

АРХІТЕКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЯ

Розглядаються особливості проектування, розробки та функціонування мультиагентної системи Навігація. Наводиться архітектура системи та обґрунтовується вибір мови реалізації системи. Детально аналізуються функціональні можливості підсистем мультиагентної системи Навігація. На змістовному прикладі порівнюються результати мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання агентів засобами мультиагентної системи за різними режимами її функціонування.

Ключові слова: архітектура, мультиагентна система, функції підсистем, мультиагентне моделювання.

Вступ

Мультиагентна система (МАС) Навігація [1, 2] створена на основі методів, викладених в [3–8]. МАС Навігація призначена для моделювання поведінки множини інтелектуальних агентів у складному динамічному середовищі. Змістовно під динамічним середовищем розуміється ділянка морського кордону, в межах якої протидіють два класи кораблів: кораблі-порушники (утікачі) та кораблі берегової охорони (переслідувачі). Відповідно до цього, розглядаються два класи антагоністичних агентів (агенти-утікачі та агенти-переслідувачі), які протидіють у динамічному середовищі. Перед початком процесу моделювання переслідування агенти-переслідувачі засобами системи оптимально розподіляються по групах, кожна з яких націлена на захоплення цілком визначеного агента-утікача. Кожний з агентів-переслідувачів, що належить окремій групі, реагує на дії відповідного агента-утікача, а агенти-утікачі, в свою чергу, реагують на дії агентів-переслідувачів, які призначені для їх захоплення. Вважається, що кожний агент-утікач може перебувати в одному з двох станів: або він знає своїх переслідувачів, або він не знає своїх переслідувачів. У другому випадку кожний агент-утікач у кожний момент часу свого руху формує припущення щодо своїх вірогідних переслідувачів, на дії яких він і реагує. Будь-який агент намагається діяти найоптимальнішим чином: агенти-переслідувачі використовують оптимальні стратегії для найшвидшого захоплення відповідних агентів-утікачів, а агенти-

утікачі використовують відповідні стратегії для збільшення часу їх захоплення (або уникнення цього) агентами-переслідувачами. З метою як найшвидшого захоплення агентів-утікачів агенти-переслідувачі в процесі переслідування можуть вступати між собою у перемовини, за результатами яких можуть переходити в інші групи. Агенти для запобігання зіткнень з іншими агентами використовують методи маневрування, які відповідають вимогам Міжнародних правил попередження зіткнення суден у морі [9].

1. Архітектура та мова реалізації МАС Навігація

Узагальнену архітектуру МАС Навігація показано на рис. 1. В архітектурі МАС можна умовно виділити дві укрупнені функціонально орієнтовані складові (середовище формування даних для мультиагентного моделювання та середовище мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання), пов'язані між собою через підсистему керування процесом моделювання (див. рис. 1).

До складу середовища формування даних для мультиагентного моделювання входять три підсистеми, засобами яких виконується завантаження, підготовка, редагування та збереження початкових даних, потрібних для функціонування середовища мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання, яке, в свою чергу, включає до свого складу дві головні підсистеми МАС Навігація. Функціональні можливості підсистем, показаних на рис. 1,

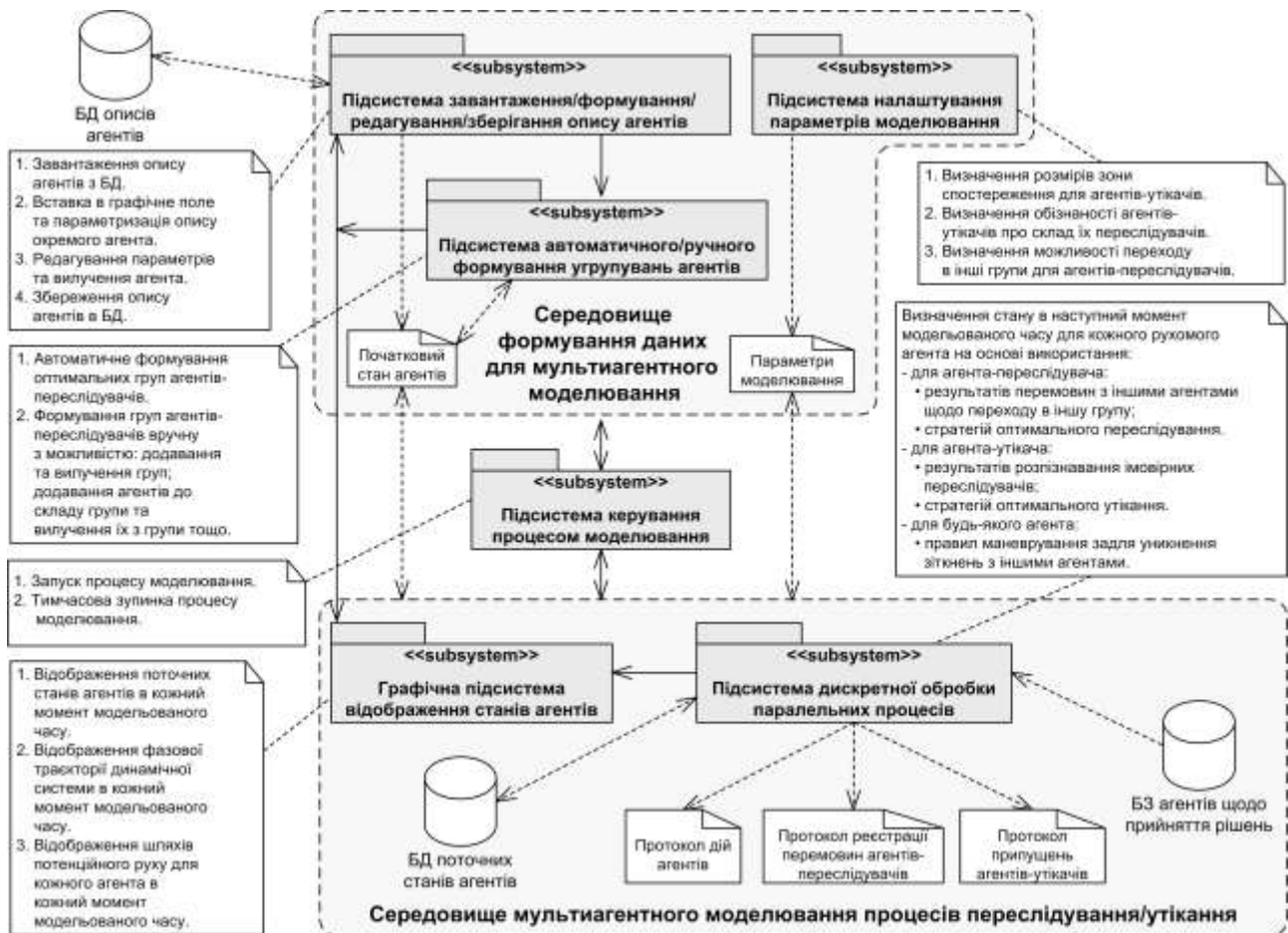


Рис. 1. Узагальнена архітектура MAC Навігація

розглянуто в п. 2 даної роботи.

