

Бондаренко В. О.

(0000-0002-0957-6458)

Командно-штабний інститут застосування військ (сил) Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ

Методичний підхід до визначення доцільної кількості ознак моніторингу для ідентифікації стану об'єктів розвідки

Резюме. У статті розглянуто протиріччя між фактом розпізнаванням об'єктів розвідки під час ведення моніторингу обстановки та часом ідентифікації об'єкта спостереження за результатом оброблення великої кількості ознак функціонування об'єктів розвідки. Запропоновано методичний підхід визначення доцільної кількості ознак моніторингу для ідентифікації стану об'єкта розвідки.

Ключові слова: розпізнавання; ідентифікація; об'єкти розвідки; ознаки моніторингу; стан об'єкта розвідки.

Постановка проблеми. На сьогодні в інтересах забезпечення національної безпеки і оборони держави, застосування військ (сил) в операції Об'єднаних сил здійснюється комплекс заходів з викриття та спостереження за угрупованням військ противника, за допомогою ведення розвідки за функціонуванням об'єктів розвідки через викриття стану їх систем управління і зв'язку. Система управління і зв'язку об'єктів розвідки (ОР) являє собою складну ієрархічну структуру. Досвід ведення розвідки в кризовому регіоні Донецької та Луганської областей вказує на те, що кількість джерел розвідки, які є складовими цієї системи перевищує кількість сил та засобів моніторингу, які є в наявності. Для розпізнавання та ідентифікації режиму функціонування джерел моніторингу необхідно вибрати такі джерела корисність яких найбільша. Зі збільшенням кількості ознак імовірність ідентифікації режиму, функціонування джерел моніторингу збільшується, але це справедливо тільки за відносно невеликій кількості ознак [1].

Виділення інформативних ознак у реальній оперативній обстановці є складним завданням, оскільки набір ознак може бути дуже великим, а самі ознаки некорельовані між собою. Нагальним є завдання відбору й виділення групи найбільш інформативних ознак, що підвищить ймовірність правильного розпізнавання джерел або об'єктів розвідки та буде максимальною або достатньою для прийняття рішення щодо їхнього стану [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [4] розглядаються методики розпізнавання систем, які розвідуються лише за умови, коли імовірність їх станів відома, тобто в наявності є інформація, як функціонує система управління і зв'язку ОР. У роботі [5]

розглянуто завдання оброблення інформації від різнорідних технічних засобів моніторингу. У виданні [8] запропоновано підхід до поглибленого аналізу різнотипних даних, що дає змогу побудувати багаторівневий опис об'єкта, проте не враховує невизначеність про стан об'єкта розвідки, що не дає змоги провести повноцінне оцінювання його стану. Як варіант вирішення проблеми запропоновано застосування узагальненої методики оброблення інформації на основі кластеризації територіально суміжних інформаційних джерел моніторингу та використання фреймової моделі бази знань ідентифікації ОР. Недоліками запропонованої узагальненої методики є неврахування коефіцієнта відносної значущості станів, які виникають, та нездатність працювати в умовах дефіциту обчислювальних ресурсів.

Поставлене завдання потребує розв'язання в умовах невизначеної імовірності станів ОР та розроблення методичного підходу обґрунтування доцільної кількості ознак моніторингу для ідентифікації станів ОР.

Метою статті є розробка методичного підходу обґрунтування необхідної кількості ознак моніторингу для гарантованої ідентифікації стану ОР через функціонування системи управління і зв'язку, що їх обслуговує.

Виклад основного матеріалу. Аналіз існуючих методик визначення важливості джерел моніторингу для спостереження показав, що вони дають змогу здійснювати необхідний вибір складу розвідувальної інформації загалом, але мають такі недоліки:

відсутність аналітичної моделі визначення важливості різних видів джерел моніторингу;

урахування лише одного або невеликої частини об'єктивних факторів, що впливають на процес вибору джерел моніторингу для спостереження;

використання методик лише в умовах повної визначеності апріорної інформації щодо джерел моніторингу та режимів їх функціонування;

залежність визначення важливості джерел моніторингу від суб'єктивного досвіду та професійної підготовки особи, яка приймає рішення (необхідність урахування емпіричного коефіцієнта важливості);

неможливість динамічної зміни обраних джерел моніторингу у разі зміни умов обстановки.

