазначити, що час танцю залежить від якості джерела, він визначається як  $MDT * quality$ . Час спостереження є або максимальним, або меншим, якщо деякий танцівник привернув увагу бджоли.

Процес пошуку найкращого джерела починається у момент, коли бджоли BISB вилітають з «диспетчерської кімнати» до випадково вибраного джерела. Кожна бджола, відвідавши джерело, оцінює його якість.

Повернувшись до вулика, бджола вирішує, чи покидає вона джерело, яке відвідала. У моделі визначається вірогідність  $P_{X}^{s_i}$  ( $P_{X}^{s_i} = 1 - Q_i$ , де  $Q_i$  – якість джерела) того, що бджола покидає джерело  $s_i$ . Відповідно, вірогідність того, що бджола не покидає джерела  $s_i$  дорівнює очевидно  $1 - P_{X}^{s_i}$ . Якщо бджола вирішує покинути джерело, вона відвідує аудиторію з метою зміни джерела.

Якщо бджола залишається з джерелом, вона знову має два варіанти. Вона намагається привернути бджіл до джерела  $s_i$ , або вона може полетіти до іншого джерела  $s_i$ . Визначається вірогідність  $P_{D}^{s_i}$  ( $P_{D}^{s_i} = 1 - P_{X}^{s_i}$ ) того, що бджола йде танцювати для джерела  $s_i$ . Вірогідність не танцювати дорівнює відповідно  $1 - P_{D}^{s_i}$ . У такому разі вона летить до джерела  $s_i$ .

Якщо бджола вирішує танцювати для джерела, вона негайно входить до танцюлу. Чим краще якість джерела, тим довше вона танцює для цього джерела. Проте, час танцювання не може бути довшим, ніж MDT. Після того, як бджола завершила танець, вона летить до джерела, яке вона рекламувала.

Бджоли в аудиторії спостерігають танцюючих бджіл. Вони намагаються прийняти рішення, за яким танцівником необхідно слідувати до відповідного джерела. Спостерігаючи бджола вибирає джерело шляхом випадкового вибору танцівника. Припустимо, що танцівник рекламує джерело  $s_j$  ( $j \in \{1, \dots, M\}$ ). Вона полетить до цього джерела з вірогідністю  $P_{F}^{s_j}$ . У моделі визначається вірогідність  $P_{F}^{s_j}$  як число бджіл, які танцюють для джерела  $s_j$ , поділене на число всіх танцівників. Вірогідність, з якою бджола не полетить до джерела  $s_j$ , відповідає значенню  $1 - P_{F}^{s_j}$ . У такому разі, бджола випадково вибирає іншого танцівника або танцівників.

Якщо бджола не вибирає джерело в межах виділеного часу, вона перемі-

щується з аудиторії до кімнати відправки. Звідси вона летить до випадково призначеного джерела. Далі весь процес повторюється.

Метафора бджолиного вулика є корисною для створення методів інформаційного пошуку у Веб-мережі.

Документи в мережі мають декілька атрибутів. Деякі з них мають значення в інтервалі дійсних чисел. Це загальне припущення не охоплює всі можливі випадки. Для простоти припустимо, що атрибути можуть приймати значення 0, або 1. Значення 1 відповідає запиту користувача. Далі припустимо, що дійсні атрибути можуть мати значення в інтервалі  $[0,1]$ . Верхнє значення найкраще відповідає запиту користувача. Джерела мають три властивості. Дві з них двозначні і одна дійсна. В першому випадку бджола була здатна оцінити джерело, наскільки близько воно знаходиться до запиту користувача. В другому випадку створена ситуація, коли деякі бджоли будуть використовувати тільки першу властивість, а деякі – другу властивість, а інші використовують тільки третю властивість. Бджоли знаходять краще джерело та більш впевнені в рекомендації кращого джерела, якщо там є більше фуражування. Результати експерименту підтверджують, що на початку бджоли ходять до різних джерел і пізніше об'єднуються на кращому.

### 3. Модель розподіленої оцінки рангу Веб-сторінок

Релевантність мережної сторінки є суб'єктивною з точки зору користувача. Кожний користувач має різні інтереси і знання для її оцінки. Є алгоритми, які знаходять важливість Веб-сторінки згідно її розташування в графі мережі і взаємозв'язків в ньому. Вершини графа представляють Веб-сторінки, а ребра – взаємозв'язки між цими сторінками. Алгоритм *PageRank* [24] представляє імітацію уявлення користувача, який випадково вибирає різні зв'язки в мережі. Після кожного кліка користувач вирішує, чи він продовжує пошук, наприклад, якщо він клікає за зв'язками на сторінці. Вірогідність іншої випадкової сторінки назива-

ється коефіцієнтом затухання  $d$  (damping factor). Багато досліджень спрямовано на визначення проблеми відповідних значень коефіцієнта затухання. Загалом, цей коефіцієнт приймає значення приблизно 0.85 [24]. Кожна мережна сторінка має унікальний PageRank, який не залежить від вимоги користувача. Це означає, що PageRank не виражає релевантності сторінки, враховуючи запит. Алгоритм використовується Google, щоб визначити критерії для сортування пошукових результатів запита користувача.

