

МОДЕЛІ І МЕТРИКИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ВІЗУАЛЬНИХ ТЕРНАРНИХ ПОРІВНЯНЬ

¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано новий інструмент для виявлення переважань в умовах цільової та критеріальної невизначеності — ліфти переважань у вигляді трьох слайдерів з регульованою дискретністю. Рухаючи ці слайдери на площині екрану ноутбука, планшета, або мобільного телефону, дециденти застосовують швидке інтуїтивне мислення і візуалізують свої переважань щодо трійок альтернатив. Розглянуто і досліджено візуальні, числові, математичні і символічні моделі візуальних тернарних порівнянь. Запропоновано нові метрики для числової інтерпретації візуальних тернарних порівнянь з метою точнішого і надійнішого обчислення підсумкових кардинальних ранжувань: адитивна метрика різниці висоти слайдерів і мультиплікативна Z-метрика. Спільне застосування обох цих метрик показало збіг ординальних ранжувань і близькість відповідних значень підсумкових нормованих і центрованих кардинальних ранжувань. Запропоновано нові метрики для логічної інтерпретації візуальних тернарних порівнянь з метою виявлення характерних особливостей децидентів (пасивності, екстремальності оцінок, суперечливості суджень та некомпетентності). Розглянуто та проаналізовано всі випадки породження бінарних трирівневих порівнянь та визначено поняття відстані між ними, яку можна вважати мірою нетранзитивності переважань, тобто суперечливості суджень децидентів. Запропоновано нову адаптивну метрику для розрізнення відношень переваги та сильної переваги, яка враховує індивідуальні особливості виконання децидентами візуальних тернарних порівнянь. Розглянуто приклад практичної реалізації запропонованих моделей і метрик. Заплановано подальше дослідження інструментарію виявлення переважань на основі візуальних тернарних порівнянь та удосконалення розроблених авторами інформаційних технологій для ефективною, надійною і наочною організацією колективних онлайн-експертиз.

Ключові слова: візуальні тернарні порівняння, ранжування альтернатив, ліфти переважань, висота слайдерів, тернарні трирівневі ранжування, адитивна метрика, мультиплікативна метрика, відношення сильної переваги, міра нетранзитивності.

Вступ

Найскладнішими задачами прийняття рішень є неструктуровані задачі з невизначеністю щодо цілей і критеріїв. Переважна більшість наявних підходів до розв'язання задач ранжування альтернатив в умовах цільової і критеріальної невизначеності оснований на попарних порівняннях з використанням двох відношень (перевага і еквівалентність) [1].

Досвід використання інформаційних технологій прийняття рішень на основі тернарних трирівневих ранжувань (ТТР) в навчальному процесі ВНТУ та для розв'язання практичних задач (релокація агропідприємства, перегляд зарплатні) показав суттєві переваги тернарних порівнянь альтернатив і використання трьох відношень (третім додається відношення сильної переваги) [2]—[4].

Водночас, деякі дециденти висловлювали побажання збільшити точність вимірювання своїх переважань. Це спонукало авторів розвинути концепцію «полиць» переважань [5], [6] і запропонувати нову концепцію «ліфтів переважань» [7], [8].

Метою роботи є розробка і опис моделей візуальних тернарних порівнянь (ВТП) на ліфтах переважань, а також вибір і дослідження нових метрик для надійнішої числової та логічної інтерпретації ВТП, підвищення точності виявлення переважань і аналізу характерних особливостей децидентів (пасивність, екстремальність оцінок, суперечливість суджень, некомпетентність).

Планується розробка відповідного веб-застосунку для організації колективних онлайн-експертиз.

Результати дослідження

ВТП застосовуються в різних інформаційних технологіях як ефективний, надійний і зручний інструмент для отримання ординальних і кардинальних підсумкових ранжувань об'єктів різноманітної природи.

Візуальні тернарні порівняння — це одночасне пред'явлення дециденту (особі, що ухвалює рішення або експерту) трійки альтернатив для вираження його індивідуальних переважань щодо цих альтернатив. Візуалізація альтернатив залучає швидку інтуїтивну систему мислення децидента [9] і спонукає його зробити нескладні дії, які візуалізують переважання на площині екрану комп'ютера, мобільного телефону або планшета.

