

УДК 004.414.22/004.051/519.687.5

В. М. ВАРТАНЯН, В. В. ТУРКІНА

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", Україна

ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДОВІРИ ТА РЕПУТАЦІЇ В СОЦІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Розглянуто питання побудови систем визначення довіри та репутації в соціальних мережах. Для урахування невизначеності використано інтервальне представлення моделі довіри. Метод визначення довіри/репутації об'єктів в соціальних мережах реалізовано як послідовність дій: визначення довіри до абонентів з урахуванням їх репутації, вибір абонента для взаємодії за критерієм максимуму очікуваного значення функції корисності, корекція за результатами взаємодії з обраним абонентом чисельних оцінок довіри та репутації.

Ключові слова: соціальна мережа, довіра, репутація, інтервальна математика, математична статистика, біноміальне розподілення.

Вступ

Соціальна мережа – це платформа, онлайн-сервіс і веб-сайт, призначені для побудови, відображення і організації соціальних взаємовідносин в Інтернеті. Під соціальною мережею розуміється множина акторів (точок, вершин, агентів), які можуть вступати у взаємодію один з одним [1].

1. Аналіз публікацій

У всіх існуючих добровільних спільнотах для регулювання діяльності існують норми поведінки, взаємодії, спілкування тощо, які встановлюються співтовариством і можуть динамічно змінюватися з часом при виникненні нових ситуацій. Як система санкцій при недотриманні норм використовується репутація, яка одночасно є сигналом для спільноти. Система репутації/довіри формується як засіб упорядкування взаємодії і стимулювання порядку, оскільки звичайні механізми нормативного регулювання та права не працюють [2].

Визначення термінів «довіра», «репутація» залежить від мети їх застосування і, відповідно, застосовуваної моделі. Для подальшого аналізу як основне приймемо таке визначення [3]: довіра до абонента (об'єкта) у соціальних мережах для абонента (суб'єкта), який приймає рішення про взаємодію, – це очікування суб'єкта, що об'єкт буде реалізовувати деякі функції, що сприяють збільшенню або збереженню ресурсів суб'єкта, і, як наслідок, готовність суб'єкта делегувати об'єкту реалізацію цих функцій. Основні властивості довіри:

- корисно тільки в невизначеній обстановці, в якій учасники повинні кооперуватися для досягнен-

ня конкретних цілей;

- пов'язане з конкретною метою і обмежене тим, наскільки можливості об'єкта відповідають бажаній меті суб'єкта;

- суб'єктивно – його ступінь залежить не тільки від поведінки об'єкта, але і від сприйняття суб'єктом цієї поведінки.

- необов'язково рефлексивно і транзитивно, хоча довіра до об'єкту інших суб'єктів може виявитися вирішальним фактором при першому виборі цього об'єкта.

Якщо суб'єкту недостатньо власної інформації для прийняття рішення про взаємодію з об'єктом, то повинна використовуватися кількісна міра репутації. Під репутацією об'єкта будемо розуміти розгорнутий комплекс оціночних уявлень про нього інших об'єктів, сформований на основі об'єктивних параметрів.

Крім соціальних мереж [4] питання довіри і репутації розглядаються стосовно:

- пошукових і рекомендаційних Web-систем;
- Grid-систем;
- систем електронної торгівлі (eBay, Epinions, Bizrate, Trustpilot);
- співтовариств програмістів (Advogato), торгових майданчиків фрілансерів;
- файлообмінних (Peer To Peer - P2P) мереж;
- академічних громад, наприклад для визначення бібліометричних метрик, або H-індексу (індексу Хірша) дослідника тощо.

Системи репутації повинні аналізуватися в трьох розмірностях [5].

1. Розмірність «Формулювання» описує математичну модель і вихідні дані для оцінки значень репутації. Вона включає в себе два основних аспек-

ти: міра репутації і метрична розмірність, які використовуються для сукупних оцінок.

2. Розмірність «Розрахунок» розглядає практику проектування і реалізацію алгоритмів для оцінювання репутації.

3. Розмірність «Поширення» фокусується на механізмах розподілу і зберігання оцінок і цінностей репутації серед суб'єктів в рамках системи. Головною особливістю розрахунку і поширення оцінок та цінностей є структура системи репутації, яка може бути або централізованою або децентралізованою (розподіленою), коли функції зберігання рейтингів і розрахунку репутації розподіляються між суб'єктами в рамках системи.

Централізовані системи репутації зазвичай містять також репутацію центру, який відповідає за збір оцінок рейтингів послуг від усіх попередніх споживачів послуг, а також обчислення довірчих значень якості послуг. Децентралізовані в тій чи іншій мірі використовують властивість часткової транзитивності довіри і моделюються як орієнтовані графи, в яких вузли позначають споживачів послуг, а ребра є довірчі відносини між ними [6].

