

**Analysis of usage prospects of different types of movers of the vehicles and special machinery**

S. Stukota, V. Kohan

*In the article there is presented generalized data analysis of using the different types of vehicle movers and movers of special surface transport of the batch production, as well as of the pilot production by world leading engineering countries and amateur researchers. The main criterion for evaluating the current state of development of the mover is the prevalence of its use in a variety of samples of ground equipment.*

*By methods of comparative analysis and structural synthesis of the studied sample of vehicles and machinery, the arrangement of different classification movers was designed, consisting of different types and their varieties.*

*There are demonstrated main disadvantages of different types of movers and possible ways of their riddance.*

*The main criterion for evaluating the prospects of using the mover is its feasibility to provide mobility of the machinery sample, consisting of up-to-date indicators of mobility, energy autonomy and resource exploitation.*

*Based on this data, the assumption was made regarding the development and usage of movers in the coming decades.*

**Key words:** *automotive vehicle, sample of special machinery, mover, wheel, caterpillar, screw, step-walker, airbag.*

УДК 004.89

П.П. Ткачук<sup>1</sup>, В.Л. Живчук<sup>1</sup>, В.В. Литвин<sup>1</sup>, О.В. Оборська<sup>2</sup><sup>1</sup>Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка”, Львів**ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ У ЗАДАЧАХ ЦІЛЕРОЗПОДІЛУ В АСУ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ**

*У статті розглядається підхід до побудови модуля цілерозподілу в складі автоматизованої системи управління Сухопутних військ Збройних Сил України. Для отримання близького до оптимального цілерозподілу запропоновано використати генетичні алгоритми.*

**Ключові слова:** *цілерозподіл, ймовірність, математичне сподівання, селекція, схрещування, мутація.*

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій**

Цілерозподіл – це операція, що полягає в призначенні певної цілі певному вогневому засобу. Якщо в наявності декілька цілей, по яких потрібно здійснити вогневий удар, а в нашому розпорядженні є декілька вогневих одиниць (літаків, гармат, ракет), то, вирішуючи завдання цілерозподілу, ми повинні точно вказати, які засоби, в якій кількості і коли направляються на кожну із цілей, яку належить обстріляти [1-2].

Рішення по цілерозподілу являє собою типовий приклад тактичного рішення.

В умовах минулих воєн, коли бойові дії не були такими швидкоплинними, рішення з цілерозподілу зазвичай приймалося командиром на основі бойового досвіду і здорового глузду. В теперішній час такий спосіб не завжди може нас задовольнити. Нерідко зустрічаються умови бою, коли на це просто не вистачає часу (наприклад, при відбитті повітряної атаки). В таких умовах вирішення завдання цілерозподілу доводиться передавати автоматизованим системам.

Бойова обстановка може бути настільки складна, а кількість можливих варіантів настільки велика, що прийняття оптимального рішення без спеціальних розрахунків буде не під силу навіть досвідченому командирі. Щоб завдання цілерозподілу можна було передати машині, повинен бути створений алгоритм вирішення цього завдання (алгоритм цілерозподілу).

Розрізняють два варіанти задачі цілерозподілу:  
для засобів оборони;  
для засобів нападу.

Різниця їх у тому, що цілерозподіл засобів оборони здійснюється в ході самої операції (наприклад, при відбитті повітряного нальоту), умови якої наперед невідомі і залежать від противника. Цілерозподіл засобів нападу зазвичай проводиться завчасно при плануванні вогневого удару. Якщо мова йде про неповністю розвідані або часто змінювальні дислокацію цілі, чітка різниця між тим чи іншим завданням зникає.

При великій кількості цілей та вогневих засобів для їх ураження завдання цілерозподілу в повному обсязі достатньо складне і потребує врахування багатьох факторів, таких як:

дислокація засобів ураження, їх бойова готовність;

пропускна здатність каналів зв'язку;  
глибина зони, що проглядається засобами розвідки;

можливість застосування противником маневру, перешкод і т. д.

Всі ці обставини так чи інакше враховуються при складанні алгоритму цілерозподілу, який попередньо тестується на моделях бою, щоб вибрати найбільш прийнятний варіант. Як завжди, при вирішенні складних завдань дослідження операцій тут не вдається обмежитися оцінкою одного-єдиного критерію (показника) ефективності, а шукається компромісне вирішення, що задовольняє цілий ряд критеріїв.