Для реалізації MAC Навігація використано мову PDC Visual Prolog 5.2 (VIP) з наступних міркувань: по-перше, VIP – це реляційна мова, завдяки чому суттєво спрощується створення, обробка та збереження різноманітних баз даних (БД), потрібних для опису агентів та їх станів; по-друге, VIP – це мова логічного програмування, за допомогою якої забезпечується адекватний опис логіки поведінки агентів у різноманітних ситуаціях та подання знань агентів про їх дії у різних обставинах.

2. Функціональні можливості підсистем MAC Навігація

2.1. Підсистема завантаження/формування/редагування/зберігання опису агентів

дозволяє побудувати нову БД описів агентів або завантажити раніше збережену БД. Під побудовою БД описів

агентів розуміється процес послідовного формування множини агентів у графічному полі. Під формуванням агента розуміється упорядкована сукупність операцій, що включає (див. рис. 2): вибір вида агента (з панелі інструментів), параметризацію агента та його відображення у вибраній точці графічного поля. Як видно з рис. 2, як інтерфейс ця підсистема разом з діалоговим інтерфейсом використовує інтерфейс графічної підсистеми відображення станів агентів (див. п. 2.6).

Сформовані описи агентів можуть бути відредаговані за допомогою pull-down меню, що відкривається при виділенні агента у графічному полі і натисканні на праву кнопку миші. Вибір опції меню „Вилучити” призводить до вилучення агента з графічного поля (та його опису з БД). Вибір опції „Редагувати” призводить до завантаження діалогу параметризації (див. рис. 2), в якому користувач має можливість внести зміни до опису агента.

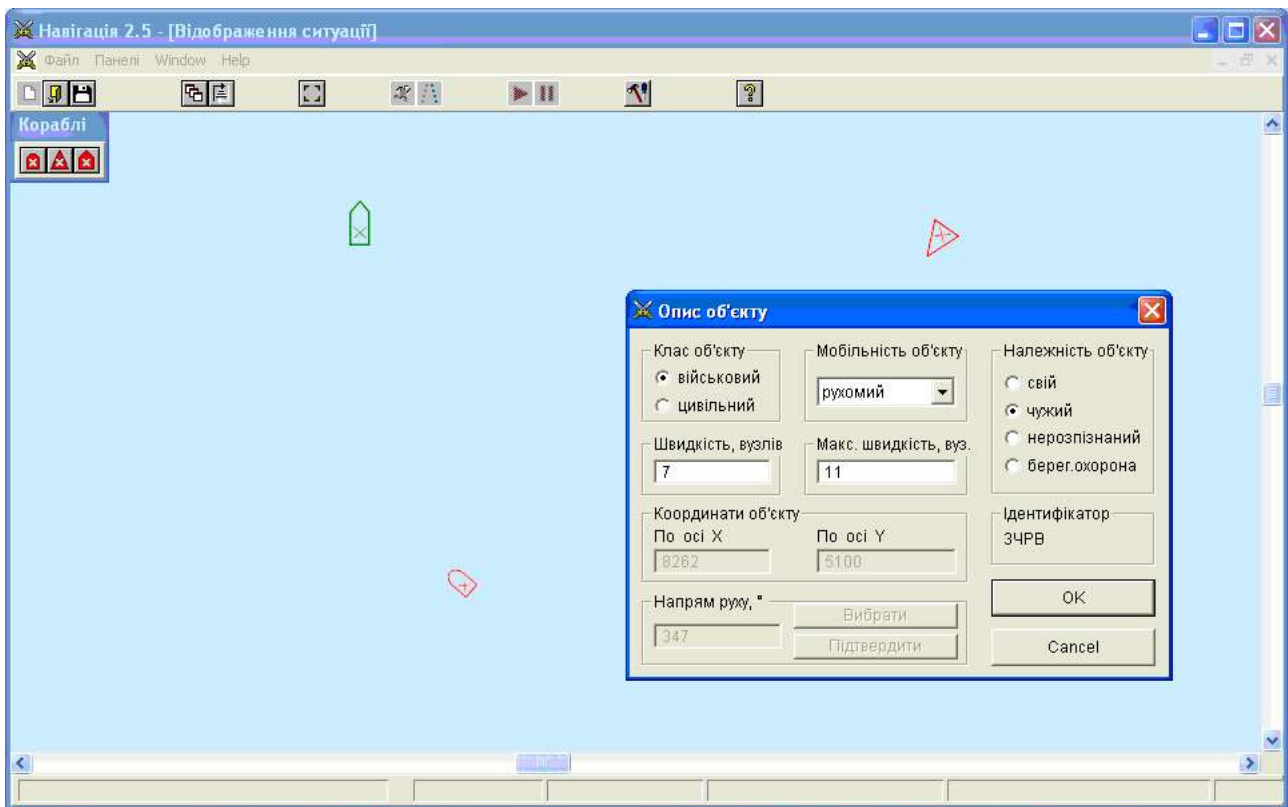


Рис. 2. Приклад виконання параметризації агента

Описи агентів утворюють БД описів агентів, яка може бути збережена та повторно завантажена. Сформована (завантажена) БД описів агентів утворює *початковий стан агентів* (див. рис. 1), використовуваний для подальшого моделювання процесів переслідування/утікання.

2.2. Підсистема налаштування параметрів моделювання дозволяє сформувати значення додаткових параметрів, які впливають на результати модельованого процесу переслідування/утікання агентів. Як інтерфейс ця підсистема використовує діалог «Установки параметрів» (див. рис. 3).

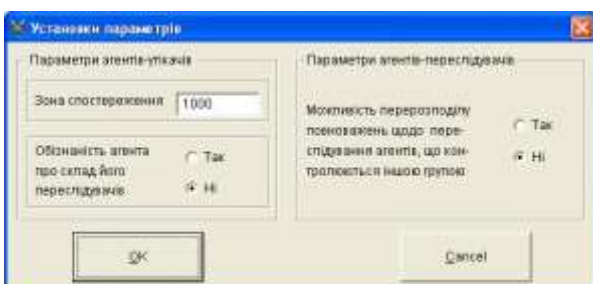


Рис. 3. Діалог налаштування параметрів

Засобами цього діалогу задаються додаткові параметри властивостей як

агентів-утікачів, так і агентів-переслідувачів. Для агентів-утікачів задаються значення двох параметрів: зони спостереження та об'язаності щодо складу їх переслідувачів.

За допомогою зони спостереження моделюється простір видимості для агентів-утікачів і вони спостерігають тільки тих інших агентів, які в ній перебувають. Значимо, що агенти-утікачі можуть перебувати в одному з двох станів: або вони знають своїх агентів-переслідувачів, або ні. В другому випадку кожний агент-утікач для визначення складу своїх вірогідних агентів-переслідувачів (які потрапили в його зону спостереження) в кожний момент модельованого часу формує припущення.

В свою чергу, агенти-переслідувачі для зменшення часу переслідування можуть або переходити в інші групи, або ні, що і задається за допомогою діалогу.

