

ТИМЧУК ВОЛОДИМИР

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

<https://orcid.org/0000-0002-3549-2813>e-mail: [v\\_tymchuk@yahoo.co.uk](mailto:v_tymchuk@yahoo.co.uk)

ГРАЗІОН ДЕНИС

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України

<https://orcid.org/0000-0001-9319-0736>

ПЕЛЕЩАК ІВАН

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-7481-8628>

ПОПОВ ОЛЕКСАНДР

Військова частина А1108

<https://orcid.org/0009-0003-3959-4301>

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ СИСТЕМОЮ-ДАВАЧЕМ І СИСТЕМОЮ-КОРИСТУВАЧЕМ НА ОСНОВІ СТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ ДЛЯ КОНСОЛІДОВАНОЇ ОБРОБКИ

У системах систем, у зв'язаних ієрархічних системах задача консолідованої обробки інформації є унікальною для кожної архітектури, тож аналіз доступних або можливих даних, які збираються, генеруються та зберігаються дозволяє формалізувати етапи консолідованої обробки та віднаходити для кожного з них інформаційну технологію. В статті проаналізовано структуровані датасети в ієрархічній багатопозиційній системі спостереження, виокремлено інформаційну надлишковість і рівень інформативності різних елементів даних, охарактеризовано розрізнявальні ознаки в датасетах як основу для післяобробки даних за допомогою систем машинного навчання.

Ключові слова: система систем, ієрархічні системи, ISR система, консолідована обробка, структуровані дані, датасет, інформаційна технологія, машинне навчання.

TYMCHUK VOLODYMYR

Hetman Petro Sahajdachnyj National Army Academy

HRAZION DENYS

The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine

PELESHCHAK IVAN

Lviv Polytechnic National University

POPOV OLEKSANDR

Armed Forces of Ukraine

## FORMALIZATION OF RELATIONSHIPS BETWEEN SYSTEM-PROVIDER AND SYSTEM-USER BASED ON STRUCTURED DATA FOR CONSOLIDATED PROCESSING

The tasks of consolidated processing of signals, data and information are inevitable because of the development of forms and methods of armed struggle. In systems of systems with flexible architecture, the set of input data will always be different, which makes the task of consolidated information processing in each application case unique. The formalization of the stages of the consolidated processing is the first step to look for an effective information technology for additional aspects in the relevant system of the basic methods and technologies. Modern weapons include computer information systems in which heterogeneous structured and unstructured data are generated and/or stored. The structured datasets are analyzed in a hierarchical multi-positional surveillance system. The article emphasizes information redundancy in the system due to the presence of non-informative or low-informative datasets from the point of view of the functional purpose of the data system. Distinctive features in each of the formalized datasets in the multi-positional surveillance system are also characterized, in particular, data related to registration within the system and data related to an event outside the system are distinguished. Taking into consideration the capabilities of machine learning systems and other artificial intelligence technologies, a place for such data operations as cleaning, classification, augmentation, correlation analysis, etc. is shown and it is the basis for the development of data post-processing algorithms. The design of effective IT for additional implementation in a hierarchical multi-positional surveillance system for the purpose of processing structured data and improving the characteristic description of the situation due to the consolidation of information and data will allow us to increase the effectiveness of functional systems and weapons samples in general.

Keywords: system of systems, hierarchical systems, ISR system, consolidation processing, organized data, dataset, information technology, machine learning.

### Постановка проблеми

Збір та обробку інформації для створення переваги щодо ситуаційної обізнаності на полі бою визначено одним із п'яти пріоритетних завдань перед усією складовою сектору безпеки та оборони України у триваючій російсько-українській війні [1], тобто і перед командирами усіх ланок управління та органами військового управління, перед проєктантами відповідних сучасним викликам систем озброєння та військової техніки (ОВТ), перед усіма залученими до національного спротиву та міжнародної підтримки України у захисті демократичних прав і свобод. Завдяки ефективності національного спротиву сьогодні на озброєння військ і сил поставлено (передано) та знаходиться вочевидь найбільша у порівнянні з іншими збройними силами держав світу лінійка різномірних зразків ОВТ [2], у яких передбачено або вироблено в той чи інший

спосіб функціональних або експлуатаційних даних, зазвичай у цифровій формі, або збір та опрацювання різних даних такого формату. Поєднання систем ОБТ для спільної задачі або у спільній організаційній побудові є передумовою створення системи систем (СмаС) із консолідованою обробкою різномірної інформації. Оскільки розгортання сил і засобів збройної боротьби здійснюється фізично у просторі, то є сенс говорити про просторову інформацію і, відповідно, систему консолідованої обробки просторової інформації.

#### Аналіз останніх джерел

Над проблемами консолідованої обробки інформації, під якою зазвичай розуміють спільну обробку гетерогенних (різномірних) сигналів і даних, науковці та інженери працюють із середини ХХ століття, коли з'явилися системно-технічні можливості інтеграції окремих систем у складніші функціональні структури. Відповідні теорії знань і інжинірингу достатньо пропрацьовані та доступні вже для кожної країни, що розвиває свій сектор оборони, наприклад [3]. У той же час нові задачі щодо інтеграції, себто консолідованої обробки сигналів, даних й інформації, виникають постійно, зокрема одночасно із розвитком форм і способів збройної боротьби. Вочевидь, логічним є опиратися на історично-науковий зріз таких інтеграційних рішень принаймні в українському мілітарному науковому контексті.

