

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 519.6

О.П. Гожий

Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна

РОЗРОБКА НЕЧІТКИХ СИТУАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ІЗ ЧАСОВИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Background. Fuzzy situational approach and decision support systems developed on its basis with the use of fuzzy logic are effectively applied for solving the situational modeling problems and decision making. The fuzzy situational networks provide a possibility for solving the dynamic situational modeling problems and making control decisions with taking into consideration special features of the situations and possible time constraints.

Objective. The main goal of the study is development and investigation of the fuzzy situational networks with time constraints aiming to solving the problems of complex dynamic systems modeling, and implementation on their basis of decision support systems for solving the problems mentioned.

Methods. The special features of the fuzzy situational networks with time constraints development process are considered. In the development of the fuzzy situational networks the time constraints create conditions for the transitions between situations. The time constraints are usually set in absolute scale. The fuzzy situational systems with time constraints provide a possibility for deeper study of the situations due to increase of the control decisions quantity.

Results. The main results of the study are as follows: we proposed the methodology for constructing the fuzzy situational networks and an illustrative example of its application to solving the problem of control for unmanned aerial vehicles. To develop the fuzzy situational networks with time constraints a special decision support system was developed and tested.

Conclusions. The use of the dynamic description for control situations provides a possibility for more detailed description of the structure and content of the system under study as well as to decrease the number of reference situations due to deeper investigation and increase of control decisions. The use of time parameters in the descriptions increases the effectiveness of fuzzy situational networks as an instrument for situational simulation.

Keywords: fuzzy situation; fuzzy situational network; time constraints; reference situation; control actions; decision support system.

Вступ

Нечіткий ситуаційний підхід і розроблені на його основі системи підтримки прийняття рішень з використанням нечіткої логіки ефективно використовуються для розв'язання задач ситуаційного моделювання і прийняття рішень [1, 2]. Найбільш перспективна сфера їх застосування — складні об'єкти керування. Нечітка логіка використовується для формалізації нечітких понять з точки зору їх семантики і забезпечує ефективну обробку якісної інформації нарівні з чіткими кількісними даними. Крім того, використання нечіткої логіки при оцінюванні ситуацій, що моделюються, забезпечує зберігання, накопичення та обробку якісної інформації, а також побудову логічних висновків у моделях керування складними об'єктами та системами, а також розв'язання задач забезпечення спілкування з користувачем на професійно орієнтованій мові, що дуже важливо для систем із ситуаційним керуванням.

Існують різні методи, що реалізують нечіткий ситуаційний підхід. Більшість із них ґрунтуються на представленні ситуацій у вигляді

сукупності нечітких значень фіксованого набору ознак. До цієї групи відносять методи нечіткого логічного висновку, нечіткої класифікації, багатокритеріального оцінювання та вибору альтернатив, аналізу сукупності ситуацій у вигляді структур на основі теоретико-графових моделей [3–5]. Сукупність зазначених методів дає можливість побудувати системи підтримки прийняття рішень на основі нечіткого ситуаційного підходу для складних об'єктів різної природи та призначення. Але досягнення ефективного використання нечіткого ситуаційного підходу та нечітких ситуаційних мереж для розв'язання задач дослідження та моделювання складних динамічних процесів і систем неможливі без урахування часових обмежень та часових параметрів процесу або системи в цілому.

Існуючі системи моделювання і дослідження складних систем ґрунтуються на використанні окремих методів та моделей у певному часовому вимірі, але в них не враховуються особливості окремих ситуацій та стратегії досягнення цілей. Застосування нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями дають можливість розв'язувати задачі динамічного ситуацій-

ного моделювання і прийняття рішень, враховуючи особливості ситуацій у процесі, який досліджується, та брати до уваги часові обмеження, які притаманні системі.

Постановка задачі

Метою роботи є створення методики побудови та дослідження нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями для розв'язання задач моделювання складних динамічних процесів і систем, а також реалізація на їх основі системи підтримки прийняття рішень для розв'язання вказаних задач.

Нечіткий ситуаційний підхід

Недостатність або невизначеність знань про досліджувану систему або процес, неповнота, неточність, недостатня достовірність інформації, на основі якої приймаються рішення, а також практична неможливість її уточнення внаслідок часових обмежень зумовлюють необхідність розробки та реалізації ситуаційного підходу при розв'язанні задач моделювання динамічних систем і процесів на основі методів нечіткої логіки.