Як наслідок, в результаті відповідних призначень параметрів можливі чотири альтернативи з моделювання поведінки агентів: «агенти-утікачі знають своїх агентів-переслідувачів та агенти-переслідувачі не перегруповуються»; «агенти-утікачі не знають своїх агентів-переслідувачів та

агенти-переслідувачі не перегруповуються»; «агенти-утікачі знають своїх агентів-переслідувачів та агенти-переслідувачі перегруповуються»; «агенти-утікачі не знають своїх агентів-переслідувачів та агенти-переслідувачі перегруповуються». Зазначені альтернативи суттєво розширяють функціональні можливості МАС Навігація щодо моделювання процесів переслідування/утікання на площині (приклади моделювання див. п. 3 даної роботи).

2.3. Підсистема автоматичного/ручного формування угруповань агентів дозволяє сформувати групи агентів двома шляхами: автоматично (для цього використовується метод, викладений в [8]) або вручну.

Автоматичне формування груп агентів відбувається шляхом отримання оптимального рішення щодо стану груп, при якому мінімізується загальний час захоплення всіх утікачів переслідувачами з урахуванням обмеження, що швидкість кожного переслідувача у групі перебільшує шви-

дкість відповідного утікача. При цьому, якщо швидкість окремого переслідувача у групі менша за швидкість відповідного утікача, підсистема діагностує помилку, для усунення якої необхідно засобами підсистеми завантаження/формування/редагування/зберігання опису агентів (див. п. 2.1) відредагувати швидкості агентів. Тобто ця підсистема може також використовувати інтерфейс підсистеми, описаної в п. 2.1.

Результати автоматичного формування груп агентів користувач може переглянути за допомогою діалогу „Формування груп” (див. рис. 4), який є інтерфейсом даної підсистеми.

В процесі формування груп вручну користувач може створювати групи за своїми уподобаннями, редагувати склад груп та переглядати розташування агентів у графічному полі (на рис. 4 показано приклад виділення агента для перегляду). Тобто дана підсистема може також використовувати інтерфейс графічної підсистеми відображення станів агентів (див. п. 2.6 та рис. 1).

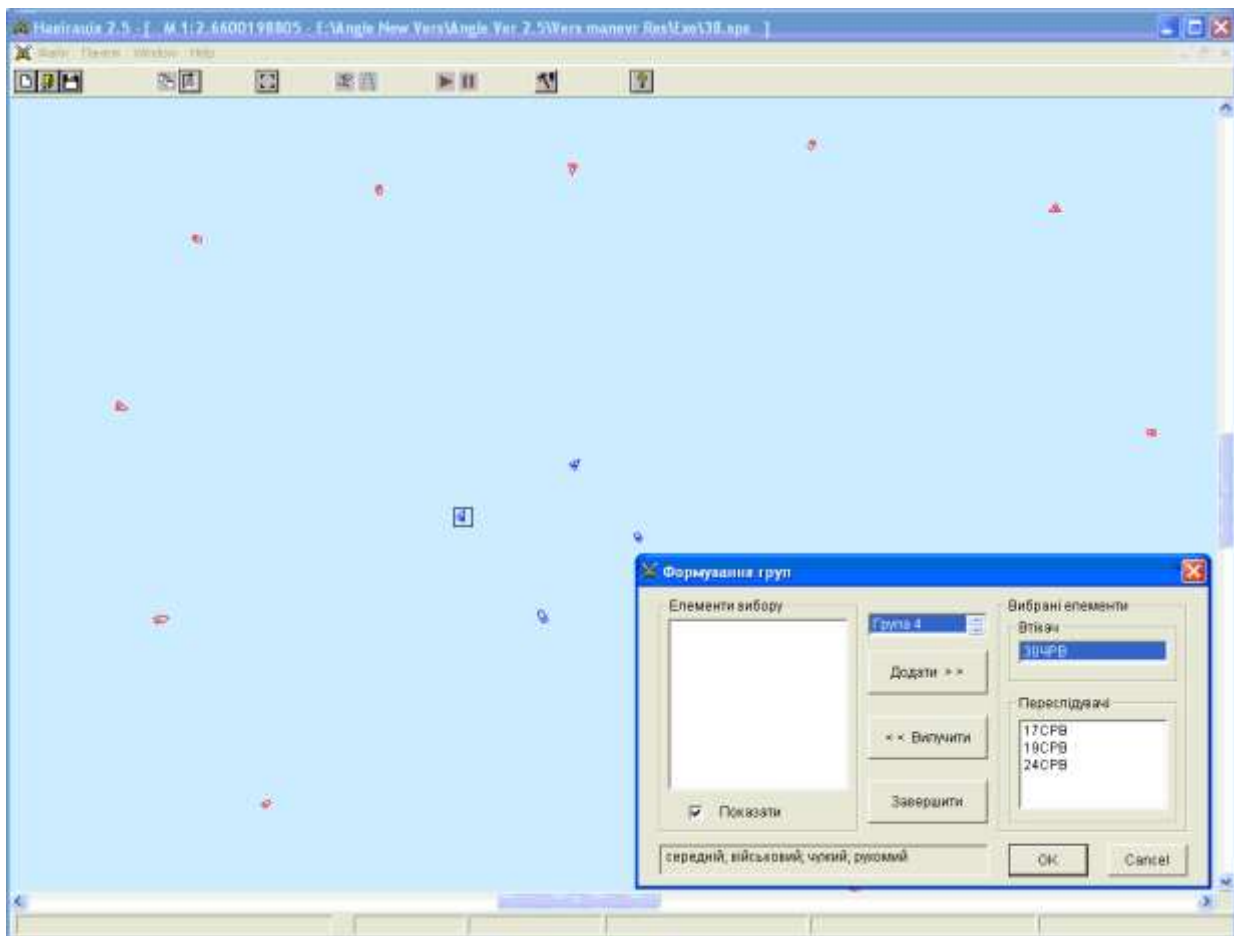


Рис. 4. Діалог формування/редагування стану груп агентів

2.4. Підсистема керування процесом моделювання стає доступною після успішного завершення роботи підсистеми автоматичного/ручного формування угруповань агентів (див. п. 2.3), – при цьому стає активною кнопка „Запуск переслідування” панелі інструментів головного вікна МАС. При натисканні на цю кнопку керування передається підсистемі дискретної обробки паралельних процесів (див. рис. 1 та п. 2.5 даної роботи). При цьому стає активною (enabled) кнопка „Зупинити переслідування” панелі інструментів головного вікна МАС, а кнопка „Запуск переслідування” стає неактивною (disabled).

Користувач МАС Навігація в будь-який момент модельованого часу має можливість призупинити процес моделювання шляхом натискання на кнопку „Зупинити переслідування”. При цьому стає неактивною кнопка „Зупинити переслідування”, а кнопка „Продовжити переслідування” панелі інструментів головного вікна МАС стає активною.

