

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ ДЛЯ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТЕГANOГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ

Vovk O. O. Determination of importance factors for expert evaluation of steganographic methods. Steganography comes under the assumption that if the feature is visible, the point of attack is evident, thus the goal here is always to conceal the very existence of the embedded data. Today, a large number of different steganographic methods are proposed, part of them are universal or designed for a wide range of tasks. Each steganographic task has different requirements to embedding methods. At the same time, different methods have their specific advantages and disadvantages of implementation and using. In order to determine the optimal hidden steganographic method for data transmission on communication networks it is necessary to carry out expert evaluation methods meeting defined criteria. The objective of this work is to study modern methods for determining of importance factors (IF) and selecting the most appropriate embedding methods to use in further researches. Multiple-criteria decision-making methods will be used to determine the IF of criteria that used to evaluate steganographic methods. and later for comprehensive analysis of hiding techniques in the specific context of the examination.

Basic modern approaches of calculating IF were investigated in this work. The advantages and disadvantages of the analytic hierarchy process for use in studies steganographic methods were defined. It is assumed that it will allow determining the importance (weight) of each of the quality characteristics of the hiding information methods in objective way. It was calculated and graphically displayed a high correlation rate of experts estimates based on ranking factors, direct placement and the analytic hierarchy process. So it indicates adequacy of evaluation results and the possibility of their further use in research. It is shown that the averaging procedure is not playing a significant role to determine weights

Keywords: importance factor, impact factor, steganographic method, analytic hierarchy process, correlation, averaging, expert evaluation

Вовк О. О. Визначення коефіцієнтів важливості для експертного оцінювання стеганографічних методів. Досліджені основні сучасні підходи до розрахунку коефіцієнтів важливості. Визначені переваги та недоліки методу аналізу ієрархій для подальшого використання у дослідженнях стеганографічних методів. Розрахована та графічно відображена висока кореляція оцінок експертів за принципом ранжування факторів, прямої розстановки та методу аналізу ієрархій. Показано, що процедура усереднення не грає суттєвої ролі для визначення вагових коефіцієнтів.

Ключові слова: коефіцієнт важливості, впливаючий фактор, стеганографічні методи, метод аналізу ієрархій, кореляція, усереднення, експертна оцінка

Вовк О. О. Определение коэффициентов важности для экспертного оценивания стеганографических методов. Исследованы основные современные подходы к расчету коэффициентов важности. Определены преимущества и недостатки метода анализа иерархий для дальнейшего использования в исследованиях стеганографических методов. Рассчитана и графически отображена высокая корреляция оценок экспертов по принципу ранжирования факторов, прямой расстановки и метода анализа иерархий. Показано, что процедура усреднения не играет существенной роли для определения весовых коэффициентов.

Ключевые слова: коэффициент важности, влияющий фактор, стеганографические методы, метод анализа иерархий, корреляция, усреднение, экспертная оценка

1. Вступ і постановка задачі. Стеганографія є наукою, що дозволяє обмінюватися секретними даними за допомогою вибраного мультимедійного носія, наприклад, зображення, аудіо та відео файлів. Вона базується на припущенні, якщо приховання помітне, то воно неодмінно зазнає атакування. Отже, метою стеганографії завжди є приховання самого факту існування вбудованих даних.

Стеганографія використовується для різноманітних додатків, як корисних, так інколи і зловмисних. В будь якому разі, інтерес до неї росте з кожним роком. Вже розроблено та активно використовується безліч стеганографічних методів, призначених для тих чи інших цілей. Це може бути: прихований зв'язок, захист авторських прав на зображення (автентифікація), відбитки пальців (відстеження порушника), додавання заголовків до зображень, додавання додаткової інформації, такої як субтитри до відео, захист цілісності зображень (виявлення випадків шахрайства), управління копіюванням при DVD записі та в інтелектуальних браузерях, автоматичне надання інформації про авторські права. Кожен з

цих додатків висуває різні вимоги до методу вбудовування даних. В той час, як окремі методи мають свої переваги та недоліки в реалізації та застосуванні [1].

Для визначення оптимального стеганографічного методу для прихованої передачі даних по мережах зв'язку необхідно здійснити експертне оцінювання існуючих методів за обраними критеріями.

Експертне оцінювання стеганографічних методів проводиться відповідною експертною групою, до складу якої входять незалежні фахівці. В ході експертизи різноманітні параметри підлягають оцінці з боку експертної групи і в подальшому виникає необхідність обробки отриманих даних з метою їх узагальнення та формування кінцевих результатів експертизи. Початковою інформацією для обробки є судження, що відображають переваги метода у числовій і лінгвістичній формі, тому є необхідність використання якісних і кількісних методів обробки результатів експертної оцінки. Кількісні методи є більш зручними з точки зору їх застосування під час такого оцінювання [2]. Для агрегації результатів експертизи виникає необхідність використання параметру, який би відображав оцінку експерта. Ним може бути коефіцієнт важливості (КВ), який широко використовується для побудови рішення в багатокритеріальних задачах [3...5] та математичному програмуванні [6, 7].

