

Кривоножко А.М. *Повітряне командування "Центр", Васильків*
Пархоменко Д.О., Захарченко І.В., Хижняк І.А. *Харківський національний університет
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО РЕФЛЕКСИВНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД НА ШЛЯХУ РУХУ БЕЗПІЛОТНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. Предметом вивчення в статті є процеси рефлексивного управління безпілотними літальними апаратами. Метою розробка методу формалізації знань про рефлексивне управління процесами виявлення перешкод на шляху руху безпілотної системи. Завдання: розробити моделі та методи спрямовані на рефлексивне управління рухом безпілотної системи. Аналізованими моделями та методами є: модель рефлексивної поведінки, метод рефлексивного програмування дій різних джерел. Отримані такі результати. Запропоновано модель задачі прийняття рішень при реалізації стратегії рефлексивного управління другого рангу та метод рефлексивного управління другого рангу. Розроблені моделі та методи, які є базисними для розробки методу визначення перешкод та динамічних об'єктів для безпілотних літальних апаратів. Взаємодія систем в умовах невизначеності щодо ситуації визначає деякий ранг рефлексії, що характеризується складом моделей підсистем прийняття рішення та формування траєкторії руху перешкоди. Використання математичних моделей дозволяє розробити методіку рефлексивного і інформаційного управління і на її основі автоматизувати процес підтримки прийняття рішень в складних конфліктних ситуаціях. Запропоновані модель рефлексивної поведінки та метод рефлексивного управління другого рангу впроваджують в систему управління безпілотними літальними апаратами метод формалізації знань про рефлексивне управління, що дозволить виявляти перешкоди на шляху руху в реальному часі і забезпечувати безпеку руху. Перспективою подальших розвідок у даному напрямку є розробка нечітких моделей і методів рефлексивного управління, що враховують уявлення суб'єктів про структуру і динаміку розвитку ситуації.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, рефлексивне управління, виявлення перешкод на шляху руху безпілотної системи.

Krivozhko A.M. *Air Command "Center", Vasilkov*
Parkhomenko D.O., Zakharchenko I.V., Khizhnyak I.A. *Ivan Kozhedub Kharkiv National Air
Force University, Kharkiv*

A METHOD OF FORMALIZING KNOWLEDGE ABOUT THE REFLEXIVE CONTROL OF THE PROCESSES OF IDENTIFYING OBSTACLES TO THE MOVEMENT OF AN UNMANNED SYSTEM

Annotation. The subject of the study is the processes of reflexive control of unmanned aerial vehicles. The aim is to develop a method for formalizing knowledge about the reflexive control of the processes of identifying obstacles to the movement of an unmanned system. Objective: to develop models and methods aimed at reflexive motion control of an unmanned system. The considered models and methods are: a model of reflexive behavior, a method of reflexive programming of actions of various sources. The following results are obtained: A model of the decision-making problem for the implementation of a second-rank reflexive control strategy and a second-rank reflexive control method are proposed. The developed models and methods that are basic for the development of a method for determining obstacles and dynamic objects for unmanned aerial vehicles. The interaction of systems in conditions of uncertainty about the situation determines a certain rank of reflection, is characterized by the composition of the models of decision-making subsystems and the formation of the trajectory of the obstacle. The use of mathematical models makes it possible to develop a method of reflexive and informational control and, on its basis, to automate the process

of decision support in complex conflict situations. The proposed model of reflexive behavior and the method of reflexive control of the second rank introduce the method of formalizing knowledge of reflexive control into the control system of unmanned aerial vehicles, which will make it possible to identify obstacles in the path of movement in real time and ensure traffic safety. The prospect for further research in this direction is the development of fuzzy models and methods of reflexive control, taking into account the ideas of subjects about the structure and dynamics of the development of the situation.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, reflexive control, identification of obstacles in the path of the unmanned system.*