При натисканні на кнопку „Зупинити переслідування” відбувається знищення таймера, запущеного на початку процесу моделювання, поточний стан агентів запам'ятовується як початковий стан агентів (див. рис. 1) та запам'ятовуються траєкторії здійснених рухів всіх агентів, що разом утворюють фазову траєкторію динамічної системи на момент зупинки модельованого часу. Зупинка процесу моделювання надає користувачу можливість змінити поточні параметри моделювання та проаналізувати стан агентів на даний момент модельованого часу.

Поновлення процесу моделювання відбувається шляхом натискання на кнопку „Продовжити переслідування”, при цьому ця кнопка стає неактивною, а кнопка „Зупинити переслідування” – активною. При натисканні на кнопку „Продовжити переслідування” відбувається запуск таймера і процес моделювання засобами підсистеми дискретної обробки паралельних процесів поновлюється зі збереженого початкового стану агентів з урахуванням поточних параметрів моделювання (див. рис. 1).

2.5. Підсистема дискретної обробки паралельних процесів є головною підсистемою МАС Навігація, в рамках якої реалізовано методи, викладені в [3–7]. Засобами цієї підсистеми підтримуються всі аспекти прийняття рішень агентами в межах модельованих процесів.

При активації даної підсистеми відбувається запуск таймера і в кожний момент модельованого часу кожний рухомий агент аналізує свій поточний стан та стани інших агентів з метою вирішення поставлених перед ним задач.

На рис. 5 показано діаграму діяльності i -го агента в довільний момент модельованого часу (в нотації UML). Ця діаграма узагальнено характеризує всі основні аспекти прийняття рішень довільним агентом (додатково зазначимо, що діаграму діяльності щодо виконання маневрування агентами наведено в [5]). Для узагальності подання, в діаграмі розглянуто будь-якого агента (як рухомого, так і нерухомого), хоча в реалізації поточні стани *нерухомих* агентів підсистемою не розглядаються та не поновлюються.

Засобами даної підсистеми в кожний момент модельованого часу послідовно розглядаються всі рухомі агенти відповідно до наведеної діаграми їх діяльності.

З точки зору програмної реалізації, це відбувається в процесі виконання окремого періоду таймера події `e_Timer`. Після завершення виконання періоду таймера події `e_Timer`, виконується виклик події `e_Update`, в рамках якої відбувається перемальовування поновленого стану всіх агентів засобами підсистеми відображення станів агентів (див. п. 2.6 та рис. 1), після чого керування знов передається події `e_Timer` і так далі, до моменту захоплення всіх утікачів або призупинення процесу моделювання засобами підсистеми керування процесом моделювання (див. п. 2.4).

Зазначимо, що множина знань агентів, яка включає (див. рис. 5) правила прийняття рішень агентами та алгоритми, використовувані ними для оптимізації власних дій, узагальнено утворюють БЗ агентів щодо прийняття рішень (див. рис. 1).

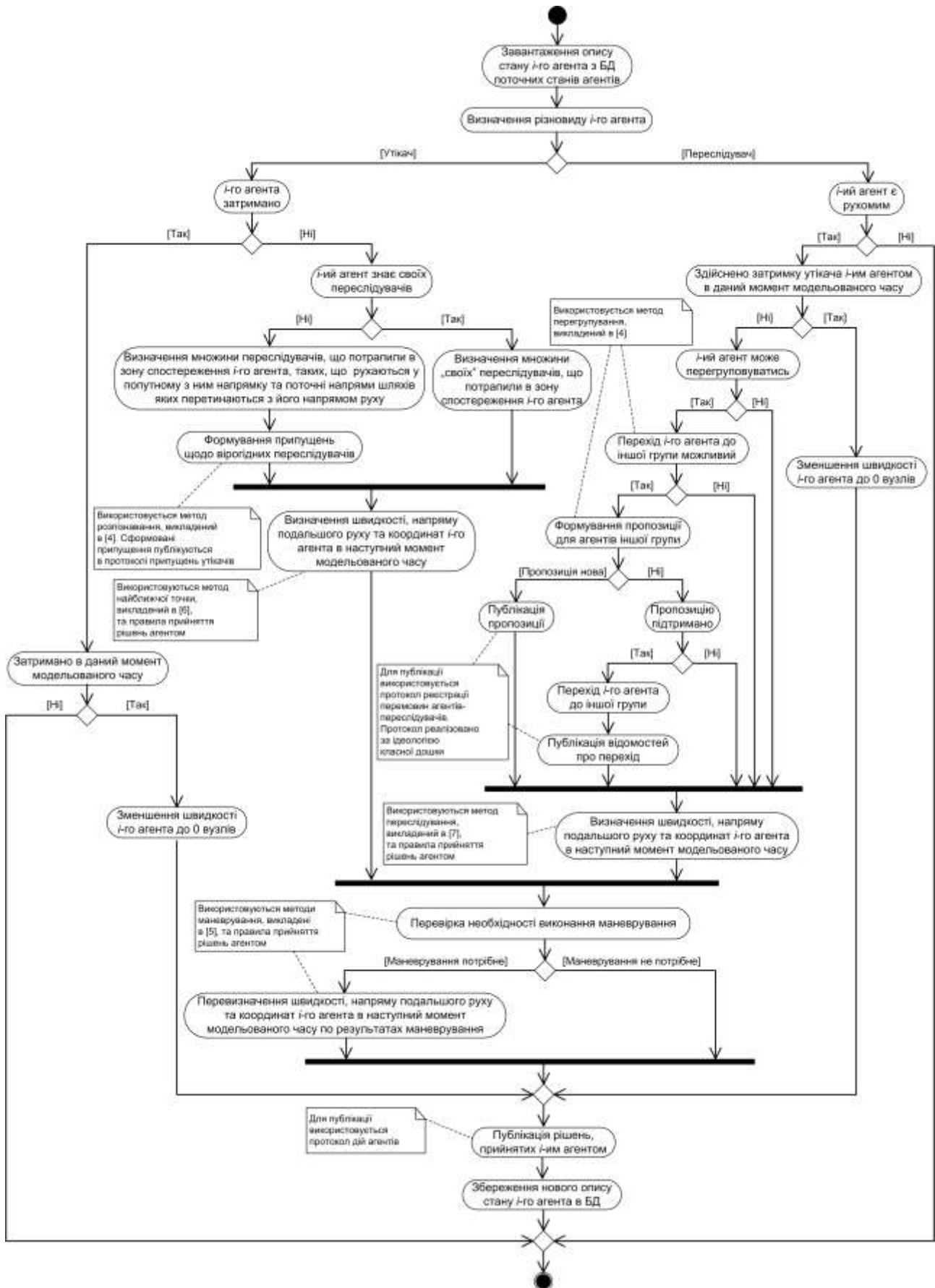


Рис. 5. Діаграма діяльності *i*-го агента в довільний момент модельованого часу

Слід підкреслити, що дана підсистема не має власного інтерфейсу, але використовує чотири зовнішні інтерфейси (див. рис. 1): графічної підсистеми відображення станів агентів (графічне вікно для малювання поточних станів агентів у кожний момент модельованого часу) та протоколів (три графічних вікна для відображення текстових протоколів дій, перемовин та припущень агентів).

