

УДК 358.1:623.55

Д.П. Варіводін

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ПОДІЛУ ПРОСТОРУ В МОДЕЛЯХ БОЙОВИХ ДІЙ

В статті стисло наведена методика дискретизації простору, в якому проводиться моделювання бойових дій. Розглядаються різні форми поділу простору, шляхи взаємного перетворення різних способів поділу простору та їх зв'язок один з одним.

моделювання бойових дій, дискретизація простору, кількість інформації

Вступ

Постановка проблеми. Побудова моделей бойових дій в рамках розробки сучасних систем підтримки прийняття рішень вимагає від розробників врахування великої кількості факторів зовнішнього середовища, та інших факторів, які входять в схеми розрахунків процесів, що моделюються.

Потреба в поділі простору ведення бойових дій витікає із потреби в упорядкуванні простору в якому відбувається процес бойових дій. В якості прикладу такого упорядкування, в залежності від ієрархічного рівня узагальнення, знайшло свою реалізацію у категоріях театрів воєнних дій, оперативнo-стратегічних напрямків, оперативних районів – для поверхні, перелік шарів висот (малі, середні, великі), перелік шарів атмосфери (тропосфера, стратосфера, іоносфера т.ін.) – для висоти.

Поділ простору бойових дій спрямований на зменшення розмірності факторного простору моделі та облегшити вирішення завдань, які потребують в якості вихідних даних дискретної моделі простору (наприклад у вигляді графу). Поділ простору бойових дій, що історично склався для задовільнення практичних потреб вирішення завдань управління та інших завдань, не завжди підходить в якості вихідних даних для формальних процедур чи моделювання. Це за звичай обумовлено нерегулярністю поділу простору, геометрією їх границь.

До потреб моделювання бойових дій, також можна віднести ті, що вимагають вихідних даних для проведення моделювання процесів переміщення, взаємодії бойових одиниць, що також потребує дискретизації простору, де відбуваються ці процеси, для зменшення розмірності задач попереднього планування дій та обрахунку їх наслідків.

Таким чином виникають потреби: формування поділу простору бойових дій, що є придатним до використання в якості вихідних даних в розрахункових задачах (пошук маршруту, визначення районів пошуку, визначення досяжної місцевості); вирішенні питання пошуку методологічного ґрунту для обґрунтування способу і розміру шагу його поділу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання поділу простору бойових дій на області, що не перетинаються, знаходить свою реалізацію в багатьох нормативних документах, уставах, керівництвах, широко наведено в математичних моделях бойових дій. В [1] такий поділ проводиться в моделі пересування, шаг сітки задавався відповідно до інтенсивності переходів з одного до іншого сектору простору пересування. Сітка має прямокутну форму.

В [1 – 3] простір є безперервним, що обумовлено формою математичної моделі (диференційні рівняння в часткових похідних) бойових дій. Однак будь-яких підходів до визначення типу сітки, її характеристик в цих джерелах не наведено. В [4 – 6] також розглядаються питання побудови сіток для проведення числових розрахунків по рішенню багатомірних диференційних рівнянь, однак крок сітки визначається тут з міркувань сталості рішення і для завдань, що вирішуються при моделюванні процесів бойових дій цей підхід може призвести до суттєвого підвищення розмірності вихідних даних.

Найбільш повний перелік варіантів способів поділу наведений в [7]. В джерелі наведено такі форми поділу як трикутна сітка, прямокутна сітка, гексагональна, та можливі комбінації і варіанти переходу від одного виду сітки до іншого, можливі метрики, що відповідають кожному з варіантів сітки. Проведений порівняльний аналіз кожного виду сітки щодо визначення типу чарунок, спільних сторін, вершин, системи координат.

Також приведені загальні алгоритми визначення відношень між означеними категоріями поділу простору (чарунки, границі, вершини).

В [8, 9] розглядаються підходи до вирішення задач представлення місцевості, рельєфу у виді, що сприяє вирішенню задач планування руху, вибору оптимальних шляхів, моделювання процесів взаємодії між бойовими одиницями.

Таким чином можна стверджувати, що не дивлячись на широке використання зазначених категорій поділу простору в моделях бойових дій тип сітки та її крок визначались евристично, методів визначення найкращого типу сітки та кроку поділу на теперішній час не запропоновано.

Мета статті. Обґрунтувати підхід та запропонувати методіку визначення типу сітки та кроку поділу простору для використання в моделях бойових дій. Провести порівняльний аналіз метрики, які притаманні кожному з варіантів поділу простору з декартовою метрикою.