Метою даної роботи є дослідження сучасних методів розрахунку КВ та визначення найбільш доцільного для подальшого використання у дослідженнях методів вбудовування інформації. Метод багатокритеріальної оцінки буде використовуватися для визначення КВ критеріїв, за якими оцінюються стеганографічні методи, а згодом для комплексного порівняльного аналізу методів приховування в конкретних умовах проведення експертизи.

2. Аналіз літературних даних. Робота [8] присвячена огляду сучасних методів формування КВ, але в ній не розкрито особливості використання методів у сфері стеганографії. Отже, необхідно розглянути найпоширеніші методи багатокритеріальної оцінки, та визначити чиї переваги є найвпливовішими, а недоліки не суттєвими при оцінюванні саме стеганографічних методів приховування даних.

Всі методи визначення пріоритету критеріїв (важливості критеріїв, обробки результатів експертизи, формування експертних суджень) прийнято поділяти на якісні та кількісні відповідно до інформації, яка надходить від експертів (вербальна або кількісна). Якісні методи придатні для тих випадків, коли метою експертизи є отримання якісних оцінок певних критеріїв об'єкту, визначення найкращої альтернативи, а кількісна характеристика носить другорядний характер. В іншому випадку, коли необхідно отримати числові оцінки, використовують кількісні методи.

До *якісних методів* визначення пріоритету критеріїв відносять методи «Делфі» [9], ранжирування [9], бінарних [8] та множинних порівнянь [9], нормалізації [10], вектору переваг [8], а також кластерного аналізу [11].

Кількісні методи визначення пріоритету критеріїв прийнято розділяти на п'ять груп: попарних порівнянь [12...17], рангових перетворень [8], [12], [18...21], апроксимації функції корисності [3], [8], [22...24], трансформації частот [3], [7], [25, 26] та відхилення від точки рівноваги [15], [27...29]. Найбільш повний огляд методів визначення коефіцієнтів важливості наведений у літературі [8].

3. Стислий огляд найпоширеніших методів визначення коефіцієнтів важливості. Для розрахунку вагових коефіцієнтів використовуються різні підходи, у рамках яких розроблено безліч різноманітних методів [30]. Проаналізуємо основні підходи.

Пряма розстановка. Експерти розставляють ваги факторам, виходячи з деякої вимоги, наприклад, щоб сума усіх ваг була рівна одиниці або 100%, хоча може бути обрана і будь-яка інша константа, якщо це виявиться зручніше для подальших розрахунків.

Труднощі цього підходу полягають у необхідності у неявному вигляді тримати у полі зору одночасно усі фактори, оскільки, присвоюючи певне числове значення конкретному фактору, експерт повинен одночасно його співставити з усіма іншими. Труднощі зростають у геометричній прогресії зі збільшенням числа факторів.

Є ще й технічне ускладнення у роботі експерта, пов'язане з необхідністю постійно контролювати поточну суму вагових коефіцієнтів, щоб не опинитися перед фактом перевищення заданої константи або залишити на останні фактори занадто велику частину. Якщо це відбувається, то доводиться перевизначати вже присвоєні коефіцієнти, що може відбуватися декілька разів, поки цей своєрідний ітераційний процес не скінчиться. Число ітерацій збільшується зі зростанням кількості факторів.

Ранжування факторів. Цей підхід дещо полегшує експертам роботу, оскільки не потребує контролю загальної суми коефіцієнтів. Тут від експертів вимагається провести ранжування, тобто впорядкувати фактори, що досліджуються, за ступенем проявлення їх властивостей у порядку їх зростання або спадання.

$$\begin{cases} R_{11}, R_{21}, \dots, R_{n1}; \\ R_{12}, R_{22}, \dots, R_{n2}; \\ \dots\dots\dots; \\ R_{1m}, R_{2m}, \dots, R_{nm}; \end{cases} \quad (1)$$

де R_{ij} – ранг (місце), присвоєне фактору O_i j -м експертом у ряду з n досліджених об'єктів, впорядкованих цим експертом за ступенем прояву властивості, що аналізується.

Допускається двом чи більше факторам присвоювати однаковий ранг, але тоді він буде дробовим. Зведену оцінку вагових коефіцієнтів можна отримати у результаті усереднення окремих рангів по стовпцям.

Перевага цього методу полягає у його простоті, але це не той випадок, коли простота ефективна, оскільки усереднення рангів призводить до більш грубих оцінок вагових коефіцієнтів порівняно з іншими методами. Окрім того, він також не звільняє експерта від необхідності тримати у полі зору усі фактори, як і при прямій розстановці.

Присвоєння коефіцієнтів факторам. У цьому методі експертам пропонується оцінити фактори по деякій бальній шкалі, наприклад від 1 до 10. Тоді отримуємо вираз:

$$\begin{cases} y_{11}, y_{21}, \dots, y_{n1}; \\ y_{12}, y_{22}, \dots, y_{n2}; \\ \dots\dots\dots; \\ y_{1m}, y_{2m}, \dots, y_{nm}; \end{cases} \quad (2)$$

де y_{ij} – бальна оцінка фактору, отримана від j -го експерта; n – кількість факторів; m – число експертів.