Отже з [3, 4] відомо, що зі збільшенням кількості ознак, які характеризують ОР збільшуються час необхідний для його ідентифікації та інші затрати, насамперед, апаратні, внаслідок чого знижується оперативність процесу розпізнання.

Постановка задачі. Позначимо множину можливих станів системи управління і зв'язку ОР, де $x_1, x_2, \dots, x_n \in X$ – можливі стани, які може приймати ОР. Зазначимо, що з погляду питання, яке розглядається, розуміння стану ОР та режим функціонування системи управління і зв'язку ОР збігаються. Отже необхідно обґрунтувати доцільну кількість ознак моніторингу для гарантованої ідентифікації стану СУ.

Для вирішення питання щодо визначення міри інформативності ознак моніторингу і мінімізації їх простору використано положення теорії інформації К. Шеннона [9].

Довідка. Ентропія Шеннона дискретної випадкової величини X , яка може набувати значень x_1, x_2, \dots, x_l , дорівнює:

$$H(X) = E[\Psi(X)] = -\sum_{i=1}^l p(x_i) \cdot \log p(x_i), \quad (1)$$

де $\Psi(X)$ – інформаційний зміст або інформація, яка міститься в X ;

$p(x_i) = P(X = x_i)$ – ймовірність i -го значення X .

Система управління і зв'язку ОР визначається множиною ознак моніторингу Y , де $y_1, y_2, \dots, y_m \in Y$ – викриті ознаки ОР. Очевидно, що множина станів об'єкта ОР X та множина ознак Y у загальному випадку залежні. Позначимо $P(y_j|x_i)$ умовну ймовірність того, що множина ознак Y прийме значення y_j за умови, що ОР знаходиться в стані x_i .

Визначимо умовну ентропію Y за умови, що об'єкт прийняв стан x_i [3]:

$$H(Y|x_i) = -\sum_{j=1}^m P(y_j|x_i) \log P(y_j|x_i). \quad (2)$$

Об'єднаємо об'єкт X та множини ознак моніторингу Y у складну систему (X, Y) .

Визначимо повну умовну ентропію $H(Y|X)$ складної системи (X, Y) :

$$H(Y|X) = \sum_{i=1}^n p_i P(Y|x_i), \quad (3)$$

де p_i – ймовірність відповідного стану об'єкта X .

Ураховуючи (2), формулу (3) можна представити у вигляді [3]:

$$H(Y|X) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i P(y_j|x_i) \log P(y_j|x_i). \quad (4)$$

За теоремою множення ймовірностей $p_i P(y_j|x_i) = P_{ij}$, відповідно,

$$H(Y|X) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \log P(y_j|x_i). \quad (5)$$

Відповідно [3], повна умовна ентропія дорівнює повній взаємній інформації $H(Y|X) = I_{Y \leftrightarrow X}$, тоді спираючись на (5)

можна визначити $I_{Y \leftrightarrow X}$:

$$I_{Y \leftrightarrow X} = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \log P(y_j|x_i). \quad (6)$$

Задамо ймовірності станів складної системи (X, Y) (Табл. 1).

Таблиця 1

Матриця ймовірностей станів складної системи

$x_i \backslash y_j$	x_i	x_2	.....	x_n
y_1	P_{11}	P_{21}	.....	P_{n1}
y_2	P_{12}	P_{22}	.....	P_{n2}
...
y_m	P_{1m}	P_{2m}	.....	P_{nm}
P_i	$\sum_{j=1}^m P_{1j}$	$\sum_{j=1}^m P_{2j}$	.....	$\sum_{j=1}^m P_{nj}$

Додаючи ймовірності складної системи $(X, Y) P_{ij}$ за стовпчиками, отримуємо ймовірності $p_i = P(X \sim x_i)$ станів об'єкта моніторингу за ознаками моніторингу.