Сукупність методів ситуаційного підходу та нечіткої логіки отримала назву нечіткого ситуаційного підходу (НСП). Сьогодні існують різні методи, що реалізують нечіткий ситуаційний підхід. Більшість із них ґрунтуються на представленні ситуацій у вигляді сукупності нечітких значень фіксованого набору ознак. До цієї групи належать методи нечіткого логічного висновку, нечіткої класифікації, багатокритеріального оцінювання та вибору альтернатив, аналізу сукупності ситуацій у вигляді графових структур [1]. Сукупність зазначених методів дає можливість створювати системи підтримки прийняття рішень на основі нечіткого ситуаційного підходу для складних об'єктів різної природи. Характерним прикладом є бортові системи керування в авіації, у цивільному транспорті тощо [6–8].

Оснoву нечіткого ситуаційного підходу становлять поняття нечіткої ситуації та нечіткої ситуаційної мережі [1, 2]. Нечіткою ситуацією називають сукупність нечітких значень ознак, що характеризують стан об'єкта керування. Кількість нечітких ситуацій незначно відрізняється від кількості типових ситуацій.

Формальне означення “нечіткої” ситуації. Нехай $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ – множина ознак, значення яких описують стани об'єкта керування. Кожна ознака $y_i (i \in J = \{1, 2, \dots, p\})$ описується відповідною лінгвістичною змінною $\langle y_i, T_i, D_i \rangle$, де $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$ – терм-множина лінгвістичної змінної y_i (або множина лінгвістичних значень ознаки; m_i – кількість значень ознаки); D – базова множина ознаки y_i . Для опису термів $T_j^i (j \in L = \{1, 2, \dots, m_i\})$, що відповідають значенням ознаки y_i , використовують нечіткі змінні $\langle T_i, D_i, \tilde{C}_j^i \rangle$, тобто значення T_j^i описується нечіткою множиною \tilde{C}_j^i із базової множини D_i :

$$\tilde{C}_j^i = \{(\mu_{C_j^i}(d)/d)\}, d \in D_i.$$

Нечіткою ситуацією \tilde{S} називається нечітка множина другого рівня:

$$\tilde{S} = \{(\mu_s(y_i)/y_i)\}, y \in Y,$$

де $\mu(y_i) = \{(\mu_{\mu_s(y_i)}(T_j^i)/T_j^i)\}, j \in L, i \in J$. Для визначення стану об'єкта керування необхідно порівняти вхідну нечітку ситуацію \tilde{S}_0 з кожною нечіткою ситуацією із деякої множини типових нечітких ситуацій $S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_n\}$. Для визначення ступеня близькості нечіткої ситуації \tilde{s}_0 нечіткій ситуації $\tilde{s}_i \in S (i \in K = \{1, 2, \dots, N\})$ використовують ступінь нечіткого включення нечіткої ситуації \tilde{s}_0 у нечітку ситуацію \tilde{s}_i , ступінь нечіткої рівності, ступінь нечіткої спільності, а також інші міри близькості. Вибір міри близькості визначається особливостями об'єкта керування і конкретною організацією блоку прийняття рішень. Задаючись деякою мірою близькості, можна встановити нечіткі відносини між ситуаціями, наприклад між ситуаціями \tilde{s}_0 і $\tilde{s}_i (i \in K)$, а також між типовими ситуаціями із множини S .

Нечітка ситуаційна мережа (НСМ) – це нечіткий орієнтований зважений граф переходів за нечіткими еталонними ситуаціями. Набір нечітких керуючих рішень, необхідних для формування рішень стосовно поточної ситуації, а також їх послідовність для досягнення цільової

ситуації визначаються стратегією керування – нечітким маршрутом у нечіткій ситуаційній мережі між поточною та цільовою ситуаціями. На основі нечітких ситуаційних мереж будуються ситуаційні системи.

Вершини НСМ відповідають еталонним нечітким ситуаціям, а дуги зважені керуючими рішеннями, необхідними для визначення переходів за конкретними ситуаціями і ступенями переваг цих рішень. При описі НСМ використовують такі позначення: $\tilde{s}_i (i \in I = \{1, 2, \dots, n\})$ – еталонні нечіткі ситуації; $R_j (j \in P = \{1, 2, \dots, f\})$ – керуюче рішення; $\alpha(\tilde{s}_i, R_j)$ – ступінь переваги застосування керуючого рішення R_j в ситуації \tilde{S}_i порівняно з іншими можливими рішеннями із множини $R = \{R_1, R_2, \dots, R_f\}$.

Як уже зазначалося, ситуаційні системи керування на основі нечітких ситуаційних мереж ґрунтуються на представленні сукупності типових станів системи у вигляді вузлів графа, а переходи між вузлами відповідають керуючим рішенням. При цьому база знань не містить у явному вигляді продукцій, що ставлять у відповідність ситуаціям вироблені керуючі рішення. Послідовність керуючих рішень, що переводять систему з поточного стану в стан, що описується цільовою ситуацією (найкращою у сенсі вибраної системи оцінювання), визначається через формування висновку за мережею.

