

УДК 621.396

О.О. Бондаренко

Військова академія (м. Одеса), Україна

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ГРУПОВИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті пропонується математична модель оцінки кількісних показників якості радіолокаційного розпізнавання класів групових об'єктів, яка відрізняється від відомих урахуванням можливості отримання ознак розпізнавання лише для частки одиниць групових об'єктів за термін спостереження. В моделі реалізовані два алгоритми розпізнавання: кореляційний та ідеального спостерігача. Приводяться результати математичного моделювання процесу радіолокаційного розпізнавання групових об'єктів. Практичне значення моделі полягає в тому, що вона може бути використана при обґрунтуванні вибору алгоритмів розпізнавання і вимог до існуючих та перспективних радіолокаційних станцій (РЛС) розвідки, відносно якості розпізнавання групових об'єктів.

Ключові слова: *розпізнавання, групові об'єкти, кореляційний, ідеальний спостерігач, оцінка ефективності, кількісні показники.*

Постановка проблеми

Розпізнавання групових об'єктів є важливою науково-технічною задачею.

Прикладами групових об'єктів можуть бути колони наземної техніки, порядок кораблів, бойові порядки авіації.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Проблемам розпізнавання групових об'єктів присвячені роботи [1, 2], в яких розпізнавання класу групового об'єкту виконується з метою уточнення класів одиничних об'єктів у його складі шляхом однокрокової адаптації.

У цих роботах наводяться два методи оцінки складу груп об'єктів. Один з них заснований на безпосередній оцінці ймовірностей визначення класів одиничних об'єктів, а другий урахує оцінку, засновану на розрахунку апостеріорного розподілу ймовірностей появи одиничних об'єктів певних класів. При цьому випадок апріорного знання можливих варіантів кількісного розподілу одиничних об'єктів різного виду у складі групових об'єктів в залежності від їх призначення не розглядався. В той же час такий випадок має практичне значення при визначенні належності невідомого об'єкту до одного із апріорно відомих класів групових об'єктів.

Постановка задачі та її розв'язання

Задачею статті є математичне моделювання процесу радіолокаційного розпізнавання з метою одержання кількісних оцінок якості розпізнавання класів групових об'єктів.

Об'єктом дослідження в статті є процес радіолокаційного розпізнавання групових об'єктів.

Предметом дослідження є математична модель процесу радіолокаційного розпізнавання.

Наукова задача статті полягає в розробці математичної моделі оцінки ефективності радіолокаційного розпізнавання групових об'єктів і в одержанні його кількісних показників.

Метою статті є обґрунтування вимог щодо якості радіолокаційного розпізнавання групових об'єктів на основі статистичного моделювання процесу розпізнавання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Для вирішення наукової задачі і досягнення поставленої мети в статті вирішуються наступні задачі:

пропонується модель групового об'єкта, як об'єкта радіолокаційного розпізнавання;
розробляється математична модель процесу радіолокаційного розпізнавання групового об'єкта;
пропонується алгоритми розпізнавання групового об'єкта: кореляційний та за правилом ідеального спостерігача, і проводиться оцінка їх ефективності методом статистичного моделювання.

Перераховані вище задачі вирішуються методами статистичної теорії розпізнавання образів, математичної статистики, а також методом математичного моделювання з використанням ЕОМ.

Загальна кількість класів групових об'єктів, що розпізнаються, приймається рівною M . Кожний j -й клас групового об'єкта містить K_j одиничних об'єктів розпізнавання, що у загальному випадку належать до N різних класів, тобто

$$K_j = \sum_{i=1}^N n_{ji},$$

де n_{ji} - кількість одиничних об'єктів i -го класу в складі j -го класу групових об'єктів.

Приклад розподілу n_{ji} по класах одиничних і групових об'єктів, який використовувався при математичному моделюванні, представлений у табл.1.

Таблиця 1

Розподіл кількості одиничних об'єктів по класах групових об'єктів.

$j \ i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	K_j
1	-	58	10	-	6	14	-	-	-	-	-	114	202
2	58	6	5	-	6	-	-	-	-	-	-	89	164
3	-	-	10	18	-	-	-	-	-	13	12	90	143
4	-	-	-	-	-	-	24	24	30	-	-	-	78
5	27	41	7	-	6	-	-	-	-	-	-	-	81

В цьому прикладі групові об'єкти відрізняються за кількістю в них одиничних об'єктів. Ця ознака не може бути надійною при визначенні класу групового об'єкта, оскільки на практиці мають місце випадки спостереження лише частки одиничних об'єктів. У цьому випадку рішення про належність групового об'єкта до певного класу більш надійно приймати за відносним кількісним розподілом одиничних об'єктів у складі групових об'єктів. Як видно із табл. 1, відносний кількісний склад одиничних об'єктів j -х класів відрізняється між собою.