Основний матеріал

Задача поділу простору бойових дій вирішувалась як одна з підзадач в комплексі підготовки вихідних даних для рішення задач моделювання бойових дій. Виникнення цієї задачі витикає з обраного в моделі рівня узагальнення процесів бойових дій, що моделюються. При узагальненні на рівні угруповань (театрах воєнних дій) в моделях бойових дій простір, як параметр, може і не враховуватись, як параметр моделі (система рівнянь Ланчестера), але при збільшенні деталізації моделі, при врахуванні факторів середі бойових дій, виникає потреба у визначенні їх впливу в залежності від поточних координат підрозділу (бойової одиниці), що моделюються.

Приймемо в якості припущення, що модель бойових дій враховує тримірний простір, параметри, що описують його, можуть бути представлені в якості набору функцій $z_i = f_i(x, y)$, $i = \overline{1..n}$ – кожна з яких містить характеристику простору бойових дій Ω , яке є областю визначення множини функцій $z_i = f_i(x, y)$ і є замкнутим. В якості вимог до функцій $z_i = f_i(x, y)$ визначимо:

- функція $z_i = f_i(x, y)$ кількісно визначена, та наявна на всій області визначення Ω ;
- відсутні розриви першого роду в області визначення Ω ;
- функція $z_i = f_i(x, y)$ має на області визначення Ω максимальне $z_i^{\max} = f_i^{\max}(x, y)$ та мінімальні $z_i^{\min} = f_i^{\min}(x, y)$ значення.

Проведемо накладання на масив функцій $z_i = f_i(x, y)$ сітки $S_m(F_m, E_m, V_m)$, де F_m, E_m, V_m – відповідні множини чарунок, їх сторін та вершин, що відповідають m -му варіанту її побудови ($m = 1..3$, трикутна, чотирикутна, шестикутна).

Відповідно до кожної з чарунок визначимо масиви сторін та вершин, що належать до неї $E_{jk}, k = 1..3, 1..4, 1..6, j = \overline{1..N}$, N – кількість чарунок в області Ω , k – індекс сторони (вершини) в j -ій чарунці. Кожна j -та чарунка в області Ω має відповідні координати (x_{jk}, y_{jk}) своїх вершин, довжину сторін – d_m , в метриці простору, що містить область Ω (будемо у подальшому розглядати декартовий простір). Для обґрунтування вибору того чи іншого типу сітки, що накладається на область Ω , визначимо критерій ефективності варіанту поділу простору, який змістовно відображає переключення,

що виникають при вимірюванні відстані та кількість інформації, яку можна отримати при обраному типі поділу, за виразом:

$$F = \max_{m, N} \left(c[\Delta D_m] + [1 - c] \left(I_m / N_m^2 \right) \right), \quad (1)$$

де c – коефіцієнт, що визначає перевагу складових ΔD_m та I_m / N_m^2 ; ΔD_m – складова, що визначає спотворення у вимірі дистанції на обраному типі сітки – m , яка виникає при її розрахунку за обраним типом сітки та метриці на ній, в порівнянні до декартового простору:

$$\Delta D_m = \frac{D_{\max}}{D_{m\max} - D_{\max}}; \quad (2)$$

I_m / N_m^2 – складова, що визначає питому кількість інформації про набір функцій $z_i, i = \overline{1..L}$, що визначена на області Ω :

$$\frac{I_m}{N_m^2} = N_m^{-2} \left[\sum_{i=1}^L I_{im} \right]; \quad I_{im} = \sum_{j=1}^{N_m} I_{ijm}; \quad (3)$$

$$I_{ijm} = \frac{\bar{z}_{ijm} - \min_k z_{ikm}}{\max_k z_{ikm} - \min_k z_{ikm}} \log_2 \frac{\bar{z}_{ijm} - \min_k z_{ikm}}{\max_k z_{ikm} - \min_k z_{ikm}} - \sum_{k=1}^{K_j} \left(\frac{z_{ikm} - \min_k z_{ikm}}{\max_k z_{ikm} - \min_k z_{ikm}} \log_2 \frac{z_{ikm} - \min_k z_{ikm}}{\max_k z_{ikm} - \min_k z_{ikm}} \right), \quad (4)$$

де
$$Z_{ijm} = \iint_{S_{ij}} f_{ijm}(x, y) dx dy, \quad (5)$$

а
$$\bar{z}_{ijm} = \frac{1}{K_j} \sum_{k=1}^{K_j} z_{ikm}. \quad (6)$$

В виразах (2) D_{\max} – максимальна відстань на області Ω в декартовій метриці; $D_{m\max}$ – максимальна відстань на області Ω в обраній метриці та m -му типі сітки; (4) – (6) L – кількість функцій на області Ω ; N_m – кількість чарунок, що утворюються при m -му типі сітки та обраному кроці поділу d ; K_j – кількість чарунок, що мають з j -ою загальною стороною та вершиною. Відстані $D_{m\max}$ залежать від виду сітки та метрики простору заданої на області Ω . В якості можливих варіантів метрики для розрахунку відстані на сітках можуть бути обрані манхеттенська чи діагональна.