Ситуаційні системи з нечіткою логікою діляться на два класи: “ситуація–дія” (С–Д) і “ситуація–стратегія управління–дія” (С–СУ–Д). Проблема порівняння описів вирішується однаково в системах обох класів: є множина еталонних описів станів об’єкта керування у вигляді нечітких ситуацій – нечітких множин другого рівня на множині вибраних ознак. Опис поточного стану об’єкта керування також подається у вигляді нечіткої ситуації. З використанням спеціальної міри близькості здійснюється порівняння за еталонами із застосуванням методу найближчого сусіда. Характеристичною рисою, що розділяє нечіткі ситуаційні системи, є процедура перегляду продукцій при формуванні рішень.

У системах С–Д продукції описуються у явному вигляді і являють собою нечітку базу знань. Умови істинності продукцій задаються еталонними нечіткими ситуаціями. Крім ситуацій, продукції містять керуючі рішення. Формування рішення полягає у порівнянні опису

поточного стану об’єкта керування з усіма еталонними ситуаціями, визначенні продукції еталонною ситуацією, що відповідає вхідній нечіткої ситуації, та видачі відповідного керуючого рішення. Послідовність перегляду продукції у межах певного часу, як правило, незмінна. У системах С–СУ–Д продукції явно не задаються, а деяким чином виводяться за нечіткою НСМ, що являє собою нечіткий зважений граф переходів за еталонними ситуаціями. Множина продукцій, необхідних для формування рішення у поточній ситуації, а також послідовність їх перегляду визначаються стратегією керування, тобто нечітким маршрутом у НСМ між вихідною і цільовою ситуаціями. Вибір цільової ситуації з множини всіх можливих ситуацій може здійснюватися або за допомогою використання деякої додаткової системи, або безпосередньо за допомогою НСМ. За рахунок використання додаткової інформації, представлені у вигляді НСМ, нечітка ситуаційна система набуває великої гнучкості і стійкості до непередбачуваних змін умов керування. Для побудови НСМ використовуються спеціальні нечіткі відношення, а також нечітка продукційна система типу С–Д, що визначає ступені відповідності керуючих рішень нечітким еталонним ситуаціям.

Керуюче рішення, що відповідає поточній ситуації, являє собою послідовність рішень, необхідних для переходу від поточної ситуації до цільової за оптимальним, у деякому значенні, маршрутом у НСМ. Таким чином, генерування рішень у моделі С–СУ–Д розбивається на два етапи: постановка цілі (цільової ситуації) і побудова стратегії керування. Ситуація з можливими в ній керуючими рішеннями являє собою продукцію системи С–Д. Стратегія керування задає послідовність “перегляду” продукцій у продукційній системі С–Д, що відповідає оптимальному переводу об’єкта керування в цільовий стан.

Існують два підходи до побудови НСМ для деякого заданого об’єкта керування: прямий і зворотний [8]. Суть прямого підходу полягає у моделюванні переходів об’єкта із ситуації в ситуацію. Для цього опитуванням експертів виявляється множина керуючих рішень $R = \{R_1, R_2, \dots, R_f\}$, допустимих для об’єкта керування. Керуючі рішення задаються у вигляді відношень між значеннями ознак. Для кожної ситуації $\tilde{s}_i \in S_s$ формується підмножина ситуацій $s_{is} \subseteq S_s$, в які переходить об’єкт із ситуації

\tilde{s}_i під впливом керуючих рішень із множини R . Далі вершини \tilde{s}_i у ситуаційній мережі з'єднуються дугою з кожною вершиною s_{is} . Дуги навантажуються відповідними рішеннями та ступенями переваг цих рішень у ситуації \tilde{s}_i . Аналогічна процедура повторюється для всіх ситуацій із множини S_s . Ситуація, в яку переходить об'єкт із ситуації \tilde{s}_i під впливом керуючого рішення R_i , визначається в результаті композиції \tilde{s}_i з відношенням, що задає рішення R_i .

Суть зворотного підходу полягає у тому, що на множині еталонних нечітких ситуацій вводиться деяке відношення, граф якого відображає можливі переходи із однієї ситуації в іншу. Визначивши необхідні для переходів керуючі рішення і ступені переваг їх застосування, отримуємо НСМ. Слід зазначити, що зворотний підхід до побудови НСМ достатньо розроблений тільки для об'єктів, що характеризуються взаємною незалежністю значень ознак. У цьому випадку для побудови НСМ застосовується відношення спільності ситуацій. Ситуації \tilde{s}_i та \tilde{s}_j ($\tilde{s}_i, \tilde{s}_j \in S_s$) мають $(p-q)$ -спільність, якщо нечіткі значення усіх ознак, крім, можливо, q ознак, у цих ситуаціях нечітко рівні. Отже, застосовуючи не більше q однолокальних керуючих рішень, тобто діючих на нечітке значення тільки однієї ознаки, можна перейти із ситуації \tilde{s}_i у ситуацію \tilde{s}_j і навпаки. Практично, при побудові НСМ зручно користуватися відношенням $(p-1)$ -спільності ситуацій (хоча це й не обов'язково). Ситуації \tilde{s}_i і \tilde{s}_j за означенням мають $(p-1)$ -спільність, якщо вони різняться за нечіткими значеннями тільки однієї ознаки $y_k \in Y$, а значення усіх інших $p-1$ ознак у цих ситуаціях нечітко рівні. Тоді, застосовуючи не більше одного однолокального рішення, можна перейти із ситуації \tilde{s}_i в ситуацію \tilde{s}_j і навпаки.