Вважаємо, що РЛС має таку роздільну здатність, яка забезпечує розрізнення усіх одиничних об'єктів у складі групи i , крім того, дозволяє вимірювати довжину одиничних об'єктів. У реальних умовах радіолокаційного спостереження, внаслідок різних причин (умов розповсюдження радіохвиль, вплив перешкод природного і штучного походження і т.д.), можливе спостереження тільки частини групового об'єкта. Така ситуація, безумовно, позначиться на показниках якості розпізнавання групових об'єктів, що й досліджується на представленому прикладі у статті.

Прийемо також, що подія появи групового об'єкта будь-якого j -го класу в зоні розвідки РЛС є рівноімовірною закону $P(A_j) = \frac{1}{M}$.

Апріорна імовірність появи $P_{ji} = n_{ji}/K_j$ - об'єкта i -го типу в складі j -го класу вважається відомою (табл. 1).

Як індивідуальну ознаку розпізнавання одиничного об'єкта вважаємо його лінійну довжину l_i ,

що визначається (вимірюється) РЛС. Вимір параметра l здійснюється з помилками, які через вплив сукупності різних технічних причин вважаються розподіленими за нормальним законом $N_i \sim (l_i, \sigma^2)$. На підставі таких припущень еталонна щільність ймовірностей для групового об'єкту j -го класу матиме вигляд

$$f_j(l) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma \cdot K_j} \sum_{i=1}^N n_{ji} \exp\left[-\frac{(l-l_i)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Графіки еталонних щільностей ймовірностей, що відповідають даним табл. 1, при $\sigma = 0,5$ м приведені на рис. 1.

Представлені криві нагадують радіолокаційні дальнісні портрети (РЛДП). Розпізнавання цілей по РЛДП досить успішно здійснюється кореляційними методами [3]. Виходячи з цієї аналогії, пропонується рішення про приналежність групового об'єкту до певного класу m приймати за максимумом кореляційної суми

$$m = \arg \max_j (a_e^T \cdot b), \quad (1)$$

де \vec{a}_e – вектор відліків еталону, які є нормованими за енергією, $\vec{b}^T = (b_1 \ b_2 \ \dots \ b_L)$ – вектор відліків розрахункової гістограми (L – кількість відліків у вікні спостереження).

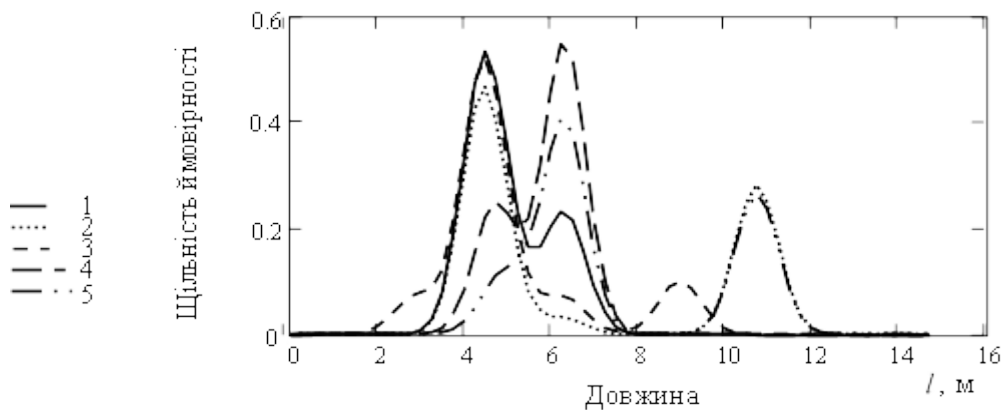


Рис. 1 - Еталонні щільності ймовірності розподілу довжини одиничних об'єктів.