Кривоножко А.Н. *Воздушное командование "Центр", Васильков*

Пархоменко Д. А., Захарченко И. В., Хижняк И. А. *Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О РЕФЛЕКСИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ НА ПУТИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. *Предметом изучения статьи являются процессы рефлексивного управления беспилотными летательными аппаратами. Целью разработка метода формализации знаний о рефлексивном управлении процессами выявления препятствий на пути движения беспилотной системы. Задача: разработать модели и методы, направленные на рефлексивное управление движением беспилотной системы. Рассматриваемыми моделями и методами являются: модель рефлексивного поведения, метод рефлексивного программирования действий различных источников. Получены следующие результаты: Предложена модель задачи принятия решений при реализации стратегии рефлексивного управления второго ранга и метод рефлексивного управления второго ранга. Разработанные модели и методы, которые являются базисными для разработки метода определения препятствий и динамических объектов для беспилотных летательных аппаратов. Взаимодействие систем в условиях неопределенности относительно ситуации определяет некоторый ранг рефлексии, характеризуется составом моделей подсистем принятия решения и формирования траектории движения препятствия. Использование математических моделей позволяет разработать методологию рефлексивного и информационного управления и на ее основе автоматизировать процесс поддержки принятия решений в сложных конфликтных ситуациях. Предложенные модель рефлексивной поведения и метод рефлексивного управления второго ранга внедряют в систему управления беспилотными летательными аппаратами метод формализации знаний о рефлексивном управлении, что позволит выявлять препятствия на пути движения в реальном времени и обеспечивать безопасность движения. Перспективой дальнейших исследований в данном направлении является разработка нечетких моделей и методов рефлексивного управления, учитывающие представления субъектов о структуре и динамике развития ситуации.*

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, рефлексивное управление, выявление препятствий на пути движения беспилотной системы.*

1. Вступ

В даний час у світовій практиці склалася тенденція, що безпілотні літальні апарати (БПЛА) починають широко вживатися в цивільних областях [1], наприклад, для вирішення завдань екологічного моніторингу, дистанційного зондування поверхні Землі, спостереження за об'єктами транспортної інфраструктури тощо При цьому рух БПЛА може відбуватися в різноманітних складних умовах рельєфу місцевості: в міському середовищі (серед будівель), в умовах гірського рельєфу, над пустельній, лісо-паркової, водним середовищем і т.д. З бурхливим розвитком БПЛА, здатним рухатися в умовах складного рельєфу, завдання здійснення в реальному режимі часу маршруту рефлексивного управління процесами виявлення перешкод на шляху руху безпілотної системи [2].

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Перші роботи з дослідження рефлексивних процесів з'явилися в 60-х роках минулого століття. Піонером цього напрямку виступив В. Лефевр, який розробляв концепцію рефлексивного взаємодії, ввів поняття рефлексивного вибору, рефлексивних ігор і запропонував дескриптивну мову для опису рефлексивних процесів. Він визначив рефлексивне управління як "процес, в якому один із супротивників передає іншому підстави для прийняття рішення" [3]. Ці дослідження розвивалися в напрямку пошуку математичних моделей, що містять опис психологічних особливостей людини, зокрема, його здатності усвідомлювати і оцінювати свою поведінку в соціальному середовищі [4]. Надалі ці розробки привели до створення теорії рефлексивних процесів, що отримала підтвердження в психологічних і соціальних дослідженнях [5, 6]. Проблеми застосування рефлексивного управління для вирішення завдань інформаційної боротьби досліджувалися в роботах [7]. Математична теорія рефлексивного вибору була розвинена в [8], де запропоновано моделі багатокритеріального рефлексивного вибору і досліджені умови, що створюють передумови для управління поведінкою суб'єкта при прийнятті ним рішення. На сучасному етапі [9, 10] не в повній мірі досліджено питання впровадження в систему автономного управління БПЛА моделей та методів спрямованих на реалізацію рефлексивного управління процесами виявлення перешкод на шляху руху безпілотної системи в процесі виконання польотного завдання. Впровадження вказаних моделей та методів рефлексивного управління значно розширить можливості системи керування БПЛА.

3. Мета дослідження

Метою статті є розробка методу формалізації знань про рефлексивне управління процесами виявлення перешкод на шляху руху безпілотної системи.