Зведені оцінки вагових коефіцієнтів зазвичай знаходять шляхом підбору відповідної регресійної моделі. Середню оцінку w_i вагових коефіцієнтів факторів можливо отримати за простими формулами:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w_{ij}}, \quad (3)$$

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad (4)$$

де w_{ij} – вага i -го об'єкту, розрахована за оцінками усіх експертів;

x_{ij} – оцінка фактору i , що дана експертом j ; n – число факторів; m – число експертів.

Цей метод у деякій мірі робить слабшою залежність оцінки конкретного фактору від інших, але остаточно не звільняє від неї, оскільки фактори все ж потрібно співставляти – інакше коефіцієнти важливості неможливо коректно розставити.

Метод аналізу ієрархій. Частково уникнути вказаних вище складностей покликаний метод аналізу ієрархій (MAI), розроблений Т. Сааті [31] у 80-х роках минулого століття. Суть методу полягає у попарному порівнянні факторів відносно один одного за впливом на

кінцеву ціль. При цьому вплив інших факторів не враховується. Для попарного порівняння факторів Сааті запропонував спеціальну оціночну шкалу, що складається з п'яти основних та чотирьох проміжних суджень. Згідно з нею судження експертів представляються у наступному вигляді (Табл. 1):

Ієрархія експертних порівнянь співвідношення факторів Табл. 1

Судження	Пояснення
1. Рівна важливість	Рівний вклад факторів у ціль
3. Помірна перевага	Досвід і судження дають легку перевагу одного фактору над іншим
5. Суттєва перевага	Досвід і судження дають сильну перевагу одного фактору над іншим
7. Значна перевага	Одному фактору дається настільки сильна перевага, що вона стає практично значимою
9. Дуже сильна перевага	Очевидність переваги одного фактору над іншим підтверджується найбільш сильно
2, 4, 6, 8. Проміжне судження	Застосовується у компромісному випадку

У підсумку результати парних порівнянь представляються у вигляді квадратної матриці $A = (a_{ij})$ з одиничною діагоналлю (порівняння фактору самого з собою дорівнює одиниці). Тут (a_{ij}) означає відношення оцінок відповідних елементів; індекси i і j змінюються від одиниці до величини, що дорівнює кількості факторів. Оскільки при послідовному переборі усіх можливих пар фактори порівнюються між собою двічі (спочатку – фактор a_i з фактором a_j , потім – у зворотному порядку), при складанні матриці повинно виконуватися умова «оберненої симетричності»: $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$. Із цього випливає, що достатньо заповнювати лише

одну частину матриці – ту, що лежить вище або нижче діагоналі, це не має принципового значення внаслідок елементарного перерахунку взаємно обернених значень. Якщо розглядати n факторів, то всього можлива наявність $\frac{n^2 - n}{2}$ значень комбінацій.

В МАІ для кодування використовується номер судження рядка Табл. 1. Кожне з приведених суджень кодується числом від 1/9 до 9. Наприклад, якщо надано значну перевагу елемента A_i (наприклад, стійкість стеганографічної системи для прихованої передачі даних) над елементом A_j (наприклад, пропускна здатність стеганографічної системи для прихованої передачі даних), то вважають, що в матриці парних порівнянь $a_{ij} = 5$ і відповідно $a_{ji} = 1/5$, оскільки для кодування використовується п'яте судження.

Суть обробки матриці полягає у розкладанні:

$$A \approx Z \cdot U, \quad \text{де } U = \left(\frac{1}{z_1}, \dots, \frac{1}{z_n} \right). \quad (5)$$

Мета – визначення компонент вектору ваг $Z = (z_1, \dots, z_n)$, що дозволяє ранжувати фактори A_i .

Розрахунок ваг можна здійснити кількома способами. Одним з можливих підходів до апроксимації вектора ваг може слугувати розрахунок власного вектора матриці парних порівнянь, який дорівнює відповідному максимальному власному числу. Відповідні алгоритми знаходження власного вектору достатньо детально розроблені, і їх опис можна знайти зокрема в монографіях [32, 33].

Процедура МАІ має в своєму розпорядженні вбудований критерій якості роботи експерта – індекс узгодженості (ІУ), який дає інформацію про ступінь порушення чисельної (кардинальної) і транзитивної (порядкової) узгодженості експертних суджень [34]. Перевірка

на кардинальність полягає у контролі певних числових характеристик, відхилення від яких свідчатиме про наявність помилок при формалізації експертних суджень. Іншими словами, якщо прийняті деякі правила кодування експертних суджень, наприклад, від нуля до одиниці, то експертні судження не повинні виходити за рамки встановленої цим правилом множини значень, тобто бути від'ємними чи більше одиниці. Транзитивність дозволяє перевірити логіку мислення експерта. Якщо експерт вважає, що фактор А переважає фактор Б, а фактор Б, в свою чергу, переважає фактор В, то при парному порівнянні фактор В не повинен переважати фактор А, тобто повинна виконуватися нерівність $A > B > V$.

Відсутність узгодженості може бути серйозним обмежуючим фактором для дослідження деяких проблем. ІУ у кожній матриці можна оцінити за формулою:

$$IY = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (6)$$

де λ – власне число; n – число факторів, які порівнюються.

