

ПРО ОДИН МЕТОД ПЕРЕСЛІДУВАННЯ НА ПЛОЩИНІ

Розглядається проблема формування стратегій переслідування на площині для агентів. Пропонується метод переслідування, який зводиться як до метода паралельного зближення, так і до метода окружності Аполлонія. Описуються функціональні можливості прототипу системи «Навігація», в якому реалізовано запропонований метод переслідування для випадку «один переслідувач – один утікач».

Вступ

У роботі [1] запропоновано постановку задачі переслідування на площині з точки зору агентного підходу та визначено перелік методів, які необхідно розробити. До таких методів, зокрема, належать методи формування стратегій поведінки агента-переслідувача та агента-утікача. Мета даної роботи – викладення одного з можливих методів переслідування на площині, який доцільно покласти в основу стратегії поведінки як агента-переслідувача, так і агента-утікача.

1. Короткий огляд відомих стратегій переслідування

Відомі стратегії переслідування здебільшого розроблено для військового призначення (в рамках досліджень щодо наведення ракет на рухому ціль [2–4]). Як показано в [4], відомі методи наведення можна розподілити на дві підгрупи:

- методи з фіксованим положенням необхідного напрямлення вектора швидкості відносно лінії ракета – ціль (до таких методів належать *метод погоні* та *метод постійного випередження*);
- методи зі змінним положенням необхідного напрямлення вектора швидкості відносно лінії ракета – ціль (до таких методів належать *метод пропорційного зближення* та *метод паралельного зближення*).

Методом погоні називають такий метод наведення, при якому в кожний момент часу вектор швидкості ракети направлений на ціль. Використання методу погоні як стратегію переслідування призводить до того, що траєкторія польоту ракети буде криволінійною за винятком двох окремих випадків (при пуску ракети точно вдогін цілі або точно назустріч цілі).

Методом постійного випередження (або *методом наведення з постійним кутом випередження*) називають такий метод наведення, при якому необхідний рух ракети визначається умовою, що на протязі всього часу польоту ракети до точки зустрічі кут між вектором швидкості ракети і лінією ракета – ціль (кут випередження) залишається постійним. Використання методу постійного випередження як стратегію переслідування призводить до того, що траєкторія польоту ракети буде криволінійною (хоча її криволінійність буде меншою, ніж у випадку використання методу погоні).

Методом пропорційного зближення називають такий метод наведення, при якому на протязі всього часу польоту ракети до цілі кутова швидкість повороту вектора швидкості ракети залишається пропорційною кутовій швидкості лінії ракета – ціль. Використання методу пропорційного зближення як стратегію переслідування призводить до того, що траєкторія польоту ракети займає проміжне місце між траєкторією за методом погоні та траєкторією за методом паралельного зближення (див. далі).

Методом паралельного зближення називають такий метод наведення, при якому на протязі всього часу польоту ракети до точки зустрічі лінія ракета – ціль залишається паралельною заданому напрямленню. За даним методом ракета направляється не на ціль, а на точку зустрічі ракети з ціллю. Використання методу паралельного зближення як стратегію переслідування дає найкращі результати в порівнянні з вищенаведеними методами наведення, оскільки дозволяє отримати пряму траєкторію польоту ракети (рис. 1).

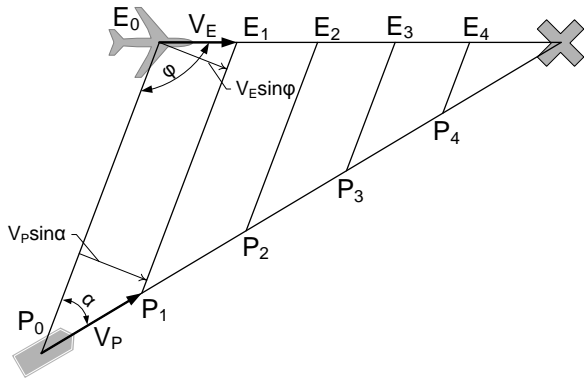


Рис. 1 Сутність метода паралельного зближення

Стратегія переслідування, яка відповідає методу паралельного зближення, задається за допомогою рівняння (1):

$$V_P \sin \alpha = V_E \sin \varphi. \quad (1)$$

Таким чином, найбільш прийнятним відомим методом наведення є метод паралельного зближення, тим більше [5], що за своїми властивостями він відповідає методу окружності Аполлонія. Разом з тим, у даного метода (як і у метода окружності Аполлонія) є певний недолік, який не дозволяє нам задіяти саме ці методи як стратегію переслідування: дані методи

явно не використовують ортогональну систему координат, використання якої, як показано в [1], необхідно з точки зору постановки задачі переслідування на площині.