4. Результати дослідження

Представимо БПЛА як складну систему, що складається з n підсистем S_1, S_2, \dots, S_n зі своїми управляючими елементами Q_i ($\overline{1, n}$) і джерелами інформації про зовнішнє середовище. Середовище та елементи БПЛА характеризуються певним станом у кожен момент часу.

Сукупність станів середовища і БПЛА назвемо ситуацією. Ситуація описується деякою множиною відносин між об'єктами середовища та елементами підсистем S_1, S_2, \dots, S_n .

Інформація від джерел надходить до управляючого елемента Q_i для формування інформаційної моделі $I_i(\alpha)$ ситуації α . Значення істинності деяких тверджень $P_{ij}(\alpha)$ визначають стан моделі $I_i(\alpha)$. Кожен предикат $P_{ij}(\alpha)$ відповідає відношенню $r_{ij}(\alpha) \in R_i$ де R_i – підмножина відношень, що мають місце по даних всіх джерел інформації підсистеми S_i . Інформаційні моделі $I_i(\alpha)$ однієї й тієї ж ситуації від різних підсистем у загальному випадку різні. У результаті моделі $I_i(\alpha)$ відображають реальну ситуацію з деяким ступенем наближення.

Крім того, кожна підсистема S_i може мати у своєму розпорядженні моделі $I_i(I_j(\alpha))$ представлень інших підсистем S_j ($i \neq j$) про ситуації α . Підсистема S_i за допомогою моделі $I_i(\alpha)$ визначає свої можливості з виконання певних дій.

Нехай V_i^i – множина представлень, що описують уявлення підсистеми S_i про свої можливості. V_j^i – множина представлень, що описують модель $I_i(I_j(\alpha))$ підсистеми S_i про можливості системи S_j . Підсистема S_j також може мати у своєму розпорядженні

інформаційну модель $I_j(I_k(\alpha))$. Тому V_k^{ji} – множина представлень підсистеми S_i , які описують припущення підсистеми S_j про можливості підсистеми S_k .

У загальному випадку $V_{j_m}^{j_{m-1}j_{m-2}\dots j^i}$ – припущення підсистеми S_i про можливості підсистеми S_{j_m} , побудовані на основі моделі $I_i(I_{j_1}(I_{j_2}(\dots(I_{j_m}(\alpha))\dots)))$.

Позначимо C_i – множина уявлень для кожної підсистеми S_i , що описують її цільову настанову (ЦН). У загальному випадку аналогічно припущенням про можливості використовуємо вираз $C_{j_m}^{j_{m-1}j_{m-2}\dots j^i}$.

Задача прийняття рішень про план дій з досягнення цілі розглядається з позицій однієї із підсистем.

По-перше, постановка завдання визначається співвідношенням цілей систем. Нехай існує ієрархічна система, що включає управляючу підсистему Q_i і підсистеми S_1, S_2, \dots, S_n . Дана структура призначена для досягнення глобальної мети функціонування СОТС – C_0 . Q_i також визначає часткові цілі $C_i (i \neq j)$ відповідно до можливостей підсистем, щоб забезпечити їх погоджені дії з досягнення головної цілі. Крім того, управляюча підсистема Q_i виявляє протиріччя та здійснює їх розв'язання. Інакше кажучи, управляюча підсистема Q_i координує дії підпорядкованих підсистем.

Фактично n підсистем створюють коаліцію для досягнення єдиної цілі C_0 . Але у процесі функціонування цільові настанови можуть бути частково або повністю суперечливими. Повністю суперечливі ЦН сумісно не виконуються ні в однієї із ситуацій. У цьому випадку інтереси підсистем протилежні, тобто системи знаходяться у стадії конфлікту.

По-друге, постановку завдання управління в умовах взаємодії цілеспрямованих підсистем визначають допущення про їх інформованість.