2.6. Графічна підсистема відображення станів агентів, як вище показано, використовується декількома підсистемами як інтерфейс (див. рис. 1) та призначена для відображення поточних станів агентів як на етапі формування описів агентів (див. п. 2.1), так і в процесі мультиагентного моделювання (див. п. 2.5). Водночас основним призначенням цієї підсистеми є надання користувачу МАС Навігація головного інтерфейсу мультиагентного моделювання, оскільки саме завдяки їй користувач може в реальному масштабі часу спостерігати всі візуальні аспекти модельованих процесів. У даній підсистемі реалізовано основні функціональні можливості, притаманні графічним системам (у тому числі масштабування, здвиг, знаходження та виділення об'єктів моделювання тощо).

3. Функціональні можливості МАС Навігація

Функціональні можливості МАС Навігації щодо мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання розглянемо на прикладі, в якому засобами підсистеми налаштування параметрів моделювання (див. п. 2.2 даної роботи) задано чотири різні режими моделювання:

- 1) утікачам відомі їх переслідувачі, які не можуть перегруповуватись (рис. 7);
- 2) утікачам невідомі їх переслідувачі, які не можуть перегруповуватись (рис. 8);
- 3) утікачам відомі їх переслідувачі, які можуть перегруповуватись (рис. 9);
- 4) утікачам невідомі їх переслідувачі, які можуть перегруповуватись (рис. 10).

На рис. 6 показано приклад почат-

кової дислокації агентів, який ми будемо далі використовувати для демонстрації розбіжностей при різних режимах моделювання процесів переслідування/утікання агентів на площині. На рисунку в центрі дислокації розташовані утікачі (обведені колом), які оточені переслідувачами.

Результати мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання, виконаного засобами МАС Навігація, для чотирьох вищезазначених режимів моделювання наведено в таблицях 1–4.

Зазначимо, що час, витрачений агентами-переслідувачами на захоплення агентів-утікачів, обчислюється в секундах модельованого часу (див. табл. 1–4), який визначається внаслідок здійснення мультиагентного моделювання засобами МАС Навігація при встановленому періоді таймера зі значенням 0.2 сек. Абревіатури, що позначають агентів, є їх унікальними ідентифікаторами, які автоматично генеруються при первинному формуванні описів агентів (наприклад, 28ЧРВ сформовано шляхом конкатенації порядкового номера агента (28) та ознак «чужий» (Ч), «рухомий» (Р) та «військовий» (В)).

Порівняння результатів моделювання при режимах, в яких переслідувачі не вступали у перемовини (не перегруповувались), а утікачі знали (див. рис. 7 та табл. 1) або не знали (див. рис. 8 та табл. 2) своїх переслідувачів, дозволяє зробити висновки, що у даному випадку наявність знань в утікачів щодо їх переслідувачів, по-перше, значно збільшує як мінімальний час їх захоплення (до 90 % – див., наприклад, мінімальний час захоплення утікача 28ЧРВ в табл. 1 та 2), так і загальний максимальний час переслідування (до 25 %), по-друге, призводить до різних траєкторій руху утікачів, внаслідок чого їх первинне захоплення здійснюється різними переслідувачами (за винятком утікача 31ЧРВ, у якого траєкторія руху та переслідувач з мінімальним часом захоплення в обох режимах збігаються, що пояснюється тим, що даний утікач, на відміну від інших утікачів, у процесі свого руху не відчував впливу переслідувачів з інших груп).



Рис. 6. Приклад початкової дислокації агентів

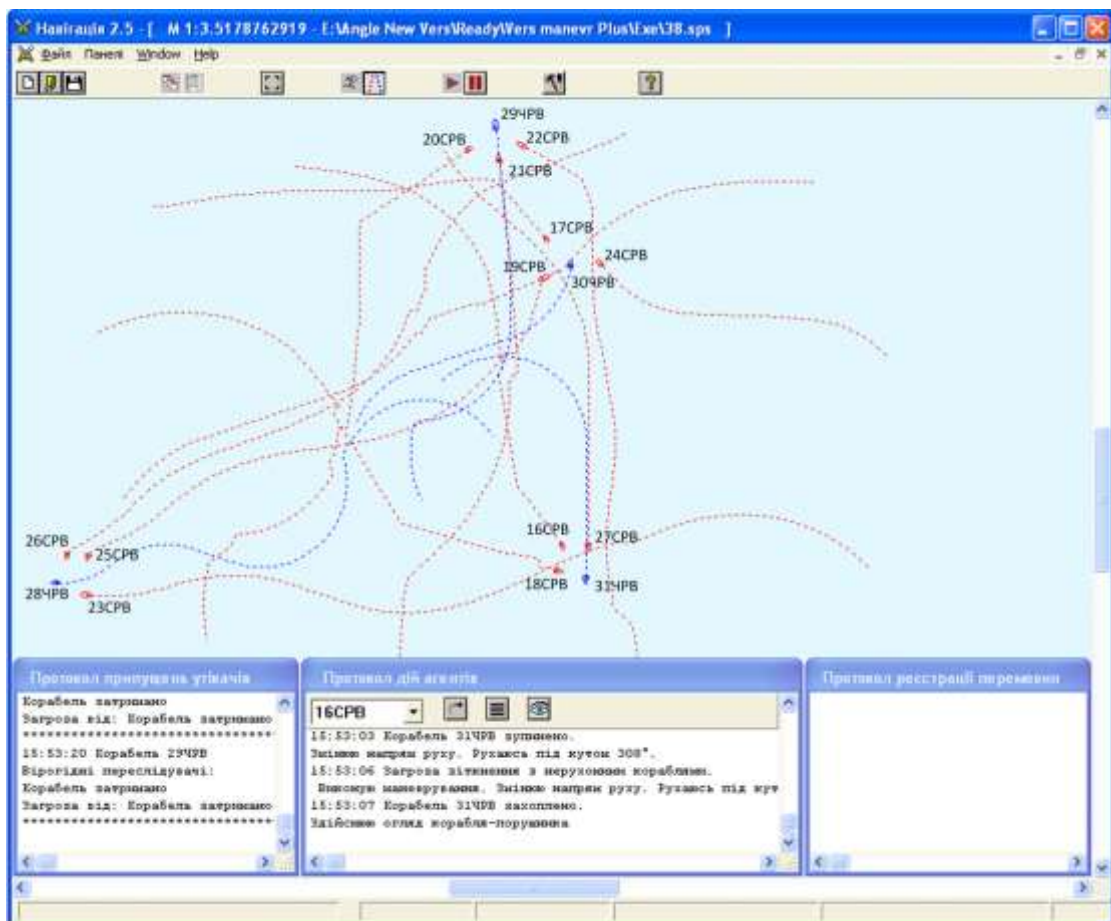


Рис. 7. Утікачі знають своїх переслідувачів; переслідувачі не можуть перегрупуватись

