



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142421** (13) **U**
(51) МПК (2020.01)

G06G 7/48 (2006.01)

G06N 5/00

G06Q 10/00

G09B 9/00

G09B 9/02 (2006.01)

G06G 7/52 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2019 10234**

(22) Дата подання заявки: **07.10.2019**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.06.2020**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.06.2020, Бюл.№ 11**

(72) Винахідник(и):

**Калюжний Микола Михайлович (UA),
Ніколаєв Іван Михайлович (UA),
Прохоров Олександр Валерійович (UA),
Прохоров Валерій Павлович (UA),
Задонський Олександр Ілліч (UA),
Ковшар Валентин Олександрович (UA),
Шаталов Олексій Вікторович (UA)**

(73) Власник(и):

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ,
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166 (UA)**

(54) СПОСІБ ІМІТАЦІЙНОГО СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ КЛАСІВ (ТИПІВ) І СТАНІВ РАДІОВИПРОМІНЮВАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

(57) Реферат:

Спосіб імітаційного статистичного моделювання системи сумісного розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів включає те, що за допомогою датчика випадкових чисел формують модель об'єкта, приналежність якого до певного класу заздалегідь відома, шляхом завдання сукупності числових значень ознак, які для об'єктів заданого класу генеруються як реалізації багатовимірної випадкової величини з заданим законом розподілу по одному з відомих алгоритмів, числові значення ознак піддають випадковому спотворенню у відповідності з заданими помилками їх вимірювання. Спотворені значення параметрів, що представляють для системи розпізнавання спостережуваний об'єкт, подають на вхід алгоритму розпізнавання, в якому визначається приналежність об'єкта до одного з класів заданого алфавіту. Зіставляють номер класу, до якого віднесений об'єкт алгоритмом розпізнавання, з номером, який задавався на першому етапі формування об'єкта. Визначають правильність розпізнавання об'єкта і систематизують відповідну інформацію для підрахунку оцінок ймовірностей правильних і помилкових рішень. Формують апіорний опис розпізнаваних об'єктів у вигляді бази даних, що містить апіорний алфавіт класів радіовипромінювальних об'єктів і апіорний словник їх сигнальних ознак, пов'язаних зі структурою і параметрами випромінювань радіолокаційних засобів і засобів радіозв'язку. Перед початком моделювання задають і документують склад алфавіту класів об'єктів, склад сигнальних ознак і значення помилок їх вимірювання, вид (структуру) досліджуваного алгоритму розпізнавання (або їх деяку сукупність), вид оцінюваного показника ефективності і число прогонів моделі. Моделюють параметри сигналів, що випромінюють радіолокаційні засоби і засоби радіозв'язку розпізнаваних об'єктів, для чого вибирають з бази даних один із векторів апіорного опису розпізнаваних об'єктів заданого класу і при кожному прогоні моделі формують з нього вектор випадкових сигнальних ознак заданої розмірності відповідно до заданих значень помилок вимірювання. При цьому конкретні значення сигнальних ознак імітуються в межах інтервалів їх

UA 142421 U

можливої зміни з урахуванням можливих помилок вимірювання в засобі радіоелектронного спостереження. Програмним способом здійснюють підрахунок числа правильних і помилкових рішень. Послідовно перебирають всі класи апіорного алфавіту розпізнаваних об'єктів (джерел) і формують матрицю оцінок правильних і помилкових рішень, прийнятих досліджуваним алгоритмом розпізнавання, по якій потім визначають середню ймовірність правильного розпізнавання або ймовірності помилок першого і другого роду. Заздалегідь формують моделі станів об'єктів у вигляді бази знань, яка містить базу правил (аксіом) на мові числення предикатів першого порядку, а також вбудовані функції або розрахункові модулі, та базу запитів. Формують базу фактів шляхом інтерпретації первинних предикатів за сукупністю наступних даних: назва класу; ймовірність розпізнавання класу; номер і тип радіовипромінювального об'єкта; ймовірність розпізнавання типу; тип бортового радіолокаційного засобу (РЛЗ); ймовірність розпізнавання РЛЗ; найменування (номер стану) режиму роботи РЛЗ; ймовірність розпізнавання режиму роботи РЛЗ; найменування класу випромінювання ЗРЗ; ймовірність розпізнавання класу випромінювання бортового засобу радіозв'язку (ЗРЗ); широта; довгота і висота місцезнаходження та швидкість руху радіовипромінювального об'єкта. Після заданого числа прогонів моделі за кожним запитом здійснюють пошук рішення про стан об'єктів в процесі логічного (дедуктивного) виведення і формують базу реакцій алгоритму логічного виведення на запити та результати розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів. Формують і відображають дані для пояснення результатів виведення в текстовому і графічному вигляді, які характеризують дерево виводу (пошуку рішень), правила і факти, які використовувалися в процесі виведення. Формують і відображають умови і загальні результати моделювання ефективності розпізнавання заданого алфавіту класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів (джерел) обраним вирішальним правилом по заданому словнику сигнальних ознак.