Нехай підсистема S_i приймає рішення на управління та враховує моделі цільового управління та можливості інших підсистем виду $C_{j_m}^{j_{m-1}j_{m-2}\dots j^i}$ та $V_{j_m}^{j_{m-1}j_{m-2}\dots j^i}$. Отже, вона здійснює відображення або рефлексію міркувань, відтворених в управляючих органах цих підсистем. Засноване на багаторазовому відображенні в підсистемі, що приймає рішення, уявлень про можливості та цільові настанови взаємодіючих підсистем, управління називається рефлексивним. Рефлексивне управління визначається як спосіб передачі взаємодіючій стороні спеціально підготовленої інформації, щоб схилити її "добровільно" прийняти рішення, бажане для ініціатора дії. Таким чином, однієї з головних цілей для підсистеми управління стає втручання в процес прийняття рішень з визначення перешкод.

Основні принципи при здійсненні рефлексивного управління:

1) вплив на алгоритм прийняття рішення противником, включаючи реалізацію типових алгоритмів обробки інформації, виявлення навмисно викривленої картини, вплив на елементи підсистеми управління;

2) зміна часу прийняття рішення, що змушує підсистему управління діяти в умовах гострого дефіциту часу (цейтнот).

Таким чином, модель рефлексивного управління може сама використовуватися проти "процесів прийняття рішень". Заново створені методи рефлексивного управління слід розглядати в контексті нових числі інформаційних технологій.

Дана постановка завдання рефлексивного управління істотно відрізняється від традиційної. Управління відображає не тільки інформаційну модель ситуації $I_i(\beta_{ik})$, але й динамічні властивості функціонування підсистем S_i .

Розглянемо питання обґрунтування вибору рангу рефлексії управління.

Як відомо, нульовий ранг рефлексії не дає додаткових можливостей у порівнянні з традиційним методом управління. Тому є сенс застосовувати його лише при глобальній перевазі однієї системи над іншою.

При реалізації першого рангу рефлексії підсистема S_2 діє цілеспрямовано, у відповідності до сформованого дерева цілей. Підсистема S_1 має інформацію про цілі підсистеми S_2 та враховує її представлення про можливості підсистеми S_1 (V_1^2). При прийнятті рішення підсистема S_1 додатково використовує моделі V_1^{21} – представлення підсистеми S_1 про моделі своїх можливостей, які має підсистема S_2 , та C_1^2 – представлення підсистеми S_1 про дерево цілей підсистеми S_2 . У відповідності до цих даних підсистема S_1 формує план дій за підсистему S_2 , а потім з урахуванням можливих варіантів дій підсистеми S_2 та можливостей V_1^1 приймає рішення на досягнення C_1^1 (рис. 1).

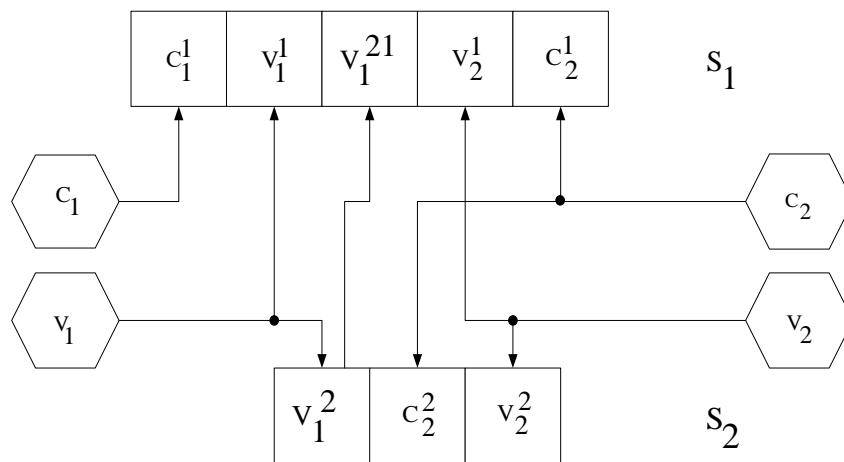


Рис. 1. Модель реалізації рефлексивного управління першого рангу

При прийнятті рішення підсистемою S_1 при першому ранзі рефлексії склад моделей підсистеми S_2 відповідає нульовому рангу рефлексії. Якщо підсистема S_2 повністю інформована про ситуацію α , то виконується тотожність:

$$M_1^{21} \equiv M_1^1. \tag{1}$$

При першому ранзі рефлексії підсистема S_1 враховує цілеспрямованість дій сторони S_2 , тобто передбачає, що вона має нульовий ранг рефлексії, а модель задач для підсистеми S_1 має вигляд:

$$M_1^1 \equiv \{C_1^1, V_1^1, C_2^1, V_2^1, V_1^{21}\}, \tag{2}$$

де C_2^1 – знання підсистеми S_1 про цілі протилежної підсистеми S_2 ;

V_1^{21} – знання підсистеми S_1 про інформативність підсистеми S_2 відносно можливостей сторони S_1 .

Сторона S_2 визначає, де її можливості V_2^2 можуть перевищувати можливості V_1^2 підсистеми S_1 ($V_2^2 > V_1^2$). Якщо підсистема S_1 може дезінформувати підсистему S_2 про свої можливості ($V_1^1 > V_2^1$), то вона здатна спровокувати її на бажані дії в динаміці польоту. У

відповідності до вищевикладеного, використання підсистемою S_1 рефлексивного управління першого рангу дозволяє додатково сформувати у іншій стороні неадекватне представлення про свої можливості.

При реалізації другого рангу рефлексії модель задач для підсистеми S_1 має вигляд:

$$M_1^1 \equiv \{C_1^1, V_1^1, C_2^1, V_2^1, C_1^{21}, V_1^{21}, V_2^{121}\}, \quad (3)$$

де C_1^{21} – знання підсистеми S_1 про інформативність підсистеми S_2 про цілі підсистеми S_1 ; V_2^{121} – знання підсистеми S_1 , яка приймає рішення, про те, що відомо підсистемі S_2 про інформованість підсистеми S_1 про можливості підсистеми S_2 .

Використання підсистемою S_1 стратегії рефлексивного управління другого рангу дозволяє враховувати той факт, що сторона S_2 намагається нав'язати шляхом послідовних впливів заздалегідь визначену стратегію дій.

Додатковими перевагами у даній ситуації є урахування здатності підсистеми S_1 дезінформувати іншу сторону про свої цілі та можливості щодо їх здійснення. Модель задачі прийняття рішення підсистемою S_1 при реалізації стратегії рефлексивного управління другого рангу представлена на рис. 2.

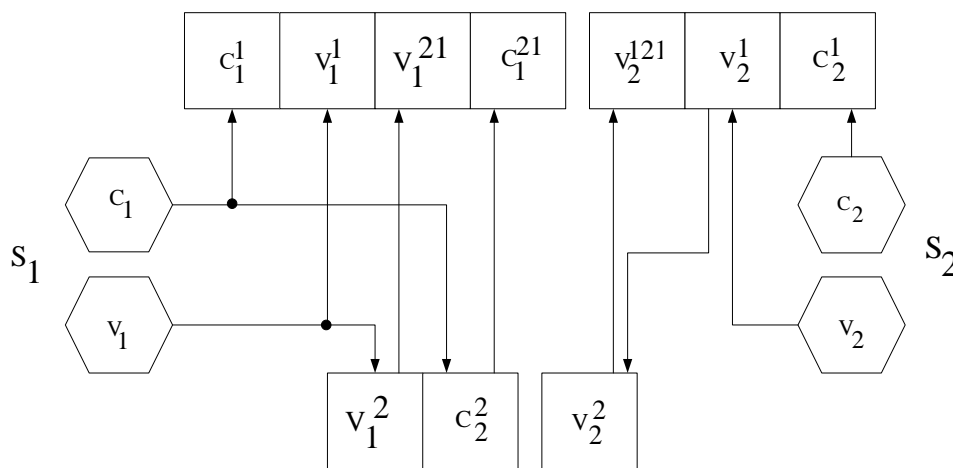


Рис. 2. Модель задачі прийняття рішень підсистемою S_1 при реалізації стратегії рефлексивного управління другого рангу

Прагнення сторони S_2 управляти підсистемою S_1 у бажаному для неї напрямку фактично реалізує для підсистеми S_2 стратегію рефлексивного управління першого рангу. Тоді підсистема S_1 , яка здійснює рефлексивне управління, повинна мати другий ранг рефлексії.