Ліфти переважань

Ліфти переважань використовуються для візуалізації альтернатив і переважань децидента.

Візуалізація переважань здійснюється трьома кліками або торканнями до екрану мобільних пристроїв за допомогою ліфтів переважань. Ліфти переважань виконані у вигляді трьох широких слайдерів і розташовані над відповідними альтернативами (рис. 1).

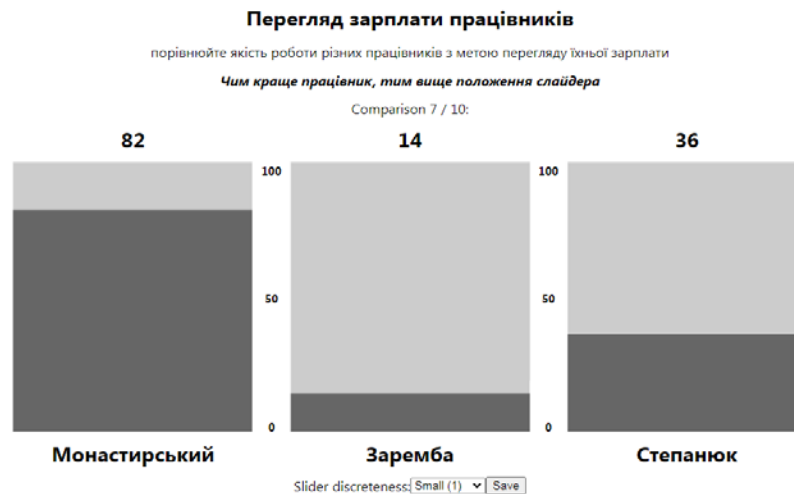


Рис. 1. Ліфти переважань (слайдери) для візуалізації альтернатив і переважань децидента

В процесі багаторічного використання в навчальному процесі ВНТУ розроблених авторами інформаційних технологій прийняття рішень на основі ВТП випробувано різну кількість градацій (3, 5, 9, 10, 20, 50, 100, 500) для кількісного визначення переважань. Опитування студентів показало, що зручність (без втрати адекватності) визначення їхніх переважань досягається в межах 10—100 градацій. Важливо зазначити, що деякі студенти хотіли застосовувати невелику кількість градацій (10—20), а інші — навпаки, хотіли більшу кількість градацій, тому що відчували можливість точніше виразити свої переважання з допомогою ВТП.

Враховуючи результати цих опитувань, автори дійшли висновку, що потрібно збільшити кількість полиць переважань (щаблів на «драбині переважань») [6] і запропонували ідею ліфтів переважань з різною «поверховістю», тобто числом градацій шкали для кількісного визначення переважань [7]. Децидент може налаштовувати ліфти переважань згідно з власними вподобаннями (кількість «поверхів», тобто ненульових значень шкали — 10, 20, 100). Початкове положення ліфтів переважань — на нульових «поверхах».

Варто зазначити, що з кількістю градацій 10 ліфти переважань стають подібними до полиць переважань, а з кількістю градацій 100 дециденти сприймають шкалу переважань неперервною.

З допомогою слайдерів дециденти можуть задавати і візуально контролювати співвідношення між їхніми висотами, тим самим вимірюючи власні переважання щодо заданих альтернатив. Зазвичай для цього їм вистачає декілька секунд.

Числові моделі ВТП

Числові моделі ВТП необхідні для метризації переважань децидента і подальшої комп'ютерної обробки з метою отримання підсумкових кардинальних ранжувань всієї множини альтернатив та аналізу ВТП на суперечливість.

Здійснюючи натискання на слайдери і змінюючи їхню висоту, децидент візуалізує для себе переважання для трійки альтернатив, тим самим визначаються три числових значення висоти слайдерів:

$$0 \leq S(i)_{jk} \leq 100; \quad 0 \leq S(j)_{ik} \leq 100; \quad 0 \leq S(k)_{ij} \leq 100, \quad (1)$$

де $S(i)_{jk}$ — значення висоти слайдера для альтернативи a_i в присутності в цьому ВТП альтернатив a_j, a_k .