Алгоритм використовує структуру зв'язків гіпертексту як "рекомендації" сторінки. Оцінка сторінки визначається не лише числом зв'язків, що ведуть до цієї сторінки, але і базується також на оцінці тих сторінок. Згідно алгоритму PageRank оцінка сторінки може досягти максимального значення 10.

Припустимо, що сторінки  $B, C, D$  зв'язані з сторінкою  $A$ . Якщо  $L(X)$  є числом зв'язків, які виходять зі сторінки  $X$ , то формула для обчислення PageRank, з коефіцієнтом затухання  $d$ , буде відповідати:

$$PR(A) = 1 - d + d \left( \frac{PR(B)}{L(B)} + \frac{PR(C)}{L(C)} + \frac{PR(D)}{L(D)} \right).$$

Версії цього алгоритму визначає формула

$$PR(A) = \frac{1 - d}{N} + d \left( \frac{PR(B)}{L(B)} + \frac{PR(C)}{L(C)} + \frac{PR(D)}{L(D)} \right),$$

де  $N$  є числом всіх документів усіх сторінок у колекції, пов'язаних з даною сторінкою.

Розглядаючи ці формули ми бачимо, що обчислення PageRank певної сторінки виводиться з PageRank решти сторінок.

Загальна формула для обчислення PageRank сторінки  $p_i$  є:

$$PR(p_i) = 1 - d + d \sum_{p_j \in M(p_i)} \frac{PR(p_j)}{L(p_j)},$$

де  $p_i$  – сторінка, для якої обчислюється PageRank,  $M(p_i)$  – набір сторінок, які "зв'язані" зі сторінкою  $p_i$  і  $L(p_j)$  є числом вихідних зв'язків сторінки  $p_j$ . Щоб отримати значення PageRank, яке має бути точним, слід виконати ряд ітерацій. У

кожній ітерації перераховується PageRank кожної сторінки в колекції. Число повторень залежить від числа сторінок і складності взаємозв'язку суміжних сторінок.

Ітеративний підхід до обчислення PageRank не враховує "важливість" вершин графа.

Використовуючи ітеративний підхід обчислення  $PR$  сторінки  $A$  здійснюється після завершення обчислення  $PR$  сторінок  $B, C, \dots, M$ . Найвигіднішим є підхід, у якому ми обчислюємо  $PR$  сторінок, від яких залежить решта сторінок. Проте, це неможливо у разі, якщо залежність сторінок циклічна. Ітеративний підхід обробляє одну вершину після іншої незалежно від їх взаємного зв'язку.

Для обчислення PageRank використовуємо агентну модель бджолоного вулика. Бджола має летіти до джерела  $E$  (вершина  $E$ ), і має вирахувати  $PR(E)$ , але водночас вона має знати, що попередньо необхідно вирахувати значення  $PR(D), PR(B), PR(F)$  і  $PR(H)$ . Якщо джерело  $E$  матиме високу якість, бджола має летіти в танцпол і танцювати. Проте, вона не має танцювати для джерела  $E$ , а танцювати для одного із джерел  $D, B, F$  або  $H$ . Вибір джерела має бути випадковим з призначенням вірогідності для кожного з них. У цьому випадку бджола має привернути увагу інших бджіл до джерела, для якого їй слід вирахувати  $PR$ . Після закінчення танцю бджола має летіти назад до джерела  $E$ , щоб привернути бджіл летіти до джерела  $D, B, F$  або  $H$ . У разі ж, якщо якість джерела є досить високою, то бджола полетить до танцполу і буде танцювати там для одного із джерел  $D, B, F$  або  $H$ . Цикл повторюється, поки досягається значення  $PR(E)$ .

Після відвідування джерела  $s_i$  бджола обчислює  $PR(s_i)$  і послідовно визначає якість джерела  $s_i$  за формулою  $Q_i = PR(s_i) / MaxPR$ , де  $MaxPR$  є найвищим відомим значенням  $PR$  вершини графа. Подальші дії бджоли залежать тільки від розрахованого значення якості  $Q_i$ . Бджола залишає джерело  $s_i$  з вірогідністю  $P_{s_i}^X = 1 - Q_i$  і летить до аудиторії. У випадку, коли бджола не залишає джерело, вона в залежності від  $Q_{s_i}$  вирішує, чи летіти їй до танцполу, чи продовжуватиме приносити

їжу з джерела  $s_i$ . Якщо вона летить до танцюлу, то вона танцюватиме для одного з джерел, які зв'язані з джерелом  $s_i$ . Вибір цього джерела випадковий, наприклад  $s_j$ . Бджола таким чином сприятиме рекламуванню джерела  $s_j$ . Бджоли в аудиторії завжди випадково вибирають джерело і слідуєть за бджолою з вірогідністю  $P_{ij}^{sj}$ , яка дорівнює якості джерела, яке рекламується бджолою  $Q_j = PR(s_j)/PR(s_i)$ .

