



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123110** (13) **U**
(51) МПК

H04B 7/005 (2006.01)

H04L 29/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2017 08576	(72) Винахідник(и): Слюсар Вадим Іванович (UA), Шишацький Андрій Володимирович (UA), Гаценко Сергій Станіславович (UA)
(22) Дата подання заявки: 21.08.2017	(73) Власник(и): Слюсар Вадим Іванович, Повітрофлотський проспект, 28, м. Київ-49, 03049 (UA), Шишацький Андрій Володимирович, бул. Перова, 44, кв. 16, м. Київ-139, 02139 (UA), Гаценко Сергій Станіславович, просп. Повітрофлотський, 28, м. Київ-49, 03049 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.02.2018	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.02.2018, Бюл.№ 3	

(54) СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ СИГНАЛЬНОЇ ОБСТАНОВКИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

(57) Реферат:

Спосіб оцінювання сигнальної обстановки в умовах невизначеності полягає в тому, що в пристрої оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку спочатку формуються відомості про сигнальну обстановку за допомогою інформації, що надходить з приймача радіостанції. Після цього в пристрої оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку проводиться коригування розпізнаючих еталонів на основі навчальних сигналів, що генеруються в пристрої оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку. Далі пристрої оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку відбувається порівняння розпізнаючих еталонів з аналізованим сигналом, з отриманням набору оцінок щодо приналежності реального стану об'єкта кожному з множини можливих станів об'єкта. Після цього пристрій оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку здійснює порівняння отриманих оцінок між собою і з заданим порогом розпізнавання, в результаті якого пристрій оцінки приймає рішення про передбачуваний стан обстановки. При цьому пристрій оцінювання визначає параметри сигнальної обстановки за допомогою розрахунку функції належності множини показників сигнальної обстановки за критерієм максимальної правдоподібності вхідного показника. Після розрахунку функції належності пристрій оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку приймає рішення про її стан за допомогою порівняння розрахованого результату з системою логічних рівнянь, що складають базу знань сигнальної обстановки, що зберігається у пристрої оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку.

UA 123110 U

Корисна модель належить до галузі систем управління та передачі даних спеціального призначення і може бути використана в перспективних засобах радіозв'язку спеціального призначення.

Відомий спосіб ідентифікації лінійних об'єктів управління [1], при якому у пристрої оцінювання проводять ідентифікацію лінійних об'єктів шляхом приведення вихідного диференціального рівняння, що описує динаміку об'єкта, до системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) і в подальшому здійснюють їх розв'язок відносно невідомих параметрів, які є параметрами об'єкта, що ідентифікуються. У пристрої оцінювання здійснюють перехід до алгебраїчного рівняння шляхом множення контрольованих вхідного і вихідного сигналів об'єкта на моделюючу функцію та інтегрування на часовому інтервалі. Для формування СЛАР вибираються або різні інтервали інтегрування, або модулюють різні функції.

Недоліками зазначеного способу є обмежена завадостійкість, викликана зниженням динамічного діапазону коефіцієнтів СЛАР відносно високочастотних завад, внаслідок дії оператора диференціювання, обумовленого необхідністю обчислення інтегралів від добутків контрольованих сигналів на відповідні похідні моделюючих функцій; обмежена можливість використання процедури рекурентного оцінювання параметрів [1] в умовах невизначеності порядку моделі, оскільки збільшення порядку моделі призводить до зміни всіх коефіцієнтів СЛАР.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб оцінювання сигнальної обстановки [2], при якому у пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку спочатку формуються відомості про сигнальну обстановку за допомогою інформації, що надходить з приймача радіостанції, після чого в пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку проводиться коригування розпізнаючих еталонів на основі навчальних сигналів, що генеруються в пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку, після чого в пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку відбувається порівняння розпізнаючих еталонів з аналізованим сигналом, з отриманням набору оцінок щодо приналежності реального стану об'єкта кожному з множини можливих станів об'єкта, після чого пристрій оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку здійснює порівняння отриманих оцінок між собою і з заданим порогом розпізнавання, в результаті якого пристрій оцінювання приймає рішення про передбачуваний стан обстановки.

Недоліком способу-прототипу є неможливість оцінити достовірність процесу навчання і розпізнавання, що є критичним в умовах шумів, які призводять до слабого розрізнення параметрів сигналів.

Тому технічною задачею, що вирішує заявлений спосіб оцінювання сигнальної обстановки в умовах невизначеності, є поєднання переваг прототипу та аналогів, з усуненням їхніх недоліків.