Якщо порівняти ІУ з деякою величиною, отриманою при випадковому виборі кількісних оцінок, то можна знайти критерій якості роботи експерта. Розробник методу рекомендував визначені значення для оцінки середньої узгодженості (СУ) випадкових матриць різного порядку. Але згодом, Донеганом та Доддом [35] були проведені додаткові дослідження, що підвищили точність отриманих оцінок (див. Табл. 2.)

Середні узгодженості (СУ) для випадкових матриць різного порядку Табл. 2

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0	0	0,49	0,80	1,06	1,18	1,25	1,32	1,37	1,41

Якщо розділити ІУ на СУ для матриці того ж порядку, то отримаємо відношення узгодженості (ВУ):

$$BY = \frac{IY}{CY} \cdot 100\% . \quad (7)$$

Якість експерта оцінюється за величиною ВУ. За рекомендацією Сааті величина ВУ повинна бути порядку 10% або менше, щоб бути задовільною. У деяких випадках можливо допустити 20%, але не більше. Якщо ВУ виходить за ці межі, то результати роботи таких експертів повинні бути виключені з розгляду.

4. Порівняння оцінок вагових коефіцієнтів, знайдених різними методами. Незалежно від кількості впливаючих факторів судження експертів будуть розходитися. Тому необхідне узагальнення оцінок індивідуальних експертів, результуюча величина яких і використовується безпосередньо в наукових і прикладних дослідженнях [36].

Залежність значень вагових коефіцієнтів від способу розрахунку та обробки експертних суджень покажемо на даних, отриманих у процесі аналізу вимог до стеганографічних методів приховування даних при передачі мережами зв'язку. У якості спеціального завдання експертам було запропоновано порівняти фактори впливу методом аналізу ієрархій, прямої розстановки ваг у вигляді процентів і ранжування факторів за їх значимістю. Опитування проводилося шляхом індивідуального анкетування експертів в області стеганографії, задля уникнення негативних проявів, властивих груповим обговоренням.

Результати роботи експертів у зведеному вигляді наведені у Табл. 3, де у стовпцях наведені значення вагових коефіцієнтів, розрахованих шляхом використання трьох методів: МАІ, ранжування (Р) і прямої розстановки (ПР).

Зв'язок між ваговими коефіцієнтами, знайденими різними методами, оцінювався за допомогою коефіцієнта кореляції. Розрахунок коефіцієнтів кореляції виконаний для кожного експерта окремо, тобто розраховувався за даними, наведеними у стовпцях Табл. 3. Всього можливо три комбінації: МАІ – ранжування, МАІ – пряма розстановка, ранжування – пряма розстановка.

Вагові коефіцієнти, розраховані трьома методами

Табл. 3

1	Фактори	Експерти														
		1			2			3			4			5		
		MAI	P	PP	MAI	P	PP	MAI	P	PP	MAI	P	PP	MAI	P	PP
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	Пропускна здатність	0,32	0,24	0,30	0,29	0,24	0,20	0,41	0,29	0,40	0,18	0,19	0,20	0,31	0,26	0,31
2	Стійкість	0,02	0,05	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,01	0,05	0,04	0,03	0,05	0,03
3	Невидимість	0,30	0,24	0,25	0,30	0,24	0,40	0,29	0,21	0,30	0,33	0,24	0,25	0,29	0,19	0,28
4	Захищеність	0,29	0,24	0,28	0,30	0,24	0,30	0,21	0,21	0,20	0,41	0,29	0,40	0,30	0,26	0,30
5	Складність вбудовування	0,04	0,10	0,10	0,04	0,12	0,04	0,04	0,14	0,04	0,04	0,12	0,01	0,04	0,14	0,05
6	Складність вилучення	0,04	0,14	0,05	0,04	0,12	0,04	0,03	0,10	0,04	0,04	0,12	0,10	0,04	0,10	0,04

Результати розрахунків зображені на Рис. 1. Оскільки графіки вагових коефіцієнтів частково пересікаються, то ступінь близькості методів визначався за середнім коефіцієнтом кореляції для кожного порівнюваного випадку.

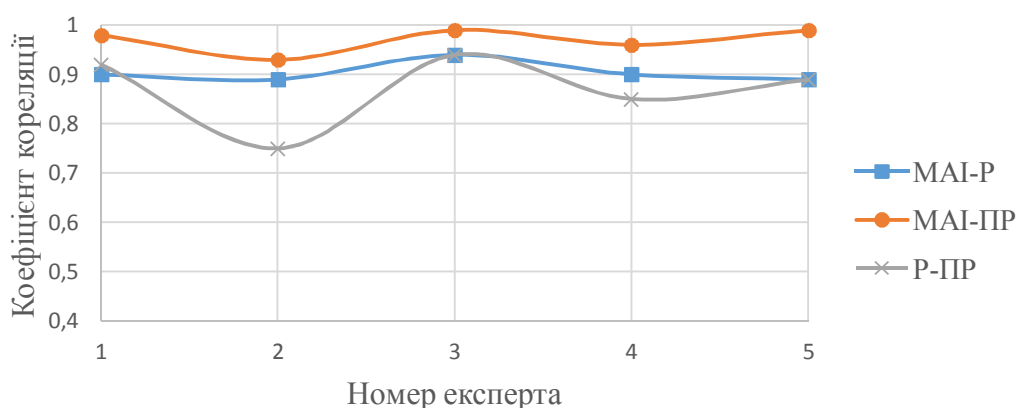


Рис. 1. Значення коефіцієнтів кореляції вагових коефіцієнтів за п'ятьма експертами