Ці три числові значення однозначно і повно характеризують кожне ВТП із заданою децидентом точністю (дискретністю шкали $[0 \dots 100]$). Вважається інтуїтивно зрозумілим і очевидним, що

$$\text{якщо } S(i)_{jk} > S(j)_{ik}, \text{ то } a_i > a_j;$$

$$\text{якщо } S(i)_{jk} = S(j)_{ik}, \text{ то } a_i \sim a_j.$$

Дискретність пов'язана з кількістю градацій (ненульових «поверхів») співвідношенням

$$\Delta S_{\min} = 100/g,$$

де ΔS_{\min} — дискретність (точність) шкали; g — кількість градацій шкали.

Математичні моделі та метрики для числової інтерпретації ВТП

Після проведення всіх ВТП потрібно здійснити їхню числову інтерпретацію для забезпечення отримання адекватних підсумкових кардинальних ранжувань множини заданих альтернатив. Розглянемо різні підходи до визначення метрик для числової інтерпретації ВТП.

Варто зазначити, що загальна кількість ВТП у випадку ранжування n альтернатив

$$V(n) = C_n^3 = \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3}.$$

Загальна кількість отриманих від децидента числових значень висоти слайдерів (1) втричі більша

$$\text{num}_S = 3 \cdot V(n) = \frac{n(n-1)(n-2)}{2}.$$

Для кожної альтернативи a_i в результаті проведення всіх ВТП отримаємо

$$\text{num}_S(i) = \frac{\text{num}_S}{n} = \frac{(n-1)(n-2)}{2}, \quad i = \overline{1, n}$$

числових значень висоти слайдерів.

Опитування багатьох користувачів інформаційних технологій на основі ВТП засвідчило, що більшість з них асоціює силу власних переважань не з окремими значеннями висоти слайдерів, а зі співвідношенням висот всіх трьох слайдерів. З урахуванням цього авторами запропоновано різницеву метрику.

Спочатку обчислюються попарні різниці між значеннями висоти слайдерів для всіх трьох альтернатив a_i, a_j, a_k в цьому ВТП:

$$d(i, j)_k = S(i)_{jk} - S(j)_{ik}; \quad d(j, i)_k = S(j)_{ik} - S(i)_{jk};$$

$$d(i, k)_j = S(i)_{jk} - S(k)_{ij}; \quad d(k, i)_j = S(k)_{ij} - S(i)_{jk};$$

$$d(j, k)_i = S(j)_{ik} - S(k)_{ij}; \quad d(k, j)_i = S(k)_{ij} - S(j)_{ik};$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, n}; \quad j \neq i; \quad k \neq i; \quad j \neq k,$$

де $d(i, j)_k$ — різниця між висотами слайдерів для альтернатив a_i, a_j в контексті альтернативи a_k .

Як **адитивна різницева метрика**, що кількісно характеризує кожну альтернативу a_i , береться алгебраїчна сума всіх різниць для цієї альтернативи

$$DIF(i) = \sum_{\text{num}_S(i)} d(i, j)_k, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, n}; \quad j \neq i; \quad k \neq i; \quad j \neq k. \quad (2)$$

Можна помітити, що завжди $d(i, j)_k = -d(j, i)_k$.

Це приводить до властивості антисиметричності різниць на відміну від традиційного застосування симетричних матриць відстаней [1].

Іншим способом враховувати співвідношення трійки альтернатив у ВТП (окрім попарних різниць) є обчислення попарних відношень

$$\begin{aligned} r(i, j)_k &= S(i)_{jk} / S(j)_{ik}, \quad S(i)_{jk} \neq 0; \quad r(j, i)_k = S(j)_{ik} / S(i)_{jk}, \quad S(i)_{jk} \neq 0; \\ r(i, k)_j &= S(i)_{jk} / S(k)_{ij}, \quad S(k)_{ij} \neq 0; \quad r(k, i)_j = S(k)_{ij} / S(i)_{jk}, \quad S(i)_{jk} \neq 0; \\ r(j, k)_i &= S(j)_{ik} / S(k)_{ij}, \quad S(k)_{ij} \neq 0; \quad r(k, j)_i = S(k)_{ij} / S(j)_{ik}, \quad S(j)_{ik} \neq 0; \\ i &= \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, n}; \quad j \neq i; \quad k \neq i; \quad j \neq k, \end{aligned}$$

де $r(i, j)_k$ — відношення (частка від ділення) значення висоти слайдера для альтернативи a_i і значення висоти слайдера для альтернативи a_j в контексті альтернативи a_k .