Поставлена задача вирішується у способі оцінювання сигнальної обстановки в умовах невизначеності, який полягає у тому, що у пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку спочатку формуються відомості про сигнальну обстановку за допомогою інформації, що надходить з приймача радіостанції, після чого в пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку проводиться коригування розпізнаючих еталонів на основі навчальних сигналів, що генеруються в пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку, після чого в пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку відбувається порівняння розпізнаючих еталонів з аналізованим сигналом, з отриманням набору оцінок щодо приналежності реального стану об'єкта кожному з множини можливих станів об'єкта, після чого пристрій оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку здійснює порівняння отриманих оцінок між собою і з заданим порогом розпізнавання, в результаті якого пристрій оцінювання приймає рішення про передбачуваний стан обстановки, у якому згідно з корисною моделлю, пристрої оцінювання визначає параметри сигнальної обстановки за допомогою розрахунку функції належності множини показників сигнальної обстановки за критерієм максимальної правдоподібності вхідного показника, а після розрахунку функції належності пристрій оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку приймає рішення про її стан за допомогою порівняння розрахованого результату з системою логічних рівнянь, що складають базу знань сигнальної обстановки, що зберігається у пристрої оцінювання сигнальної обстановки засобу радіозв'язку.

Технічний ефект від використання зазначеного способу полягає в зменшенні обчислювальних затрат, підвищенні завадозахищеності та збільшенні швидкості передачі інформації в складній радіоелектронній обстановці для перспективних систем управління і передачі даних спеціального призначення.

Пояснимо більш докладно суть заявленого способу. Опишемо модель оцінювання обстановки:

$$D(k) = f \left[\begin{matrix} Y_1(k-1), \dots, Y_n(k-1) \\ Z_1(k-1), \dots, Z_n(k-1) \end{matrix} \right],$$

де $Y_1(k-1)$ - вектор, що характеризує перший показник оцінки на $k-1$ кроці моделювання;
 $Y_n(k-1)$ - вектор, що характеризує n -ний показник оцінки на $k-1$ кроці моделювання;
 $Z_1(k-1), \dots, Z_n(k-1)$ - вектори, що характеризують узагальнену оцінку по кожному з показників оцінки якості сигнальної обстановки.

Можливі стани обстановки задані множиною $d \in \{d_1, d_2, d_3\}$. Задача оцінювання полягає в тому, щоб кожному сполученню показників оцінки поставити у відповідність одне з рішень $d_i, i = \overline{1,3}$. Показники k_n будемо розглядати як лінгвістичні змінні.

Структура моделі процесу оцінювання показана у вигляді багаторівневого ієрархічного дерева логічного висновку, що відповідає наведеним нижче станам.

$$d = f_d(Z_1 \dots Z_n), Z = f_z(Y_1 \dots Y_n),$$

$$Y_n = f_{y_n}(k_{n1}(x), k_{n2}(x), k_{n3}(x), k_{n4}(x), k_{n5}(x)).$$

Для показників, що мають кількісний вимір, діапазон зміни розбивається на чотири кванти. Це забезпечить можливість перетворення безперервної універсальної множини $U = [\underline{u}, \bar{u}]$ в

дискретну п'ятиелементну множину:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_5\},$$

де $u_1 = \underline{u}, u_2 = \underline{u} + \Delta_1, u_3 = u_2 + \Delta_2, u_4 = u_3 + \Delta_3, u_5 = \bar{u}$, причому $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 = \bar{u} - \underline{u}$, $\bar{u}(\underline{u})$ - верхня (нижня) границя діапазону зміни показника. Тоді всі матриці парних порівнянь мають розмірність 5×5 . Вибір чотирьох квантів визначається можливістю апроксимації нелінійних кривих по п'ятьох точках.

У загальному випадку вхідні змінні x_1, x_2, \dots, x_n можуть задаватися числом, лінгвістичним термом або за принципом термометра.

Оцінювання обстановки з використанням експертної інформації здійснюється з використанням нечітких логічних рівнянь, які являють собою матрицю знань і систему логічних висловлювань. Ці рівняння дозволяють обчислити значення функцій належності різних результатів оцінювання при фіксованих значеннях вхідних показників. Як результат процесу оцінювання сигнальної обстановки будемо приймати рішення з найбільшим значенням функції належності. Лінгвістичні оцінки α_i^{jp} змінних x_1, x_2, \dots, x_n , що входять у логічні висловлення щодо рішень $d_j, j = \overline{1, m}$, розглянемо як нечіткі множини, визначені на універсальних множинах

$$X_i = [\underline{x}_i, \bar{x}_i], i = \overline{1, n}.$$

Нехай $\mu^{\alpha_i^{jp}}(x)$ - функція належності показника $x_i \in [\underline{x}_i, \bar{x}_i]$ нечіткому терму $\alpha_i^{jp}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, l_i}$; $\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - функція належності вектора вхідних змінних $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ значенню вихідної оцінки $y = d_j, j = \overline{1, m}$.