Для манхеттенської метрики довжина та відстань квадратної сітки вимірюється за виразом [9]:

$$D_m = d(|i_0 - i_1| + |j_0 - j_1|), \quad (7)$$

для діагональної метрики відстань знайдемо як

$$\begin{cases} h_d = \min(|i_0 - i_1|, |j_0 - j_1|); \\ h_s = |i_0 - i_1| + |j_0 - j_1|; \\ D_m = \sqrt{2} h_d + d(h_s - 2h_d), \end{cases} \quad (8)$$

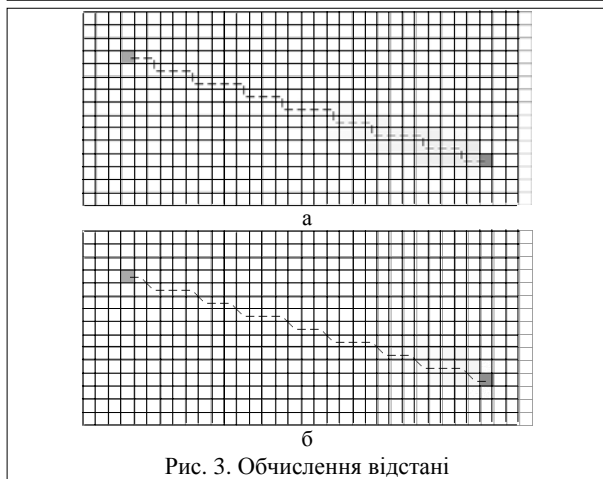
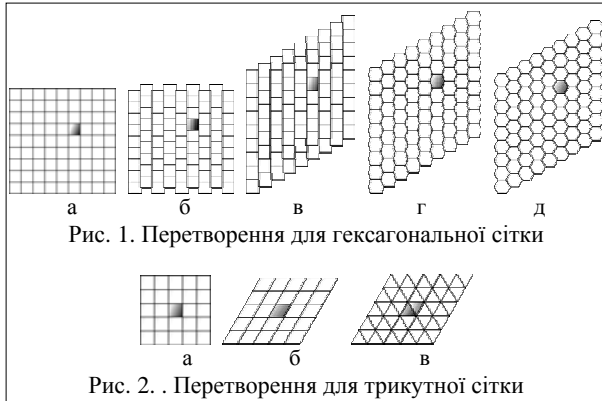
а для гексагональної сітки та манхеттенської метрики:

$$D_m = h(|i_0 - i_1| + |j_0 - j_1|), \quad (9)$$

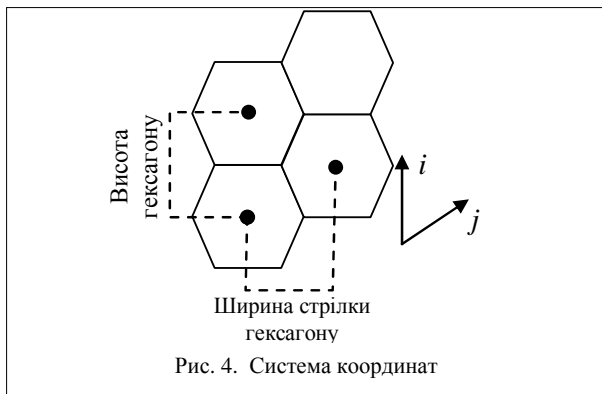
де h – висота гексагону.

Оскільки шлях на гексагональній сітці може пролягати тільки по сумісних гранях, то діагональна метрика не може бути застосована на гексагональній сітці.

Гексагональна та трикутна сітка виходять з квадратної шляхом ряду перетворень, які представлені для гексагональної сітки на рис. 1, а – д; для трикутної сітки – на рис. 2, а – в. Відстань, що обчислюється, виходячи з манхеттенської та діагональної метрики, можна пояснити за допомогою рис. 3, а, б.



Система координат, що притаманна гексогональній сітці, представлена на рис. 4.