Корисна модель належить до області моделювання і може бути використана для оцінки показників ефективності системи розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів за сигнальними ознаками, пов'язаними з параметрами випромінювання радіолокаційних засобів (РЛЗ) і засобів радіозв'язку (ЗРЗ), що входять до складу об'єктів наземного, морського і повітряного базування. Під станом радіовипромінювального об'єкта розуміють задачу, яку він виконує на тому або іншому етапі функціонування [1, С. 36].

Відомі способи статистичного моделювання, пов'язані з функціонуванням складних технологічних систем [2].

Однак описані в літературі способи вирішення завдань шляхом статистичного моделювання систем не враховують впливу змін ресурсів на якість отриманого результату, тобто не реалізують корекцію критерію якості функціонування систем відповідно до ресурсу, що використовується. Це не дозволяє з достатньою точністю моделювати процеси, що виконуються для досягнення поставлених перед системою цілей.

Відомий спосіб напівнатурного комплексного статистичного моделювання радіоелектронного озброєння надводних кораблів (патент RU № 2399097 СІ, МПК G09В 9/00 (2006.01), бюл. № 25. 2010) [3], який включає те, що використовують різні сценарії зовнішньої обстановки, моделюють функціонування елементів і засобів системи радіоелектронного озброєння надводного корабля, умови функціонування якого імітуються за допомогою моделі зовнішньої обстановки навколо корабля, що включає моделювання об'єктів повітряної, надводної, підводної обстановки, радіочастотних та гідроакустичних інформаційних полів із застосуванням технологій обліку повних груп помилок, допусків і розкиду параметрів імітованих об'єктів і процесів відповідно реальних умов проведення випробувань ефективності і надійності роботи системи управління надводного корабля в різних умовах його функціонування.

Недоліком даного способу є те, що він не передбачає можливості зміни в процесі моделювання складу та технічних характеристик радіоелектронного озброєння кораблів, що, в свою чергу, не дозволяє оптимізувати склад і характеристики даного озброєння за результатами моделювання стосовно прогнозованих умов зовнішньої обстановки. Крім того, даний спосіб не дозволяє автоматично прийняти рішення про стан та завдання, які вирішує об'єкт спостереження.

Відомий спосіб імітаційного статистичного моделювання ймовірнісної системи розпізнавання [4]. Суть способу включає те, що для оцінки ефективності ймовірнісних систем розпізнавання методом статистичних випробувань створюють імітаційно-математичну модель (ІММ) функціонування системи, що розпізнає, основними елементами якої є датчик випадкових чисел, блок формування розпізнаваних об'єктів, блок помилок визначення ознак, блок обмеження обсягу апостеріорної інформації, блок помилок апріорного опису класів, блок розпізнавання, блок оцінки показника ефективності, що з'єднані між собою відповідними зв'язками.

Недоліком вказаного відомого способу є неможливість оперативної зміни виду досліджуваного алгоритму розпізнавання (процедури прийняття рішення), виду оцінюваного показника ефективності, алфавіту класів, що розпізнаються, і обсягу їх апріорного опису обраною мовою сигнальних ознак. Незмінна структура моделі не дозволяє підвищити достовірність формування вигляду проектованої системи розпізнавання шляхом зміни виду правила прийняття рішення, що забезпечує задану ймовірність правильного розпізнавання при обмеженнях на розмір алфавіту класів, словника сигнальних ознак і помилок їх вимірювання, обумовлених умовами функціонування проектованої системи: в складі засобу радіоелектронного спостереження.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі є спосіб імітаційного статистичного моделювання системи розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів (патент України на корисну модель № 135543, МПК G06G 7/48 (2006.01), бюл. № 13, 2019) [5].

Спосіб-найближчий аналог включає те, що для оптимізації системи розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів, яка полягає у визначенні оптимального алфавіту класів і робочого словника сигнальних ознак при найкращому правилі прийняття рішення в умовах обмежень на побудову системи вимірювання ознак розпізнавання, створюють імітаційно-математичну модель (ІММ) системи розпізнавання. Основними елементами ІММ є блок імітації сигнальних ознак, блок апріорного опису об'єктів, що підлягають розпізнаванню на мові обраних сигнальних ознак, блок алгоритмів розпізнавання класів (типів) РЛЗ, блок алгоритмів розпізнавання класів випромінювань ЗРЗ, блок алгоритму формування рішення про клас (тип) об'єкту, що спостерігається, за результатами розпізнавання класу (типу) РЛЗ і класу випромінювання ЗРЗ, блок оцінки показника ефективності (ПЕ) розпізнавання, блок документування вихідних даних та результатів моделювання, блок введення вихідних даних і запуску моделювання, які з'єднані відповідними зв'язками.