В рамках моделі задачі прийняття рішення знання підсистеми S_1 (S_2) про цілі S_2 (S_1) відповідають першому рангу рефлексивного управління:

$$M_2^1 \equiv \{C_2^1, C_1^{21}, V_2^1, V_1^{21}, V_2^{121}\}, \quad (4)$$

$$M_2^2 \equiv \{C_2^2, C_1^2, V_2^2, V_1^2, V_2^{12}\}, \quad (5)$$

Таким чином, у моделі задачі (див. рис. 2) при оцінці іншої сторони використані моделі

знань (3):

- іншої сторони про дерево цілей та послідовність їх досягнення;
- про процес визнання можливих завдань, до досягнення яких прагне інша сторона (що відповідає цільовому розпізнаванню перешкоди).

Для вироблення рекомендацій щодо досягнення цілей підсистемою на основі рефлексії другого рангу (3) використовуються знання про можливий порядок впливу підсистему. Таким чином, реалізації стратегії рефлексивного управління другого рангу при управлінні підсистемою S_2 складається з таких процедур (рис. 3).

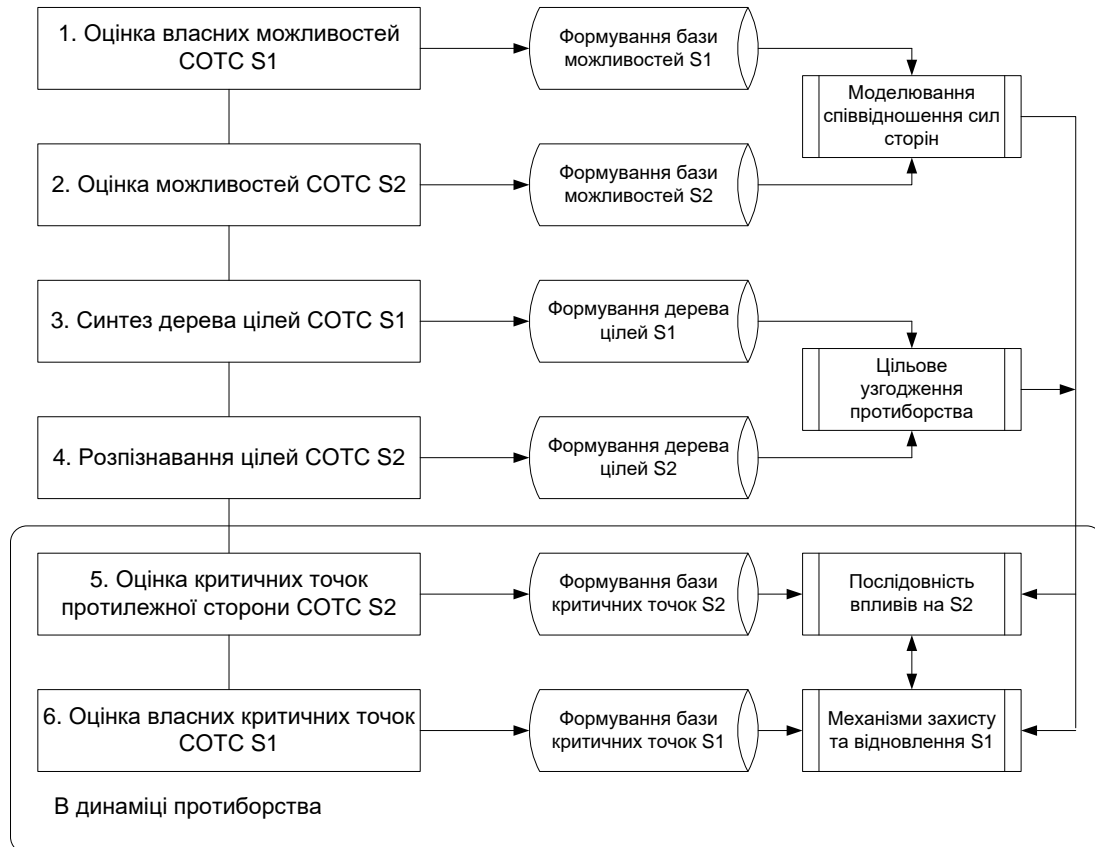


Рис. 3. Схема методу рефлексивного управління другого рангу відносно підсистеми S_1

Про формуванні управляючих впливів щодо досягнення підсистемою S_1 цілей розпізнавання перешкод виконуються такі процедури:

- а) оцінка власних можливостей з формуванням бази можливостей;
- б) оцінка можливостей іншої сторони S_2 з формуванням її бази можливостей, моделювання для подальшого обґрунтування управляючих впливів;
- в) синтез власного дерева цілей підсистемою S_1 для визначення цільової настанови;
- г) розпізнавання цілей сторони COTC S_2 , виконання процедур цільового узгодження;
- д) пошук та оцінка критичних точок сторони S_2 з метою формування послідовності впливів на систему для реалізації механізму "добровільних дій";