Здійснивши операцію ділення $\frac{P_{ij}}{P_i}$, отримаємо таблицю умовних ймовірностей $P(y_j|x_i)$:

Таблиця 2

Матриця умовних ймовірностей

$x_i \backslash y_j$	x_i	x_2	.....	x_n
y_1	$P(y_1|x_1)$	$P(y_1|x_2)$	.....	$P(y_1|x_n)$
y_2	$P(y_2|x_1)$	$P(y_2|x_2)$	.....	$P(y_2|x_n)$
...
y_m	$P(y_m|x_1)$	$P(y_m|x_2)$	.....	$P(y_m|x_n)$

Далі за формулою (6) розраховується $I_{Y \leftrightarrow X}$.

Під час розв'язання поставленої задачі основною складністю є розрахунок умовних ймовірностей $P(y_j|x_i)$. Розв'язання поставленої задачі щодо розрахунку умовної ймовірності ідентифікації об'єктів, які спостерігаються за ознаками моніторингу, можливе на основі статистичного аналізу прояву ознак за конкретним об'єктом моніторингу. У разі відсутності статистичних даних необхідних для розрахунку доцільним є введення таких обмежень:

ознаки моніторингу y_1, y_2, \dots, y_m є рівноважливими між собою при $1 \leq m < \infty$; ймовірності переходу об'єкта X в один зі станів x_1, x_2, \dots, x_n рівні, тобто

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{1}{n}.$$

Наслідком введених обмежень є рівність ймовірності станів системи (X, Y) та умовних ймовірностей $P(y_j|x_i)$ при $j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$.

Ураховуючи викладені обмеження (6) приймає вигляд [9]

$$I_{Y \leftrightarrow X} = -n \frac{1}{m} \log \frac{1}{m}. \quad (7)$$

Розв'яжемо цю задачу, враховуючи введені обмеження за умови, що об'єкт X може приймати одне з 3 рівноймовірних станів ($n = 3$).

1-й крок. Користуючись формулою (7) знайдемо залежність кількості інформації $I_{Y \leftrightarrow X}$ від кількості ознак m , цю залежність графічно зображено на рис. 1.

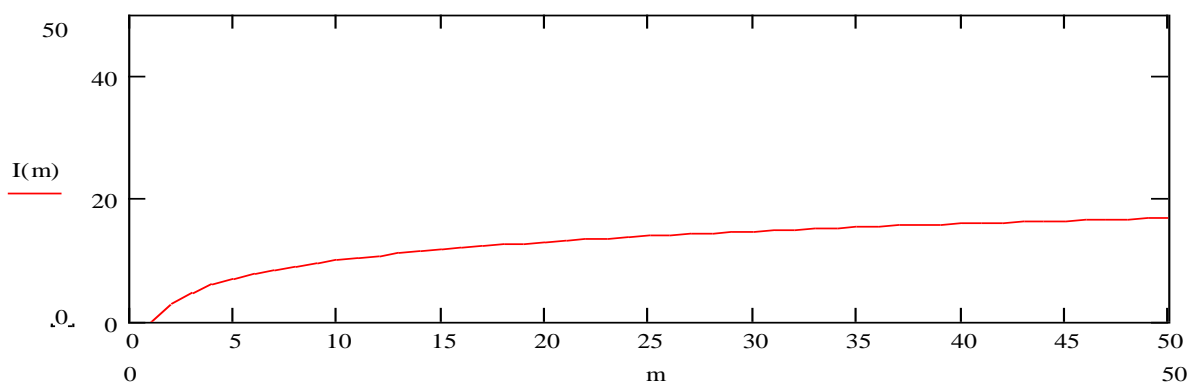


Рис. 1. Графічна залежність $I_{Y \leftrightarrow X}$ від m при $n=3$

З аналізу графіку видно, що зі зростанням кількості ознак моніторингу ($m > 5$) приріст інформативності стає незначним. Отже наступним кроком є визначення залежності приросту

інформативності $\Delta I_{Y \leftrightarrow X}$ від кількості ознак m . Цю залежність графічно зображено на рис. 2. 2-й крок. Визначення залежності приросту інформативності $\Delta I_{Y \leftrightarrow X}$ від кількості ознак m .