Під час цілерозподілу потрібно так розподілити засоби ураження за цілями, щоб деякий критерій досягав максимуму. Як це зробити? Найелементарніший спосіб – це спосіб повного перебирання: перебираються всі можливі варіанти розподілу за цілями і вибирається той із них, при якому критерій оптимальності досягає максимуму. У випадку, коли цілей і засобів багато, просте перебирання всіх можливих варіантів стає складним, навіть при машинній реалізації. Виникає завдання розв'язування задачі цілерозподілу, не перебираючи всіх можливих варіантів. Запропоновано багато способів вирішення задачі цілерозподілу, які скорочують кількість перебирань (зокрема, метод лінійного програмування). Існують й інші способи. Оригінальним способом вирішення завдання цілерозподілу є метод Монте-Карло, коли гармати випадковим чином розподіляються по цілях, і із всіх розподілень вибирається найвигідніший [1-2].

Для розв'язування задачі цілерозподілу пропонується використати методи штучного інтелекту, а саме генетичні алгоритми [3]. Такі алгоритми використовуються для вирішення задач оптимізації та моделювання шляхом послідовного відбору, комбінування і варіації параметрів, які потрібно знайти, з використанням механізмів, що схожі на біологічну еволюцію.

**Постановка задачі.** Розроблення методу ефективного (близького до оптимального) цілерозподілу на основі використання генетичних алгоритмів.

## Виклад основного матеріалу

**Критерії цілерозподілу.** Нехай в нашому розпорядженні є  $n$  гармат і нам потрібно обстріляти розсосереджену групу, що складається з  $N$  цілей. Кожна гармата робить лише один постріл і може в принципі стріляти по кожній цілі, але не з однаковою ефективністю.

Ймовірність ураження  $i$ -ю гарматою  $j$ -ї цілі задана і дорівнює  $p_{ij}$ . Значення  $p_{ij}$  записані в таблиці 1.

Таблиця 1

Номер засобу $i$	Номер цілі $j$			
	1	2	...	$N$
1	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1N}$
2	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2N}$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
$n$	$p_{n1}$	$p_{n2}$		$p_{nN}$

Необхідно знайти оптимальний (найкращий) цілерозподіл, призначивши кожній гарматі певну ціль, по якій вона повинна стріляти (при цьому можливо, що одна і та ж ціль буде обстріляна кількома гарматами). Назвемо поставлене завдання завданням цілерозподілу  $n \times N$ .

Щоб вирішити завдання цілерозподілу, необхідно перш за все вибрати показник ефективності. Таким показником в залежності від умов стрільби може бути:

математичне сподівання числа уражених цілей (ймовірність того, що у складі групи буде уражено не менше заданого числа цілей);

ймовірність того, що будуть уражені всі без винятку цілі, і т. п.

У першому випадку необхідно намагатись знищити в середньому якнайбільше цілей, і показником ефективності буде математичне сподівання кількості уражених цілей.

У другому випадку в якості показника ефективності вибирається ймовірність ураження всіх без винятку цілей  $P_N$ .

У відповідності з цими двома основними критеріями розрізняють:

цілерозподіл «за математичним сподіванням»;

цілерозподіл «за ймовірністю».

Показником ефективності цілерозподілу за математичним сподіванням є величина

$$M_n = M[X_n], \quad (1)$$

де випадкова величина  $X_n$  – кількість уражених цілей.

Під час стрільби по груповій цілі середнє число уражених цілей дорівнює сумі ймовірностей ураження окремих елементарних цілей (одиниць)

$$M_n = W_1 + W_2 + \dots + W_N, \quad (2)$$

де  $W_1$  – ймовірність ураження першої цілі;

$W_2$  – ймовірність ураження другої цілі;

$W_N$  – ймовірність ураження  $N$ -ї цілі.

Тим самим ми отримуємо задачу

$$M_n = \sum_{j=1}^N W_j \rightarrow \max \quad (3)$$

Отже, під час цілерозподілу за математичним сподіванням потрібно так розподілити гармати за цілями, щоб сума ймовірностей ураження досягала максимуму.

На практиці може виявитися, що деякі окремі цілі (наприклад, командний пункт бригади, засоби високо-точної зброї чи носії ядерних засобів, якщо їх вдається виявити) важливіші для нас, ніж останні. Якщо цілі нерівноцінні, то їм можуть бути приписані різноманітні «ваги» –  $k_j$ , а показником ефективності буде не просто середнє число уражених цілей, а «зважене» середнє

$$M_n = \sum_{j=1}^N k_j \cdot W_j \rightarrow \max .$$

Розглянемо другий принцип цілерозподілу «за ймовірністю», коли показником ефективності є ймовірність уразити всі без винятку цілі  $P_N$ . Очевидно, що коли кількість гармат  $n$  менша кількості цілей  $N$ , то  $P_N = 0$ .