Другий алгоритм розпізнавання, що досліджувався, використовував правило ідеального спостереження [1, 2], яке при $P(A_j) = 1/M$, має вигляд

$$m = \arg \max_j [f_j(\vec{l})], \quad (2)$$

де $\vec{l}^T = (l_1 \ l_2 \ \dots \ l_D)$ – вектор поточних значень вимірювання довжин одиничних об'єктів (D – кількість одиниць об'єктів зі складу групового об'єкта, що будуть обслуговані),

$f_j(\vec{l}) = \prod_{n=1}^D f_j(l_n)$ – за умовою незалежних вимірювань довжин одиничних об'єктів.

В результаті математичного моделювання отримані розрахункові гістограми розподілу кількості одиничних об'єктів по класах. При побудові гістограм дискретність відліків по дальності складала 0,25 м, що відповідає умовам теореми Котельникова, оскільки роздільна здатність РЛС за дальністю задавалася рівною 0,5 м.

Значення величини D залежить від ряду факторів: часу спостереження групового об'єкта в зоні радіолокаційної розвідки; часу вимірювання ознаки розпізнавання одиничного об'єкту; терміну перебування групового об'єкту у зоні розвідки.

Наприклад, для групових об'єктів типу колон техніки при швидкості пересування V_j , час їх спостереження при перетинанні смуги шириною r_s груповим об'єктом j -го класу довжиною lk_j , визначається формулою

$$T_{nep j} = \frac{lk_j + r_s}{V_j}. \quad (3)$$

Час, необхідний для визначення ознаки розпізнавання (узяття на супровід у вікні дальності і вимір параметра l_i) одиничного об'єкту $t_{роз1}$, визначає кількість одиниць, що будуть обслуговані за час $T_{nep j}$.

При отриманому часі перебування групового об'єкту в смузі спостереження $T_{nep j}$, необхідний термін визначення ознаки розпізнавання для частки dn_{jp} одиничних об'єктів зі складу групового об'єкту j -го класу складе

$$t_{роз1j} = \frac{T_{nep j}}{K_j \cdot dn_{jp}}. \quad (4)$$

При моделюванні припускаються різні значення частки одиничних об'єктів, що будуть обслуговані. Якщо ця частка була меншою за одиницю, то вибір одиничних об'єктів, що обслуговуються, виконувався випадковим чином відповідно до рівномірного розподілу з урахуванням відносної кількості тих або інших одиничних об'єктів у складі групових. Для цього датчиком випадкових чисел формувалася послідовність із D чисел в інтервалі від 0 до K_j . Потім інтервал $[0, K_j]$ поділявся на відрізки, що були пропорційні по довжині кількості одиниць об'єктів відповідного типу. В залежності від кількості чисел із D , що потрапили у визначені інтервали, обиралася кількість об'єктів відповідного i -го типу, вимірювання довжини яких буде імітовано за нормальним законом розподілу N_i .

Приклади розрахункових гістограм розподілу кількості одиничних об'єктів по результатам імітації виміру їх довжини по виборці з 32 об'єктів для 1-го класу ($j = 1$) і для 2-го класу ($j = 2$) представлені на рис. 2.