Найменше розходження виявилось у MAI та прямої розстановки: середній коефіцієнт кореляції дуже високий і дорівнює 0,97. Це насамперед пов'язане з високою кваліфікацією експертів, а також фактом того, що експерти порівнювали фактори на протязі одного опитування та мали можливість корегувати свої результати, порівнюючи переваги одних факторів над іншими і їхню відповідність присвоєним відсоткам. Якщо відбувалося протиріччя, наприклад порушувалося правило транзитивності, то була можливість змінити розставлені відсотки чи співставлення. Але необхідно відзначити, що при збільшенні кількості факторів, що оцінюються, можливість вдало корегувати пріоритетність стає важчою.

Середній коефіцієнт кореляції між рангами та MAI, рангами та прямою розстановкою дещо менший - 0,9 і 0,87 відповідно. Це пов'язано не лише з індивідуальними особливостями експертів, а також з деякими закономірностями. Одна з причин розходжень була закладена вже умовами ранжування, коли вимагалось, щоб фактори були розставлені у суворій послідовності у порядку спадання їх важливості, в той час як в MAI і при прямій розстановці можливість рівності факторів допускалася. Взагалі умова суворого ранжування не є обов'язковою, і часто погоджуються з пропозиціями Д. Хіммельблау [37] та інших авторів давати середній рейтинг двом або декільком факторам, якщо експерти вважають їхній вклад рівним. Тому не можна виключати можливість, що при умовах можливості надавати двом і більше факторам рівних рангів, корельованість результатів була б вищою.

Величина розходжень неоднакова у різних експертів і змінюється від 7% до 30%. Однак, як видно з Рис. 1, тенденція корельованості результатів практично у всіх експертів однакова. Слід відзначити, що квазіпаралельний характер графіків кореляційних кривих дає підставу вважати, що логіка мислення експертів достатньо стійка і отримані в ході цього експерименту результати цілком можливо використовувати для досліджень.

5. Обробка експертних суджень. Знайдені в результаті обробки індивідуальних експертних суджень вагові коефіцієнти (Табл. 3) необхідно усереднити. Задача полягає у знаходженні усереднених оцінок вагових коефіцієнтів для кожного фактору. Розв’язана вона може декількома способами.

Середнє арифметичне. Найпростішою оцінкою є середнє арифметичне по фактору:

$$\hat{k}_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k_i, \quad \text{де } k_i \text{ – вага фактору } i\text{-го експерта.} \quad (8)$$

Воно зручне тим, що після усереднення не порушується вимога рівності одиниці суми вагових коефіцієнтів. Усереднення проводиться для кожного фактору окремо. Таке усереднення допускається проводити у тих випадках, коли щільність розподілу k_i симетрична, наприклад, підлягає нормальному розподілу, або самі коефіцієнти практично однорідні і можуть бути апроксимовані рівномірним розподілом. Тоді оцінка \hat{k}_a буде незміщеною.

Середнє геометричне. Вагові коефіцієнти за своєю природою не є лінійними. Тому для їх усереднення допустимо використовувати нелінійні методи. Одним з найпростіших методів нелінійної оцінки є середнє геометричне:

$$\hat{k}_{geom} = \sqrt[m]{k_1 k_2 \dots k_m}. \quad (9)$$

Оскільки середнє геометричне завжди менше середнього арифметичного, сума усереднених вагових коефіцієнтів буде менше одиниці. Щоб цього не відбулося, необхідно кожний усереднений ваговий коефіцієнт $\hat{k}_{m,geom}$ нормувати на суму по всім факторам:

$$\hat{k}_{geom} = \frac{\hat{k}_{m,geom}}{\sum_{m=1}^n \hat{k}_{m,geom}}. \quad (10)$$

Середнє арифметичне і середнє геометричне мають один ліміт [37]. Отже, різниця між \hat{k}_a та \hat{k}_{geom} буде зменшуватися із збільшенням кількості експертів і асимптотично наближатися до нуля.

Середнє гармонійне. Ще однією нелінійною величиною є середнє гармонійне. Його можна знайти з рівняння:

$$\frac{1}{\hat{k}_{гарм}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{k_i}. \quad (11)$$

Як відомо, середнє гармонійне менше середнього арифметичного і середнього геометричного. Отже, і вагові коефіцієнти, знайдені таким чином, також необхідно нормувати на суму коефіцієнтів усіх факторів за аналогією з формулою (10).

Медіана. Усереднення вагових коефіцієнтів також можливо провести за допомогою медіани. Особливо ефективно її використовувати для коротких рядів. Як відомо, медіана представляє собою найбільш імовірні значення ряду:

$$\left. \begin{aligned} Me &= K_{\frac{n+1}{2}}, \text{ для } _ \text{непарних } _ n, \\ Me &= \frac{1}{2} \left(K_{\frac{n}{2}+1} - K_{\frac{n}{2}} \right), \text{ для } _ \text{парних } _ n, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де K_i – значення ваги фактору для i -го експерта.