Поява у 2010-тих рр. геопросторової розвідки на основі розширених можливостей космічного моніторингу та інтеграції з розвинутими уже геоінформаційними системами викликало необхідність створення баз геопросторових даних і їх наступної обробки, тож саме з цього часу закладають підвалини для створення потужних баз даних [4]. Вочевидь, такі бази даних ставали великими даними (Big Data), як структурованими, так і неструктурованими з розмаїття відомих і нових джерел, тобто будь-якого типу, об'єму, швидкості передачі (поширення), для обробки яких (видобування знань із них або аналіз даних) ставав доступним інструментарій із інших наукових царин [5] або розроблені спеціалізовані методи та методики. Тож у мілітарному сегменті науки відбір баз даних (із їх логічним наповненням) і пошук методів видобування знань із них, як очевидний наслідок численних аналізів на кшталт характеристики інформаційної технології (ІТ) типу Big Data для обробки структурованих і неструктурованих даних [6], дозволив науковцям запропонувати, для прикладу, такі наукові рішення в різних прикладних областях: ІТ щодо формування інтерактивних документів із інтерактивної бази знань, що є результатом моніторингу вхідної консолідованої інформації з різномірних інформаційних ресурсів щодо зразків ОБТ [7], спроектовану штучну нейронну мережу (ШНМ) для прогнозування параметрів руху за консолідованою інформацією, яка включає керівні та збурювальні впливи на рухомий об'єкт, а також кінематичні параметри об'єкту, що отримуються від навігаційних приладів [8], алгоритм формування набору апріорних даних ШНМ з урахуванням комбінації методів аугментації даних для обробки цифрових аерознімків, що отримуються з БПЛА, з метою виявлення слабопомітних інваріантних ознак об'єктів [9], методичний підхід до ідентифікації об'єктів моніторингу в дистанційного зондуванні Землі з космосу [10], методику побудови ШНМ для ідентифікації ОБТ на основі аналізу цифрових фотографій [11] та багато інших і передусім у царині ІТ штучного інтелекту (ШІ) щодо розробки зокрема систем машинного навчання (СМН) як придатних для прогнозування.

Особливістю наведених публікацій, яка є характерною і для інших праць, є те, що в них розв'язується повністю або частково конкретне наукове чи інженерне питання, тобто в дослідженнях простежуються етапи зосередження на зібраних даних, відбір (чи розробка) деякої моделі ІТ і результати (теоретичні, експериментальні чи практичні). У той же у системі систем [12], яку формують для вирішення місії, що може включати одночасно багато наукових проблем, вихідні дані є неочевидними, тобто немає жорсткої формалізації щодо даних, незалежно від того структуровані вони чи ні. Іншими словами постійно виникає задача опису можливих вхідних даних для деякої реалізації СмаС. А оскільки останні є унікальними та гнучкими до трансформацій, то набір вхідних даних завжди буде різним. Це означає, що задача систематизації, категоризації та класифікації даних, як основи великих даних, у кожному прикладному випадку є новою. Власне це визначає актуальність і практичну значущість для цієї наукової праці.

**Метою статті** є аналіз структурованих датасетів у пов'язаних між собою системах на предмет можливостей післяобробки неінформативних з точки зору функціонального призначення системи даних.

Таким чином в статті продовжені дослідження щодо систематизації датасетів з наявних у складі Сил оборони України систем озброєння з віднесенням їх до певних ланок управління.

#### Виклад основного матеріалу

Спрощенню подальших викладень допоможе представлена нижче термінологія, оскільки в статті ми виявляються окремі аспекти із предметів досліджень різних наукових царин.

Під *системою систем* (СмаС) ми розумітимемо застандартоване вже поняття, а саме що СмаС є набір систем або системних елементів, які взаємодіють, щоб забезпечити унікальну можливість, яку жодна зі складових систем не може реалізувати самостійно [13]. У випадку поєднання взаємодійних систем жорсткими функціональними зв'язками, зокрема в межах конкретної апаратної реалізації, такі системи можна описувати як *ієрархічні системи Месаровича* [14]. Іншими словами, останні можна вважати частиною систем систем із закінченим функціоналом, який не змінюється в процесі експлуатації та появи нових чинників у зовнішньому середовищі (які зазвичай є передумовами для модернізації систем або проектування та розробки нових систем).

В нашому дослідженні дві взаємодійні системи ми умовно розділяємо на систему-давач і система-користувач. Під *системою-давачем* розумітимемо окрему умовно незалежну систему, яка свої дані «відає»

іншій системі-споживачу. Кожна *система-споживач* також може реалізуватися як система-давач для іншої взаємодійної системи в ієрархічній системі.

Всяку систему можна декомпонувати до представлення у вигляді логічно-пов'язаних блоків, які, своєю чергою, можуть виявляти властивості іншої системи. В нашому дослідженні не йдеться про те, що система-давач є системою найнижчого рівня в ієрархічній системі.

У формалізованих записях систему давач ми позначаємо як систему  $X$ , а систему-користувач — як систему  $Y$ , при цьому наявну для останньої систему користувач ми позначаємо як систему  $Y'$ .

Сучасні системи ОВТ мають у собі ту або іншу ІТ, апаратним забезпеченням для якої є комп'ютер. У світі усталеним є термін *комп'ютерної інформаційної системи* (КІС) і є опис функцій, які реалізує КІС, зокрема: а) контроль експлуатаційних показників системи ОВТ; б) збір, упорядкування та збереження даних про інформаційні події; в) продукування для реєстрації чи супроводу якої система призначена, здійснює вироблення сукупності технічних параметрів на момент фіксації події. Для такого набору даних усталився термін *датасет*.

Отже, коли з зовнішнього фізичного середовища на систему надходять сигнали, то реєструючи пристрої системи (тут — *сенсори*) здійснюють фіксацію певних параметрів сигналів, отримуючи деякі емпіричні дані, які в режимі реального часу передають на КІС, де вони записуються в елементі збереження.

Отже, *датасетом* є сукупність збережених даних про всі реєстрації у відповідності до певного структурування, передбаченого в системі. З огляду на зазначене датасети можуть бути структурованими або не бути такими. Структурованість полягає в тому, що в системі визначений чіткий набір даних і послідовність їх представлення від реєстрації до реєстрації, наприклад: умовний порядковий номер, час реєстрації, параметри сигналу, значення конкретних оцінюваних показників тощо.

Зазвичай, з усього датасета для обробки та використання на подальших етапах системи проходження інформації вищого порядку використовується його обмежена частина, наприклад час інформаційної події або координати. Власне, самі технічні параметри інформаційної події обробляються т.б.м. «всередині» для отримання цільового інформаційного показника системи ОВТ (передусім, координат). Таку частину датасета ми умовно називатимемо *інформативною*.