- е) пошук та оцінка власних критичних точок для формування механізмів захисту та застосування методів адаптації.

Пункти д) та е) з даного переліку ґрунтуються на результатах розрахунків в попередніх пунктах та проводяться динамічно з заданим дискретом часу в ході взаємодії підсистем.

Якщо при другому ранзі рефлексії підсистема S_1 вважає, що S_2 повністю інформована

про ситуації, то справедливі тотожності:

$$V_1^{21} \equiv V_1^1; V_2^{121} \equiv V_2^1; C_1^{21} \equiv C_1^1.$$

У загальному випадку при повній інформованості підсистем про ситуації їх взаємодія незалежно від рангу рефлексії може розглядатися як гра з повною інформацією (рис. 4).

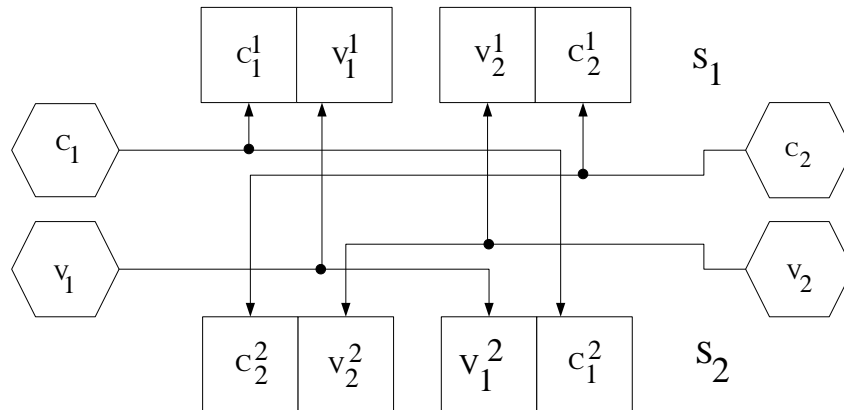


Рис. 4. Повна інформованість взаємодіючих сторін

5. Обговорення результатів проведеного дослідження.

Таким чином, взаємодія систем в умовах невизначеності щодо ситуації визначає деякий ранг рефлексії, що характеризується складом моделей підсистем прийняття рішення та формування траєкторії руху перешкоди.

6. Висновки

Використання математичних моделей дозволяє розробити методіку рефлексивного і інформаційного управління і на її основі автоматизувати процес підтримки прийняття рішень в складних конфліктних ситуаціях. Запропоновані модель рефлексивної поведінки та метод рефлексивного управління другого рангу впроваджують в систему управління БПЛА метод формалізації знань про рефлексивне управління, що дозволить виявляти перешкоди на шляху руху в реальному часі і забезпечувати безпеку руху. Перспективою подальших розвідок у даному напрямку є розробка нечітких моделей і методів рефлексивного управління, що враховують уявлення суб'єктів про структуру і динаміку розвитку ситуації.