Щоб  $P_N$  не була рівним нулю, очевидно, необхідно мати можливість обстріляти всі цілі, тобто повинна виконуватись умова  $n > N$ .

Ймовірність ураження всіх цілей виражається добутком ймовірностей ураження окремих цілей:

$$P_N = W_1 \cdot W_2 \cdot \dots \cdot W_N . \quad (4)$$

Необхідно так розподілити гармати по цілях, щоб ймовірність  $P_N$  була максимальною

$$P_N \rightarrow \max . \quad (5)$$

Можливі такі випадки:

1. Кожна із цілей уражається кожним із засобів приблизно з однаковою ймовірністю  $p$ . За такої умови завдання цілерозподілу спрощується. Питання стоїть не про те, яку гармату направити по якій цілі, а скільки гармат по якій із цілей? У роботі [4] доведено, що максимальне математичне очікування кількості уражених цілей  $M_n$  так само, як і максимальна ймовірність ураження всіх цілей  $P_N$ , досягається у тому випадку, якщо гармати розподілити між цілями найбільш рівномірно. Наприклад, якщо десять гармат обстрілюють п'ять цілей, то потрібно на кожну ціль виділити по дві гармати; якщо дванадцять гармат обстрілюють п'ять цілей, то необхідно на кожну ціль виділити дві гармати, а ті дві, що залишилися, призначити будь-яким чином на будь-які дві цілі.

2. Якщо стоїть умова обов'язкового обстрілу всіх цілей, то завдання цілерозподілу спрощується за рахунок скорочення кількості варіантів. А сама задача цілерозподілу зводиться до задачі про призначення [5].

Для цих двох випадків генетичних алгоритмів не потрібно. Для всіх інших випадків скористаємось цими алгоритмами.

### Генетичні алгоритми в задачі цілерозподілу.

Генетичні алгоритми використовуються для розв'язування оптимізаційних задач на основі механізмів селекції та репродукції. Коротко пояснимо принципи генетичних алгоритмів (детальніше можна прочитати у роботах [6-8]). Механізм селекції полягає у виборі хромосом (у нашому випадку це вектор довжини  $n$ , номер елемента якого задає наш засіб знищення (гармату), а значення елемента – ціль противника) з найвищою оцінкою (тобто найбільш пристосованих), які репродукують частіше, ніж особини з більш низькою оцінкою (гірше пристосовані). Репродукція означає створення нових хромосом у результаті рекомбінації генів (елементів вектора) батьківських хромосом. Рекомбінація – це процес, в результаті якого виникають нові комбінації генів. Для цього використовуються дві операції: схрещування, що дозволяє створити дві зовсім нові хромосоми нащадків шляхом комбінування генетичного матеріалу пари батьків, а також мутація, яка може викликати зміни в окремих хромосомах.

Генетичний алгоритм складається з наступних кроків:

ініціалізація, або вибір вихідної популяції хромосом;

оцінка пристосованості хромосом в популяції;

перевірка умови зупинки алгоритму;

селекція хромосом;

застосування генетичних операторів;

формування нової популяції;

вибір «найкращої» хромосоми.

На кожній ітерації генетичного алгоритму пристосованість кожної особини даної популяції оцінюється за допомогою функції пристосованості, і на цій основі генерується наступна популяція особин, що складає множину потенційних рішень оптимізації заціїної задачі. Чергова популяція в генетичному алгоритмі називається поколінням, а до новостворюваної популяції особин застосовується термін «нове покоління» або «покоління нащадків». В якості функції пристосованості (у літературі з генетичних алгоритмів її ще називають fitness function) у нашому випадку виступає (3) або (5) в залежності від критерію.

Для реалізації запропонованого підходу обрано базу даних реляційного типу (а саме MySQL), в якій зберігається інформація про наші наявні засоби ураження, розвідані цілі противника та матриця ймовірностей знищення цілей певним вогневим засобом. Хромосома являє вектор, де номер елемента вектора відповідає ключу нашого засобу знищення в базі даних, а значення елемента – ключ цілі в базі даних.

Ініціалізація, тобто формування вихідної популяції, полягає у випадковому виборі заданої кількості хромосом (ми брали 50) розмірності  $n$ , що являють випадковий розподіл цілей за гарматами.