У той же час є багато інших технічних параметрів, які можуть не оброблятися як на цьому етапі, так практично гарантовано не обробляються поза межами системи. Відповідно таку частину датасета ми умовно називатимемо *неінформативною*. Наявність неінформативної частини датасета дозволяє говорити про наявність інформаційної надлишковості в системі і про те, що вона не використовується (бо це з тих або інших міркувань і проєктувальних рішень не передбачено).

В класичному описі система покликана прояснити щось про об'єкт (ситуацію, прецедент), емпіричні дані про які є змога отримати (виміряти, зібрати, зареєструвати). Якщо за допомогою цих емпіричних даних можна описати об'єкт (ситуацію, прецедент), то отримується *опис об'єкта* (ситуації, прецедент), наприклад ознаковий опис (за допомогою або числових рядів, або часових рядів, або сигналів, або зображень, або відеорядів, або текстової інформації, або інтенсивності взаємодії, або відношеннями подібності, або інших описів, в т.ч. і комбінованими із різних однорідних або різнорідних типів).

У загальній постановці *задача класифікації із прогнозуванням* виглядає так: на основі часткових даних слід виявити загальні взаємозв'язки та закономірності, що, з одного боку, властиві цьому датасетові, а, з іншого боку, властиві всім іншим об'єктам (ситуаціям, прецедентам), також і тим, що ще не спостерігалися (не відбулися), з наступним встановленням належності об'єктів певним категоріям (класам).

Кінцевою метою додаткової обробки інформаційної надлишковості в СмаС (або в ієрархічній системі) є розв'язати задачі класифікації та прогнозування для випадків, коли основні функціонали систем з цим або не справилися, або справилися з недостатньою якістю кінцевої інформації.

#### **Датасети в ієрархічній системі виявлення зі змінними факторами середовища**

Прикладом ієрархічної системи виявлення зі змінними факторами середовища є реалізовані в межах єдиного апаратно-програмного комплексу — багатопозиційної системи спостереження (БПСС) — система оцінки метеумов (метеостанція) і система виявлення акустичних сигналів.

Розглянемо приклади датасетів, які можуть отримуватися на постійній основі в такій БПСС.

Отож, у задачах метеопрогнозування (важливі також і оцінки польотних умов, що розширює коло практичної значущості цього дослідження) об'єктом спостереження є атмосфера у її приземному шарі — її стан відповідає моментам часу, у які відбувається реєстрація за параметрами (отримуємо кількісні ознаки) показів сенсорів, що розміщені просторово у вигляді БПСС. Вочевидь, що подальша робота функціональної системи, у нашому випадку це метеостанція, полягає в апроксимації стану об'єкта в деякому часо-просторовому вимірі, обмеженому, по-перше, розмірами ділянки земної поверхні, по-друге, висотою над рівнем земної поверхні, по-третє, деяким часом «незмінності» стану атмосфери (тобто впродовж часу, коли її зміни, що постійно існують, дозволяють іншим системам-споживачам виконувати свої функції на здійсненій оцінці цього стану).

Так, вимірюючи метеопараметри у приземному шарі атмосфери, наземна метеостанція щохвилини видає датасет для БПСС. Приклад фрагменту датасета показано на рис. 1.

02/05/2023 00:30:00								
37.446825 48.166962	1.4	-2.7	6.6	89.1	98.742		26.125	
37.583326 48.159584 1	0.6	-2.5	7.8	88.0	99.319		26.126	
37.477838 48.132935 1	2.0	-2.6	7.5	86.3	99.507		26.127	
37.449906 48.118283 1	0.8	-2.4	7.2	88.3	99.370		26.129	
37.553842 48.140701 1	0.3	-3.2	8.1	87.3	99.588		26.130	
37.556879 48.156061 1	0.9	-3.7	8.1	87.0	99.617		26.131	
37.535044 48.122927 1	0.7	-2.1	8.1	86.2	98.720			
02/05/2023 00:31:00								
37.446825 48.166962	1.3	-2.8	6.6	89.2	98.739		26.125	
37.583326 48.159584 1	0.5	-2.4	7.8	88.1	99.319		26.126	
37.477838 48.132935 1	2.1	-2.7	7.5	86.3	99.509		26.127	
37.449906 48.118283 1	1.1	-2.9	7.2	88.4	99.371		26.129	
37.553842 48.140701 1	-0.0	-4.0	8.1	87.3	99.591		26.130	
37.556879 48.156061 1	0.8	-3.4	8.1	87.1	99.618		26.131	
37.535044 48.122927 1	0.8	-2.4	8.1	86.2	98.717			

Рис. 1. Фотокопія частини датасета для наземної метеостанції БПСС

Значення цифрових даних наведено в табл. 1.

Таблиця 1

### Розшифрування цифрових значень датасета для наземної метеостанції БПСС

Елемент у датасеті	Координати k-го сенсора		Метеопараметри				УІН k-го сенсора	
			складові швидкості і напряму вітру		температура	вологість		тиск атмосфери
	довгота	широта	Wind (E) m/s	Wind (N) m/s	Temp C	Humidity %		Pressure KPa
Позначення у KIC	Position WGS84 (E)	Position WGS84 (N)	Wind (E) m/s	Wind (N) m/s	Temp C	Humidity %	Pressure KPa	SP ID
Дані	37.583326	48.159584	0.6	-2.5	7.8	88.0	99.319	26.126

Примітка: в табл. 1 опущено пояснення для цифри «1» (див. рис. 1). Зміст цієї цифри єдиний – показати працездатність i-го сенсора, який має унікальний індивідуальний номер (УІН), або, іншими словами, наявності та цілісності каналу передачі даних у межах БПСС.

Множина датасета, що формується від метеостанції БПСС, має таке представлення:

$$D^{(k)}_i = \{x_1 x_2 \dots x_j\}_i = X, k = (1, \dots, K), l = (1, \dots, L), i = (1, \dots, N_X), \quad (1)$$

де  $K$  — кількість сенсорів у складі БПСС;  $L$  — кількість параметрів, для яких здійснюється збір даних;  $N_X$  — кількість наборів даних у відповідності до закономірності їх збору (видачі).