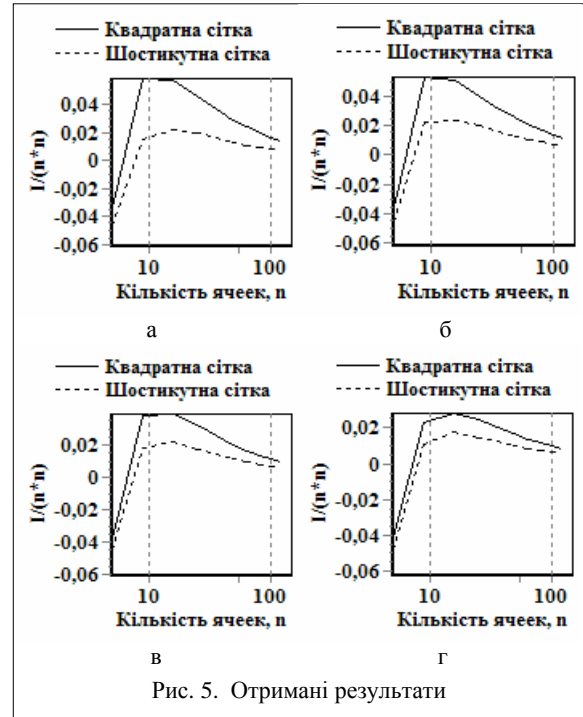
В якості прикладу використання запропонованої методики наведемо результати розрахунку показника (1) для $s = 0$ на квадратній та шестикутній

сітці. Показник (1) для функцій $f_i(x, y)$ обчислено окремо по кожній, область Ω визначено на інтервалах $x \in [0, 1]$, $y \in [0, 1]$.

В якості функцій $f_i(x, y)$ були прийняті:

$$z_1 = x + y; z_2 = x^2 + y^2; z_3 = x^3 + y^3; z_4 = x^4 + y^4. \quad (10)$$

Отримані результати представлені на рис. 5, а, – г, відповідно до кожної з функцій (10).



Визначені залежності вказують на наявність оптимального, по кількості чарунок та способу поділу, рішення, щодо визначення кроку сітки та її типу. Кожна з функцій (10) є гладкою, що при побудові шарів функцій z_i не є типовим випадком, тому визначення типу сітки та розрахунок кількості чарунок має проводитись окремо для кожного з набору шарів та типів функцій, що описує його.

Окремими видами шарів можуть виступати, наприклад, такі, що містять точкові об'єкти, лінійні. В таких випадках виникає потреба у визначенні функцій, що деяким чином використовують (перетворюють) ці дані у функції, які мають визначення на всій області Ω .

В якості таких функцій можна розглядати функції, що визначають умовний «потенціал» в залежності від відстані до точкового чи лінійного об'єкту, який утворюється за рахунок суперпозиції «потенціалів» від кожного з об'єктів. Приклад використання такого підходу викладений в [9].

ВИСНОВКИ

В статті стисло представлена методика поділу простору моделювання бойових дій. Методика забезпечує зменшення розмірності простору, що сприяє вирішенню задач по плануванню пересування

бойових одиниць та вирішення інших задач, що потребують дискретизації простору, таких, наприклад, як визначення зон відповідальності за окремими бойовими одиницями так і за їх сукупностями, зон обзору кожної з бойових одиниць, призначення зон, що підлягають обстрілу, визначення зон досяжності для бойових одиниць по зброї, зон зв'язку та багатьох інших.

Змістовне наповнення методики дозволяє проводити обґрунтування типу сітки, що накладається на простір, де моделюються бойові дії.

Запропонований показник якості поділу (1) є чутливим до вихідної інформації, яка представлена в методиці у вигляді формалізованих функцій шарів. Він дозволяє проводити обґрунтований вибір як кроку дискретизації, так і типу сітки в залежності від інформації, що міститься у шарах. В якості вимоги до шарів виступає потреба їх безперервності на всій області визначення, де моделюються бойові дії, визначені підходи до виконання цієї вимоги.

Використання методики слід проводити на етапі підготовки вихідних даних, безпосередньо перед початком моделювання.

Список літератури

1. *Основы исследования операций в военной технике* / Ю.В. Чуев и др. – М.: Сов. радио, 1965. – 380 с.
2. *Математические модели боевых действий* / П.Н. Ткаченко и др. – М.: Сов. радио, 1969. – 322 с.
3. *Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей.* – М.: ФАЗИС, 2000. – 452 с.
4. *Самарский А.А. Теория разностных схем.* – М.: Наука, 1978. – 269 с.
5. *Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы.* – М.: Наука, 1987. – 636 с.
6. *Ракитин В.И., Первушин В.Е. Практическое руководство по методам вычислений с применением программ для персональных компьютеров.* – М.: Высш. шк., 1998. – 383 с.
7. *Amit Patel. Amit's Thoughts on grids // Computer animation. Algorithms and techniques.* – San Diego, CA: Academic press, 2006. – 552 p.
8. *Straatman R., Sterren W. Arjen Beij Killzone's AI: dynamic procedural combat tactics.* – 2003. – 17 p.
9. *Rene G. Burgess. Realistic human path planning using fluid simulation. U.S. Army War College.* – 2004. – 8 p.

Надійшла до редколегії 2.10.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.