Оцінювання пристосованості хромосом у популяції полягає в розрахунку функції пристосованості для

кожної хромосоми цієї популяції. Чим більше значення цієї функції, тим вища «якість» хромосоми.

Визначення умови зупинки генетичного алгоритму залежить від значення функції пристосованості (наприклад, досягнення очікуваного оптимального значення). Алгоритм також зупиняється, коли його виконання не приводить до покращення вже досягнутого значення, або після виконання заданої кількості ітерацій. Якщо умова зупинки виконана, то проводиться перехід до завершального етапу вибору «найкращої» хромосоми. В іншому випадку на наступному кроці виконується селекція.

Селекція хромосом полягає у виборі (за розрахованими на другому етапі значеннями функції пристосованості) тих хромосом, які братимуть участь у генерації нащадків для наступної популяції, тобто для чергового покоління. Такий вибір здійснюється згідно з принципом природного відбору, за яким найбільші шанси на участь у генерації нових особин мають хромосоми з найбільшими значеннями функції пристосованості.

У результаті процесу селекції генерується батьківська популяція (matingpool). Застосування генетичних операторів до хромосом, відібраних за допомогою селекції, призводить до формування нової популяції нащадків від генерованої на попередньому кроці батьківської популяції.

У генетичному алгоритмі застосовуються два генетичних оператори: оператор схрещування (crossover) та оператор мутації (mutation). Схрещування у генетичному алгоритмі здійснюється практично завжди, тоді як мутація – досить рідко. Ймовірність схрещування задано 0.8, а мутації – 0.2.

На першому етапі схрещування вибираються пари хромосом з батьківської популяції. Це тимчасова популяція, що складається з хромосом, відібраних у результаті селекції та призначених для подальших перетворень операторами схрещування і мутації з метою формування нової популяції нащадків. На даному етапі хромосоми з батьківської популяції об'єднуються в пари. Це здійснюється випадковим способом. Далі для кожної пари відібраних таким чином батьків розігрується позиція гена (локус) у хромосомі, що визначає так звану точку схрещування. Якщо хромосома кожного з батьків складається з  $n$  генів, то очевидно, що точка схрещування  $n_k$  є натуральним числом, меншим  $n$ . Тому фіксація точки схрещування зводиться до випадкового вибору числа з інтервалу  $[1, n-1]$ . У результаті схрещування пари батьківських хромосом виходить така пара нащадків: нащадок, хромосома якого на позиціях від 1 до  $n_k$  складається з генів першого з батьків, а на позиціях від  $n_k + 1$  до  $n$  – із генів другого з батьків.

Оператор мутації змінює значення гена в хромосомі. У нашому випадку випадково обирається

елемент вектора, який випадково змінюється на деякий ключ цілі з бази даних.

Після операторів схрещування й мутації генерується нова популяція. Хромосоми, отримані в результаті застосування генетичних операторів, додаються до складу нової популяції. Вона стає так званою поточною популяцією для даної ітерації генетичного алгоритму.

На кожній черговій ітерації розраховуються значення функції пристосованості для всіх хромосом цієї популяції, після чого перевіряється умова зупинки алгоритму і (або) фіксується результат у вигляді хромосоми з найбільшим значенням функції пристосованості, або здійснюється перехід до наступного кроку генетичного алгоритму, тобто до селекції. Вся попередня популяція хромосом замінюється новою популяцією нащадків, яка має ту ж чисельність.

Кращим розв'язком вважається хромосома з найбільшим значенням функції пристосованості.

Для моделювання обиралась певна кількість генерацій поколінь хромосом. Результати експериментів показали, що при генерації 30 поколінь знайдена найкраща хромосома, близька до оптимального цілерозподілу. Розроблений модуль цілерозподілу на основі генетичних алгоритмів входить до складу автоматизованої системи управління сухопутними військами [9-10].

Основною перевагою запропонованого підходу є значне зменшення складності алгоритму цілерозподілу. Складність повного перебору – експоненційна, а генетичного алгоритму – лінійна. Тим самим значно прискорюється процес прийняття рішень. Особливо це важливо, коли події щодо цілерозподілу відбуваються в реальному часі. Хоча отриманий розв'язок цілерозподілу не є завжди оптимальним, однак він близький до оптимального, а виграш у часі отримання розв'язку є значним.