У випадку метеостанції (див. табл. 1) маємо:  $K = 6$ ,  $L = 5$ , щодо  $N_X$ , то за безперервної роботи БПСС отримується 60 датасетів на годину, або 1460 датасетів на добу, або понад  $10^4$  для більших часових проміжків функціонування БПСС, що достатньо для реалізації СМН [15]. Таким чином, ми отримуємо своєрідний «матричний часовий ряд»  $D^K_L|_{i=1:N}$  для кожної ітерації (часового зрізу для отримання даних  $i = (1, \dots, N_X)$ ) та їх (наборів даних) зібрання ( $i = 1: N$ ).

Вочевидь, що для всякої комбінації  $k$  та  $i$  вираз (1) представляє собою матриця одиничного розміру  $1 \times L$ . Відповідно, для кожного моменту часу отримання даних з усіх  $K$  сенсорів розмірність матриці даних буде  $K \times L$ .

Виникає питання, тож якою може бути практична значущість для датасета? Відповідь уже міститься у практичній реалізації — сам по собі датасет немає цінності і його дані застосовуються іншими системами (зокрема, системою акустичного моніторингу або системою балістичної підготовки). Тому, як нам видається, у встановленні взаємозв'язків між сукупністю значень «матричного часового ряду» системи-давача  $X$  та найбільш т. б. м. сприятливими умовами для функціонування власне системи-споживачі  $Y$  є головним завданням ІТ ШІ (мова може йти і про статистичний аналіз Big Data, про прогнозування у системах  $Y$  тощо). Для незалежних систем справедливим є представлення завдань у вигляді перевірки відповідностям гіпотез  $h(\cdot)$  (тут для систем  $X$  та  $Y$  за спільне взято часовий критерій  $i$ , для якого незалежно отримуються дані в обох системах):

$$\begin{aligned} h(X)|_{i=1:N} &= d_{(X)}: X_i \rightarrow D(X), \\ h(Y)|_{i=1:N} &= d_{(Y)}: Y_i \rightarrow D(Y), \end{aligned} \quad (2)$$

тут  $X$  та  $Y$  — деякі набори даних відповідно у системі  $X$  та у системі  $Y$ ;  $d_{(\cdot)}$  — ознаки (для кожної системи поокремо), для яких має місце відображення вимірних даних  $X_i$  та  $Y_i$  на множинах значень відповідних систем.

Існує багато способів взаємодії незалежних систем, кожен з них є окремим науковим напрямком або проблемою, зокрема як це можна спостерегти в теорії СмаС [16]. Як наслідок, стільки ж (якщо не більше) буде способів формалізації такої взаємодії. Для загального випадку можна взяти будь-яке правило з теорій оцінювання або вимірювання, застосувавши його у задачі оцінювання відповідності гіпотези дійсності. Наприклад, через математичне оцінювання  $E$  функції втрат  $V(\cdot)$  (зумовлених завжди об'єктивною недостатністю даних). Тоді у взаємодії двох незалежних систем для задач визначення взаємозв'язків і закономірностей формалізований можна представити через вирішальне правило, що мінімізує помилку (середній ризик функції втрат), так:

$$f(Y_i, X_i, N, h(Y)) = \arg \min_{h(Y)} E V(Y_i, h(Y)|_{i=1:N}/h(X)|_{i=1:N}), \quad (3)$$

де  $h(Y)/h(X)$  показує наявний (і шуканий) взаємозв'язок (або закономірність) між полями відповідальності систем  $X$  та  $Y$ .

Задача пошуку такого взаємозв'язку так само може мати багато підходів до розв'язання. Але в умовах великих даних все починається із опрацювання датасетів. Розглянемо сутність необхідного опрацювання датасетів для представленої випадкової системи  $X$  (див. рис. 1).

Вивчення датасета показує, що для кожного  $i = (1, \dots, N_X)$  п'ять елементів датасета (а саме метеопараметри, див. табл. 1) є випадковими величинами, два елементи (координати та УІН сенсора) є потенційно незмінюваними величинами (що означає, що сенсори БПСС не мають опції до автономної зміни свого місцеположення), один елемент (ознака спрацювання сенсора) є постійною сталою (у разі неспрацювання сенсора даних від нього не буде, тож «розмір» датасета для поточного циклу буде меншим на дані від цього сенсора), один елемент (дата і час) є прогнозовано змінюваними (відрізнятися в ідеалі (та і переважно на практиці) на 1 одиницю від попереднього циклу, зростаючи в часовій шкалі вимірів).

Аналіз змінних даних у системі  $X$  показує, *по-перше*, малі діапазони множини значень для кожного із параметрів (за вітру силою понад 8 балів за шкалою Бофорта ефективність більшості систем (як систем-давачів, так і пов'язаних з ними систем-споживачів) є сумнівною (наприклад, це стосується польотів БПЛА та запусків повітряних об'єктів (метеозондів, повітряних куль), застосування артилерії у бою через критичний вплив фактору вітру на балістичні параметри траєкторії польоту випущеного від кутом до горизонту тіла, непрацездатності акустичної системи через щонайменше істотне знесення звукової хвилі та зростання рівня її загасання під час поширення тощо), те саме стосується і інших метеопараметрів), *по-друге*, належність значень до неоднакових типів множин (вітер і температура можуть бути дійсними числами, а вологість і тиск — тільки додатними раціональними), *по-третьє*, варіації позиційних систем для параметрів (відмінності у кількості розрядів цілої частина і десяткового дробу), *по-четверте*, наявність низькоінформативних елементів (дати з прогнозованою зміною, бінарної ознаки (працездатності сенсора)).

В цих умовах для моделі СМН очікуваними є такі операції щодо даних як очищення, класифікація, аугментація, кореляційний аналіз та ін. Один із способів реалізації СМН для датасета, характерного для метеостанції, частково описується в [17].

Для нашого випадку системою-споживачем для метеостанції БПСС як системи-давача є система виявлення акустичних сигналів. У цій системі  $Y$  отримуються і свої датасети. Приклад фрагменту датасета міститься в табл. 2 (таблицю представлено за аналогією з табл. 1, тобто вже як структуровану по параметрах (тут: ознаках сенсора БПСС) і отриманих даних).