Легко помітити властивість оберненої симетричності для відношень, тому що завжди

$$r(i, j)_k = \frac{1}{r(j, i)_k}.$$

Метрика відношень, що кількісно характеризує кожну альтернативу a_i , має вигляд

$$R(i) = \prod_{num_S(i)} r(i, j)_k; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, n}; \quad j \neq i; \quad k \neq i; \quad j \neq k. \quad (3)$$

Очевидним недоліком цієї R -метрики є неможливість її використання у випадку нульових значень висоти слайдерів. Ще одним недоліком є занадто велика чутливість R -метрики до комбінації дуже малих і дуже великих значень $S(i)$, тобто в діапазонах значень

$$95 \leq S(i) \leq 100; \quad 0 < S(i) \leq 5$$

значення відношення $r(i, j)_k$ буде знаходитися в межах від 19 до 100. Ці значення $r(i, j)_k$ на порядок перевищують звичайні співвідношення між значеннями висоти слайдерів.

Проведений аналіз реальних ВТП за використання різними децидентами розроблених інформаційних технологій показує, що в переважній більшості ВТП виконується умова

$$\text{якщо } S(i) \geq S(j), \text{ то } 1 \leq r(i, j)_k \leq 5.$$

Для запобігання негативному ефекту дуже великих і дуже малих значень $S(i)$ за використання R -метрики (3) авторами запропоновано нову Z -метрику, яка передбачає розбиття всієї шкали значень висоти слайдерів (діапазону від 0 до 100) на 10 інтервалів:

$$[0, 100] = [0, 9] \cup [10, 19] \cup [20, 29] \cup \dots \cup [80, 89] \cup [90, 100].$$

Z -метрика використовує номери інтервалів різниць висоти слайдерів, збільшені на 1, і відповідні обернені величини:

$$\text{якщо } d(i, j)_k \geq 0, \text{ то } z(i, j)_k = INT(d(i, j)_k / 10) + 1; \quad z(j, i)_k = 1 / z(i, j)_k;$$

$$\text{якщо } d(i, j)_k < 0, \text{ то } z(j, i)_k = INT(d(j, i)_k / 10) + 1; \quad z(i, j)_k = 1 / z(j, i)_k,$$

де $INT(x)$ — ціла частина числа x .

Шкала для Z -метрики (бальна структура) має такий вигляд (всього 19 різних числових значень):

$$\{1/10, 1/9, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 9, 10\}$$

і нагадує відому шкалу Сааті.

Мультиплікативна Z -метрика, що кількісно характеризує кожну альтернативу a_i , має вигляд

$$Z(a_i) = n^2 \sqrt{\prod_{num_S(i)} z(i, j)_k}; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, n}; \quad j \neq i; \quad k \neq i; \quad j \neq k. \quad (4)$$

Отримані значення доцільно нормувати

$$Z^{НОРМ}(a_i) = \frac{Z(a_i)}{\sum_{i=1}^n Z(a_i)}$$

Символьні моделі та метрики для логічної інтерпретації ВТП

Згідно з концепцією тернарних тривірневих ранжувань [2] кожне ВТП породжує трійку бінарних тривірневих порівнянь (БТП), кожне з яких можна однозначно описати одним з трьох відношень (рівнів переваги). Запишемо ці три відношення між альтернативами в символічній формі:

- еквівалентність ($a \sim b$);
- перевага ($a > b$);
- сильна перевага ($a >> b$).

Вимога транзитивності переважань в концепції ТТР є послабленою, оскільки нетранзитивність не завжди означає нераціональність децидента [9], і не існує чіткої границі між сусідніми відношеннями. Тому будемо вважати припустимою (несуперечливою) наявність сусідніх відношень $a \sim b$, $a > b$ та $a > b$, $a >> b$ в різних контекстах (для різних ВТП).