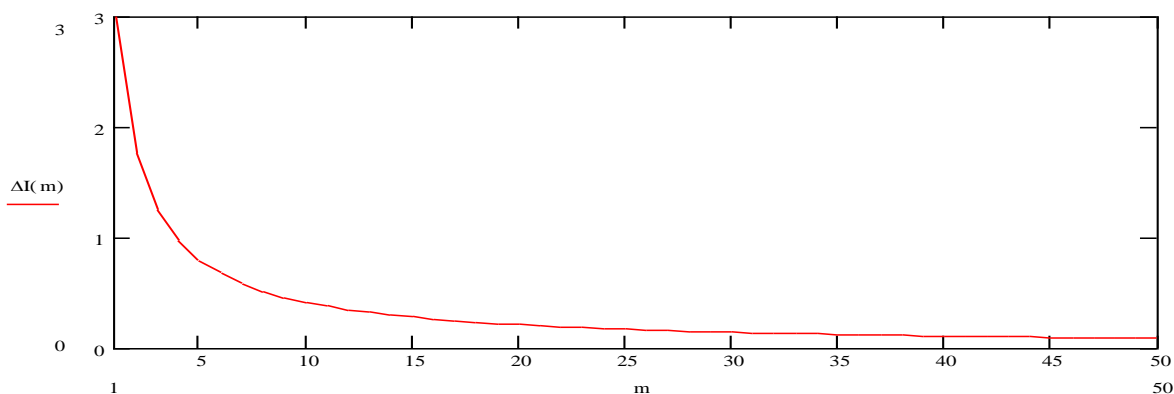


Рис. 2. Графічна залежність $\Delta I_{Y \leftrightarrow X}$ від m при $n=3$

3-й крок. Здійснивши приведення до одного масштабу, сумістимо графіки рис. 1 та рис. 2.

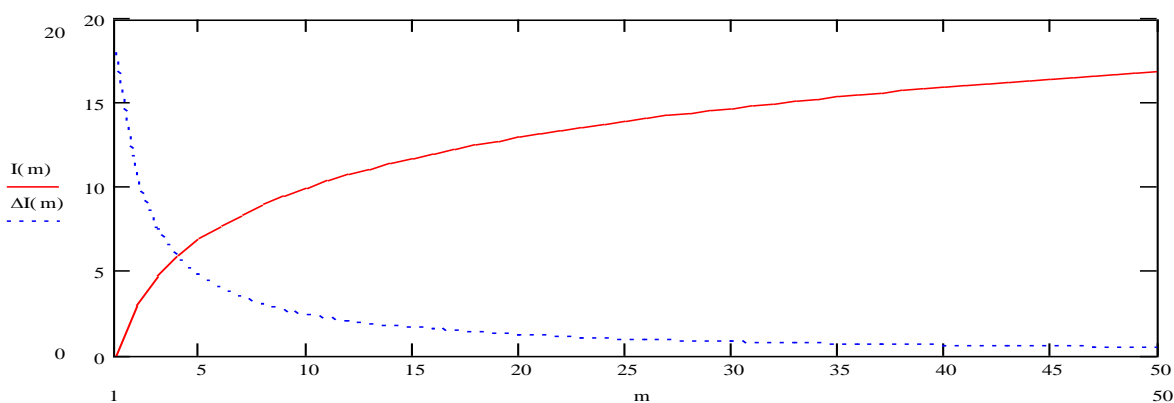


Рис. 3. Сумісна залежність $I_{Y \leftrightarrow X}$ та $\Delta I_{Y \leftrightarrow X}$ від m при $n=3$

З аналізу графіків, які зображені на рис. 3 виходить, що раціональна кількість ознак, необхідних для гарантованого розпізнання об'єкта розвідки, що досліджується, знаходиться в околі точки перетину графіків. Отже, для гарантованого розпізнання об'єкта розвідки, який може приймати одне з трьох рівноймовірних станів

достатньо порядку 4-6 розвідувальних ознак.