Відмінність реєстрації від події (кожну реєстрацію позначаємо символом  $i$ , натомість кожну подію — символом  $j$ ) полягає в тому, що подія визначається в головній станції оброблення (ГСО), на яку надходять дані з усіх  $K$  сенсорів (тобто реєстрації). Очевидно, що загальна кількість реєстрацій  $N_i$  є більшою, ніж кількість подій  $N_j$  (тобто  $N_j \leq N_i$ ), бо для однієї події реєстрацію можуть зробити більше, ніж один сенсор (на практиці  $N_j \ll N_i$ ).

Таблиця 2

**Розшифрування цифрових значень датасета одного сенсора БПСС (системи виявлення акустичних сигналів)**

Елемент у датасеті	$i$ -тої реєстрації:		Координати $k$ -го сенсора		Зсув координати та висоти для кожного з трьох мікрофонів $k$ -го сенсора								
	УІН	час											
Позначення у КІС	Det Id	Time +00:30	Position WGS84 (E)	Position WGS84 (N)	Mic 1 Pos E	Mic 1 Pos N	Mic 1 Height	Mic 2 Pos E	Mic 2 Pos N	Mic 2 Height	Mic 3 Pos E	Mic 3 Pos N	Mic 3 Height
Дані щодо $i$ -тої реєстрації	23903761	02/05/2023 00:31:59	37.583326	48.159584	0.000000	0.000000	0.000000	-4.440759	-29.760710	0.000000	-27.891243	-11.181495	0.000000
	23903762	02/05/2023 00:31:59	37.583326	48.159584	0.000000	0.000000	0.000000	-4.440759	-29.760710	0.000000	-27.891243	-11.181495	0.000000
	23969299	02/05/2023 00:32:00	37.583326	48.159584	0.000000	0.000000	0.000000	-4.440759	-29.760710	0.000000	-27.891243	-11.181495	0.000000
	24231481	02/05/2023 00:36:44	37.583326	48.159584	0.000000	0.000000	0.000000	-4.440759	-29.760710	0.000000	-27.891243	-11.181495	0.000000

Примітка: в табл. 2 символ «-» означає «мінус» у сенсі різниці між координатою  $k$ -го сенсора (його мікрофону 1 та іншого мікрофону).

Аналогічно до способу представлення множини датасета (1), множина датасета, що формується  $k$ -тим сенсором зі складу БПСС, має таке представлення:

$$D^{(k)}_i = \{x_1 x_2 \dots x_i\}^{(k)} = X, k = (1, \dots, K), i^{(k)} = (1, \dots, N_i)^{(k)}, \tag{4}$$

де тут:  $N_i^{(k)}$  — загальна кількість реєстрацій, зафіксованих на  $k$ -му сенсорі (відповідає розміру датасета), при цьому від кожного із сенсорів можна отримати датасет зі своїм розміром, тобто  $N_i^{(k)} \neq N_i^{(l)}$ , тут  $k$  і  $l$  показують, що сенсори мають кожен свій УІН (див. табл. 1). За такого подання в БПСС загальна кількість реєстрацій буде алгебраїчною сумою реєстрацій (що мають кожна свій УІН) з усіх сенсорів:

$$N_i = N_i^{(K)} = \sum_{k=1}^K N_i^{(k)}. \tag{4}$$

На відміну від датасета (1), який має прогнозований і за працездатної системи визначений обсяг за проміжок часу, у випадку системи виявлення акустичних сигналів відповідні розміри датасетів із  $K$  сенсорів БПСС мають випадковий обсяги і залежать від зовнішніх факторів (подій, які підлягають реєстрації), але також і від внутрішніх факторів системи (чутливості сенсора, наявності зв'язку між сенсором і ГСО).

Розрізняювальною ознакою даних у датасеті від сенсора є УІН (див. табл. 2), який присвоюється головною станцією оброблення всякій зареєстрованій події (з унікальним часом її реєстрації відповідно). Тож наявність датасетів від усіх або кількох сенсорів дозволяють ГСО локалізувати події у часо-просторовому відношенні (кореляційним фактором виступає унікальний для кожної події акустичний сигнал, оцінювання параметрів якого дозволяє синхронізувати УІН подій від кількох сенсорів, визначати час, коли подія відбулася (цей час зрозуміло відрізняється від часу реєстрації кожним із сенсорів на затримку, пов'язану з часом розповсюдження акустичної хвилі від джерела події до сенсора), визначати місце, де подія відбулася (геометричним методом для БПСС з урахуванням факторів, які можуть вносити спотворення в обчислення як-от метеоумови, рельєф та ін.).

У системі виявлення акустичних сигналів як результат обчислень, що реалізується у головній станції оброблення, отримується ще один датасет, структурований вигляд якого представлено в табл. 3.

Таблиця 3

**Розшифрування цифрових значень датасета з ГСО БПСС (системи виявлення акустичних сигналів)**

Елемент у датасеті	Інформативні дані щодо $j$ -тої події				Ознаки спрацювання сенсорів («неінформативні» дані)							
	УІН	час події	координати		кількість	УІН $i$ -тої реєстрації від $k$ -го сенсора						контроль якості даних
Позначення у КІС	Loc Id	Time +00:30	Position WGS84 (E)	Position WGS84 (N)	nDet	SP 26_125	SP 26_126	SP 26_127	SP 26_129	SP 26_130	SP 26_131	
Дані щодо кожної $j$ -тої події з наборами $i$ -тих реєстрацій від $K$ сенсорів	23691724	02.05.2023 00:28	37.871720	48.195353	5		23838208				23772668	ERROR
	23757262	02.05.2023 00:31	37.621550	48.100664	3		23903752	23903757			23903748	
	24150519	02.05.2023 00:36	37.479399	47.968763	4	24297070	24297064	24297061			24297063	
	24216057	02.05.2023 00:37	37.594404	48.055605	2		24362607	24362608				
	24347136	02.05.2023 00:38	37.885270	48.195640	6	24493684	24493695	24493698	24493688	24493687	24493692	
	24412674	02.05.2023 00:40	37.820203	48.215055	4	24559239			24559250	24559245	24559255	
...												