У разі, якщо бджола в аудиторії не вибере будь-яку бджолу для того, щоб слідувати за нею, за даний ліміт часу, вона летить до диспетчерської кімнати, звідки вона буде відправлена до випадкового джерела.

Цикл оцінки вершин графа може описуватися наступним чином. Спочатку значення кожної вершини графа дорівнює  $PR = 1$ . Число бджіл випадково почне летіти до вершини. Кожна бджола після відвідування вершини поводить згідно описаним правилам. Цей цикл ітеративно повторюють, поки всі вершини графа не будуть оцінені або поки не буде досягнуте за дане число повторень. Кінцевий стан оцінки графа показано на рисунку.

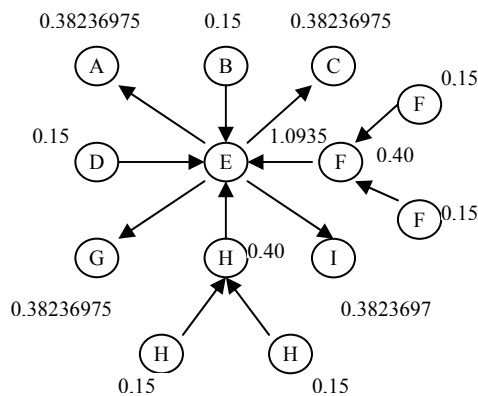


Рисунок. Обчислення PageRank графа

Хороші результати досягаються при використанні достатнього числа бджіл. Коли використовують 100 бджіл, то для цього обчислення потрібно тільки 13 ітерацій. Результати експериментів показують, що коли число бджіл більше, ніж число вершин у графі, то цей метод дає кращі результати, ніж стандартний ітеративний метод. Але, якщо ми зменшуємо число бджіл, то число повторень, яке

потрібно для обчислення  $PR$ , дуже швидко зростає.

Більше число бджіл має позитивний вплив на пошукові результати – це збільшує можливість відвідування відповідних джерел. З точки зору ефективності, підхід забезпечує кращі результати, ніж інші методи, які припускають, що число бджіл більше, ніж число вершин у графі.

## Висновки

Представлено підхід до мережного пошуку, який заснований на метафорі бджолиного вулика. Перевага цього підходу полягає у можливості розподіленого обчислення PageRank у випадку великого графа. Метод не потребує додаткового ускладнення, щоб бути поширеним на велику кількість комп'ютерів, які мають спілкуватися один з одним. У цьому випадку бджоли повинні бути здатні здійснювати обчислення PageRank величезних графів. Потрібні подальші дослідження в напрямку проблеми масштабованості підходу.

Перевагою підходу є можливість безперервного обчислення PageRank графа в режимі on-line. Наприклад, Google перераховує PageRanks всіх індексованих оброблених сторінок один раз у певний період часу. Якщо ми використовуємо запропонований підхід, то має бути відносно легко перерахувати PageRanks безперервно – тобто бджоли мають постійно літати над графом і відновлювати PageRank вершин графа.

Щоб досягти реальної моделі мережного пошуку, необхідно було врахувати додаткові параметри, як наприклад, початкове розповсюдження напрямів фуражування. Альтернативою до випадкової генерації початкового напрямку може бути деякий вид пам'яті (індивідуальний або колективний).

Метафора вулика використовується як основа для агентної моделі пошуку інформації множини джерел, які представлені у Веб. Окрім такого автономного застосування, як пошук “фіксованої” частини Веб, вона може бути результативною щодо пошуку в динамічному Веб. Такий динамічний пошук, який виконується

безперервно, міг би забезпечити можливість адаптивного пошуку згідно зі змінами на Веб – зникнення старих документів і поява нових тощо.