Набір типових ситуацій досить повно описує можливі стани об'єкта за умови врахування всіх особливостей розв'язання задачі. Однак досить часто неможливо врахувати всі особливості, зважаючи на їх непередбачуваність. Ступінь частоти може бути виражений числами з інтервалу $[0; 1]$. Сукупність нечітких значень ознак, що характеризують стан об'єкта, називається нечіткою ситуацією. Збільшення кіль-

кості нечітких ситуацій порівняно з типовими не позначається на розмірі таблиці рішень, оскільки кількість нечітких ситуацій незначно відрізняється від кількості типових ситуацій.

За допомогою обмеженої множини нечітких ситуацій можна описати практично нескінченну кількість станів об'єкта чи системи. Функціонування блоків оцінки станів і прийняття рішень можна подати таким чином. Стан об'єкта представляється у вигляді нечіткої ситуації. Отримана вхідна нечітка ситуація порівнюється з усіма типовими ситуаціями, що зберігаються в результуючій таблиці. Визначається типова нечітка ситуація, найбільш близька до вхідної нечіткої ситуації. Інформація про цю типову нечітку ситуацію надходить до блоку прийняття рішень, де за таблицею рішень визначаються необхідні для цього стану об'єкта керуючі рішення.

Нечіткий ситуаційний підхід має низку обмежень. По-перше, незважаючи на те що для широкого класу моделей розроблені ефективні способи зменшення розмірності простору ознак на основі побудови ієрархії та використання об'єктно-орієнтованого підходу, щодо НСМ подібні питання не розглядалися. По-друге, у моделях С–Д кожній типовій ситуації ставиться у відповідність своя множина допустимих дій, тоді як у моделях С–СУ–Д ситуації скоріше описують типові стани, ніж слугують вказівкою на використання рішень. Таким чином, застосовується будь-яке рішення, що також впливає на розмірність задачі. При цьому доцільним є спільне застосування таких моделей, що дає змогу задати у явному вигляді для кожної типової ситуації множину можливих керуючих рішень, яка обмежує кількість можливих переходів у НСМ. По-третє, відсутнє урахування стохастичної невизначеності, характерної для багатьох завдань ситуаційного керування. Інакше кажучи, якщо розглядати НСМ як аналогію деякої моделі детермінованого автомата, створену для нечіткого випадку, то очевидна відсутність нечіткого аналога стохастичного автомата. По-четверте, представлення нечіткої ситуації у вигляді нечіткої множини другого рівня, характерне для існуючих моделей НСМ, ускладнює формулювання еталонних ситуацій експертом і вимагає більшої кількості операцій при порівнянні вхідної та еталонної ситуацій, ніж при заданні ситуації у вигляді посилки продукційного правила. Зміна ж способу подання нечіткої ситуації своєю чергою потребує розробки нових способів подання

керуючих рішень, що особливо актуально при побудові динамічних НСМ. По-п'яте, недостатньо враховуються чинник часу та тривалість реалізації керуючих рішень, що притаманно більшості систем ситуаційного управління. Цей недолік обмежує застосування нечітких ситуаційних мереж для моделювання складних динамічних систем і процесів.

Нечіткі ситуаційні мережі з часовими обмеженнями

Для моделювання складних динамічних систем і процесів в умовах часових обмежень необхідно використовувати нечіткі ситуаційні мережі з часовими обмеженнями. Нечітка ситуаційна мережа з часовими обмеженнями — це нечіткий орієнтований зважений граф переходів за нечіткими еталонними ситуаціями при виконанні певних часових умов для кожної еталонної ситуації. Часові умови — це проміжок часу між початком однієї ситуації і початком іншої ситуації. Вони визначаються експертом або, якщо можливо, розраховуються автоматично.

Фрагмент НСМ із часовими обмеженнями для деякого об'єкта керування показано на рис. 1. Тут $\tilde{s}_i (i \in I = \{1, 2, \dots, n\})$ — еталонні нечіткі ситуації, R_j — керуюче рішення, $\alpha(\tilde{s}_i, R_j)$ — ступінь переваги застосування керуючого рішення R_j у ситуації \tilde{s}_i порівняно з іншими можливими рішеннями із множини $R = \{R_1, R_2, \dots, R_j\}$; τ_i — часове обмеження на i -ту ситуацію, яке є умовою переходу в наступну ситуацію. Значення часових обмежень задаються в одиницях виміру часу.