Аналогічно до способу представлення множин датасета (1) і (4), множина датасета, що формується у головній станції оброблення БПСС щодо кожної  $j$ -тої події, має таке представлення:

$$D^{(j)} = \{x_1 x_2 x_3\}^{(j)} \wedge \{y_0 y_i\}^{(j)} \wedge T^{(j)}, \quad j = (1, \dots, N_j), \quad i|_{y_0 \geq 2} = (1, \dots, N_{i_m}), \quad (6)$$

де тут:  $x_1$  — УІН для  $j$ -тої події із загальної кількості опрацьованих подій  $N_j$ ;  $x_2$  — час настання  $j$ -тої події (від відрізняється від часу реєстрації сигналів на будь-якому із сенсорів БПСС);  $x_3$  — пара координат для локалізації місця, де відбулася  $j$ -та подія;  $y_0$  — кількість сенсорів, які зареєстрували сигнал від  $j$ -тої події;  $y_i$  — сукупність УІН реєстрацій із датасетів усіх сенсорів БПСС (див. вираз (4) і табл. 2 щодо кожного сенсора), реєстрація яких відповідає сигналові від  $j$ -тої події;  $T^{(j)}$  — бінарна ознака контролю якості даних (приміром 0 відповідає відсутності додаткових елементів у рядку з даними, що стосується  $j$ -тій події, а 1 — наявності додаткового елемента (в табл. 3 таким додатковим елементом є фраза ERROR, яка індукує про те, що  $y_0$  не відповідає фактичним даним — в першому рядку  $y_0 = 5$ , у той як в ГСО потрапили УІН тільки від двох сенсорів));  $N_{i_m}$  показує, що в датасет «потрапляють» не всі реєстрації (див. вираз (4)), але лише ті, які щонайменше у парі «описують» сигнал від події, зафіксованої БПСС (іншими словами, якщо для деякої «події» в БПСС мала місце реєстрація тільки на одному сенсорі (із присвоєнням відповідного УІН), то цей УІН не береться до уваги (до оброблення) в ГСО. Останнє є логічно зрозумілим, оскільки в типовій БПСС позиціонування події відбувається в триангуляційний спосіб, коли є більше, ніж один детермінаційний параметр щодо події (напрямок або час).

Очевидно, що «датасетний» вираз (6) легко приводиться до традиційного вигляду у разі потреби:

$$D^{*(j)} = x_j \wedge f(t_j, (B_j L_j)), \quad (7)$$

де  $D^{*(j)}$  — інформативні дані про подію як результат оброблення сигналів (даних) у БПСС і є функцією  $f(\cdot)$  від власне інформативних даних — часу  $t_j$  та координат  $(B_j L_j)$ ;  $x_j$  — деякий умовний унікальний номер для події або для сигналу.

Сутність (7) полягає в тому, що після оброблення сигналів (даних) у БПСС користувачу (іншій системі) видаються дані, які відповідають функціональному призначенню системи, а різноманітні проміжні дані після цього вважаються «неінформативними» (наприклад, зберігаються у вигляді лог-файлів впродовж встановленого часу або по заповненню пам'яті з наступною її очисткою та ін.).

За аналогією з системою X (тут — метеостанція БПСС, див. вище), дані із сукупності таблиць (2) і таблиці (3) формують датасет системи Y (тут — БПСС виявлення акустичних сигналів).

Аналіз даних табл. 2 для системи  $Y$  показує, що змінними є тільки УІН та час (реєстрації), всі інші дані повторюються у наступних рядках матриці дасетета. Змінні дані зростають — випадковим чином за деяким цифровим набором (відповідає УІН реєстрації) і теж випадковим чином у добово-часовій мірі.

Щодо табл. 3 для системи  $Y$ , то змінними є дані усіх стовпців матриці дасетета. При цьому характер змін є різним: що стосується інформативних даних, то зміна УІН і часу відбувається подібно до зміни таких же даних у табл. 2 з тією різницею, що крок між УІН сусідніх рядків матриці дасетета буде більшим (адже між ними «поміщаються» УІН реєстрацій із сенсорів БПСС). Час, зрозуміло, відповідає часу настання події і його зміна в дасететі носить випадковий характер. Координати події теж випадково змінюються в матриці дасетета, але лежать в межах деякої «чутливості» БПСС (ділянки простору, з якої БПСС приймає сигнали від подій з відповідною реєстрацією сенсорами та оброблянням у ГСО).

«Діапазони» змін «неінформативних» даних є такими:

- щодо кількості сенсорів, то тут можливе значення від двох до  $K$ ;
- щодо УІН — випадкові дані без жодної закономірності, зокрема без однозначного зростання;
- щодо контролю якості даних, то аналогічно — жодної закономірності не спостерігається.

В цих умовах для можливих моделей СМН очікуваними є такі операції щодо даних як очищення, класифікація, аугментація, кореляційний аналіз та ін. Один із способів реалізації СМН для дасетета, характерного для системи виявлення акустичних сигналів, частково описується в [18].

Отже, якщо система  $Y$ , відповідно до свого функціонального призначення, здійснює опис об'єкта (в нашому випадку згідно виразу (7)), які задовольняють наступну систему  $Y'$ , то інформативні дані з її фінального дасетета, можливо і в деякій перетвореній формі, просто надходять на нову систему  $Y'$ .

Але якщо ця умова з причин, які тут не розглядаються, не виконується, тобто якість даних у виразі (7) не відповідає очікуванням системи  $Y'$ , то існує проблема вирішення цієї невідповідності.

Ця проблема може мати множинні шляхи розв'язування, наприклад через залучення додаткової системи  $X'$  у якості системи-давача, яка б корегувала дані від системи  $X$ .

Іншим шляхом може стати «перетворення» «неінформативних» даних, які містяться в системі  $X$ , в допоміжні для перевірки висунутих гіпотез. Власне цей напрямок є підставою для застосування технологій ШІ загалом та СМН і ШНМ зокрема в проблемах або задачах уточнення даних, прогнозування результатів тощо за рахунок додаткового оброблення наявних (накопичених) даних, у т.ч. і великих даних.

Подальшими напрямками досліджень є проектування ефективної ІТ, зокрема ШНМ для додаткового впровадження в ієрархічну багатопозиційну систему спостереження з метою оброблення структурованих даних та покращення ознакового опису ситуації за рахунок консолідації інформації і даних.