Управління довірою виграє важливу роль в соціальних мережах для забезпечення конфіденційності та інформаційної безпеки переданих даних. Однак в даний час в літературі, як і раніше відсутні комплексні дослідження управління довірою/репутацією в соціальних мережах, тому актуальним завданням є розробка нових методів їх вимірювання.

2. Модель визначення довіри до об'єкта взаємодії в соціальних мережах

В якості основної одиниці виміру довіри прийmemo середню міру кількості відповідностей колишніх поведінь об'єкта очікуванням суб'єкта.

Для вимірювання довіри будемо вважати, що випадкова величина довіри P підпорядковується біноміальному закону розподілу Бернуллі, оскільки:

- виконується послідовність довжиною n ідентичних повторних звернень до об'єкта;
- кожне звернення має два виходи: успіх (об'єкт виправдав довіру) і неуспіх (не виправдав);
- результати - взаємно несумісні і протилежні події;
- ймовірності успіху - P і неуспіху - $(1-P)$ залишаються постійними від випробування до випробування;
- всі випробування - незалежні (ймовірність настання події в будь-якому з повторних випробувань не залежить від результатів інших випробувань).

При зроблених припущеннях ймовірність того, що в незалежних повторних випробуваннях успіш-

ний результат настане рівно m раз (в будь-якій послідовності), згідно з формулою Бернуллі дорівнює:

$$P_{n,m} = C_m^n \cdot P^m \cdot (1-P)^{n-m}. \quad (1)$$

З визначення біноміального закону розподілу випливає, що точкова емпірична оцінка (математичне очікування) довіри \tilde{P} дорівнює:

$$\tilde{P} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n}. \quad (2)$$

Приклад 1. Припустимо, що в процесі взаємодії суб'єкта з об'єктом суб'єкт оцінив успішність взаємодії, як показано на рис. 1 (0 - неуспіх, 1 - успіх). Тоді точкова емпірична оцінка довіри P буде представлена розрахунковою залежністю довіри від номера звернення.

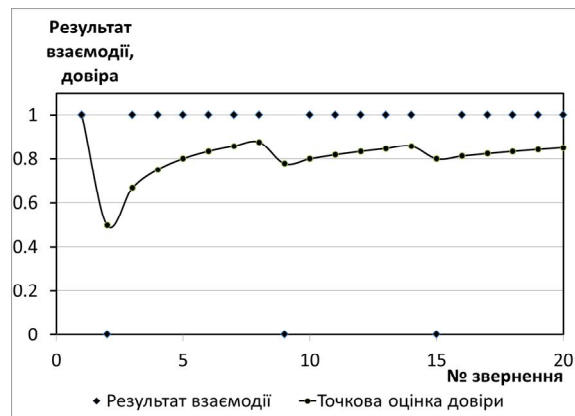


Рис. 1 Розрахунок точкової оцінки довіри по заданій послідовності результатів взаємодії

Недоліком точкових оцінок є те, що невідомо, з якою точністю оцінюється параметр. Якщо для вибірок великого обсягу точність зазвичай буває достатньою (за умови незсуненості, ефективності та спроможності оцінок), то для вибірок невеликого обсягу питання точності оцінок стає дуже важливим. Альтернативою точкової є інтервальна оцінка, тобто оцінка, яка надається інтервалом значень $[P_1, P_2]$, всередині якого з довірчою ймовірністю знаходиться істинне значення оцінюваного параметра:

$$P(P_1 < \tilde{P} < P_2) = P(\tilde{P} \in (P_1; P_2)) = \gamma. \quad (3)$$

Значення довірчих меж P_1 і P_2 можуть бути визначені рішенням рівнянь Клоппера і Пірсона [7]:

$$\sum_{k=n-m}^n C_k^n \cdot P_2^k \cdot (1-P_2)^{n-k} = \frac{(1-\gamma)}{2}, \quad (4)$$

$$\sum_{k=0}^m C_k^n \cdot P_1^k \cdot (1-P_1)^{n-k} = \frac{(1-\gamma)}{2}. \quad (5)$$

Приклад 2. На рис. 2 наведено результати розрахунку інтервальних оцінок довіри по заданій послідовності результатів взаємодії (див. приклад 1), отриманих рішенням рівнянь Клоппера і Пірсона.



Рис. 2. Розрахунок інтервальних оцінок довіри по заданій послідовності результатів взаємодії

Відомо, що при великих n інтервальною оцінкою (з довірчою ймовірністю γ) невідомої ймовірності біноміального розподілу по частоті служить довірчий інтервал (з наближеними межами P_1 і P_2) [8]:

$$P_1 = \left(\frac{n}{t_\beta^2 + n} \right) \cdot \left(P^* + \frac{t_\beta^2}{2n} - t_\beta \sqrt{\frac{P^*(1-P^*)}{n} + \left(\frac{t_\beta}{2n} \right)^2} \right), \quad (6)$$

$$P_2 = \left(\frac{n}{t_\beta^2 + n} \right) \cdot \left(P^* + \frac{t_\beta^2}{2n} + t_\beta \sqrt{\frac{P^*(1-P^*)}{n} + \left(\frac{t_\beta}{2n} \right)^2} \right), \quad (7)$$