Всі інші незбіги відношень в парах альтернатив мають бути зафіксовані та проаналізовані.

Введемо поняття та визначимо відстані DIST між будь-якими БТП, тобто тривірневими відношеннями двох альтернатив $a \circ b$, $\circ \in \{\sim, >, >>\}$.

Таблиця 1

Відстані між бінарними тривірневими порівняннями

DIST	$a >> b$	$a > b$	$a \sim b$	$b > a$	$b >> a$
$a >> b$	0	1	2	3	4
$a > b$	1	0	1	2	3
$a \sim b$	2	1	0	1	2
$b > a$	3	2	1	0	1
$b >> a$	4	3	2	1	0

Значення відстаней $DIST \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$. Якщо відношення однакові, то $DIST = 0$.

Якщо відношення є сусідніми, то $DIST = 1$ (допустима «незначна» нетранзитивність переважань).

Якщо відношення є несусідніми, то $DIST > 1$.

Якщо $DIST = 2$, то переважання децидента є суперечливими (світло-сірий колір клітинок в табл. 1).

Якщо $DIST > 2$, то переважання децидента є дуже суперечливими і свідчать про його некомпетентність в ранжуванні заданих альтернатив (темно-сірий колір клітинок в табл. 1).

Запишемо всі можливі варіанти тривірневих відношень для пари альтернатив a, b у вигляді ланцюжка

$$a >> b \parallel a > b \mid \underline{a \sim b} \mid b > a \parallel b >> a.$$

Видно, що для відношення $a \sim b$ існує два несусідніх симетричних відношення (відділені подвійною вертикальною рисою): $a >> b$ ($DIST = 2$) та $b >> a$ ($DIST = 2$), які вказують на суперечливість переважань децидента. Дійсно, якщо децидент вважає дві альтернативи рівноцінними і водночас вважає, що одна з них набагато переважає іншу, це вказує на суперечливість його суджень.

Розглянемо несусідні відношення для відношення $a > b$

$$a >> b \mid \underline{a > b} \mid a \sim b \parallel b > a \mid b >> a.$$

Очевидно, що такими несусідніми (а тому і суперечливими) відношеннями є відношення $b > a$ ($DIST = 2$) та $b >> a$ ($DIST = 3$). Якщо децидент вважає, що альтернатива a переважає альтернативу b , і водночас вважає, що альтернатива b переважає альтернативу a , це є також суперечливим.

Аналогічно розглянемо несусідні відношення для відношення $a >> b$:

$$\underline{a >> b} \mid a > b \parallel a \sim b \mid b > a \mid b >> a.$$

Очевидно, що є три таких несусідніх відношення: $a \sim b$ ($DIST = 2$), $b > a$ ($DIST = 3$), $b >> a$ ($DIST = 4$).

Випадок, коли $DIST = 3$ вказує на значну суперечливість суджень децидента. Останній випадок, коли $DIST = 4$ вказує на крайню суперечливість суджень децидента (він вважає, що альтернатива a набагато краще, ніж альтернатива b , і водночас вважає, що, навпаки, альтернатива b набагато краще, ніж альтернатива a !). Тому можна стверджувати, що обидва випадки ($DIST = 3$ та $DIST = 4$)

свідчать про некомпетентність децидента.

Таким чином, аналіз значень DIST у всіх породжених БТП для кожної фіксованої пари альтернатив дає змогу виявляти суперечливість суджень та некомпетентність децидентів, а відстань між БТП можна розглядати як міру нетранзитивності переважань (суперечливості суджень децидента).

Адаптивна метрика для розрізнення відношень переваги і сильної переваги

В [6], [7] запропоновано метрики і правила розрізнення відношень $a \sim b$; $a > b$ та відношень $a > b$; $a >> b$.

Практика застосування розроблених авторами інформаційних технологій показала, що різні дециденти мають різні «почерки» (індивідуальні особливості групування оцінок за висотою слайдерів) у разі ранжування альтернатив за допомогою ВТП. Тому перед авторами виникла задача знайти нову адаптивну метрику, яка б враховувала різні «почерки» децидентів.