Часові обмеження зменшують кількість можливих рішень при розв'язуванні прикладних задач і дають змогу докладніше описати керуючі рішення, а це спрощує систему керування і дає можливість підвищити якість керування складним об'єктом. Послідовність етапів побудови нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями показана на рис. 2.

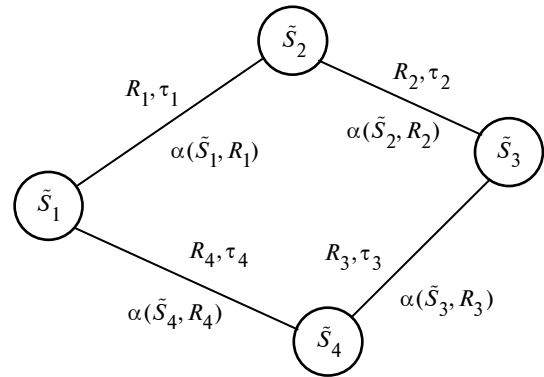


Рис. 1. Фрагмент НСМ із часовими параметрами

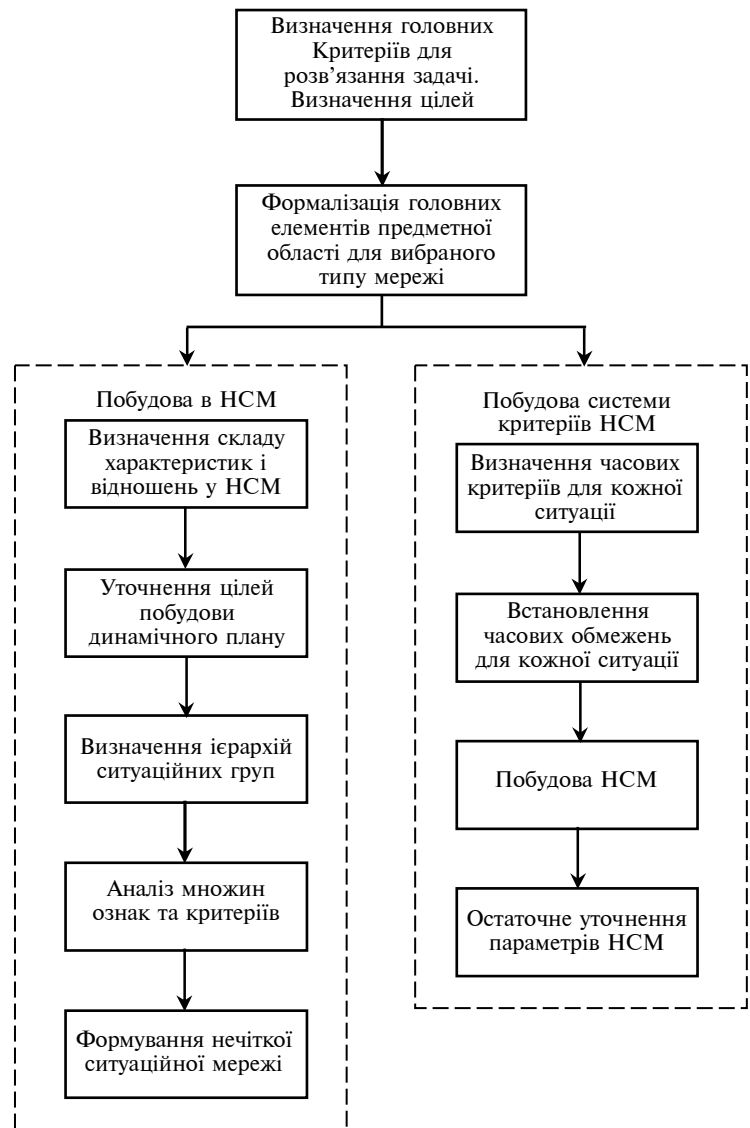


Рис. 2. Послідовність етапів при побудові нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями

Ступені переваг керуючих рішень або є незмінними у кожній ситуації і визначаються експертом, або залежать від ситуації, і тоді для їх визначення використовується система типу "ситуація–перевага рішення" (С–ПР), яка складається з продукційних правил. Керуюче рішення, що відповідає поточній ситуації, являє собою послідовність рішень, необхідних для переходу від поточної ситуації до цільової за оптимальним у деякому сенсі маршрутом у НСМ, який відповідає заданим часовим обмеженням.