де $P^* = \frac{m}{n}$ - емпірична частота події,

аргумент t_β визначається як рішення функції, що зворотна функції нормального розподілу:

$$t_\beta = \arg \Phi^* \left(\frac{1+\beta}{2} \right), \quad (8)$$

$$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp \left(-\frac{t^2}{2} \right) dt. \quad (9)$$

Динамічні зміни в мережевому середовищі повинні розглядатися на трьох рівнях **теоретико-множинного представлення моделей довіри і репутації**:

- на рівні вузла можлива зміна поведінки будь-якого вузла, наприклад, через зміну його політики в частині кооперації з сусідами тощо;

- зміна на рівні локального оточення (сусідів) вузла може пояснюватися зміною кількості скомпрометованих/довірих сусідів;

- глобальні зміни мережі пояснюються зовнішніми по відношенню до мережі факторами: зміна топології мережі через кількість абонентів, доступність мережевих каналів тощо.

Отже, методи управління довірою і репутацією в мобільній мережі повинні бути динамічними і адаптуватися до можливих змін в мережевому середовищі, оскільки оптимізація до одних умов призведе до погіршення продуктивності при їх зміні.

1. Довіра до кожного абонента в мережевому середовищі розглядається як його здатність / готовність надати послуги – **Service** і як здатність / готовність рекомендувати інший об'єкт мережі, що надає послуги - **Rec**:

$$\text{Trust} = \langle \text{Service}, \text{Rec} \rangle. \quad (10)$$

Тоді довіра до будь-якого i -го абонента буде представлена кортежем, що містить інтервальні оцінки довіри по кожному з перерахованих напрямів:

$$\text{Trust}^i = \langle \text{Trust}_{\text{Service}}^i, \text{Trust}_{\text{Rec}}^i \rangle. \quad (11)$$

2. Образами (простором для визначення довіри до абонентів) є множина, визначена в просторі довір до всіх абонентів (множина абонентів - I):

$$\text{Sp}_{\text{Trust}} = \{ \text{Trust}^i, i \in I \}. \quad (12)$$

3. Множина Sp_{Trust} може бути розбита на кінцеве число попарно непересічних областей-класів Y , визначене як декартове множення множини двох класів довіри $\text{Trust} = \{ \text{Service}, \text{Rec} \}$ на множину класів рівнів довіри $\text{MC} = \{ \text{Trusted}, \text{UnTrusted}, \text{UnDefined} \}$ - «Заслугує на довіру», «не заслуговує на довіру», «рівень довіри не визначений»:

$$Y = \left\{ \begin{array}{cc} \text{Service}_{\text{Trusted}}, & \text{Service}_{\text{UnTrusted}}, \\ \text{Service}_{\text{UnDefined}}, & \text{Rec}_{\text{Trusted}}, \\ \text{Rec}_{\text{UnTrusted}}, & \text{Rec}_{\text{UnDefined}} \end{array} \right\}. \quad (13)$$

4. Репутація кожного абонента в мережі - це усереднена оцінка всіх абонентів мережі його здатності/готовності надати послуги – **Service**, а також здатності/готовності рекомендувати інший об'єкт мережі, що надає послуги - **Rec**:

$$\text{Rep} = \{ \text{Service}, \text{Rec} \}. \quad (14)$$

Тоді репутація будь-якого i -того абонента - це кортеж, що містить чисельні оцінки довіри по кожному з перерахованих напрямів:

$$\text{Rep}^i = \langle \text{Rep}_{\text{Service}}^i, \text{Rep}_{\text{Rec}}^i \rangle. \quad (15)$$

5. Образами (простором для визначення

репутацій до абонентів) є множина, визначена в просторі репутацій до всіх абонентів (множина абонентів - I):

$$Sp_{Rep} = \{Rep^i, i \in I\}. \quad (16)$$

6. За аналогією з простором довіри множина репутацій Sp_{Rep} також має бути розбита на кінцеве число попарно непересічних областей-класів Z, визначене як декартове множення множини двох класів репутації абонентів $Trust = \{Service, Rec\}$ на множину класів рівнів репутації $MC = \{Trusted, UnTrusted, UnDefined\}$ - «Заслугує на довіру», «не заслугоує на довіру», «рівень довіри не визначений»:

$$Z = \left\{ \begin{array}{cc} Service_{Rep}, & Service_{UnRep}, \\ Service_{UnDRep}, & Rec_{Rep}, \\ Rec_{UnRep}, & Rec_{UnRep} \end{array} \right\}. \quad (17)$$

3. Метод визначення репутації об'єкта в соціальних мережах

В якості вихідних передумов при розрахунку довіри і репутації приймемо, що використовується часове вікно, оскільки вузли мережі можуть змінювати свою поведінку в часі, а репутація вузла може бути різною для різних завдань, що вирішуються цим вузлом: функціональних і рекомендаційних.