Такою адаптивною метрикою для розрізнення відношень $a > b$ і $a >> b$ виявилася середина діапазону зміни значень різниць висоти слайдерів в усіх ВТП в певному ранжуванні для конкретного децидента. Запишемо правило розрізнення відношень з допомогою псевдокоду:

```

if D(i, j, k) == 0 then КТАВ(i, j, k) = КТАВ(j, i, k) = 0
else if D(i, j, k) > 0 && DMAX > 50 && D(i, j, k) > (DMAX + DMIN) / 2
then КТАВ(i, j, k) = 2; КТАВ(j, i, k) = -2
else КТАВ(i, j, k) = 1; КТАВ(j, i, k) = -1

```

КТАВ — це тривимірний масив (K-таблиця), значеннями елементів якого можуть бути числа $K \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$, що визначають вид відношення між альтернативами в породжених БТП.

Приклад практичного застосування

Авторами розроблено робочу версію комп'ютерної програми «VisTerComp» у вигляді Web-application. Ця програма реалізує описані в статті моделі і метрики для числової та логічної інтерпретації ВТП. Результати ранжування 5-ти альтернатив (прізвища працівників ІТ-команди) показані на рис. 2, 3. Як децидент виступав проджект-менеджер комп'ютерної фірми.

На рис. 2 подано числові моделі та результати відповідних обчислень для адитивної метрики різниць висоти слайдерів $DIF(2)$ та мультиплікативної Z -метрики (4).

Difference	Кузьменко	Монастирський	Заремба	Степанюк	Довгань	SUM	AVG	NORM_EXP
Кузьменко	0, 0, 0, 0, 0	0, 0, -40, -55, -49	0, 20, 0, 27, 26	0, -10, 21, 0, 8	0, 14, 33, 29, 0	24	2	1.0332
Монастирський	0, 0, 40, 55, 49	0, 0, 0, 0, 0	60, 0, 0, 66, 32	45, 0, 50, 0, 55	63, 0, 42, 60, 0	617	51.4167	2.3148
Заремба	0, -20, 0, -27, -26	-60, 0, 0, -66, -32	0, 0, 0, 0, 0	-6, -16, 0, 0, -51	7, 10, 0, -2, 0	-289	-24.0833	0.6749
Степанюк	0, 10, -21, 0, -8	-45, 0, -50, 0, -55	6, 16, 0, 0, 51	0, 0, 0, 0, 0	21, 5, 49, 0, 0	-21	-1.75	0.9718
Довгань	0, -14, -33, -29, 0	-63, 0, -42, -60, 0	-7, -10, 0, 2, 0	-21, -5, -49, 0, 0	0, 0, 0, 0, 0	-331	-27.5833	0.6375
Z-metric	Кузьменко	Монастирський	Заремба	Степанюк	Довгань	Z-MULT	Z-NORM	Z-LOG
Кузьменко	1, 1, 1, 1, 1	1, 1, 1/5, 1/6, 1/5	1, 3, 1, 3, 3	1, 1/2, 3, 1, 1	1, 2, 4, 3, 1	1.0776	0.1906	0.0747
Монастирський	1, 1, 5, 6, 5	1, 1, 1, 1, 1	7, 1, 1, 7, 4	5, 1, 6, 1, 6	7, 1, 5, 7, 1	2.3148	0.4094	0.8393
Заремба	1, 1/3, 1, 1/3, 1/3	1/7, 1, 1, 1/7, 1/4	1, 1, 1, 1, 1	1, 1/2, 1, 1, 1/6	1, 2, 1, 1, 1	0.6606	0.1168	-0.4146
Степанюк	1, 2, 1/3, 1, 1	1/5, 1, 1/6, 1, 1/6	1, 2, 1, 1, 6	1, 1, 1, 1, 1	3, 1, 5, 1, 1	0.9839	0.174	-0.0162
Довгань	1, 1/2, 1/4, 1/3, 1	1/7, 1, 1/5, 1/7, 1	1, 1/2, 1, 1, 1	1/3, 1, 1/5, 1, 1	1, 1, 1, 1, 1	0.6168	0.1091	-0.4832

Рис. 2. Числові моделі та метрики для аналізу ВТП

На рис. 3 показані підсумкові нормовані ранжування альтернатив у вигляді кругових діаграм і центровані ранжування у вигляді лінійних діаграм. Для можливості наочного зіставлення результатів здійснено перетворення метрики DIF в нормовану форму, а Z -метрики — в центровану форму за відомими формулами [1].