## Висновки

Розроблено метод ефективного цілерозподілу на основі процедур штучного інтелекту, а саме генетичних алгоритмів. Показано, як операції генетичних алгоритмів можна використати під час розв'язування задачі цілерозподілу. Переваги такого підходу полягають у комп'ютерній реалізації, оскільки запропонований метод має лінійну складність.

## Список літератури

1. Коваленко С.П. Метод ефективного розподілу цілей при управлінні вогнем підрозділу. Системи обробки інформації / С.П. Коваленко, О.В. Коломійцев, В.В. Обрядін, К.І. Хударковський // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2007. – Вип. 3(61). – С. 41–43.
2. Комарова Л.О. Дослідження функцій ураження об'єктів різних класів для задач цілерозподілу / Л.О. Комарова, А.І. Невольніченко / Мат. машини і системи. – 2012. – № 4. – С. 156–167.

3. Banzhaf W. *Genetic Programming: An Introduction: On the Automatic Evolution of Computer Programs and Its Applications* / W. Banzhaf, P. Nordin, R.E. Keller, F.D. Francone // Morgan Kaufmann, 1997.
4. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций / Е.С.Вентцель. – Советское радио, 1969. – 390 с.
5. Катренко А.В. Дослідження операцій.– Львів: Магнолія Плюс, 2004.– 549 с.
6. Литвин В.В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / В.В.Литвин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 240 с.
7. Сетлак Г. Решение задач многокритериальной оптимизации с использованием генетических алгоритмов [Текст] // System Research and Information Technologies. Kiev: IASA National Academy of Sciences and Ministry of Education and Science Ukraine. 2002. – № 3. – P. 32–42.
8. Рассел С. Искусственный интеллект / С. Рассел, П. Норвиг. – М.; СПб.; К.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
9. Литвин В.В. Система підтримки прийняття рішень як складова автоматизованої системи управління сухопутних військ Збройних Сил України / В.В. Литвин, Е.В. Лучук, П.П. Ткачук // Військово-науковий вісник. – 2013. – Випуск 2 (9). – С. 43–46.
10. Литвин В.В. Метод використання онтологій в петлі OODA для моделювання воєнних дій / В.В. Литвин, Л.Л. Джавала, Е.В. Лучук // Системи обробки інформації, 2013, випуск 4 (111). – С. 76–81.

**Рецензент:** д.т.н., доц. Є.В. Буров, Національний університет «Львівська політехніка», Львів.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АСУ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

П.П. Ткачук, В.В. Литвин, В.Л. Живчук, О.В. Оборская

*В статье рассматривается подход к построению модуля целераспределения в составе автоматизированной системы управления Сухопутных войск Вооруженных Сил Украины. Для получения близкого к оптимальному целераспределению предложено использовать генетические алгоритмы.*

**Ключевые слова:** целераспределение, вероятность, математическое ожидание, селекция, скрещивание, мутация.

### THE USE OF GENETIC ALGORITHMS IN THE TARGET DISTRIBUTION IN COMMAND CONTROL SYSTEM

P. Tkachyk, V. Lytvyn, V. Zhyvchuk, O. Oborska

*The article exposes the approach to the construction of the module target distribution as part of the automated control system of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine. For close to the optimum target proposed to use genetic algorithms.*

**Key words:** target distribution, probability, mathematical expectation, selection, crossover, mutation.

УДК 621.315.592

О.І. Фіціч

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

### НЕЙТРАЛЬНІ ДЕФЕКТИ МПЕ ПЛІВОК CdHgTe

*Проведені електрофізичні і оптичні дослідження дефектної структури плівок CdHgTe, вироцених молекулярно-пучковою епітаксією (МПЕ). Показано, що особливістю даних плівок є наявність нейтральних дефектів, що формуються на стадії росту і властивих матеріалу, вироценому саме методом МПЕ. Припускається, що цими нейтральними дефектами є наноконплекси Te, які були виявлені за допомогою іонного травлення. При іонному травленні вони активуються міжвузловою ртуттю і формують донорні центри з концентрацією  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , що дає можливість виявляти ці дефекти за допомогою вимірювань електричних параметрів матеріалу. При легуванні CdHgTe миш'яком з високотемпературним крекінгом присутній в потоці миш'яку димер As<sub>2</sub> блокує наноконплеск Te з формуванням донорних конплесків As<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. Результати електрофізичних досліджень порівнюються з даними досліджень мікроскопії.*

**Ключові слова:** CdHgTe, нейтральні дефекти, іонне травлення, мікроскопії.