Основні принципи формування рекомендацій зводяться до визначених в роботі [9]. Швидка динаміка зміни мережі призводить до необхідності оцінок довіри і репутації на статистичних вибірках, малих за обсягом. Відповідно з роботою [10] до таких обмежених (малих) вибірок будемо відносити такі, коли необхідно відмовлятися від класичних способів статистичної обробки, заснованих на угрупованнях спостережень (гістограми, критерії типу χ^2 тощо) і переходити до методів, заснованих на використанні кожної окремої реалізації (статистична функція розподілу, порядкові критерії типу критерію Уїлкоксона та ін.).

Мета методу - визначити правила перетворення суб'єктивних оцінок довіри в загальну оцінку репутації об'єкта взаємодії, далі з урахуванням отриманої оцінки репутації та апіорної суб'єктивної оцінки прийняти рішення про взаємодію, а потім з урахуванням результатів взаємодії скорегувати апіорні оцінки.

З формальної точки зору метод реалізується трьома кроками.

1. Визначення довіри до абонентів з урахуванням їх репутації. У наступних формулах будемо

вважати, що довіра представлена в інтервальному вигляді, тобто нижнє і верхнє підкреслення відповідає нижній та верхній довірчим межах інтервалу (НДМ та ВДМ). Тоді НДМ довіри обчислюється як:

$$\begin{aligned} \underline{Trust}^i = & LSL \left(\bigcup_{j \in J} \left\{ \langle \tau_j^i, QoS_{f,j}^i \rangle \right\} \right) + \\ & + \sum_{k \in I, k \neq i} \underline{Rep}_{Rec}^k \cdot \underline{Rep}_{Service}^{k,i} - \\ & - LSL \left(\bigcup_{j \in J} \left\{ \langle \tau_j^i, QoS_{f,j}^i \rangle \right\} \right) \cdot \sum_{k \in I, k \neq i} \underline{Rep}_{Rec}^k \cdot \underline{Rep}_{Service}^{k,i} - \\ & - \sum_{k \in I, k \neq i} \left(\frac{\underline{Rep}_{Rec}^k \cdot \underline{Rep}_{Service}^{k,i}}{\sum_{m \in I, m \neq i, m \neq k} \underline{Rep}_{Rec}^m \cdot \underline{Rep}_{Service}^{m,i}} \right), \quad (18) \end{aligned}$$

де $LSL \left(\bigcup_{j \in J} \left\{ \langle \tau_j^i, QoS_{f,j}^i \rangle \right\} \right)$ - (Lower Specification

Limit) функція для визначення НДМ інтервалу власної довіри суб'єкта взаємодії до об'єкта взаємодії;

$\sum_{k \in I, k \neq i} \underline{Rep}_{Rec}^k \cdot \underline{Rep}_{Service}^{k,i}$ - сума НДМ інтервалів довіри до об'єкта взаємодії у інших об'єктів мережі з урахуванням оцінки їх здатності/готовності давати рекомендації.

Тоді обчислення суб'єктом рівня довіри до нового об'єкта, буде являти собою суму множень рівнів довіри інших абонентів соціальної мережі до рівнів рекомендаційної довіри до цих абонентів;

віднімання двох членів:

$$\begin{aligned} LSL \left(\bigcup_{j \in J} \left\{ \langle \tau_j^i, QoS_{f,j}^i \rangle \right\} \right) \cdot \sum_{k \in I, k \neq i} \underline{Rep}_{Rec}^k \cdot \underline{Rep}_{Service}^{k,i} \\ \text{та} \sum_{k \in I, k \neq i} \left(\frac{\underline{Rep}_{Rec}^k \cdot \underline{Rep}_{Service}^{k,i}}{\sum_{m \in I, m \neq i, m \neq k} \underline{Rep}_{Rec}^m \cdot \underline{Rep}_{Service}^{m,i}} \right) \quad (19) \end{aligned}$$

відповідає ймовірностям настання двох подій одночасно.

ВДМ довіри обчислюється аналогічно (19):

$$\begin{aligned} \overline{Trust}^i = & USL \left(\bigcup_{j \in J} \left\{ \langle \tau_j^i, QoS_{f,j}^i \rangle \right\} \right) + \\ & + \sum_{k \in I, k \neq i} \overline{Rep}_{Rec}^k \cdot \overline{Rep}_{Service}^{k,i} - \\ & - USL \left(\bigcup_{j \in J} \left\{ \langle \tau_j^i, QoS_{f,j}^i \rangle \right\} \right) \cdot \sum_{k \in I, k \neq i} \overline{Rep}_{Rec}^k \cdot \overline{Rep}_{Service}^{k,i} - \end{aligned}$$

$$- \sum_{k \in I, k \neq i} \left(\frac{\overline{\text{Rep}}_{\text{Rec}}^k \cdot \overline{\text{Rep}}_{\text{Service}}^{k,i}}{\sum_{m \in I, m \neq i, m \neq k} \overline{\text{Rep}}_{\text{Rec}}^m \cdot \overline{\text{Rep}}_{\text{Service}}^{m,i}} \right), \quad (20)$$