Можна побачити, що підсумкові ординальні ранжування збігаються для всіх метрик, а кардинальні виявилися досить близькими (різниця значень менше 1%). Це дає підстави стверджувати, що запропоновані авторами моделі і метрики дозволяють надійно і точно вимірювати переважання децидентів за допомогою застосування інформаційних технологій на основі візуальних тернарних порівнянь.

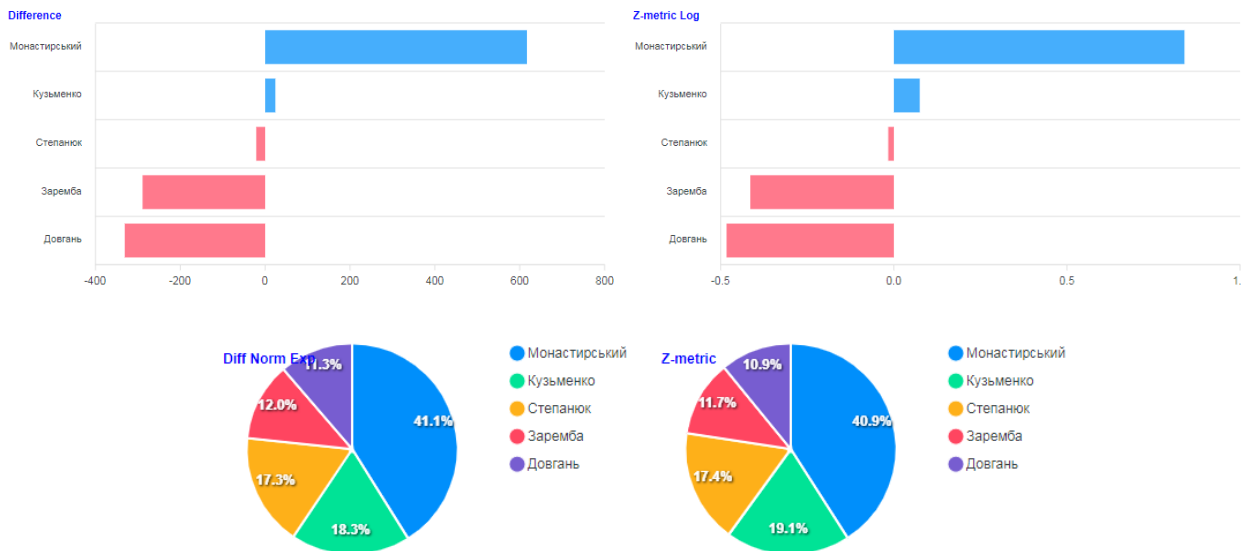


Рис. 3. Результати ранжування у вигляді кругових та лінійних діаграм

Висновки

Запропоновано нову концепцію ліфтів переважань (трьох слайдерів з регульованою дискретністю) для візуалізації ВТП. Описано візуальні, числові, математичні та символічні моделі ВТП.

Запропоновано нові метрики для числової інтерпретації ВТП, які дозволили підвищити надійність і точність виявлення переважань децидентів.

Запропоновано нові метрики для логічної інтерпретації ВТП, які дозволили виявляти пасивність, екстремальність оцінок, суперечливість суджень та некомпетентність децидентів. Визначено нове поняття відстані між відношеннями, яку можна розглядати як міру нетранзитивності переважань.

Запропоновано нову адаптивну метрику для розрізнення відношень переваги та сильної переваги, яка враховує індивідуальні особливості виконання децидентами ВТП.