Приклад побудови нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями

Для прикладу розглянемо процес побудови нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями для керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА). Нечітка ситуаційна мережа базується на плані польоту. План польоту включає в себе початкову і кінцеву точки польоту, маршрут польоту та певні часові обмеження, які можуть бути визначені експертом. Відповідно, здійснення польоту можна визначити як процес переходу між початковим і кінцевим станами з урахуванням часових обмежень. Цей процес може бути реалізований різними способами або шляхами, серед яких необхідно знайти найкращий. Для визначення найкращого шляху використовується модель С–СУ–Д, що здійснює пошук маршруту польоту за нечіткою ситуаційною мережею.

Використання моделі С–СУ–Д включає в себе два етапи. Спочатку будується нечітка ситуаційна мережа для досліджуваного об'єкта, а потім по створеній НСМ виконується процес пошуку стратегії керування. Розглянемо зворотний метод побудови нечіткої ситуаційної мережі. Метод полягає в тому, що у вигляді графа задається відношення на множині еталонних нечітких ситуацій $\tilde{s}_i (i \in I = \{1, 2, \dots, n\})$. Граф буде відображати можливі переходи з однієї нечіткої ситуації в іншу. Далі визначаються необхідні для кожного переходу керуючі рішення $R_j (j \in P = \{1, 2, \dots, f\})$, ступені переваги їх застосування

$\alpha(\tilde{s}_i, R_j)$ та часові обмеження τ_i . Ступінь переваги застосування керуючого рішення вибирається експертом. Критеріями вибору експерта можуть бути параметри польоту, пов'язані з необхідними для здійснення рішення заходами, наприклад висота польоту, маневрування на певній висоті тощо.

Наприклад, нечітка ситуація, яка характеризує деякий стан, що виник при керуванні БПЛА, представляється таким чином:

$\{\langle\langle 0,1/\text{"велика"}\rangle\rangle, \langle 0,8/\text{"середня"}\rangle, \langle 0,4/\text{"мала"}\rangle/\text{"Швидкість польоту"}\},$
 $\langle\langle 0,6/\text{"велика"}\rangle\rangle, \langle 0,8/\text{"невелика"}\rangle, \langle 1,0/\text{"середня"}\rangle, \langle 0,6/\text{"мала"}\rangle/\text{"Висота польоту"}\},$
 $\langle\langle 0,8/\text{"велика"}\rangle\rangle, \langle 0,6/\text{"середня"}\rangle, \langle 0,1/\text{"мала"}\rangle/\text{"Відстань до точки підльоту"}\}$
 $\langle\text{"здійснити маневр за 5 хвилин"}\rangle\}.$

Опис ситуації надходить до блоку виводу та прийняття рішень, де за таблицею рішень визначаються керуючі рішення. Відповідно до цієї нечіткої ситуації таблиця рішень може містити таке керуюче рішення: "Знизити швидкість руху, скорегувати висоту польоту, почати виконувати маневр через 1 хвилину, закінчити через 4 хвилини", тобто виконати маневр підльоту до цілі в часовому інтервалі п'яти хвилин.

Для моделювання керування БПЛА створена система підтримки прийняття рішень, за

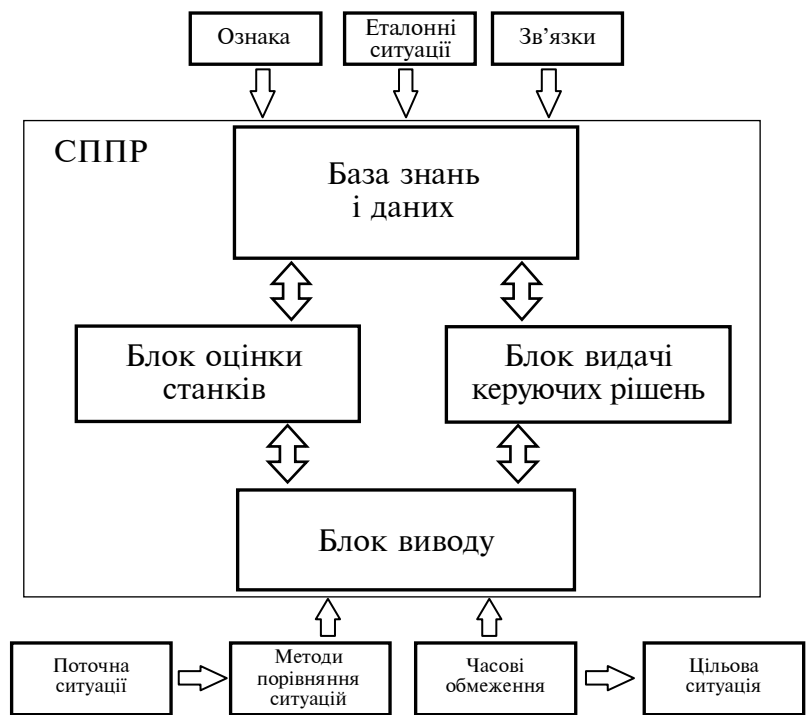


Рис. 3. Структура СППР для реалізації НСМ із часовими обмеженнями

допомогою якої розроблена нечітка ситуаційна мережа, база знань якої складається з 12 еталонних ситуацій із часовими обмеженнями, та 49 керуючих рішень, що дає можливість моделювати можливі ситуації при керуванні БПЛА.