Зв'язок між даними функціями визначається нечіткою базою знань і може бути представлений у вигляді наступних логічних рівнянь:

$$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu^{a_1^{j1}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{j1}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{j1}} \vee$$

$$\mu^{a_1^{j2}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{j2}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{j2}}(x_n) \dots$$

$$\dots \mu^{a_1^{j_l}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{j_l}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{j_l}}(x_n), j = \overline{1, m}.$$

Рівняння отримані з нечіткої бази знань шляхом заміни змінних (лінгвістичних термів) на їх функцій належності, а операції І та ЧИ - на операції \wedge і \vee .

Коротко наведену вище систему запишемо таким чином:

$$\mu^{d_j}(x_i) = \bigvee_{p=1}^{l_j} \left[\bigwedge_{i=1}^n \mu^{a_i^{jp}}(x_i) \right], j = \overline{1, m}.$$

Нечіткі логічні рівняння є аналогом введеної Заде процедури нечіткого логічного висновку, що здійснюється за допомогою операції "нечітка (min-max) композиція", в якій операціям \wedge і \vee відповідають операції \min і \max . Одержуємо: $\mu^{d_j}(x_i) = \max_{p=1,1,j} \left\{ \min_{j=1,1,n} \left[\mu^{a_i^p}(x_i) \right] \right\}$.

З виразу видно, що для розрахунку необхідно мати лише функції належності змінних нечітким термам.

Алгоритм розрахунку функції належності при оцінюванні сигнальної обстановки включає наступні етапи:

1. Вибирають оцінюваний показник обстановки $x_j, j = \overline{1,m}$.

2. Задають сукупність нечітких термів $\{u_1, u_2, \dots, u_l\}$, що використовують для оцінки x .

3. Для кожного терму $u_i, i = \overline{1,l}$ формують матрицю парних порівнянь:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & r_2 & r_3 & \dots & r_n \\ & r_1 & r_1 & \dots & r_1 \\ r_1 & 1 & r_3 & \dots & r_n \\ r_2 & & r_2 & \dots & r_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_1 & r_2 & r_3 & \dots & 1 \\ r_n & r_n & r_n & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

де $r_s(u_i)$ - ранг елемента $u_i \in U$, що характеризує значимість цього елемента при формуванні властивості, яка описується деяким нечітким термом ξ .

Матриця має такі властивості:

елементи головної діагоналі $t_{ij} = 1, i = \overline{1,n}$;

відносно головної діагоналі елементи зв'язані виразом $t_{ij} = 1/t_{ji}$;

транзитивність: $t_{ik}t_{kj} = t_{ij}$, тому що $\frac{r_i}{r_k} \frac{r_k}{r_j} = \frac{r_i}{r_j}$.

Завдяки даним властивостям по відомих елементах одного рядка матриці T легко знайти елементи інших рядків. Якщо відомі елементи $t_{kj}, k, j = \overline{1,n}$, то довільний елемент t_{ij}

знаходиться так: $t_{ij} = t_{kj}/t_{ki}, i, j, k = \overline{1,n}$.

Оскільки матриця може бути інтерпретована як матриця парних порівнянь рангів, то для експертної оцінки елементів цієї матриці можна скористатися дев'ятибальною шкалою Сааті. Для описуваного випадку:

$$t_{ij} = r_i / r_j = \begin{cases} 1 - \text{якщо відсутня перевага } r_i \text{ над } r_j; \\ 3 - \text{при малій перевазі } r_i \text{ над } r_j; \\ 5 - \text{при суттєвій перевазі } r_i \text{ над } r_j; \\ 7 - \text{при явній перевазі } r_i \text{ над } r_j; \\ 9 - \text{при абсолютній перевазі } r_i \text{ над } r_j; \\ 2, 4, 6, 8 - \text{проміжні порівняльні оцінки.} \end{cases}$$

4. Визначають функції належності: 1) за абсолютними оцінками рангів $r_i, i = \overline{1,n}$, які можна визначити по дев'ятибальній шкалі (1 - нижчий ранг, 9 - вищий ранг); 2) за відносними оцінками рангів $r_i / r_j = t_{ij}, i, j = \overline{1,n}$, що створюють матрицю парних порівнянь, обчислюють значення функцій належності для кожного терму. При цьому нормування отриманих функцій належностей здійснюють шляхом ділення на найбільші ступені належності.

Нечіткі логічні рівняння разом із функціями належностей нечітких термів дозволяють оцінювати сигнальну обстановку відповідно до наступної послідовності операцій:

1. Фіксують значення показників обстановки $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$.

2. Використовуючи алгоритм розрахунку функції належності, визначають функції належностей $\mu^i(x_i^*)$ при фіксованих значеннях показників $x_i^*, i = \overline{1,m}$.