2. Метод переслідування на площині

Пропонований метод переслідування засновується на наступній постановці: два об'єкти (утікач та переслідувач) знаходяться у стані простого руху, при цьому задано (рис. 2): поточні координати утікача (точка E), поточні координати переслідувача (точка P), напрям руху утікача (кут α_E), швидкість руху утікача (v_E) та швидкість руху переслідувача (v_P).

Інтуїтивно зрозуміло, що утікач та переслідувач зустрінуться в деякій точці C (в даному випадку за умови, якщо $v_P > v_E$) через певний час t (тобто час руху об'єктів від точок E і P до точки C є константою). Крім того, очевидно, що шляхи L_E та L_P руху об'єктів можуть бути виражені через їх швидкості та час: $L_E = v_E \cdot t$; $L_P = v_P \cdot t$ (передбачається, що швидкості руху об'єктів постійні).

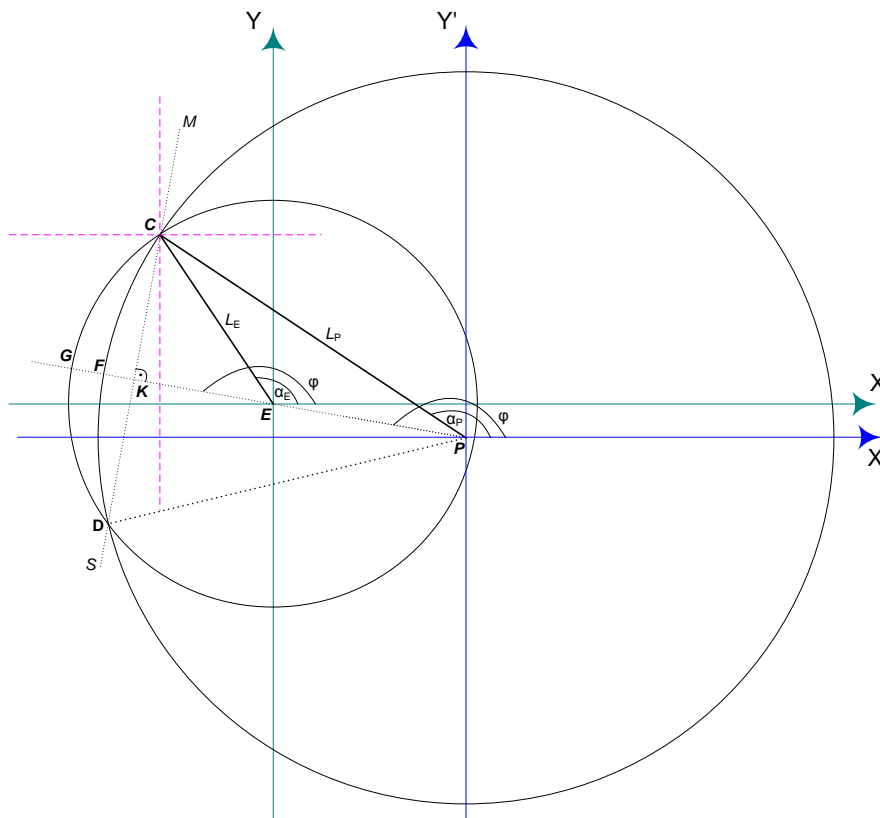


Рис. 2. Сутність пропонованого методу переслідування на площині

Як невідомі параметри виступають: шуканий напрям руху переслідувача (кут α_P); довжина шляху утікача (L_E або довжина променя EC); довжина шляху переслідувача (L_P або довжина променя PC); час, необхідний для досягнення об'єктами точки C ; координати точки C .

Очевидно, що ця задача належить до задач з області аналітичної геометрії на площині. Для рішення задачі переслідування на площині важливо обчислити кут α_P , що задає напрям руху переслідувача. Знаючи цей кут, нескладно обчислити всі інші невідомі параметри задачі.