Планується подальше дослідження і розвиток інформаційних технологій на основі візуальних тернарних порівнянь для ранжування альтернатив в умовах цільової і критеріальної невизначеності та для інших неструктурованих і слабо структурованих задач прийняття рішень. Заплановано подальше удосконалення розроблених авторами інформаційних технологій для ефективної, надійної і наочної організації колективних онлайн-експертиз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Г. М. Гнатієнко, і В. Є. Снитюк, *Експертні технології прийняття рішень*, моногр. Київ, Україна: ТОВ «Маклаут», 2008.
- [2] В. В. Колодний, «Тривірневі ранжування та їх застосування для виявлення переважань», на *VII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2003)»*. Вінниця, Україна: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2003, с. 238.
- [3] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Метод некртеріального структурування множини альтернатив за допомогою аналізу тернарних тривірневих ранжувань», у *Internet-Education-Science (IES-2014), Proceedings of the ninth international scientific-practical conference*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2014, с. 13-14.
- [4] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Застосування гештальт-ранжувань для виявлення переваг ОПР», у *Internet-Education-Science» (IES-2016), Proceedings of the tenth international scientific-practical conference*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, с. 43-44.
- [5] В. В. Зубко, «Інформаційна технологія для візуалізації та виявлення переважань», у *Internet-Education-Science» (IES-2016), Proceedings of the tenth international scientific-practical conference*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, с. 58-59.
- [6] V. V. Kolodny, and V. V. Zubko, "Method and information technology for ranking alternatives based on visual ternary comparisons," *Information Technologies and Computer Engineering*, no. 59 (1), pp. 23-31, May. 2024. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-23-31>.
- [7] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Інформаційна технологія числової і логічної інтерпретації візуальних тернарних порівнянь», *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/22224/18417>.
- [8] В. В. Колодний, і В. В. Зубко, «Клас методів ранжування та некртеріального оцінювання об'єктів на основі візуальних тернарних порівнянь», *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/19021/15872>.

[9] D. Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*. Toronto, Canada: Doubleday Canada. 2013.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних наук ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.01.2025

Колодний Володимир Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, e-mail: kolodnyi@vntu.edu.ua ;

Зубко Валентин Володимирович — аспірант кафедри комп'ютерних наук, e-mail: valentyn.zubko@gmail.com
Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. V. Kolodnyi¹
V. V. Zubko¹

Models and Metrics for Information Technologies Based on Visual Ternary Comparisons

¹Vinnytsia National Technical University

A new tool for identifying preferences in conditions of target and criterion uncertainty is proposed — lifts of preferences in the form of three sliders with adjustable discreteness. By moving these sliders on the screen of a laptop, tablet, or mobile phone, decision makers apply quick intuitive thinking and visualize their preferences for three alternatives. Visual, numerical, mathematical and symbolic models of visual ternary comparisons are considered and researched. New metrics are proposed for the numerical interpretation of visual ternary comparisons in order to more accurately and reliably calculate the resultant (overall or summarizing) cardinal rankings: the additive metric of sliders height differences and the multiplicative Z-metric. The joint application of both of these metrics showed the coincidence of the ordinal rankings and the closeness of the corresponding values of the resulting normalized and centered cardinal rankings. New metrics are proposed for the logical interpretation of visual ternary comparisons in order to identify the characteristic features of decision-makers (passivity, extremity of assessments, inconsistency of judgments and incompetence). All cases of the generation of binary three-level comparisons were considered and analyzed, and the concept of distance between them was defined, which can be considered a measure of the intransitivity of preferences, that is, the inconsistency of judgments of decision-makers. A new adaptive metric for distinguishing relations of preference and strong preference is proposed, which takes into account individual features of visual ternary comparisons performed by decision-makers. An example of practical implementation of the proposed models and metrics is considered. It is planned to further research the toolkit for identifying preferences based on visual ternary comparisons and improving the information technologies developed by the authors for effective, reliable and visual organization of collective online expertise.

Keywords: visual ternary comparisons, alternatives ranking, lifts of preferences, height of sliders, ternary three-level rankings, additive metric, multiplicative metric, relation of strong preference, measure of intransitivity.

Kolodnyi Volodymyr V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Computer Science, e-mail: kolodnyi@vntu.edu.ua ;

Zubko Valentyn V. — Post-Graduate Student the Chair of Computer Science, e-mail: valentyn.zubko@gmail.com