де $\text{USL} \left(\bigcup_{j \in J} \left\{ \tau_j^i, \text{QoS}_{f,j}^i \right\} \right)$ - (Upper Specification Limit) функція для визначення ВДМ інтервалу власної довіри суб'єкта взаємодії до об'єкту взаємодії;

$$\sum_{k \in I, k \neq i} \overline{\text{Rep}}_{\text{Rec}}^k \cdot \overline{\text{Rep}}_{\text{Service}}^{k,i} - \text{сума ВДМ інтервалів}$$

довіри до об'єкту взаємодії у інших об'єктів мережі з урахуванням оцінки їх здатності/готовності давати рекомендації.

Для визначення LSL, USL скористаємося методом найкоротших довірчих інтервалів [10], який, на відміну від наближених рівнянь Клоппера та Пірсона (див. 6, 7), вирішує задачу пошуку найкоротшого інтервалу невизначеності в умовах обмеженої за розміром експериментальної виборки та є наслідком з біноміального закону розподілу випадкової величини. Метод визначення інтервалу довіри до абонентів шукає найкоротший довірчий інтервал, до якого з заданою достовірністю (довірчою ймовірністю) - γ належить точкова оцінка довіри \tilde{P} :

$$\langle m_1^*, m_2^* \rangle = \text{Arg min} (m_2(\tilde{P}, \gamma) - m_1(\tilde{P}, \gamma)), \quad (21)$$

де зміни $\langle m_1, m_2 \rangle$ обмежені нерівністю:

$$\sum_{k=m_1}^{m_2} C_k^n \cdot \tilde{P}^k \cdot (1-\tilde{P})^{n-k} \geq \gamma, \quad (22)$$

а власне LSL, USL обчислюються як:

$$\text{LSL} = \sum_{k=0}^{m_1} C_k^n \cdot \tilde{P}^k \cdot (1-\tilde{P})^{n-k}; \quad (23)$$

$$\text{USL} = \sum_{k=0}^{m_2} C_k^n \cdot \tilde{P}^k \cdot (1-\tilde{P})^{n-k},$$

що гарантує:

$$\text{USL} - \text{LSL} \geq \gamma. \quad (23)$$

Приклад 3. Припустимо, що проведено 5 експериментів по 20 дослідів в кожному, результати яких підкоряються біноміальному закону розподілу Бернуллі з вірогідністю успіху $P = \{0.05, 0.2, 0.5, 0.8, 0.95\}$ для кожного з експериментів, відповідно. Несиметричність щільності розподілення Бернуллі (рис. 3, 4) призводить до того, що наближене вирішення рівнянь Клоппера і Пірсона не є достатнім для визначення довірчих меж для точкової емпіричної оцінки \tilde{P} . Але, якщо застосувати метод най-

коротших довірчих інтервалів, тоді вирішення задачі виглядає змістовно обґрунтованим (рис. 5). Даний ефект вимагає вивчення в разі невеликих експериментальних вибірок при величинах \tilde{P} , близьких до нуля, або одиниці.

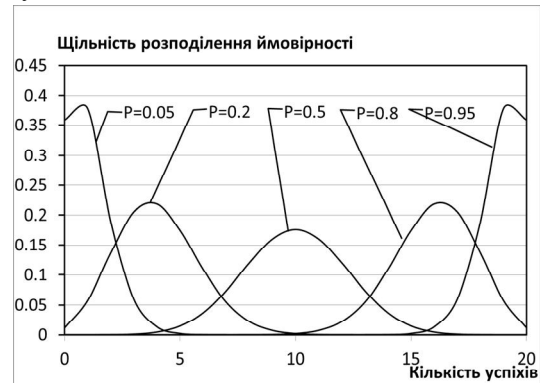


Рис. 3. Результати розрахунку щільності розподілу ймовірності кількості успішних дослідів в експериментах (кількість дослідів - 20, ймовірності успіху в експериментах наведено на рисунку)

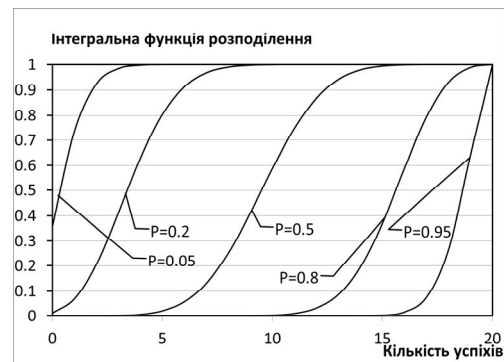


Рис. 4. Результати розрахунку інтегральної функції розподілу ймовірності кількості успішних дослідів в експериментах (кількість дослідів - 20, ймовірності успіху в експериментах наведено на рисунку)