Виконаємо додаткові геометричні побудови (див. рис. 2). Очевидно, що прямі EC і PC можна розглядати як радіуси двох окружностей, що перетинаються в точках C і D . Побудуємо ці окружності й прокладемо для них осі координат XEY та $X'PY'$. Проведемо січну SM через точки C і D . З'єднаємо точки P і D прямою. Очевидно, що утворений в результаті трикутник PDC є рівнобедреним. Ясно, що висота трикутника PK пройде також і через точку E . При цьому висота PK перетне осі

абсцис X та X' під одним і тим же кутом φ . Очевидно, що $tg(180^\circ - \varphi) = \frac{y_2}{x_2}$ і звідси ми можемо обчислити кут φ (відстані x_2 та y_2 легко обчислити через координати точок E і P). В свою чергу, $\sin(\varphi - \alpha_P) \cdot L_P = \sin(\varphi - \alpha_E) \cdot L_E = z$, де z – відрізок KC .

Перетворюючи це рівняння, отримуємо: $\sin(\varphi - \alpha_P) = \frac{L_E}{L_P} \cdot \sin(\varphi - \alpha_E)$. Враховуючи, що $L_E = v_E \cdot t$ і $L_P = v_P \cdot t$, остаточно маємо:

$$\sin(\varphi - \alpha_P) = \frac{v_E}{v_P} \cdot \sin(\varphi - \alpha_E). \quad (2)$$

Таким чином, ми показали, що кут α_P , який задає напрям руху переслідувача, легко обчислюється.

Покажемо, що запропонований метод зводиться до методу окружності Аполлонія. Для цього досить показати, що побудова окружності Аполлонія відповідає загальним принципам, покладеним в основу запропонованого метода. На даних, показаних на рис. 2, побудуємо окружність Аполлонія (рис. 3).