При використанні медіани для усереднення в загальному випадку порушується виконувальність умови рівності одиниці суми вагових коефіцієнтів. Тому необхідно здійснити відповідні нормування, щоб застосування вагових коефіцієнтів не втратило свій сенс.

Для дослідження залежності усереднених вагових коефіцієнтів від методу усереднення були проведені розрахунки за формулами (8) – (12). Виявилось, що метод усереднення слабо впливає на результуючі значення вагових коефіцієнтів – всі вони достатньо близькі між собою, що відображено на Рис.2.

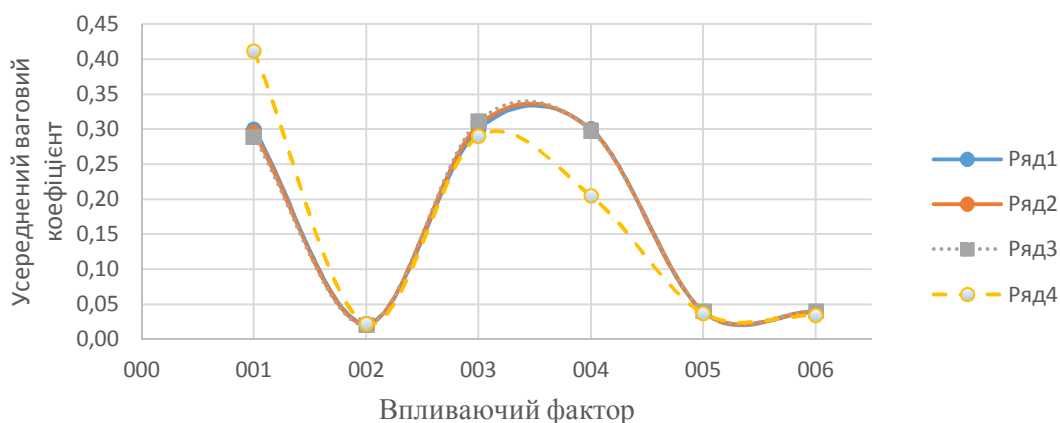


Рис. 2. Усереднені значення вагових коефіцієнтів впливаючих факторів (ряд 1 – середнє арифметичне; ряд 2 – середнє геометричне; ряд 3 – середнє гармонічне; ряд 4 – медіана)

6. Переваги і недоліки МАІ. Проаналізувавши основні підходи до формування КВ найбільш придатними для подальшого визначення впливовості критеріїв та проведення порівняльної характеристики стеганографічних методів був обраний метод аналізу ієрархій. У підсумку були визначені його переваги та недоліки саме для оцінки роботи методів вбудовування інформації у різних додатках.

Позитивні сторони. На перший погляд, здається, що МАІ являє собою ідеальний інструментарій для вирішення широкого кола багатофакторних задач, в яких експертні методи використовуються як ключові. Це багато в чому дійсно так, вкажемо на основні причини цього.

Попарність порівнянь. Порівняння предметів парами закладено в самій людській природі [6]. Відсутність необхідності постійно тримати у полі зору всі фактори або, принаймні, групу однорідних факторів, дозволяє експерту сконцентрувати увагу на конкретній проблемі: наскільки фактор A_i перевершує фактор B_j або поступається йому. Внаслідок цього слід очікувати більш точних результатів.

Доповнюваність вихідної матриці. У практиці досліджень систем нерідко виникають ситуації, коли число факторів впливу змінюється. Тоді доводиться додавати, зменшувати або замінювати одні фактори іншими. При використанні МАІ це призводить лише до необхідності порівняння новопосталих пар або ж до викреслювання рядків і стовпців матриці парних порівнянь, відповідних вилученим з розгляду факторам, тобто до утворення мінору матриці. Отримані результати попередніх опитувань зберігаються, і не потрібно повного оновлення анкети, як це відбувається в інших випадках. З урахуванням того, що процедура МАІ, по суті, зводиться до пошуку власного вектора відповідної матриці, що належить максимальному власному значенню, з “технічної” точки зору включення додаткових факторів є збільшення розмірності відповідного лінійного простору за рахунок додавання прямих доданків.

Наявність вербально-числової шкали. Звичайні числові шкали не завжди зручні для зіставлення факторів, які визначаються в різних розмірностях і поняттях. Особливо складно порівнювати чинники, характеристиками яких, з одного боку, є кількісні величини, а з іншого – якісні. Так, шкала Харрінгтона, що використовується найбільш часто, “приймає на вході” тільки відносні кількісні характеристики, розподілені в інтервалі від 0 до 1. Вербально-числові шкали, одним з варіантів яких є шкала Сааті, якраз і покликані оцінювати такі невідповідності показників факторів впливу.

Вбудований критерій якості роботи експерта. За результатами опитування експерти, як правило, підлягають перевірці. Для цього зазвичай застосовуються різні числові індекси, розроблені як для групових, так і для індивідуальних опитувань. При цьому питання про оптимальний критерій є відкритим, а його вибір довільний. У цьому сенсі наявність в МАІ

такої характеристики (параметру), як відношення узгодженості, дуже зручне, особливо при створенні автоматизованого програмно-апаратного комплексу.