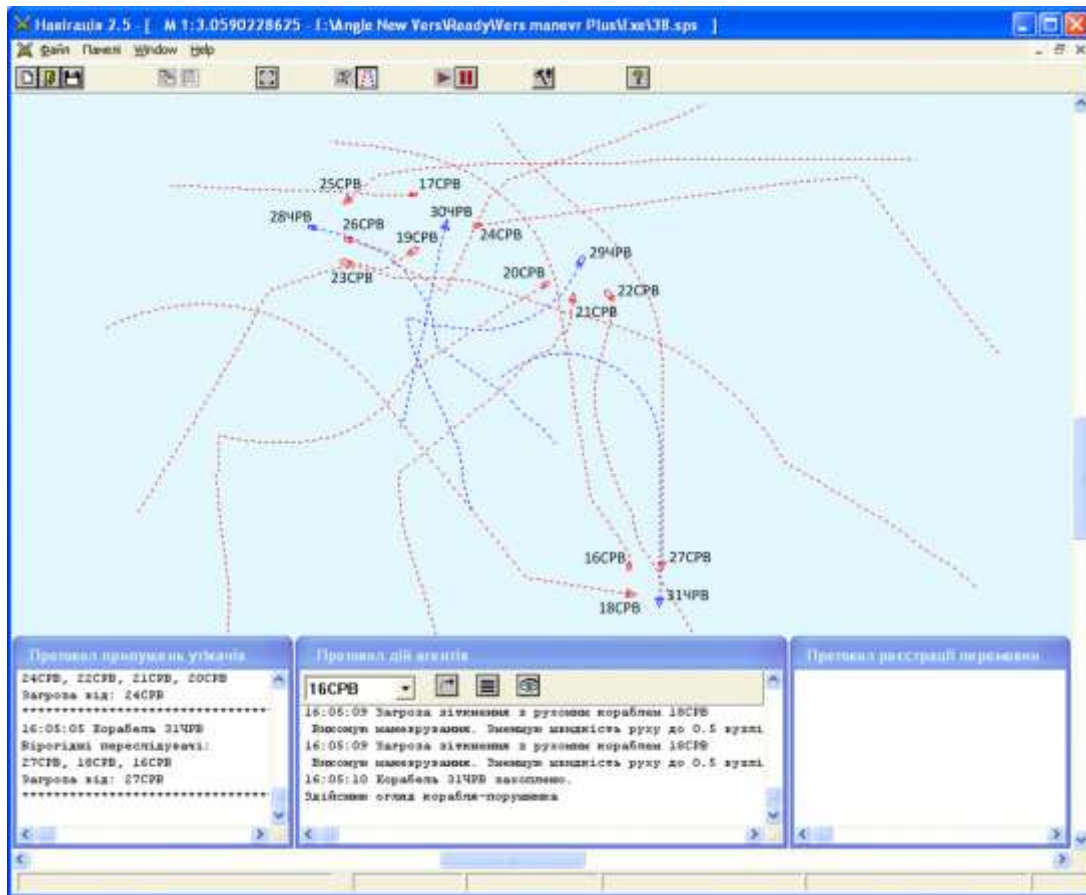


Рис. 8. Утікачі не знають своїх переслідувачів; переслідувачі не можуть перегруповуватись

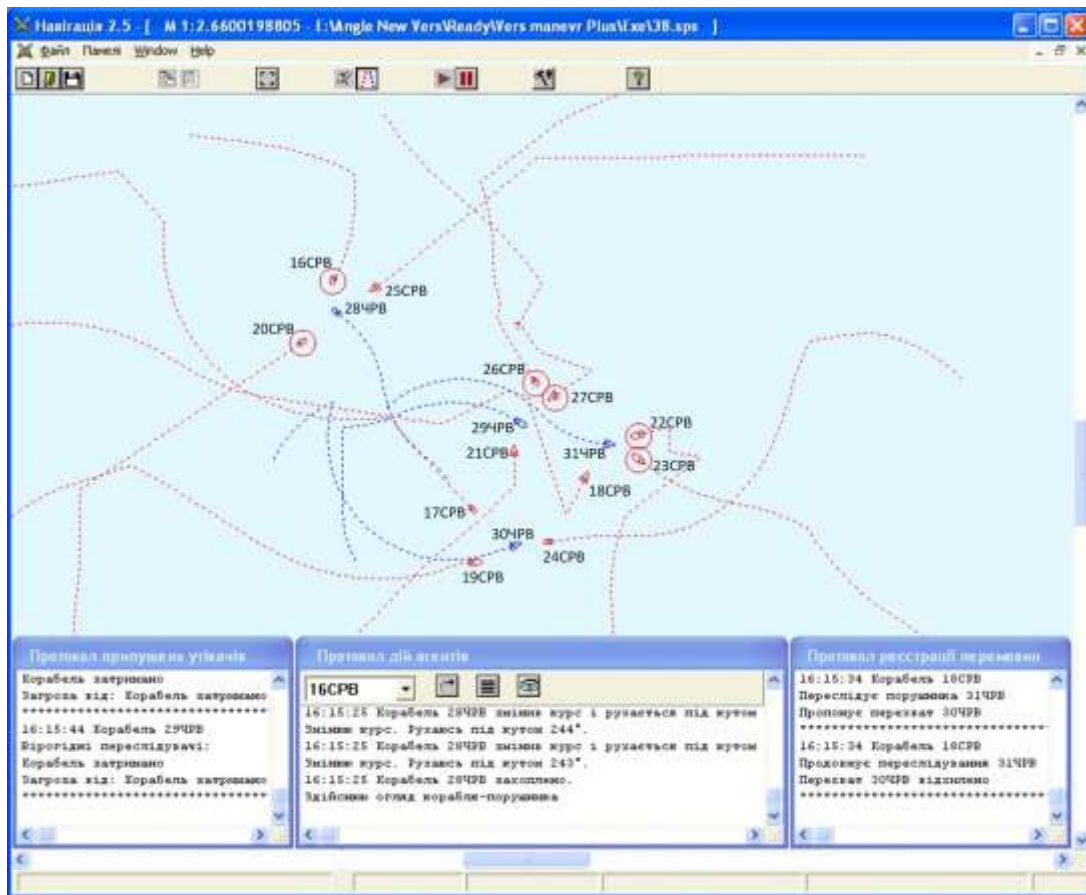


Рис. 9. Утікачі знають своїх переслідувачів; переслідувачі можуть перегруповуватись