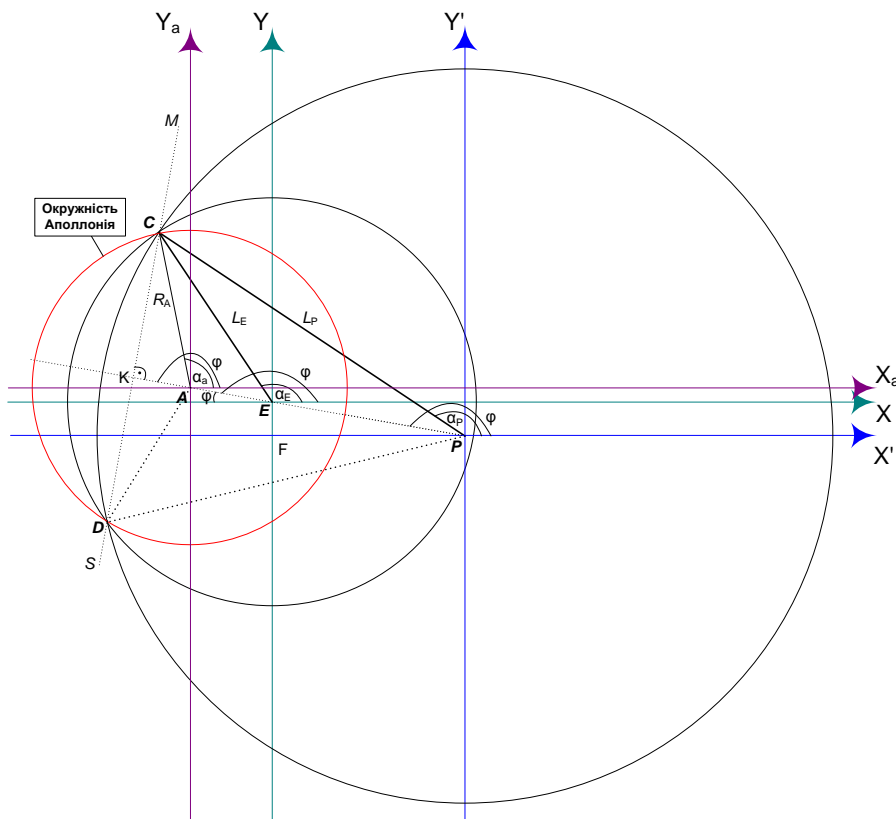


Рис. 3. Зведення запропонованого методу до методу окружності Аполлонія

По-перше, за правилами побудови окружності Аполлонія центр цієї окружності (точка A) завжди буде належати прямій PK . По-друге, точка зустрічі C утікача та переслідувача завжди буде належати окружності Аполлонія (це так звана *точка Аполлонія*). Очевидно, що пряма, яка з'єднує точки A та C , відповідає радіусу R_A окружності Аполлонія. Легко помітити (див. рис. 3), що і в даному випадку виконуються співвідношення: $\sin(\varphi - \alpha_P) \cdot L_P = \sin(\varphi - \alpha_E) \cdot L_E = \sin(\varphi - \alpha_A) \cdot R_A = z$, де z – відрізок KC . В зв'язку з тим, що $KC = KD$, стає очевидним, що трикутник ACD є рівнобедреним, з чого випливає, що всі три окружності (дві окружності, розглянуті в пропонуваному методі, та окружність Аполлонія) мають в точності одні й ті ж самі точки перетину C та D .

В свою чергу, легко показати, що запропонований метод зводиться до метод паралельного зближення. Так, з (2) випливає, що $v_P \cdot \sin(\varphi - \alpha_P) = v_E \cdot \sin(\varphi - \alpha_E)$. Позначимо (див. рис. 2) кут PEC через ψ . Ясно, що $\psi = 180^\circ - (\varphi - \alpha_E)$. Оскільки $\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$, то очевидно, що $\sin \psi = \sin(\varphi - \alpha_E)$. Звідси випливає справедливність рівняння: $v_P \cdot \sin(\varphi - \alpha_P) = v_E \cdot \sin \psi$. Порівнюючи отримане рівняння з виразом (1), легко помітити їх ідентичність (див. також рис. 1).

На основі запропонованого метода переслідування на площині можна сфор-