На рис. 3 зображена архітектура системи підтримки прийняття рішень, яка реалізує нечіткий ситуаційний підхід із часовими обмеженнями.

Головною компонентою СППР є база даних і знань, яка виконує такі функції: зберігання еталонних ситуацій та їх налаштувань, зв'язків та керуючих впливів, а також ступенів відповідності. Блок оцінювання станів здійснює оцінювання поточної ситуації та перетворення опису інформації у потрібну форму. Блок видачі керуючих рішень здійснює пошук оптимального шляху між еталонною та цільовою ситуаціями та видачу на його основі переліку керуючих рішень. Блок виводу здійснює пошук еталонної ситуації для вхідної ситуації з урахуванням вибраного методу порівняння ситуацій та ступеня довіри. Через інтерфейс вводиться інформація про еталонні ситуації, методи порівняння ситуацій та часові обмеження для кожної ситуації.

Програмне забезпечення СППР створено за допомогою мови програмування Python у середовищі розробки Eclipse. При створенні інтерфейсу використано фреймворк PyQt, а для створення генератора ситуаційних мереж використано платформу NetworkX. NetworkX – це платформа мови Python, яка призначена для створення, маніпуляції та дослідження структури, динаміки і функціонування складних мережевих моделей. Бібліотека створена на мові Python і призначена для роботи з графами та

іншими мережевими структурами. Інтерфейс системи побудовано за методом взаємодії з функціональними іконками, що забезпечує необхідну зручність у користуванні.

Розроблена СППР дає можливість будувати різні за складністю ситуаційні мережі з часовими обмеженнями для моделювання складних динамічних систем.

Висновки

Застосування нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями дає можливість моделювати та досліджувати складні динамічні системи і процеси. Використання часового опису ситуацій дає змогу докладніше описати структуру і зміст досліджуваної системи та скоротити кількість еталонних ситуацій за рахунок їх поглибленого дослідження і збільшення керуючих рішень. Введення в опис ситуації часових параметрів дає можливість підвищити ефективність нечітких ситуаційних мереж як інструменту ситуаційного моделювання при розв'язанні задач керування складними організаційно-технічними системами. Система підтримки прийняття рішень, яка розроблена для реалізації нечіткого ситуаційного підходу з часовими обмеженнями, може використовуватись для розв'язання різноманітних задач ситуаційного керування.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути задачі зменшення кількості керуючих рішень за рахунок удосконалення механізму формування нечіткого висновку, а також ввести альтернативні методи підтримки прийняття рішень, наприклад на основі ймовірнісних методів.

Список літератури

1. Rutkowski L. *Metody i Techniki Sztucznej Inteligencji*. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005. – 520 p.
2. Wang P.P., Ruan D., Kerre E.E. *Fuzzy Logic: Theoretical and Practical Issues*. – Berlin: Springer, 2007. – 464 p.
3. Bellman R., Zadeh L. *Decision making in fuzzy environment* // *Manag. Sci.* – 1970. – № 4. – P. 141–164.
4. Lam H.K., Leung F.H.F. *Stability Analysis of Fuzzy-Model-Based Control Systems*. – Berlin: Springer, 2011. – 246 p.
5. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. *Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования*. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
6. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А. *Интеллектуальное управление динамическими системами*. – М.: Физматлит, 2002. – 352 с.
7. Кригер Л.С. *Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении движением общественного транспорта* // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика*. – 2012. – № 2. – С. 150–155.
8. Кригер Л.С., Квятковская И.Ю. *Формализация типовых ситуаций в задачах управления движением общественного транспорта* // *Науч.-техн. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та*. – 2012. – № 3 (150). – С. 106–110.