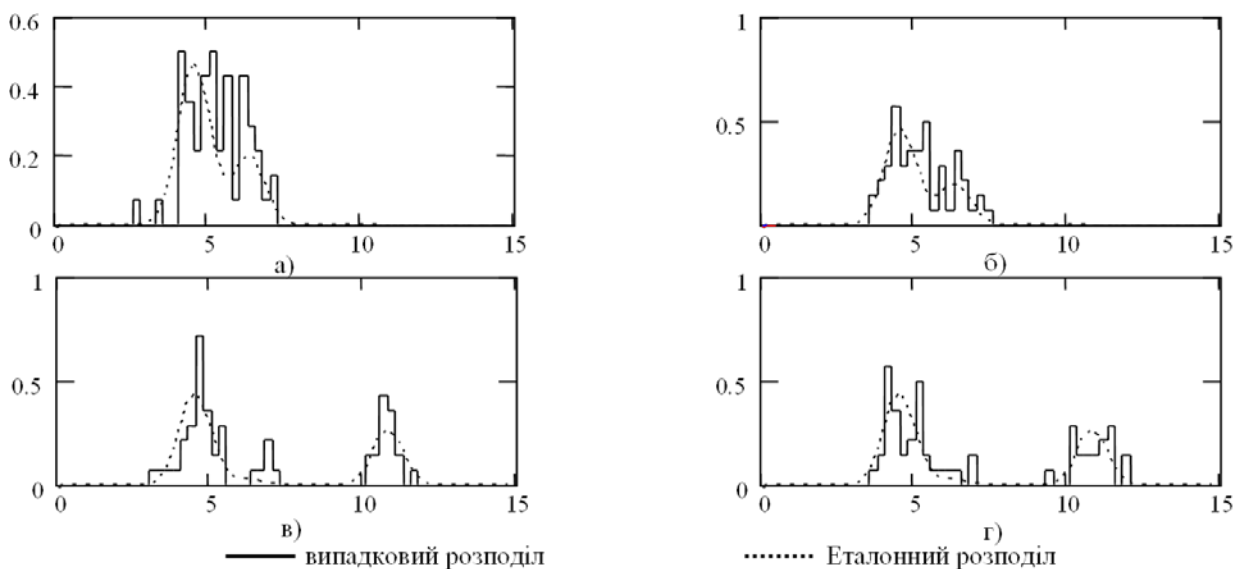


Рис. 2 - Розрахункові гістограми випадкового розподілу кількостей об'єктів за довжиною у порівнянні з еталонним: а, б - 1-й клас; в, г - 2-й клас.

На рис. 3 приведені графіки умовної ймовірності правильного розпізнавання п'яти класів групових об'єктів в залежності від частки обслугованих одиничних об'єктів отримані при застосуванні для розпізнавання алгоритмів (1) та (2).

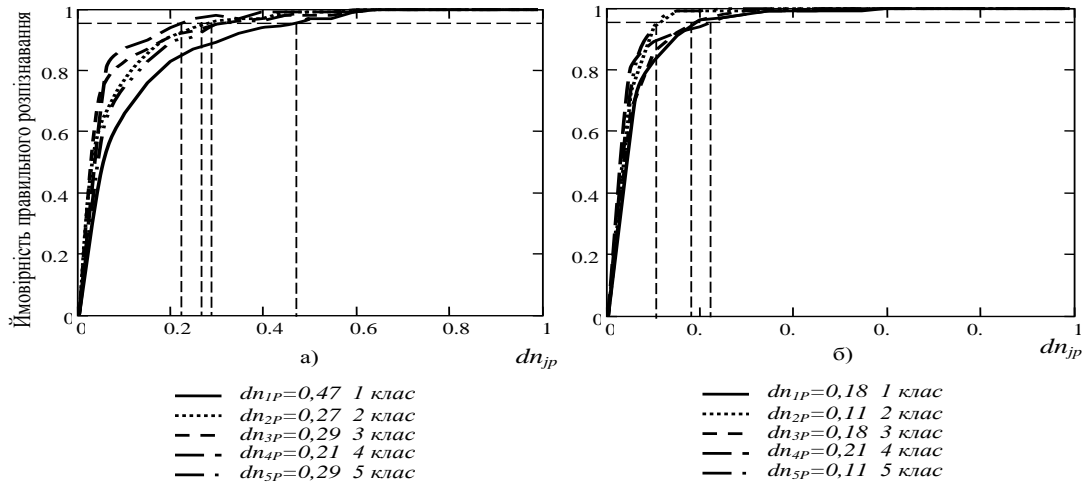


Рис. 3 – Умовна ймовірність правильного розпізнавання класів групових об'єктів в залежності від частки обслуговуваних об'єктів а) за алгоритмом (1), б) за алгоритмом (2).

Для конкретного значення долі обслугованих об'єктів умовна ймовірність розпізнавання обчислювалась по $H=1000$ реалізаціям з розпізнавання класу групового об'єкту. При цьому, відносна середньоквадратична похибка визначення ймовірності за частотою здійснення події [4] $\sigma\{\tilde{P}\}/P = \sqrt{(1-P)/(H \cdot P)}$, де \tilde{P} – частота здійснення події та P – її дійсна ймовірність. Для $P = 0,95$, відносна похибка складає $\sigma\{\tilde{P}\}/P = 0,72\%$.