мувати стратегію поведінки переслідувача. Очевидно, що визначення доцільного напрямку руху переслідувача за наведеним методом повністю відповідає рішенням за методом паралельного зближення і дає в точності ті ж самі результати. Як наслідок, стратегія поведінки переслідувача орієнтована на постійний аналіз поведінки утікача, визначення в момент зміни поведінки утікача доцільного кута напрямку свого руху та, в наслідок цього, динамічне корегування своєї поведінки.

Отримані результати дозволяють також зробити висновки щодо доцільної стратегії поведінки утікача. Очевидно (див. рис. 2), що найдовший шлях переслідувач пройде, якщо утікач буде рухатись у напрямку EG . Так, якщо порівняти відстані PC та PG , то ясно, що PG більше PC на відрізок FG . Звідси випливає доцільна стратегія поведінки утікача: він має корегувати напрям свого руху таким чином, щоб він максимально наближався до напрямку, що задається променем, побудованим за напрямком від переслідувача до утікача.

3. Прототип системи моделювання переслідування на площині

На основі розробленого методу переслідування на площині створено прототип системи «Навігація», версія 1.0 (надалі – Система). Призначення Системи полягає в дослідженні поведінки агентів для випадку «один переслідувач – один утікач» (рис. 4).

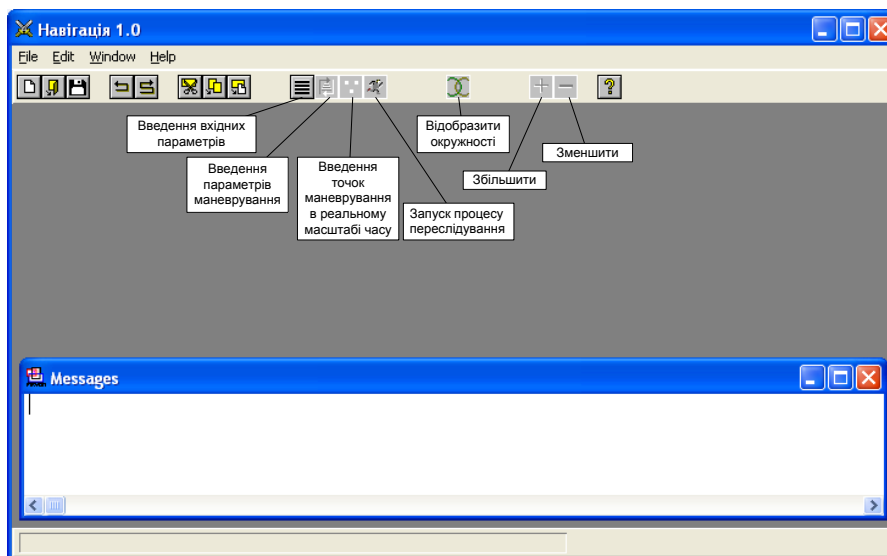


Рис. 4. Робоче вікно та склад основних кнопок панелі інструментів Системи

Робота Системи починається з натискання кнопки «Введення вхідних параметрів». В результаті відкривається графічне вікно та діалог параметризації об'єктів (рис. 5), в якому користувач задає відповідні параметри утікача (об'єкта 1) та переслідувача (об'єкта 2). Користувачу також