Список використаної літератури

1. Тань Лиго, Фомичев А.В., Лю Ян. Решение задачи планирования полёта малогабаритного беспилотного летательного аппарата в условиях городской среды. Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 7. С. 19 – 24.
2. Тань Лиго, Фомичев А.В. Планирование маршрута полёта малогабаритных летательных аппаратов в условиях неопределённости в режиме реального времени. Международная научно-техническая конференция "Информационные системы и технологии". Нижний Новгород. 2015. С. 273 – 276.
3. Lefebvre V. Sketch of Reflexive Game Theory. Proc. Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behaviour. Los Alamos, New Mexico, USA. 1998. P. 1 – 40.
4. Lefebvre V. The Fundamental Structures of Human Reflexion. The Structure of Human Reflexion: The Reflexional Psychology of Vladimir Lefebvre. Peter Lang Publishing. 1990. P. 5 – 69.

5. Adams-Webber J. Self-Reflexion in Evaluating Others. *Amer. J. Psychology*. 1997. № 110. P. 527 – 541.
6. Miller L.D., Sulcoski M.F. Application of Generalized Reflexive Behaviour: Model for Situation-Specific-Decisions. *Proc. of Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behaviour*. Los Alamos, New Mexico, USA. 1998. P. 69 – 94.
7. Толубко В.Б. Інформаційна боротьба (концептуальні, теоретичні, технологічні аспекти). Київ: НАОУ. 2003. 192 с.
8. Taran T.A. Many-Valued Boolean Model of the Reflexive Agent. *J. Multiple Valued Logic*. OPA N.V. Gordon and Breach Science Publ. 2001. 7. P. 97 – 127.
9. Мельник К.В., Туник А.А. Проектирование многомерных робастных систем управления полетом на основе процедур H-оптимизации и μ -синтеза. 2009.
10. Кортунов, Мазуренко А., Мухаммед А.Х.В. Средства управления мини и микро-БПЛА. *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. 2016. с. 45 – 55.

References

1. Tan Ligo, Fomichev A.V., Liu Yang. Solution of the flight planning problem for a small-sized unmanned aerial vehicle in an urban environment. *Automation. Modern technologies*. 2015. No. 7. P. 19 – 24.
2. Tan Ligo, Fomichev A.V. Flight route planning for small-sized aircraft under uncertainty in real time. *International Scientific and Technical Conference "Information Systems and Technologies"*. Nizhny Novgorod. 2015. S. 273 – 276.
3. Lefebvre V. Sketch of Reflexive Game Theory. *Proc. Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behaviour*. Los Alamos, New Mexico, USA. 1998. P. 1 – 40.
4. Lefebvre V. The Fundamental Structures of Human Reflexion. *The Structure of Human Reflexion: The Reflexional Psychology of Vladimir Lefebvre*. Peter Lang Publishing. 1990. P. 5 – 69.
5. Adams-Webber J. Self-Reflexion in Evaluating Others. *Amer. J. Psychology*. 1997. № 110. P. 527 – 541.
6. Miller L.D., Sulcoski M.F. Application of Generalized Reflexive Behaviour: Model for Situation-Specific-Decisions. *Proc. of Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behaviour*. Los Alamos, New Mexico, USA. 1998. P. 69 – 94.
7. Tolubko VB Information struggle (conceptual, theoretical, technological aspects). Kiev: NAOU. 2003. 192 s.
8. Taran T.A. Many-Valued Boolean Model of the Reflexive Agent. *J. Multiple Valued Logic*. OPA N.V. Gordon and Breach Science Publ. 2001.7 P. 97 – 127.
9. Miller K.V., Tunik A.A. Design of multidimensional robust flight control systems based on H-optimization and μ -synthesis procedures. 2009.
10. Kortunov, Mazurenko A., Muhammad A.Kh.V. Mini and micro UAV controls. *Radioelectronic and computer systems*. 2016, p. 45 – 55.