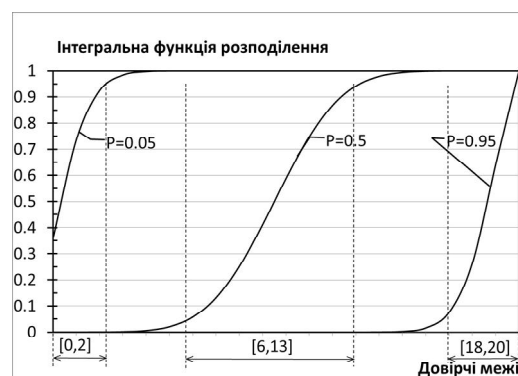


Рис. 5. Результати визначення довірчих меж

2. Вибір абонента для взаємодії. З урахуванням інтервального представлення довіри вибір об'єкта взаємодії – це оптимізаційне завдання:

$$i^* = \arg \max_{i \in I} \left(\frac{\overline{\text{Trust}}^i + \underline{\text{Trust}}^i}{2} \cdot \text{QoS}_p^i \right). \quad (24)$$

3. Корекція за результатами взаємодії чисельних оцінок довіри та репутації

Корекція за результатами взаємодії з обраним абонентом чисельної оцінки довіри $\text{Trust}_{\text{Service}}^i$ виконується наступним чином:

$$\overline{\text{Trust}}_{\text{Service}}^i = \begin{cases} \frac{\text{Trust}_{\text{Service}}^i}{2}, & \text{при } \text{QoS}_f^i < \text{QoS}_p^i \\ \frac{\text{Trust}_{\text{Service}}^i + \overline{\text{Trust}}_{\text{Service}}^i}{2}, & \text{при } \text{QoS}_f^i \geq \text{QoS}_p^i \end{cases}, \quad (25)$$

$$\underline{\text{Trust}}_{\text{Service}}^i = \begin{cases} \frac{\text{Trust}_{\text{Service}}^i + \underline{\text{Trust}}_{\text{Service}}^i}{2}, & \text{при } \text{QoS}_f^i < \text{QoS}_p^i \\ \frac{1 + \text{Trust}_{\text{Service}}^i}{2}, & \text{при } \text{QoS}_f^i \geq \text{QoS}_p^i \end{cases}. \quad (26)$$

Корекція репутацій абонентів мережі в частині їх здатності/готовності рекомендувати інший об'єкт мережі також залежить від результатів взаємодії з обраним абонентом. Для виконання такої корекції визначимо центр рекомендаційного інтервалу i -го об'єкта k -м абонентом:

$$\text{Rep}_{\text{Service}}^{k,i} = \left(\overline{\text{Rep}}_{\text{Service}}^{k,i} + \underline{\text{Rep}}_{\text{Service}}^{k,i} \right) / 2. \quad (27)$$

Можливі три варіанти положення центру рекомендаційного інтервалу щодо інтервалу нової величини довіри (див. 25, 26), що призводить до наступних правил зміни репутації рекомендадодавця (табл. 1).

Зменшення інтервальної оцінки репутації всіх об'єктів, що дали рекомендації, здійснюється за правилом:

$$\forall i \in I, \begin{cases} \overline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i = \overline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i / \alpha \\ \underline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i = \underline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i / \alpha \end{cases}, \quad (28)$$

де $1 < \alpha < 2$ - коефіцієнт, що характеризує швидкість зміни інтервальної оцінки репутації всіх об'єктів, що дали рекомендації.

Збільшення інтервальної оцінки репутації всіх об'єктів, що дали рекомендації, здійснюється за правилом:

$$\forall i \in I, \begin{cases} \overline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i = \left(\overline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i + \underline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i \right) / 2 \\ \underline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i = \left(1 + \overline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i \right) / \overline{\text{Trust}}_{\text{Rec}}^i \end{cases}. \quad (29)$$

Приклад 4. До умов прикладу 2 додано додаткове припущення, що в мережі є ще 1 об'єкт, який надає інформацію про репутацію об'єкта взаємодії. Нехай в початковий момент часу репутація об'єкта-рекомендодавця - це інтервал $[0.5; 1]$, а оцінка рекомендадодавцем репутації об'єкта взаємодії дорівнює $[0.8; 0.9]$ і залишається незмінною протягом усієї серії дослідів.

Тоді результати розрахунку довірчих меж довіри до об'єкта взаємодії без урахування репутації (див. 4, 5) та з урахуванням репутації (див. 18, 20) підтверджують можливість зниження невизначеності оцінки довіри (рис. 6). Застосування розрахункових формул (27-29) призводить до наступної динаміки оцінки репутації рекомендадодавця (рис. 7).