надається підказка щодо рекомендованої швидкості переслідувача (з метою забезпечення існування рішення задачі). Після завершення параметризації об'єктів та натискання на кнопку «ОК», у графічному вікні відображаються агенти та їх потенційні траєкторії (рис. 6).

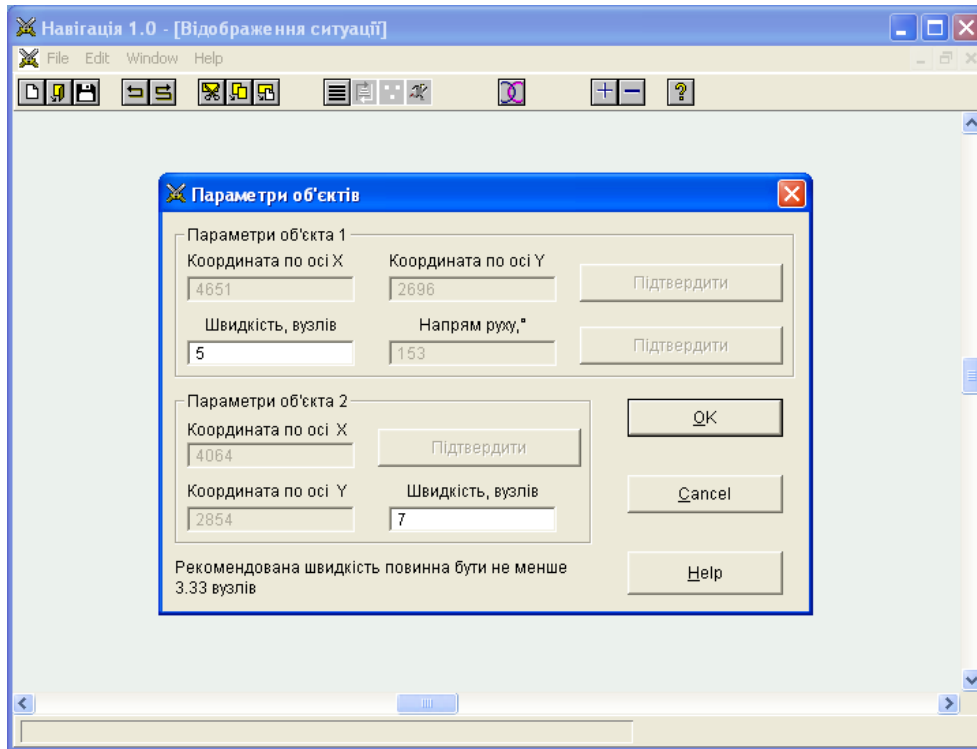


Рис. 5. Діалог параметризації об'єктів

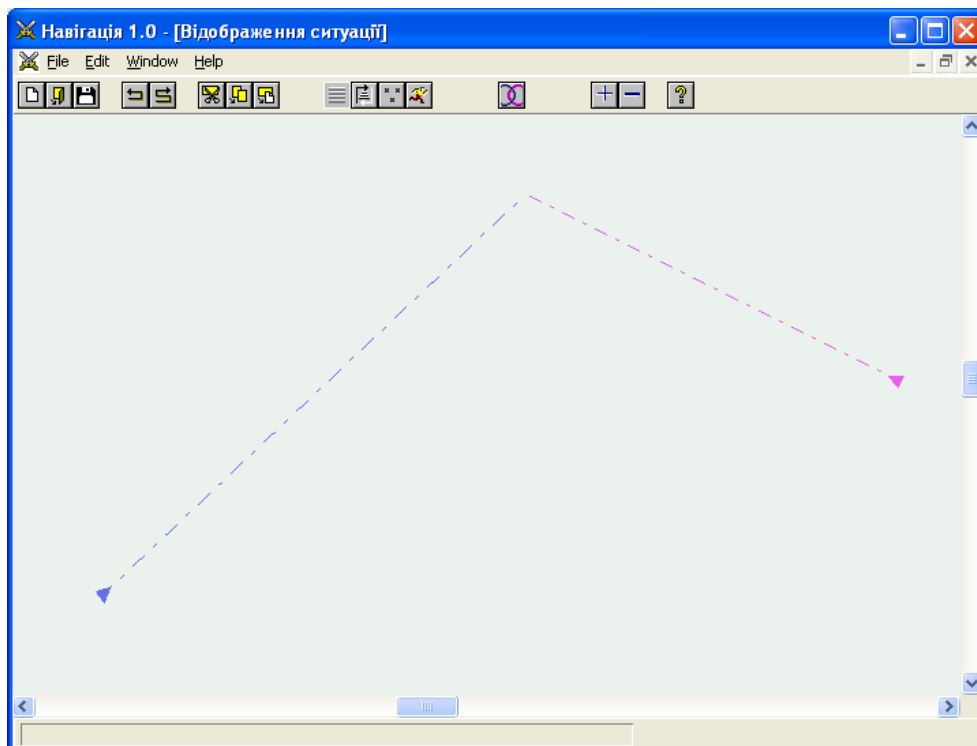


Рис. 6. Розташування агентів та траєкторії їх потенційного руху

За допомогою кнопок панелі інструментів «Введення параметрів маневрування» та «Введення точок маневрування в реальному масштабі часу» користувач може задавати різні варіанти маневрування утікача.

В першому випадку користувач вказує точки зміни курсу утікача (рис. 7) до початку процесу переслідування. Після завершення введення параметрів та натискання на кнопку панелі інструментів «Запуск процесу переслідування»

відбувається переслідування у відповідності до запланованого маневрування утікача (рис. 8).

У другому випадку (за допомогою кнопки «Введення точок маневрування в реальному масштабі часу») користувач вказує точки зміни курсу утікача (рис. 9) безпосередньо в процесі переслідування, тобто в даному випадку є можливість швидко реагувати на зміни поточної ситуації з метою ускладнення процесу переслідування для переслідувача.