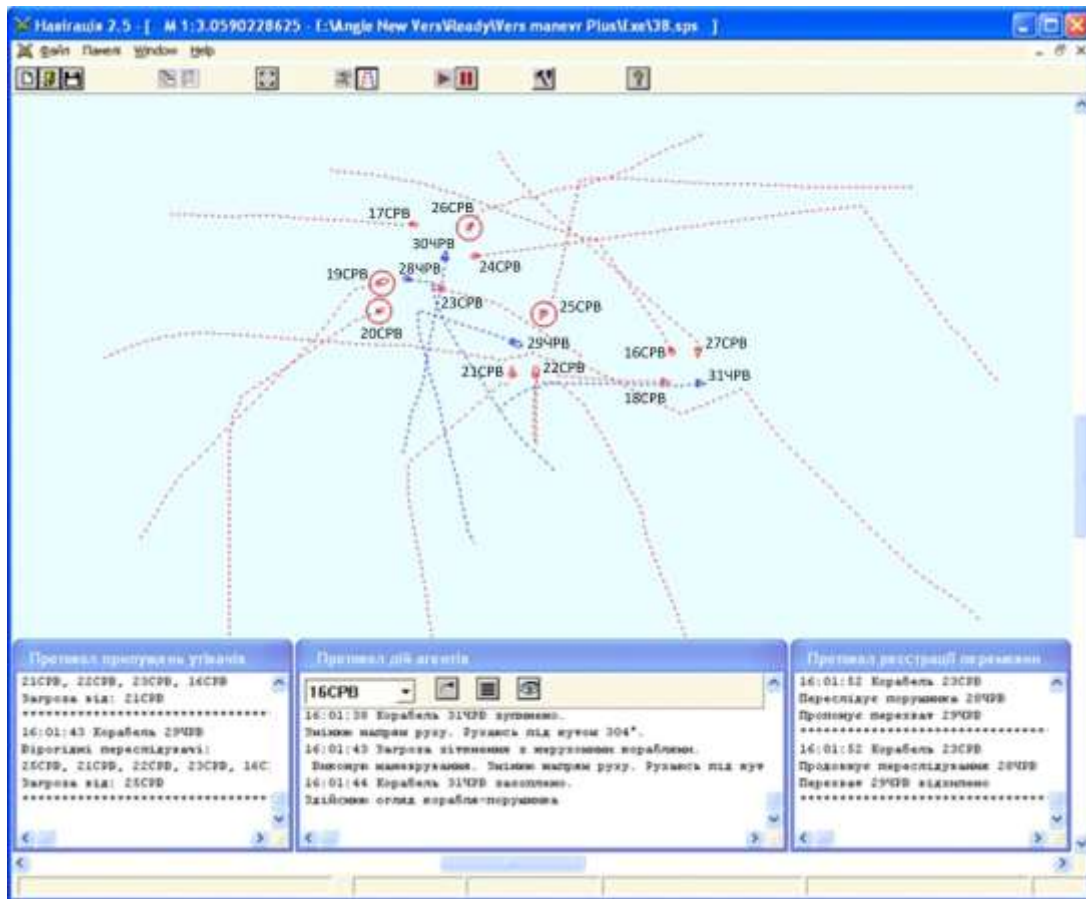


Рис. 10. Утікачі не знають своїх переслідувачів; переслідувачі можуть перегруповуватись

Таблиця 1

Результати мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання для випадку, коли утікачам відомі їх переслідувачі, переслідувачі не можуть перегруповуватись

Номер групи	Утікач	Склад оптимальної групи переслідувачів	Переслідувач/ мін час захоплення (с)	Переслідувач/ мах час захоплення (с)	Загальний мах час переслідування (с)
1	28ЧРВ	23СРВ 25СРВ 26СРВ	23СРВ/40	26СРВ/40	40
2	29ЧРВ	20СРВ 21СРВ 22СРВ	21СРВ/28	20СРВ/36	
3	30ЧРВ	17СРВ 19СРВ 24СРВ	24СРВ/18	19СРВ/26	
4	31ЧРВ	16СРВ 18СРВ 27СРВ	27СРВ/23	18СРВ/32	

Таблиця 2

Результати мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання для випадку, коли утікачам невідомі їх переслідувачі, переслідувачі не можуть перегруповуватись

Номер групи	Утікач	Склад оптимальної групи переслідувачів	Переслідувач/ мін час захоплення (с)	Переслідувач/ мах час захоплення (с)	Загальний мах час переслідування (с)
1	28ЧРВ	23СРВ 25СРВ 26СРВ	26СРВ/21	23СРВ/32	32
2	29ЧРВ	20СРВ 21СРВ 22СРВ	22СРВ/23	20СРВ/31	
3	30ЧРВ	17СРВ 19СРВ 24СРВ	17СРВ/11	24СРВ/31	
4	31ЧРВ	16СРВ 18СРВ 27СРВ	27СРВ/23	18СРВ/28	

Таблиця 3

Результати мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання для випадку, коли утікачам відомі їх переслідувачі, переслідувачі можуть перегруповуватись

Номер групи	Утікач	Склад оптимальної групи переслідувачів	Склад групи після перегруповування	Переслідувач/ мін час захоплення (с)	Переслідувач/ мах час захоплення (с)	Загальний мах час переслідування (с)
1	28ЧРВ	23СРВ 25СРВ 26СРВ	+ 16СРВ 20СРВ 25СРВ	16СРВ/11	20СРВ/23	30
2	29ЧРВ	20СРВ 21СРВ 22СРВ	+ 21СРВ 26СРВ 27СРВ	26СРВ/16	27СРВ/20	
3	30ЧРВ	17СРВ 19СРВ 24СРВ	- 17СРВ 19СРВ 24СРВ	19СРВ/21	17СРВ/26	
4	31ЧРВ	16СРВ 18СРВ 27СРВ	+ 18СРВ 22СРВ 23СРВ	23СРВ/14	18СРВ/30	

Результати мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання для випадку, коли утікачам невідомі їх переслідувачі, переслідувачі можуть перегруповуватись

Номер групи	Утікач	Склад оптимальної групи переслідувачів	Склад групи після перегруповування		Переслідувач/ мін час захоплення (с)	Переслідувач/ макс час захоплення (с)	Загальний макс час переслідування (с)
1	28ЧРВ	23СРВ 25СРВ 26СРВ	+	19СРВ 20СРВ 23СРВ	19СРВ/16	23СРВ/29	31
2	29ЧРВ	20СРВ 21СРВ 22СРВ	+	21СРВ 22СРВ 25СРВ	25СРВ/19	22СРВ/28	
3	30ЧРВ	17СРВ 19СРВ 24СРВ	+	17СРВ 24СРВ 26СРВ	17СРВ/11	24СРВ/31	
4	31ЧРВ	16СРВ 18СРВ 27СРВ	-	16СРВ 18СРВ 27СРВ	27СРВ/13	18СРВ/27	

Якщо ж порівнювати результати моделювання при режимах, в яких переслідувачі вступали у перемовини (могли перегруповуватись), а утікачі знали (див. рис. 9 та табл. 3) або не знали (див. рис. 10 та табл. 4) своїх переслідувачів, то у даному випадку наявність знань в утікачів щодо їх переслідувачів не мала такого значення, як у попередньому порівнянні. По-перше, на дії утікачів (і, як наслідок, на час їх захоплення), які знали своїх переслідувачів, впливала необхідність маневрування між собою (на відміну від утікачів, які не знали своїх переслідувачів). По-друге, виконане перегруповування переслідувачів (в табл. 3, 4 групи, в яких відбулось перегруповування, позначено символом «+»; на рис. 9 та 10 переслідувачі, які перегрупувалися, обведені колами) ще більше зменшило час захоплення відповідних утікачів. Водночас, невиконання перегруповування та наявність знань щодо своїх переслідувачів (див., наприклад, мінімальний час захоплення утікача 30ЧРВ в табл. 3 та 1) призводить до збільшення часу первинного за-

хоплення цього утікача на 17 %.