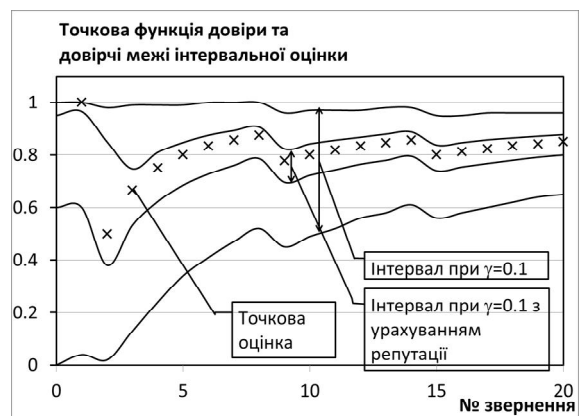


Рис. 6. Результати розрахунку довірчих меж довіри до об'єкта взаємодії без урахування репутації та з урахуванням репутації

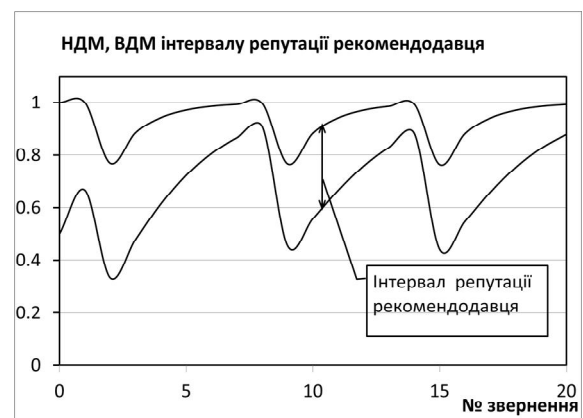


Рис. 7. Результати розрахунку довірчих меж довіри до репутації рекомендадодавця

Таблиця 1

Взаємозв'язок результатів взаємодії і застосованих правил корекції репутацій абонентів мережі в частині їх здатності/готовності рекомендувати інший об'єкт мережі

Результати взаємодії	Положення центру рекомендаційного інтервалу	Правило корекції репутації
$QoS_f^i < QoS_p^i$	$Rep_{Service}^{k,i} < \underline{Trust}_{Service}^i$	Збільшити оцінку
	$Rep_{Service}^{k,i} \in [\underline{Trust}_{Service}^i, \overline{Trust}_{Service}^i]$	Не змінювати
	$Rep_{Service}^{k,i} > \overline{Trust}_{Service}^i$	Зменшити оцінку
$QoS_f^i \geq QoS_p^i$	$Rep_{Service}^{k,i} < \underline{Trust}_{Service}^i$	Зменшити оцінку
	$Rep_{Service}^{k,i} \in [\underline{Trust}_{Service}^i, \overline{Trust}_{Service}^i]$	Не змінювати
	$Rep_{Service}^{k,i} > \overline{Trust}_{Service}^i$	Збільшити оцінку

Висновки

В роботі запропонована ймовірнісна модель довіри, заснована на середній мірі кількості відповідей колишніх поведінь об'єкта очікуванням суб'єкта взаємодії. Для урахування невизначеності використано інтервальне представлення, в основі якого припущення, що вимірювана випадкова величина довіри підпорядковується біноміальному закону розподілу Бернуллі. Теоретико-множинне представлення моделей довіри і репутації надає можливість формалізувати основні концепти задачі та їх взаємозв'язки.

Метод визначення довіри/репутації об'єктів в соціальних мережах реалізовано як послідовність дій: визначення довіри до абонентів з урахуванням їх репутації, вибір абонента для взаємодії за критерієм максимуму очікуваного значення функції корисності, корекція за результатами взаємодії з обраним абонентом чисельних оцінок довіри до нього та репутацій об'єктів мережі в частині здатності/готовності рекомендувати об'єкти, що надають послуги.

Література

1. Губанов, Д. А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства [Текст] / Д. А. Губанов, Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. – М. : Физматлит., 2010. – 228 с.
2. Губанов, Д. А. Обзор онлайн-систем репутации/доверия [Электронный ресурс] / Д. А. Губанов // Интернет-конференция по проблемам управления (www.mtas.ru/forum). – М. : ИПУ РАН, 2009. – С. 25. – Режим доступа: http://www.mtas.ru/search/search_results.php?publication_id=18622. – 21.5.2016).
3. Esch, J. An introduction to the paper by Yu, Shen, Miao, Leung and Niyato. A survey of trust and reputation management systems in wireless communica-

tion [Text] / J. Esch // Proc. of the IEEE. – 2010. – Vol. 98, № 10. – P. 1752–1754.

4. Деньжаков, А. Ю. Модель алгоритма вычисления доверия в социальной сети [Текст] / А. Ю. Деньжаков, Б. Г. Хмелевской // Наука и бизнес: пути развития. – 2011. – № 5. – С. 52–58.

5. Hoffman, K. A. Survey of attack and defense techniques for reputation systems [Text] / K. Hoffman, D. Zage, C. Nita-Rotaru // ACM Computing Surveys (CSUR). – 2009. – № 42. – P. 1–31.

6. Liu, Z. IRLT: Integrating Reputation and Local Trust for Trustworthy Service Recommendation in Service-Oriented Social Networks [Text] / Z. Liu, J. Ma, Z. Jiang // PLOS ONE. – 2016. – № 11. – P. 1–19.

7. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.

8. Трегубов, Р. Б. Задача оценивания параметра биномиального распределения по ограниченному числу опытов [Текст] / Р. Б. Трегубов, М. В. Стремоухов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. – Вып. № 2 (163). – С. 93–106.

9. Trust-based recommendation systems: an axiomatic approach [Text] / R. Andersen, C. Borgs, J. Chayes, U. Feige // Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web. – 2008. – P. 199–208.

10. Гуров, С. И. Оценка надежности классифицирующих алгоритмов [Текст] / С. И. Гуров. – М. : Издательский отдел ф-та ВМиК МГУ. – 2003. – 42 с.

References

1. Gubanov, D. A., Novikov, D. A., Chkhartishvili A. G. Sotsial'nye seti: modeli informatsionnogo vliyaniya, upravleniya i protivoborstva [Social networks: models of the information influence, control and confrontation]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010. 228 p.
2. Gubanov, D. A. Obzor onlainovykh sistem repu-

tatsii / doveriya [Review of online trust and reputation systems]. *Internet-konferentsiya po problemam upravleniya* (www.mtas.ru/forum). [Large-scale Systems Control]. Moscow, IPU RAN Publ., 2009, 25 p. Available at: http://www.mtas.ru/search/search_results.php?publication_id=18622 (accessed 21.5.2016).

3. Esch, J. An introduction to the paper by Yu, Shen, Miao, Leung and Niyato. A survey of trust and reputation management systems in wireless communication. *Proc. of the IEEE*, 2010, vol. 98, no 10, pp. 1752–1754.

4. Den'zhakov, A. Yu., Khmelevskoi, B. G. Model' algoritma vychisleniya doveriya v sotsial'noi seti [Model of Trust Calculation Algorithm in Social Networks] *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2011, no 5, pp. 52–58.

5. Hoffman, K. A., D. Zage, D., Nita-Rotaru, C. Survey of attack and defense techniques for reputation systems. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2009, no. 42, pp. 1–31.

6. Liu, Z., Ma, J., Jiang, Z. IRLT: Integrating Reputation and Local Trust for Trustworthy Service Rec-

ommendation in Service-Oriented Social Networks. *PLOS ONE*, 2016, no. 11, pp. 1–19.

7. Kobzar', A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 816 p.

8. Tregubov, R. B., M. V. Stremoukhov, M. V. Zadacha otsenivaniya parametra binomial'nogo raspredeleniya po ogranichennomu chislu opytov [Bounded quantitatively experiment binomial distribution parameter estimation problem] *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2015, vol. 2 (163), pp. 93-106.

9. Andersen, R., Borgs, C., Chayes, J., Feige, U. Trust-based recommendation systems: an axiomatic approach. *Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web*, 2008, pp. 199–208.

10. Gurov, S. I. *Otsenka nadezhnosti klassifitsiruyushchikh algoritmov* [Evaluation of the reliability of classification algorithms]. Moscow, Izdatel'skii otdel f-ta VMiK MGU, 2003. 42 p.

Поступила в редакцію 23.01.2017, рассмотрена на редколлегии 16.02.2017

INTERVAL METHOD FOR EVALUATION OF TRUST AND REPUTATION IN SOCIAL NETWORK

V. M. Vartanyan, V. V. Turkina

The problem of trust and reputation systems in social networks estimation's are considered. The interval representation models of the trust are used for the uncertainty accounting. The method of determining trust/reputation in social networks is implemented as a sequence of actions: definition of the trust to provider is based on their reputation, subscriber's choice for interaction is made by criterion of maximum expected value of their utility function, then correction of the numerical estimation of trust and reputation of the selected subscriber is performed.

Keywords: social network, trust, reputation, interval mathematics, mathematical statistics, binomial distribution.

ИНТЕРВАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ДОВЕРИЯ И РЕПУТАЦИИ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

В. М. Вартамян, В. В. Туркина

Рассмотрены вопросы построения систем определения доверия и репутации в социальных сетях. Для учета неопределенности использованы интервальные представления модели доверия. Метод определения доверия/репутации объектов в социальных сетях реализован как последовательность действий: определение доверия к абонентам с учетом их репутации, выбор абонента для взаимодействия по критерию максимума ожидаемого значения функции полезности, коррекция по результатам взаимодействия с выбранным абонентом многочисленных оценок доверия и репутации.

Ключевые слова: социальная сеть, доверие, репутация, интервальная математика, математическая статистика, биномиальное распределение.

Вартамян Васильй Михайлович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. менеджменту, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: vartanyan_vm@ukr.net.

Туркіна Вікторія Валентинівна – аспірант каф. менеджменту, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: viki1361@mail.ru.

Vartanyan Vasyliy Mikhaylovich – Doctor of Technical Science, Professor, Head of Dep. of Management, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: vartanyan_vm@ukr.net.

Turkina Viktoriia Valentinovna – PhD student of Dep. of Management, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: viki1361@mail.ru.