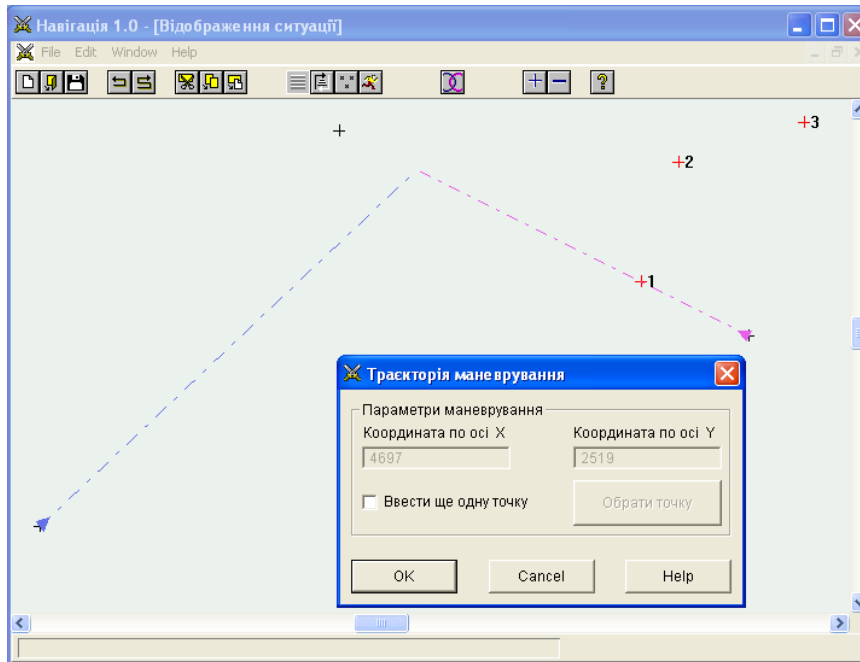


Рис. 7. Введення параметрів маневрування

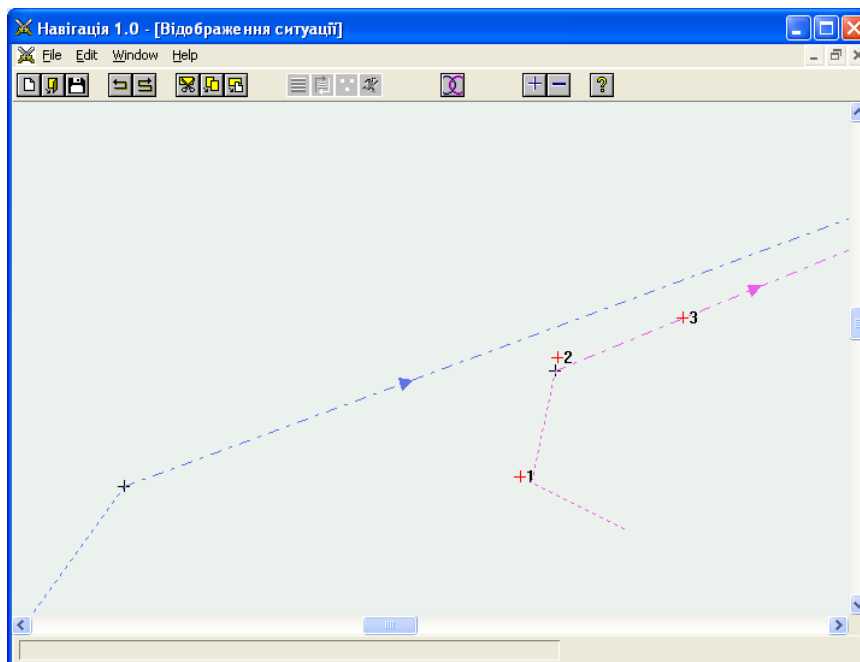


Рис. 8. Моделювання процесу переслідування з запланованим маневруванням

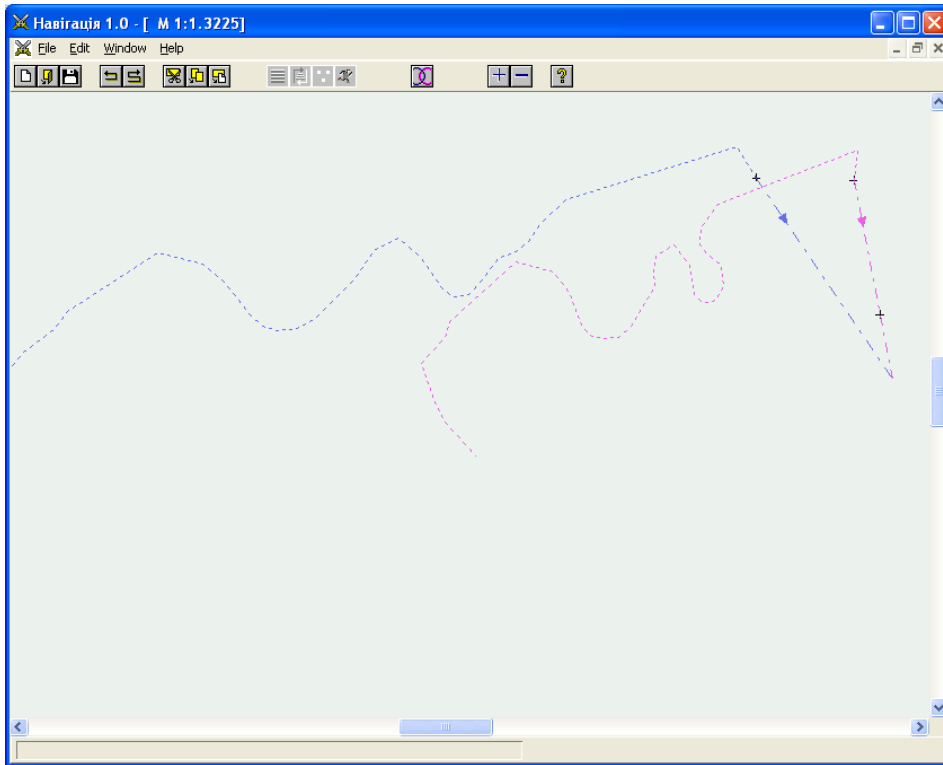


Рис. 9. Моделювання процесу переслідування з маневруванням у реальному масштабі часу

В ході моделювання процесу переслідування у користувача є можливість довідково відобразити три окружності (в тому числі й окружність Аполлонія – див. також рис. 3), які побудовані з урахуванням поточних положень агентів та динамі-

чно змінюються (рис. 10). В процесі використання системи користувачу надаються додаткові сервіси, пов'язані з масштабуванням зображень.