### Висновки

1. Задачі консолідованої обробки сигналів, даних й інформації є неминучим наслідком розвитку форм і способів збройної боротьби.
2. В системах систем з гнучкою архітектурою набір вхідних даних завжди буде різним, що робить задачу консолідованої обробки інформації у кожному прикладному випадку унікальною.
3. Формалізація етапів такої консолідованої обробки є першим кроком для пошуку ефективної інформаційної технології для додаткового до основних методів і технологій застосування у відповідній системі.
4. Сучасні зразки озброєння містять комп'ютерні інформаційні системи, в яких генеруються та/або зберігаються різноманітні структуровані та неструктуровані дані, що зумовлюють деяку інформаційну надлишковість конкретної ієрархічної багатопозиційної системи спостереження або системи систем загалом.
5. Встановлення розрізнювальних ознак у дасететах дозволяє градувати елементи даних з погляду їх «інформативності» в задачі проектування систем машинного навчання для додаткового оброблення даних та іншої консолідованої інформації.

### Додаткова інформація

Цю статтю підготували завдяки грантовій підтримці Національного фонду досліджень України, реєстр. номер проекту 273/0024 від 1/08/2024 (2023.04/0024) «Методи та засоби активного та пасивного розпізнавання мін на основі глибоких нейронних мереж» за конкурсом «Наука для зміцнення обороноздатності України».

### Література

1. Zaluzhnyi V. The Commander-in-Chief of Ukraine's Armed Forces on How to Win the War / V. Zaluzhnyi // The Economist. – 1 Nov. 2023. – Url: <https://www.economist.com/by-invitation/2023/11/01/the-commander-in-chief-of-ukraines-armed-forces-on-how-to-win-the-war> (дата звернення: 04.03.2024).
2. Gailiņš E. Western arms supplies to Ukraine: tanks, fighter jets and long-range rockets / E. Gailiņš // Center for Security and Strategic Research, National Defense Academy of Latvia. – 2023. – May. – No. 4/23. Url: [www.naa.mil.lv](http://www.naa.mil.lv).
3. Krzystofowicz R. Fusion of Detection Probabilities and Comparison of Multisensor Systems / R. Krzystofowicz, D. Long // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. – 1990. – Vol. 20. – № 3. – P. 665–677. – Url: <https://doi.org/10.1109/21.57281>.

4. Кухарський І. А. Створення бази геопросторових даних об'єктів розвідки з використанням даних дистанційного зондування землі та геоінформаційних систем / І. А. Кухарський, В. О. Подліпаєв, О. В. Атрасевич, В. О. Шумейко // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – №2. – С. 111–113.
5. Hariiri R.H., Fredericks E.M., Bowers K.M. Uncertainty in big data analytics: survey, opportunities, and challenges. *Journal of Big Data*. – 2019. – Vol. 6. – No 44. – Url: <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0206-3>.
6. Кондрусь А. Застосування технологій «Big Data» для збереження, обробки та аналізу даних у процесі управління військами / А. Кондрусь, Д. Балан, В. Олександр, О. Симоненко // Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки. – 2023. – №3. – С. 41–47. – Url: <https://doi.org/10.58254/viti.3.2023.05.41>.
7. Потапов Г. Інтерактивна база знань з моніторингу обліку та стану зразків озброєння та військової техніки іноземних країн, які надходять до України в умовах воєнного стану / Г. Потапов, С. Ковбасюк, О. Башкиров, В. Приходнюк // Озброєння та військова техніка. – 2022. – №2(34). – С. 99–107. – Url: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2\(34\).41-52](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2(34).41-52).
8. Аросланкін О. Нейромережева модель прогнозування параметрів руху судна в системі формування надводної обстановки ближньої морської дії / О. Аросланкін, Г. Шапіро, В. Тюрін, В. Фарафонов, Є. Рябополов // 36. наук. пр. ХНУПС. – 2021. – №3(69). – С. 116–107. – Url: <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.15>.
9. Ковбасюк С. Алгоритм формування набору апріорних даних нейронної мережі для обробки цифрових аерознімків / С. Ковбасюк, Р. Осадчук, М. Романчук, Л. Наумчак // 36. наук. пр. ЖВІ. – 2022. – Вип. 23. – С. 77–87. – Url: <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2022.23.06>.
10. Комаров В. С. Методичний підхід до ідентифікації об'єктів моніторингу / В. С. Комаров, О. А. Ляшов, В. В. Олексіюк // Кібернетика та системний аналіз. – 2022. – Т. 58. – №5. – С. 179–188.
11. Слюсар В. І. Методика побудови штучних нейронних мереж для ідентифікації озброєння та військової техніки / В. І. Слюсар, М. М. Проценко, О. В. Докучаєв // Озброєння та військова техніка. – 2022. – №2(34). – С. 99–107. – Url: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2\(34\).99-107](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2(34).99-107).
12. Hu C. Navigating uncertainty in weapon system-of-systems planning: a hybrid multiobjective network-based optimization and fuzzy set approach / C. Hu, X. Wang, M. Li, and J. Jiang // *Int J of computational intelligence systems*. – 2023. – Nr 16:136. – 21 pgs. – Url: <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00313-7>.
13. Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Systems and Software Engineering. *Systems Engineering Guide for Systems of Systems, V. 1.0*. Washington: ODUSD(A&T)SSE. – 2008.
14. Polishchuk O. Models and methods of complex evaluation of complex network and hierarchically network systems / O. Polishchuk // Dissertation abstract for Technical Sciences Doctor Degree, specialty 01.05.04 – system analysis and theory of optimal decisions. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021. – Url: <https://arxiv.org/pdf/2104.13852>.
15. Литвин В. В. Декомпозиція машини глибокого навчання на основі наборів спеціалізованих датасетів для зменшення часу обробки просторової інформації / В. Ю. Тимчук, В. В. Литвин, О. М. Перегуда // Військово-технічний збірник. – 2023. – №28. – С. 60–68. – Url: [Doi: 10.33577/2312-4458.28.2023.60-68](https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023.60-68).
16. Tymchuk V. The systematic review of variety of military, weapon, combat and warfare system-of-systems with their new classification and ontology depiction for further concept and design development for ZSU / V. Tymchuk, V. Trysnyuk // Міжнародний науковий журнал «Military Science». – 2024. – Том 2. – № 1. – Url: <https://themilitaryscience.com/index.php/journal/issue/view/2/3>.
17. Тимчук В. Ю. Підхід до аналізу та прогнозування технічних даних у залежності від змінюваних метеопараметрів для моделі машинного навчання у комплексі метеозондування: людські помилки під час проектування системи систем / В. Ю. Тимчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2023. – Т. 1. – №5 (325). – С. 235–239.
18. Tymchuk V. The research of the configurations in some locating acoustic system for geospatial modeling in GIS to increase the coordinate accuracy / V. Tymchuk, O. Mediakov, A. Poliakov, O. Popov // *Int Conf of Young Professionals “GeoTerrace-2023”* (2–4 Oct. 2023, Lviv, Ukraine). – Url: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2023/research-configurations-some-locating-acoustic-system-geospatial-modeling-gis>.