Недоліки методу. Однак не всі переваги МАІ так очевидні. Виникає ряд питань при інтерпретації результатів, і пов'язані вони, насамперед, з критерієм якості роботи експерта – з відношенням узгодженості.

Використання транзитивності для якісних показників. Транзитивність добре працює, коли всі характеристики системи, що досліджується, можна представити числовими величинами. Але як тільки це стає неможливим, вимога наявності транзитивності часто вступає у протиріччя з логікою дослідника.

“Зворотна” логіка. Критерії якості роботи експерта в своїй більшості, і відношення узгодженості також, ґрунтуються на відхиленні від якоїсь статистичної характеристики, наприклад, математичного сподівання. Як і всі критерії, що мають в основі статистичний характер, відношення узгодженості є формальним і в деяких випадках призводить до результатів, що достатньо важко інтерпретуються.

Аналізуючи результати опитувань експертів, які потрапляли в межі заданого рівня якості (ВУ <10-20%), практично завжди виявляються випадки, коли деякі вагові коефіцієнти різко відрізняються від більшості, а то і носять прямо протилежний характер: фактори, яким більшість надавала найбільшу значимість, ці експерти оцінювали як менш значущі і – навпаки. При усередненні результатів всіх експертів, які відповідають заданому критерію, що зазвичай роблять для отримання узагальнених оцінок, це призводить до зміщення середніх значень вагових коефіцієнтів.

Ненадійність відношення узгодженості. Відношення узгодженості – формула (7) – засноване на порівнянні результатів даного експерта з якимось еталонним експертом – Табл. 2. Однак, що таке еталонний експерт в МАІ, не зовсім зрозуміло. Розглянемо ідеалізовану ситуацію, коли експерти розставляють оцінки, суворо дотримуючись транзитивності своїх переваг відносно нумерації факторів, тобто. $a_{ij} > a_{i+1, j+1}$ (або, навпаки, $a_{ij} < a_{i+1, j+1}$) – Табл. 4.

Матриця парних порівнянь для восьми факторів

Табл. 4

Ф а к т о р и	Фактори								
	n	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	8	8	8	8	8	8	8	8
2	1/8	1	7	7	7	7	7	7	7
3	1/8	1/7	1	6	6	6	6	6	6
4	1/8	1/7	1/6	1	5	5	5	5	5
5	1/8	1/7	1/6	1/5	1	4	4	4	4
6	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1	3	3	3
7	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1	2	2
8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1

Начебто, обробка такої матриці повинна дати дуже низьке значення відношення узгодженості, близьке до нуля. Однак воно дорівнює 23,3%! Для $n = 9$ при побудові такого ж типу матриці ВУ складе вже 27,8%, а зростання ВУ буде збільшуватися зі збільшенням числа факторів, що заставляє замислитися про якість даного критерію.

7. Висновки. В даній роботі були досліджені основні сучасні підходи до розрахунку коефіцієнтів важливості. Були проаналізовані переваги та недоліки методів багатокритеріальної оцінки для подальшого використання у дослідженнях методів вбудовування інформації. Після детального аналізу методу аналізу ієрархій встановлено, що він є достатньо якісною процедурою для знаходження вагових коефіцієнтів факторів впливу при аналізі стегаграфічних систем. Стверджується, що він дасть змогу об'єктивним шляхом визначити важливість (вагу) кожної з якісних характеристик методів приховування інформації. Однак критерій відбору експертів, що входить до його складу, щонайменше,

потребує підключення додаткових процедур із відповідними алгоритмами, що потребують спеціального вивчення.

Анкетування експертів за принципом ранжування факторів, прямої розстановки та методу аналізу ієрархій протягом одного опитування показало, що розраховані за підсумками опитування вагові коефіцієнти факторів впливу високо корельовані між собою, що свідчить про адекватність оціночних результатів та можливість їх подальшого використання у дослідженнях.

Усереднення вагових коефіцієнтів шляхом розрахунку середнього арифметичного, середнього геометричного, середнього гармонічного та медіанних оцінок, при умові нормування трьох останніх характеристик, показало, що отримані таким чином значення близькі між собою. Відтак, процедура усереднення не грає суттєвої ролі для визначення вагових коефіцієнтів, принаймні, для отриманих у поточній роботі даних експертних суджень.