Систему реалізовано на мові логічного програмування PDC Visual Prolog 5.2.

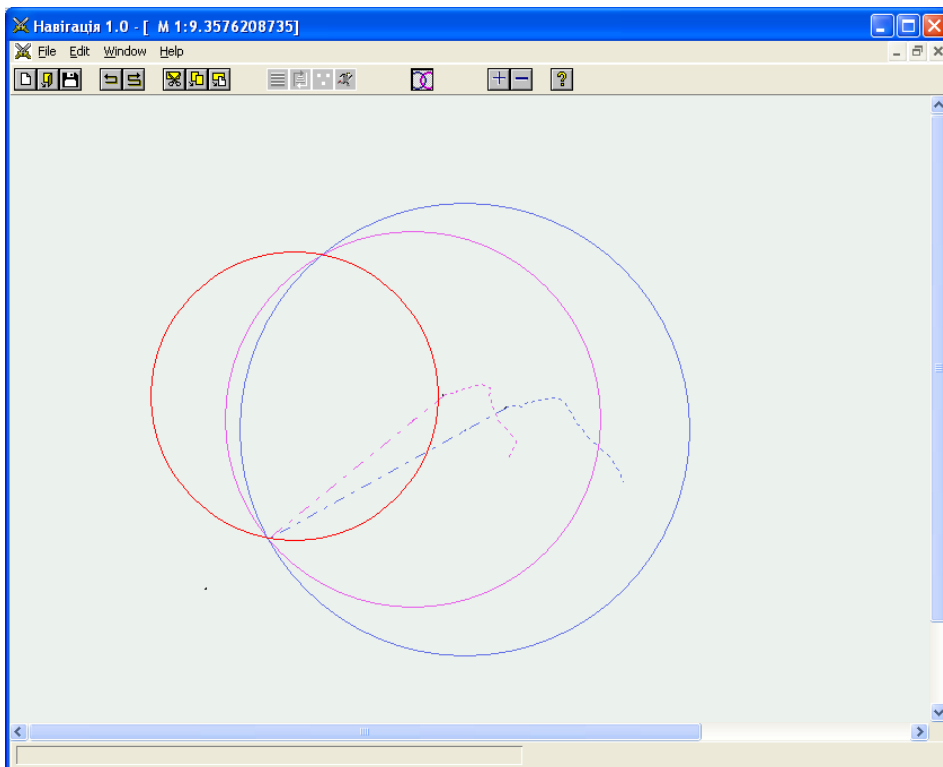


Рис. 10. Демонстрація зведення запропонованого метода до метода окружності Аполлонія

Висновки

Узагальнюючи вищевикладене, можна стверджувати, що розроблений метод переслідування на площині дозволяє сформулювати доцільні стратегії поведінки як агента-переслідувача, так і агента-утікача. На наш погляд, вагомою перевагою запропонованого метода перед методами-аналогами є те, що він ґрунтується на використанні ортогональної системи координат, що є важливим для вирішення задач моделювання процесів маневрування агентів. Успішність такого моделювання наочно продемонстрована в створеному прототипі системи «Навігація».

1. *Яловець А.Л.* До постановки задачі переслідування на площині // Проблеми програмування. – 2013. – № 2. – С. 95–100.
2. *Куркоткин В.И., Стерлигов В.Л.* Самонаведение ракет. – М.: ВоенИздат, 1963. – 89 с.
3. *Локк А.С.* Управление снарядами. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 775 с.
4. *Неупокоев Ф.К.* Стрельба зенитными ракетами. – М.: ВоенИздат, 1991. – 343 с.
5. *Петросян Л.А., Рисхиев Б.Б.* Преследование на плоскости. – М.: Наука, 1991. – 91 с.

Одержано 10.08.2012

Про автора:

Яловець Андрій Леонідович,
доктор технічних наук,
заступник директора інституту.

Місце роботи автора:

Інститут програмних систем
НАН України.
03187, Київ-187,
Проспект Академіка Глушкова, 40.

Тел.: (044) 526 1538.
E-mail: yal@isofts.kiev.ua