Висновки. Під час проведених досліджень розроблено методичний підхід обґрунтування необхідної кількості розвідувальних ознак для гарантованого розпізнання стану об'єкта розвідки за умови, що ознаки є рівноважливими та ймовірності переходів об'єкта розвідки зі стану в стан –

рівні. Отримані результати дають змогу застосовувати розроблену методіку з урахуванням висунутих обмежень.

Перспективи подальших досліджень.

Результати проведених досліджень надалі планується застосовувати під час розроблення методіки визначення пріоритетів ознак моніторингу та інформаційної системи оцінювання обстановки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калашніков Є. М., Гаценко С. С., Шишацький А. В. Аналіз характеру сучасних воєнних конфліктів *Challenges of hybrid war: information dimension*: conference proceedings : International scientific and practical conference (Vilnius, August 16–17, 2019). Vilnius, 2019. P. 24–27.
2. Koshlan O. A. Justification of method of processing different intelligence information in geoinformation systems of special purpose. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*. 2018. No. 3 (32). P. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.32.09>.
3. Аксенов Г. Н., Рубцов В. С., Радковец Ю. И. Оперативно-информационная подготовка. Информационное моделирование системы радио- и радиотехнической разведки фронта : учебн. пособ. Киев : КВИРТУ ПВО, 1987. 72 с.
4. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. Москва : Радио и связь, 1984. 288 с.
5. Koshlan A., Salnikova O., Chekhovska M., Zhyvotovskyi R., Prokopenko Ye., Hurskyi T., Yefymenko O., Kalashnikov Ye., Petruk S., Shyshatskyi A. DevelopmeCt of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*. Kharkiv, 2019. No. 5/9 (101). С. 35–45.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Издание четвертое стереотипное. Москва : Наука, 1969. 567 с.
7. Noh B., Son J., Park H. and Chang S. In-Depth Analysis of Energy Efficiency Related Factors in Commercial Buildings Using Data Cube and Association Rule Mining. *Sustainability*. 2119. No. 9(11). P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9112119>.
8. Tymchuk S. (2017). Metodyka kompleksnoyi obrobky informatsiyi vid tekhnichnykh zasobiv monitorynhu. *Traektoriâ Nauki. Path of Science*. 3. 3. 4.1–4.9. DOI: 10.22178/pos.20-4.
9. Энтропия (в теории информации) URL: <https://science.fandom.com/ru/wiki/?action=edit>. (дата звернення: 14.10.2021).

Стаття надійшла до редакції 21.11.2021

Methodical approach to determining the appropriate number of monitoring features to identify the status of intelligence objects

Annotation

Currently, in the interests of National Security and Defense of Ukraine, the use of troops (forces) in the Joint Forces operation is a set of measures to detect and monitor groups of enemy troops, by conducting reconnaissance of intelligence facilities by exposing the state of their control systems and communication. Identifying important features in a real operational environment is a difficult task due to the huge number of these features and the lack of correlation between some of them. The main task is to select and select a group of the most informative features that will increase the likelihood of correct identification of sources or objects of intelligence and will be the maximum and sufficient to decide on their condition.

The aim of the article is to develop a methodological approach to substantiate the required number of monitoring features to ensure the identification of the state of intelligence objects through the functioning of the management system and communications that serve them.

An analysis of existing methods for determining the importance of monitoring sources for surveillance has shown that, in general, they allow the necessary choice of the composition of intelligence in general, but have the following disadvantages:

taking into account only one or a small part of the objective factors influencing the process of selecting sources of monitoring for observation;

the dependence of determining the importance of sources of monitoring on the subjective experience and training of the decision-maker (the need to take into account the empirical coefficient of importance);

impossibility of dynamic change of the chosen sources of monitoring at change of conditions of a situation.

In the course of research, a methodological approach was developed to substantiate the required number of intelligence features for guaranteed recognition of the state of the intelligence object, provided that the signs are equally important and the probability of transition of the intelligence object from state to state.

Keywords: recognition; identification; reconnaissance objects; signs of monitoring; state of the reconnaissance object.