Ефекти від перегруповування віддзеркалює і попарне порівняння режимів, коли утікачам відомі їх переслідувачі, що або перегруповуються, або ні (див. табл. 3 і рис. 9 та табл. 1 і рис. 7), та коли утікачам невідомі їх переслідувачі, що або перегруповуються, або ні (див. табл. 4 і рис. 10 та табл. 2 і рис. 8). В першому випадку внаслідок перегруповування мінімальний час захоплення зменшується від 40 % до 73 %, а максимальний час захоплення – від 6 % до 44 % (порівн. табл. 1 та табл. 3); у другому випадку – мінімальний час захоплення зменшується від 17 % до 43 %, а максимальний час захоплення – від 4 % до 10 % (порівн. табл. 2 та 4).

Слід окремо підкреслити суттєвий вплив процесів маневрування на процеси переслідування/утікання агентів (і, як наслідок, на час захоплення утікачів): в процесі маневрування агенти не тільки змінюють напрям руху з метою уникнення зіткнень, а й за необхідністю зменшують швидкість свого руху (аж до повної

зупинки), що значно впливає на часові характеристики процесів переслідування/утікання. Крім того зауважимо, в МАС Навігація реалізовано автоматичні зміни швидкостей агентів у випадках, коли агент-утікач вперше розпізнав, що в зону його спостереження потрапив агент-переслідувач, який гіпотетично може бути його переслідувачем. В такій ситуації даний агент-утікач збільшує свою швидкість до максимально можливої, при цьому його фактичні агенти-переслідувачі також збільшують свої швидкості до максимально можливих.

З вищевикладеного стає очевидним, що формування груп за допомогою методів оптимізації (див. [8]) в розглянутих динамічних системах не дозволяє гарантувати отримання дійсно оптимальних рішень (за критерієм часу захоплення), оскільки, як показано вище, на поведінку об'єктів оптимізації впливають різні чинники, що ускладнюють визначення чітких критеріїв оптимізації.

Як наслідок, стає очевидним, що на основі методів оптимізації можна виконати лише первинний розподіл агентів по групах, який у подальшому може бути суттєво покращений завдяки перегрупованню агентів за результатами перемовин.

Висновки

В статті описано особливості проектування, реалізації та функціонування МАС Навігації, як системи, засобами якої здійснюється моделювання процесів переслідування/утікання агентів на площині для загального випадку (n переслідувачів, m утікачів, де $n \geq m$). Для МАС Навігації наведено її архітектуру з детальною характеристикою основних функціональних компонентів; подано діаграму діяльності довільного агента, яка дозволяє отримати уявлення про «приховані» процеси прийняття рішень агентами; продемонстровано функціональні можливості МАС Навігація за різними режимами її функціонування. МАС Навігацію можна розглядати як інструментарій для практичної перевірки теоретичних результатів, отримуваних у рамках досліджень з теорії диференціальних ігор.

1. Яловець А.Л., Кондращенко В.Я., Арістов В.В. Свідоцтво № 46897 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма – “Мультиагентна система “Навігація”, версія 2.0”». Державна служба інтелектуальної власності України, 2012.
2. Яловець А.Л., Кондращенко В.Я., Арістов В.В. Свідоцтво № 57880 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма – “Мультиагентна система “Навігація”, версія 2.5” (“МАС Навігація 2.5”)». – Державна служба інтелектуальної власності України, 2014 р.
3. Яловець А.Л. До постановки задачі переслідування на площині. Проблеми програмування. 2013. № 2. С. 95–100.
4. Яловець А.Л. Методи моделювання поведіння агентів в мультиагентній системі «Навігація». Проблеми програмування. 2014. № 2–3. С. 212–220.
5. Яловець А.Л. Проблема моделювання маневрування агентів в задачах переслідування/утікання на площині. Проблеми програмування. 2015. № 2. С. 86–100.
6. Яловець А.Л. Про метод найближчої точки як метод управління стратегіями переслідування/утікання агентів. Проблеми програмування. 2013. № 4. С. 94–99.
7. Яловець А.Л. Про один метод переслідування на площині. Проблеми програмування. 2013. № 3. С. 117–124.
8. Яловець А.Л. Проблема формування угруповань агентів у задачах переслідування/утікання на площині. Проблеми програмування. 2014. № 1. С. 108–118.
9. Коккрофт А.Н., Ламеєр Дж.Н.Ф. Руководство по Правилам предупреждения столкновения. СПб: ООО «МОРСАР». 2005. 320 с.

References

1. Yalovets A.L., Kondraschenko V.Ya., Aristov V.V. 46897 Certificate of registration of copyright in a product "Computer program – "Multi-agent systems "Navigation" version 2.0" ". The State Service of Intellectual Property of Ukraine, 2012. (in Ukrainian).
2. Yalovets A.L., Kondraschenko V.Ya., Aristov V.V. 57880 Certificate of registration of copyright in a product "Computer program - "Multi-agent systems "Navigation" version

- 2.5" ("MAS Navigation 2.5"). The State Service of Intellectual Property of Ukraine, 2014. (in Ukrainian).
3. Yalovets A.L. To problem definition of prosecuting in the plane. Problems in programming. 2013. N 2. P. 95–100. (in Ukrainian).
 4. Yalovets A.L. Methods of modelling the behaviour of agents in multi-agent system "Navigation". Problems in programming. 2014. N 2–3. P. 212–220. (in Russian).
 5. Yalovets A.L. The problem of modelling of maneuvering of agents in the tasks of pursuit/escape on a plane. Problems in programming. 2015. N 2. P. 86–100. (in Ukrainian).
 6. Yalovets A.L. About the method of the nearest point as a method of strategies management of pursuit/escape of agents. Problems in programming. 2013. N 4. P. 94–99. (in Ukrainian).
 7. Yalovets A.L. About one method of the persecution on a plane. Problems in programming. 2013. N 3. P. 117–124. (in Ukrainian).
 8. Yalovets A.L. The problem of the formation of groups of agents in the tasks of pursuit/escape on a plane. Problems in programming. 2014. N 1. P. 108–118. (in Ukrainian).
 9. Cockroft A.N., Lameijer J.N.F. A Guide to the Collision Avoidance Rules. Sankt-Petersburg: "MORSAR" Ltd. 2005. 320 p. (in Russian).

Одержано 29.12.2016

Про автора:

Яловець Андрій Леонідович,
доктор технічних наук,
заступник директора інституту.
Кількість наукових публікацій в
українських виданнях – понад 100.
Кількість наукових публікацій в
зарубіжних виданнях – 5.
<http://orcid.org/0000-0001-6542-3483>

Місце роботи автора:

Інститут програмних систем
НАН України.
03187, Київ-187,
проспект Академіка Глушкова, 40.
Тел.: (044) 526 15 38.
E-mail: yal@isofts.kiev.ua