1. *Андон П.І., Дерезкий В.О.* Проблеми побудови сервіс-орієнтованих прикладних інформаційних систем в Semantic web середовищі на основі агентного підходу // Проблеми програмування. – 2006. – № 2-3. – С. 493–502.
2. *Дерезкий В.О., Богданова М.М., Ремарович С.С.* Підхід до організації пошуку інформації в різномірних джерелах // Проблеми програмування. – 2008. – № 2-3. – С. 395–402.
3. *R. Koval and P. Navrat.* Intelligent support for information retrieval of web documents, *Computing and Informatics.* – 2002. – 21(5). – P. 509–528.
4. *S. Ye, T. Chua, and J. Kei.* Clustering web pages about persons and organizations, *Web Intelligence and Agent Systems.* – 2005. – 3(4). – P. 203–216.
5. *H. Lei and V. Govindaraju.* Matching and retrieving sequential patterns using regression, *Web Intelligence and Agent Systems.* – 2005. – 3(4). – P. 261–270.
6. *X. Zhang, V. Lesser, and T. Wagner.* A Layered Approach to Complex Negotiations, *Web Intelligence and Agent Systems.* – 2004. – 2(2). – P. 91–104.
7. *L. Hluchy, M. Laclavik, Z. Balogh, and M. Babik.* AgentOWL: Semantic knowledge model and agent architecture, *Computing and Informatics.* – 2006. – 25(5). – P. 421–439.
8. *K. Matusikova and M. Bielikova.* Social navigation for semantic web applications using space maps, *Computing and Informatics.* – 2007. – 26(3). – P. 281–299.
9. *Ремарович С.С.* Агентний підхід до тематичного пошуку інформації з використанням онтологій // Проблеми програмування.–2008.–№2-3.– С. 411–416.
10. *D. Gordon.* The organization of work in social insect colonies, *Nature* 380.– 1996. – P. 121–124.
11. *S. Camazine and J. Sneyd.* A model of collective nectar source selection by honey bees: Self organization through simple rules, *Journal of Theoretical Biology.* – 1991. – 149(4). – P. 547–571.
12. *H. de Vries and J.C. Biesmeijer.* Modelling collective foraging by means of individual behaviour rules in honey-bees, *Behav. Ecol. Sociobiol.* – 1998. – P. 109–124.
13. <http://www.polarization.com/bees/bees.html>
14. *T.D. Seeley, S. Camazine, and J. Sneyd.* Collective decision-making in honey bees: how colonies choose among nectar sources, *Behav Ecol Sociobiol.*–1991.–28.–P.277–290.
15. *C.A. Tovey.* The honey bee algorithm. A biologically inspired approach to internet server optimization, *Engineering Enterprise.* – Spring 2004. – P. 13–15.
16. *F. Lorenzi, D. Scherer dos Santos, and A.L.C. Bazzan.* Case-Based Recommender System-Inspired by Social Insects, in: *Proc. XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computacao, Sao Leopoldo.* – 2005. – P. 752–760.
17. *F. Lorenzi, D. Scherer dos Santos, and A.L.C. Bazzan.* Negotiation for task allocation among agents in case/base recommender systems: a swarm intelligence approach, in: *Proc. IJCAI 2005 Conference, Workshop.* – 2005. – P. 23–27.
18. *H.E. Bullock, P. Dey, and K.D. Reill.* A “Bee Hive” model for heterogeneous knowledge in expert systems, *ACM.* – 1986. – P. 417–417.
19. *A. Dornhaus, F. Klügl, F. Puppe, and J. Tautz.* Task selection in honeybees – experiments using multi-agent simulation, in: *3rd German Workshop on Artificial Life.* – 1998. – P. 171–183.
20. *F. Kluegl, C. Oechslain, F. Puppe, and A. Dornhaus.* Multi-agent modelling in comparison to standard modelling, in: *Proc. AIS2002 Artificial Intelligence, Simulation and Planning in High Autonomy Systems, F.J. Barros, N. Giambasi, eds, SCS Publ. House.* – 2002. – P. 105–110.
21. *F. Klügl and F. Puppe.* The multi-agent simulation environment SeSAM. In: *Proceedings of the Workshop „Simulation and knowledge-based systems”, H. Kleine Büning (ed.). (= Report tr-ri-98-194, Reihe Informatik, University Paderborn).* – 1998.
22. *F. Klügl, F. Puppe, U. Raub and J. Tautz.* Simulating Multiple Emergent Behaviors – exemplified in an Ant Colony. In *Proc. of Artificial Life VI, Los Angeles, June 26-29, 1998.*
23. *S.J. Schultze.* A collaborative foraging approach to web browsing enrichment, in: *Proc. CHI 2002, ACM.* – 2002. – P. 860–861.
24. *S. Brin and L. Page.* The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine, *Computer Science Department, Stanford University, Stanford,* <http://www-db.stanford.edu/~backrub/google.html>.

Отримано 20.04.2010

***Про автора:***

*Ремарович Світлана Станіславівна,*  
науковий співробітник.

***Місце роботи автора:***

Інститут програмних систем  
НАН України.  
03187, Київ-187,  
Проспект Академіка Глушкова, 40.  
Тел.: 38 044 526 6249.  
e-mail: rem@isofts.kiev.ua