Література

1. Вовк О. О. Розроблення методики оцінювання важливості характеристик стеганографічних алгоритмів / О. О. Вовк, А. А. Астраханцев // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі», Львів. – 2014. – № 805. – С. 52-60.
2. Горніцька Д. А. Визначення коефіцієнтів важливості для експертного оцінювання у галузі інформаційної безпеки / Д. А. Горніцька, О. Г. Корченко, В. В. Волянська // Захист інформації. – 2012. – №1. – С.108-121.
3. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа – Москва : Радио и связь, 1981. – 560 с.
4. Тоценко В. Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект / В. Г. Тоценко. – Київ: Наукова думка, 2002. – 381 с.
5. Гафт М. Г. Принятие решений при многих критериях / М. Г. Гафт. – Москва : Знание, 1979. – 64 с.
6. Тухвалов М. Б. Весовые методы в математическом программировании / М. Б. Тухвалов. – Ташкент : ФАИ, 1981. – 158 с.
7. Zeleny M. Compromise programming in M.K. Starr and M. Zeleny, Eds., Multiple Decision Making / Zeleny M. – Columbia: University of South Carolina Press, 1973. – 816 с.
8. Анохин А. М. Методы определения коэффициентов важности критериев / А. М. Анохин, В. А. Глотов, В. В. Павельев [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 8. – С. 3-35.
9. Литвак Б. Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. – Москва : Радио и связь, 1982. – 185 с.
10. Урицкая О. Ю. Теория принятия решений: учеб.пособие / О. Ю. Урицкая. – Санкт-Петербург : СПбГТУ, 1999. – 93 с.
11. Мандель И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – Москва : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
12. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты / В. В. Домарев. – Київ : ООО "ТИД "ДС", 2002. – 688 с.
13. Wei T. H. The algebraic foundations of ranking theory: thesis (Ph.D.) / T. H. Wei. – Cambridge, 1952.
14. Saaty T. L. Eigenvector and logarithmic least squares / T. L. Saaty // Eur. J. Oper. Res. 1990. – Vol. № 1. – P. 156-160.
15. Cogger K. O. Eigenweight vectors and least-distance approximation for revealed preference in pairwise weight ratios / K. O. Cogger, P. L. Yu // J. Optimiz. Theory and Appl. – 1985. – vol.46. – №4. – P. 483-491.
16. Юшманов С. В. Метод нахождения весов, не требующий полной матрицы попарных сравнений / С. В. Юшманов // Автоматика и телемеханика. – Москва : Наука, 1990. – №2. – С. 186-189.

17. Берж К. Теория графов и ее применения / К. Берж. – Москва : Изд-во иностр. Лит., 1962. – 320 с.
18. Churchmen C. W., Ackoff R. An approximate Measure of Value / C. W. Churchmen, R. Ackoff // Operations Research. – 1954. – №2. – P. 171-181.
19. Nelson W. L. On the use of optimization Theory for Practical Control System Design / W. L. Nelson // IEEE, Trans. on Automatic Control. – 1964. – V. AC-9. – № 4. – P. 469-477.
20. Подиновский В. В. Лексикографические задачи линейного программирования / В. В. Подиновский // журн. вычисл. матем. и мат. физики. – 1972. – Т.12, №6. – С. 568-571.
21. Орлов А. И. Теория принятия решений: учебник / А. И. Орлов. – Москва : Экзамен, 2006. – 573 с.
22. Юттлер Х. Линейная модель с несколькими целевыми функциями / Х. Юттлер // Экономика и мат. методы. – 1977. – Т.3, №3. – С. 356-361.
23. Сербин И. В. Оценка значимости факторов в маркетинговых исследованиях банков / И. В. Сербин // Сб. науч. труд. – Пятигорск: СевКавГТУ. – 2005. – № 2. – С. 54-60.
24. Гермеер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций / Ю. Б. Гермеер. – Москва : Наука, 1971. – 324 с.
25. Charsnes A. Management models and industrial applications of line programming / A. Charsnes, W.W. Cooper. – N.Y.: Wiley, 1961. – P. 35-41.
26. Szidarovszky F. I. Use of cooperative games in a multiobjective analysis of maning and environment / F. I. Szidarovszky, Bogardi, L. Duckstein // Proc. and International Conference on Applied numerical Modeling. Madrid. Spain. – 1978. – № 9. – P. 11-15.
27. Thurstone L. L. The measurement of valnes / L. L. Thurstone. – Chicago: The University of Chicago Press, 1959. – 322 p.
28. Глотов В. А. Метод определения коэффициентов относительной важности / В. А. Глотов // Приборы и системы управления. – 1976. – №8. – С. 17-22.
29. Rosner B. S. A new scaling technique for absolute judgement / B. S. Rosner // Psychometrica. – 1956. – V. 21, №4. – P. 377-381.
30. Тутьгин А. Г. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий / А. Г. Тутьгин, В. Б. Коробов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – Санкт-Петербург, 2010 – Вып. 122 – С. 108-115.
31. Саати Т. Аналитическое планирование / Т. Саати, К. Кернс. – Москва : Радио и связь, 1991. – 224 с.
32. Базара М. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. – М.: Мир, 1982. – 583 с.
33. Голуб Дж. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун. – Москва : Мир, 1999. – 548 с.
34. Тихомирова А. Н. Стратегия принятия решений в условиях неопределенности / А. Н. Тихомирова., Е. В. Сидоренко // VI Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальные технологии в образовании, экономике и управлении – 2009», г. Воронеж. – 2009. – С. 363-366.
35. Donegan H.A. A note on Saaty's random indexes / H.A. Donegan, F.J. Dodd // Mathl. Comput. Modelling, 1991. – Vol. 15. – No 10. – P. 135-137.
36. Коробов В. Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов. «влияющих факторов» / В.Б. Коробов // Социология. – 2005. – № 20. – С. 54-72.
37. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – Москва : Мир, 1973. – 468 с.

Автор статті

Вовк Олеся Олегівна, аспірантка кафедри мереж зв'язку, Харківський національний університет радіоелектроніки. Тел.: +380 (93) 547 64 91. E-mail: olesia.vovk@gmail.com.

Дата надходження в редакцію: 10.08.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф., В. М. Безрук