## References

1. Zaluzhnyi V. The Commander-in-Chief of Ukraine's Armed Forces on How to Win the War // *The Economist*. – 1 Nov. 2023. – Url: <https://www.economist.com/by-invitation/2023/11/01/the-commander-in-chief-of-ukraines-armed-forces-on-how-to-win-the-war>.
2. Gailišs E. Western arms supplies to Ukraine: tanks, fighter jets and long-range rockets / E. Gailišs // Center for Security and Strategic Research, National Defense Academy of Latvia. – 2023. – May. – No. 4/23. Url: [www.naa.mil.lv](http://www.naa.mil.lv).
3. Krzystofowicz R. Fusion of Detection Probabilities and Comparison of Multisensor Systems / R. Krzystofowicz, D. Long // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. – 1990. – Vol. 20. – No. 3. – P. 665–677. – Url: <https://doi.org/10.1109/21.57281>.
4. Kuharskiy I. Using remote sensing and GIS to create objects geodatabase intelligence / O. Atrasevich, V. Shumeyko, etc. // *Systems of Arms and Military Equipment*. – 2013. – No. 2 (34). – P. 111–113.
5. Hariiri R.H., Fredericks E.M., Bowers K.M. Uncertainty in big data analytics: survey, opportunities, and challenges. *Journal of Big Data*. – 2019. – Vol. 6. – No. 44. – Url: <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0206-3>.
6. Kondrus A. Application of «Big Data» technologies for storage, processing and analysis of data in the process of army management / A. Kondrus, D. Balan, etc. // *Communication, informatization and cybersecurity systems and technologies*. – 2023. – No. 3. – P. 41–47. – Url: <https://doi.org/10.58254/viti.3.2023.05.41>.



7. Potapov H. Interactive knowledge base on monitoring the account and condition of samples of weapons and military equipment from foreign countries that come to Ukraine / H. Potapov, O. Kovbasiuk, etc. // *Weapons and Military Equipment*. – 2022. – No. 2(34). – P. 99–107. – Url: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2\(34\).41-52](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2(34).41-52).
8. Aroslankin A. Neural network model for forecasting vessel movement parameters in the system for forming the surface situation of the near sea area / H. Shapiro, I. Husak, etc. // *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*. – 2021. – No. 3(69). – P. 116–107. – Url: <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.15>.
9. Kovbasyuk S. An approach to forming a prior dataset of neural network for processing digital aerial photos / S. Kovbasyuk, L. Naumchak, etc. // *Problems of Construction, Testing, Application and Operation of Complex Information Systems*. – 2022. – No. 23. – P. 77–87. – Url: <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2022.23.06>.
10. Komarov V. Methodological approach to identification of monitoring objects / V. Komarov, O. Iliashov, V. Oleksiuk // *Kibernetika i sistemnyj analiz*. – 2022. – Vol. 58. – No. 5. – P. 179–188.
11. Slyusar V. Methods of building neuronal networks for the identification of weapons and military equipment / V. Slyusar, M. Protchenko, O. Dokuchaiev // *Weapons and Military Equipment*. – 2022. – No. 2(34). – P. 99–107. – Url: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2\(34\).99-107](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.2(34).99-107).
12. Hu C. Navigating uncertainty in weapon system-of-systems planning: a hybrid multiobjective network-based optimization and fuzzy set approach / C. Hu, X. Wang, M. Li, and J. Jiang // *Int J of computational intelligence systems*. – 2023. – No. 16 (136). – 21 pgs. – Url: <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00313-7>.
13. Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Systems and Software Engineering. *Systems Engineering Guide for Systems of Systems, V. 1.0*. Washington, DC: ODUSD(A&T)SSE. – 2008.
14. Polishchuk O. Models and methods of complex evaluation of complex network and hierarchically network systems / O. Polishchuk // *Dissertation abstract for Technical Sciences Doctor Degree, specialty 01.05.04 – system analysis and theory of optimal decisions*. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021. – Url: <https://arxiv.org/pdf/2104.13852>.
15. Tymchuk V. The decomposition of the deep learning machine for specialized datasets for time minimizing of spatial information processing / V. Tymchuk, V. Lytvyn, O. Perekuda // *Military technical collection*. 2023. – No. 28. – P. 60–68. – Doi: 10.33577/2312-4458.28.2023.60-68.
16. Tymchuk V. The systematic review of variety of military, weapon, combat and warfare system-of-systems with their new classification and ontology depiction for further concept and design development for ZSU / V. Tymchuk, V. Trysnyuk // *Military Science*. – 2024. – Vol. 2, No. 1. – Url: <https://themilitaryscience.com/index.php/journal/issue/view/2/3>.
17. Tymchuk V. An approach to the meteorological data analysis and prediction for the trained model for the meteorological station: human failures in systems of systems designing / V. Tymchuk // *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. – 2023. – Vol. 1. – No. 5 (325). – P. 235–239.
18. Tymchuk V. The research of the configurations in some locating acoustic system for geospatial modeling in GIS to increase the coordinate accuracy / V. Tymchuk, O. Mediakov, A. Poliakov, O. Popov // *Int Conf “GeoTerrace-2023” (2–4 Oct. 2023, Lviv, Ukraine)*. – Url: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2023/research-configurations-some-locating-acoustic-system-geospatial-modeling-gis>.