За отриманими розрахунковими залежностями (рис. 3 а, б) для обраної сукупності класів групових об'єктів при $P = 0,95$ відповідно до (3) та (4) отримаємо потрібний час для розпізнавання одиничного об'єкту в секундах $t_{роз1j} = \{13,9; 29,8; 31,8; 80,5; 56,14\}$ (рис. 3, а), $t_{роз1j} = \{36,3; 73,1; 51,23; 80,5; 148\}$ (рис. 3, б), при $V_j = V = 30$ км, $r_s = 4$ км, $lk_j = lk = 7$ км. Найменший час із цієї сукупності, без урахування витрат часу на розпізнавання класу групового об'єкту, визначатиме вимогу до терміну обслуговування одного об'єкта (узяття на супроводження у вікно спостереження і вимірювання довжини) при заданих умовах спостереження і тактико-технічних характеристиках РЛС.

Як видно з рис. 3, б, для випадку розпізнавання за алгоритмом (2), достатньо провести визначення ознаки розпізнавання лише 15 - 20 % одиничних об'єктів з групи, щоб з ймовірністю 0,95 прийняти рішення про належність групового об'єкта до певного класу. При тих же умовах розпізнавання за алгоритмом (1) дає значення долі одиничних об'єктів близько 40 - 45 % з групи (рис. 3, а).

Висновки

Розроблена математична модель групового об'єкта, як об'єкта радіолокаційного розпізнавання, за допомогою якої отримана математична модель процесу радіолокаційного розпізнавання. З метою порівняння результатів використовувалися два алгоритми – кореляційний та ідеального спостерігача. Отримані кількісні показники якості розпізнавання груп об'єктів.

Проведена оцінка двох алгоритмів дає змогу зробити висновок, що правило ідеального спостерігача, при однакових умовах розпізнавання, працює краще, ніж кореляційний алгоритм. Як видно з рис. 3, при використанні лише одної ознаки одиничного об'єкту (у даному випадку довжини) достатньо 15 - 20 % об'єктів із складу групи, щоб з ймовірністю 0,95 прийняти рішення про належність її до певного класу.

Перспективи подальших досліджень.

Результат розпізнавання класу групового об'єкту може бути у подальшому використаний як апіорна інформація в алгоритмах розпізнавання окремих одиничних об'єктів із його складу, як це, наприклад, пропонується у [1, 2].

Представлена математична модель та отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні вимог до існуючих та перспективних РЛС щодо якості розпізнавання групових об'єктів.

Список використаних джерел

1. Барабаш Ю. Л. Коллективные статистические решения при распознавании / Ю. Л. Барабаш. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
2. Горелик А. Л. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А. Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О. В. Кривошеев, С. С. Эпштейн / Под ред. А. Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
3. Ширман Я. Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я. Д. Ширман, С. А. Горшков, С. П. Леценко, Г. Д. Братченко, В. М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – №11. – С. 3–63.
4. Леонов А. И. Моделирование в радиолокации / А. И. Леонов, В. Н. Васильев, Ю. И. Гайдуков и др. / Под ред. А. И. Леонова. – М.: Сов. радио, 1979. – 264 с.

Рецензент: А.А. Гончарук, к.т.н., с.н.с., Військова академія (м. Одеса)

РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ГРУППОВЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Бондаренко

В статье предлагается математическая модель оценки количественных показателей качества радиолокационного распознавания классов групповых объектов, которая отличается от известных учетом возможности получения признаков распознавания лишь для частицы единиц групповых объектов за время наблюдения. В модели реализованы два алгоритма распознавания: корреляционный и идеального наблюдателя. Приводятся результаты математического моделирования процесса радиолокационного распознавания групповых объектов. Практическое значение модели заключается в том, что она может быть использована при обосновании выбора алгоритмов распознавания и требований к существующим и перспективным радиолокационным станциям (РЛС) разведки, относительно качества распознавания групповых объектов.

Ключевые слова: *распознавание, групповые объекты, корреляционный, идеальный наблюдатель, оценка эффективности, количественные показатели.*

RESULTS OF MATHEMATICAL MODELLING OF PROCESS OF RADAR RECOGNITION OF GROUP OBJECTS

O. Bondarenko

In article the mathematical model of an assessment of quantitative indices of quality of radar recognition of classes of group objects which differs from recognition signs known for the accounting of possibility of receiving only for a particle of units of group objects in time to supervision is offered. In model the realized two algorithms of recognition: correlation and ideal observer. Results of mathematical modeling of process of radar recognition of group objects are given. Practical value of model is that it can be used at justification of a choice of algorithms of recognition and requirements to the existing and perspective radar stations (RLS) of reconnaissance, concerning quality of recognition of group objects.

Keywords: *recognition, group objects, correlation, ideal observer, efficiency assessment, quantitative indices.*