3. Використовуючи логічні рівняння, обчислюють значення функцій належностей $\mu^{d_j} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ при векторі стану $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ для всіх станів d_1, d_2, \dots, d_n . При цьому логічні операції \wedge і \vee над функцією належності заміняють на операції \min і \max .

4. Визначають рішення d_j^* , для якого:

$$\mu^{d_j^*} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) = \max_{j=1, m} [\mu^{d_j} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)].$$

Дані матриць знань утворюють нечітку базу знань оцінювання радіоелектронної обстановки.

Використовуючи таблиці й операції \wedge (І) і \vee (АБО), записують систему логічних рівнянь, що зв'язують функції належностей рішень оцінювання обстановки із функціями належності розвідувальних ознак.

10 Основні етапи оцінювання сигнальної обстановки з використанням експертної інформації є наступними:

1. Визначають набір ознак оцінювання поточної сигнальної обстановки. Для оцінювання кожної ознаки вводять терми-множини, що містять оцінки виду: придатна для роботи; непридатна; придатна для роботи, проте потребує корегування.

15 2. Для формалізації експертної інформації з лінгвістичних оцінок отриманих показників формують логіко-лінгвістичні правила.

3. Розробляють склад і структуру бази знань, що містять у собі набір логіко-лінгвістичних правил за оцінками кожного з показників обстановки і відповідний їм набір можливих ситуацій обстановки.

20 4. За прийнятим набором розвідувальних ознак здійснюють ідентифікацію ситуацій обстановки відповідно до приведеного вище алгоритму.

Структуру узагальненої математичної моделі представляють у вигляді дерева логічного висновку, що відображає класифікацію параметрів, проміжні висновки оцінювання. Корінь дерева відповідає результату оцінювання, а вершини - показникам обстановки. Вихідний результат оцінювання і показники обстановки представлені як лінгвістичні змінні, які оцінюють за допомогою нечітких термів, що задані на відповідних множинах. Спосіб оцінювання обстановки на базі нечіткої логіки здійснюється з використанням доступної експертної інформації у вигляді правил "ЯКЩО-ТО", що зв'язують нечіткі терми показників обстановки і результат оцінювання.

30 Таким чином, запропонований спосіб у вигляді ієрархічної системи відношень дозволяє оцінювати обстановку і досліджувати її залежність від показників на основі нечітких логічних правил "ЯКЩО-ТО". Результатом застосування запропонованої ієрархічної системи нечітких логічних рівнянь є ступінь належності оцінювання обстановки до певного стану.

Запропонований спосіб дає можливість обчислювати функції належностей із використанням рангових оцінок, що досить легко одержати при експертному опитуванні.

Технічний результат від застосування зазначеного способу полягає у зменшенні обчислювальних затрат, підвищенні завадозахищеності та збільшенні швидкості передачі інформації у складній радіоелектронній обстановці для перспективних систем управління і передачі даних спеціального призначення.

40 Джерела інформації:

1. Козлов Ю.М. Юсупов Р.М. Беспойсковые самонастраивающиеся системы. - М. Наука, 1969. - С. 93, 94. -Аналог.

2. Шуренок В.А. Методика оцінки космічної обстановки на базі нечіткої логіки: Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - 2003. - С. 191-203. -Прототип.

45

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб оцінювання сигнальної обстановки в умовах невизначеності, який полягає в тому, що в пристрої оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку спочатку формуються відомості про
5 сигнальну обстановку за допомогою інформації, що надходить з приймача радіостанції, після
чого в пристрої оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку проводиться коригування
розпізнаючих еталонів на основі навчальних сигналів, що генеруються в пристрої оцінки
сигнальної обстановки засобу радіозв'язку, після чого в пристрої оцінки сигнальної обстановки
10 засобу радіозв'язку відбувається порівняння розпізнаючих еталонів з аналізованим сигналом, з
отриманням набору оцінок щодо приналежності реального стану об'єкта кожному з множини
можливих станів об'єкта, після чого пристрій оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку
здійснює порівняння отриманих оцінок між собою і з заданим порогом розпізнавання, в
результаті якого пристрій оцінки приймає рішення про передбачуваний стан обстановки, який
15 **відрізняється** тим, що пристрій оцінювання визначає параметри сигнальної обстановки за
допомогою розрахунку функції належності множини показників сигнальної обстановки за
критерієм максимальної правдоподібності вхідного показника, а після розрахунку функції
належності пристрій оцінки сигнальної обстановки засобу радіозв'язку приймає рішення про її
стан за допомогою порівняння розрахованого результату з системою логічних рівнянь, що
20 складають базу знань сигнальної обстановки, що зберігається у пристрої оцінки сигнальної
обстановки засобу радіозв'язку.

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601