References

1. L. Rutkowski, *Metody i Techniki Sztucznej Inteligencji*. Warszawa, Poland: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005, 520 p.
2. P.P. Wang et al., *Fuzzy Logic: Theoretical and Practical Issues*. Berlin, German: Springer, 2007, 464 p.
3. R. Bellman and L. Zadeh, "Decision making in fuzzy environment", *Manag. Sci.*, no. 4, pp. 141–164, 1970.
4. H.K. Lam and F.H.F. Leung, *Stability Analysis of Fuzzy-Model-Based Control Systems*. Berlin, German: Springer, 2011, 246 p.
5. A.N. Borisov et al., *Decision Making on the Basis of Fuzzy Models: Application Examples*. Riga: Zinatne, 1990, 184 p. (in Russian).
6. S.N. Vasilyev et al., *Intelligent Control of Dynamic Systems*. Moscow, Russia: Phizmatlit, 2002, 352 p. (in Russian).
7. L.S. Kriger, "Intellectual DSS for community traffic control", *Vestnik of Astrakhan Technical State University*, no. 2, pp. 150–155, 2012 (in Russian).
8. L.S. Kriger and I.Yu. Kwiakowskaya, "Formalization of typical situations in the problems of community transportation means control", *Vedomosty of St. Petersburg State Polytechnic University*, no. 3 (150), pp. 106–110, 2012 (in Russian).

О.П. Гожий

РОЗРОБКА НЕЧІТКИХ СИТУАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ІЗ ЧАСОВИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Проблематика. Нечіткий ситуаційний підхід і розроблені на його основі системи підтримки прийняття рішень з використанням нечіткої логіки ефективно застосовуються для розв'язання задач ситуаційного моделювання і прийняття рішень. Нечіткі ситуаційні мережі дають можливість розв'язувати задачі динамічного ситуаційного моделювання та прийняття керуючих рішень із врахуванням особливостей ситуацій та можливих часових обмежень.

Мета дослідження. Метою роботи є розроблення та дослідження нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями з метою розв'язання задач моделювання складних динамічних систем та реалізація на їх основі системи підтримки прийняття рішень для розв'язання цих задач.

Методика реалізації. Розглянуто особливості процесу побудови нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями. При створенні нечіткої ситуаційної мережі часові обмеження є умовою переходу з однієї ситуації в іншу. Часові обмеження задаються в абсолютній шкалі. При використанні нечітких ситуаційних систем із часовими обмеженнями ситуації досліджуються докладніше за рахунок збільшення кількості керуючих рішень.

Результати дослідження. Запропоновано послідовність побудови нечітких ситуаційних мереж та розглянуто приклад побудови такої мережі для розв'язання задачі керування безпілотним літальним апаратом. Для створення нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями розроблено систему підтримки прийняття рішень.

Висновки. Використання часового опису ситуацій дає змогу детальніше описати структуру і зміст досліджуваної системи, а також скоротити кількість еталонних ситуацій за рахунок їх поглибленого дослідження і збільшення кількості керуючих рішень. Введення в опис ситуації часових параметрів дає можливість підвищити ефективність нечітких ситуаційних мереж як інструменту ситуаційного моделювання.

Ключові слова: нечітка ситуація; нечітка ситуаційна мережа з часовими обмеженнями; еталонна ситуація; керуючі рішення; система підтримки прийняття рішень.

О.П. Гожий

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКИХ СИТУАЦИОННЫХ СЕТЕЙ С ВРЕМЕННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Проблематика. Нечеткий ситуационный подход и разработанные на его основе системы поддержки принятия решений с использованием нечеткой логики эффективно применяются для решения задач ситуационного моделирования и принятия решений. Нечеткие ситуационные сети дают возможность решать задачи динамического ситуационного моделирования и принятия управляющих решений с учетом особенностей ситуаций и возможных временных ограничений.

Цель исследования. Целью работы является разработка и исследование нечетких ситуационных сетей с временными ограничениями для решения задач моделирования сложных динамических систем и управления ими, а также реализация на их основе системы поддержки принятия решений для решения этих задач.

Методика реализации. Рассмотрены особенности процесса построения нечеткой ситуационной сети с временными ограничениями. При создании нечеткой ситуационной сети временные ограничения являются условием перехода из одной ситуации в другую. Временные ограничения задаются в абсолютной шкале. При использовании нечетких ситуационных систем с временными ограничениями ситуации исследуются подробнее за счет увеличения количества управляющих решений.

Результаты исследования. Предложена последовательность построения нечетких ситуационных сетей, и рассмотрен пример построения нечеткой ситуационной сети для решения задач управления беспилотным летательным аппаратом. Для создания нечетких ситуационных сетей с временными ограничениями разработана система поддержки принятия решений.

Выводы. Использование временного описания ситуаций позволяет подробнее описать структуру и содержание исследуемой системы и сократить количество эталонных ситуаций за счет их углубленного исследования и увеличения количества управляющих решений. Введение в описание ситуации временных параметров позволит повысить эффективность нечетких ситуационных сетей как инструмента ситуационного моделирования.

Ключевые слова: нечеткая ситуация; нечеткая ситуационная сеть с временными ограничениями; эталонная ситуация; управляющие решения; система поддержки принятия решений.

Рекомендована
Навчально-наукового комплексу
"Інститут прикладного системного
аналізу" НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
15 червня 2015 року