Суть найближчого аналога полягає у наступному.

За допомогою датчика випадкових чисел формують модель об'єкта, приналежність якого до певного класу заздалегідь відома, шляхом завдання сукупності числових значень ознак, які для об'єктів заданого класу генеруються як реалізації багатовимірної випадкової величини з заданим законом розподілу по одному з відомих алгоритмів. Числові значення ознак піддають випадковому спотворенню у відповідності з заданими помилками їх вимірювання, спотворені значення параметрів, що представляють для системи розпізнавання спостережуваний об'єкт, подають на вхід алгоритму розпізнавання, в якому визначається приналежність об'єкта до одного з класів заданого алфавіту, зіставляють номер класу, до якого віднесений об'єкт алгоритмом розпізнавання, з номером, який задавався на першому етапі формування об'єкта, визначають правильність розпізнавання об'єкта і систематизують відповідну інформацію для підрахунку оцінок ймовірностей правильних і помилкових рішень. Формують апіорний опис розпізнаваних об'єктів у вигляді бази даних, що містить апіорний алфавіт класів радіовипромінювальних об'єктів і апіорний словник їх сигнальних ознак, пов'язаних зі структурою і параметрами випромінювань радіолокаційних засобів і засобів радіозв'язку. Перед початком моделювання задають склад алфавіту класів об'єктів, склад сигнальних ознак і значення помилок їх вимірювання, вид (структуру) досліджуваного алгоритму розпізнавання (або їх деяку сукупність), вид оцінюваного показника ефективності і число прогонів моделі. Моделюють параметри сигналів, що випромінюють радіолокаційні засоби і засоби радіозв'язку розпізнаваних об'єктів, для чого вибирають з бази даних один з векторів апіорного опису розпізнаваних об'єктів заданого класу і при кожному прогоні моделі формують з нього вектор випадкових сигнальних ознак заданої розмірності відповідно до заданих значень помилок вимірювання, при цьому конкретні значення сигнальних ознак імітуються в межах інтервалів їх можливої зміни з урахуванням можливих помилок вимірювання в засобі радіоелектронного спостереження. Програмним способом здійснюють підрахунок числа правильних і помилкових рішень, послідовно перебирають всі класи апіорного алфавіту розпізнаваних об'єктів (джерел) і формують матрицю оцінок правильних і помилкових рішень, прийнятих досліджуваним алгоритмом розпізнавання, по якій потім визначають середню ймовірність правильного розпізнавання або ймовірності помилок першого і другого роду.

Недоліками вказаного найближчого аналога є неможливість:

- 1) оцінювання за результатами імітаційного статистичного моделювання показників ефективності сумісного розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів;
- 2) автоматичного виявлення за результатами імітаційного статистичного моделювання похибок у апіорних описах класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів на мові сигнальних ознак, у тому числі наявності перетинів еталонних векторів сигнальних ознак різних класів (типів) або їх станів.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалити спосіб імітаційного статистичного моделювання систем розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів, задачею якого є формування оптимальної структури системи, що проектується, стосовно конкретних умов її функціонування при заданій ймовірності прийняття правильних рішень, шляхом додавання моделі (модуля) експертної системи розпізнавання станів (ЕСРС), що дозволить усунути недоліки найближчого аналога. При цьому під оптимальною структурою системи розпізнавання розуміють оптимальний склад алфавіту класів (типів) і станів об'єктів, що підлягають розпізнаванню, оптимальний склад і розмір словника сигнальних ознак та оптимальний алгоритм формування рішення про клас (тип) і стан об'єкту, що спостерігається, за прийнятим вектором параметрів випромінювань РЛЗ і ЗРЗ, які виміряні з точністю, не нижче заданої.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі імітаційного статистичного моделювання системи розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів, який включає те, що за допомогою датчика випадкових чисел формують модель об'єкта, приналежність якого до певного класу заздалегідь відома, шляхом завдання сукупності числових значень ознак, які для об'єктів заданого класу генеруються як реалізації багатовимірної випадкової величини з заданим законом розподілу за одним із відомих алгоритмів, числові значення ознак піддають випадковому спотворенню у відповідності з заданими помилками їх вимірювання, спотворені значення параметрів, що представляють для системи розпізнавання спостережуваний об'єкт, подають на вхід алгоритму розпізнавання, в якому визначається приналежність об'єкта до одного з класів заданого алфавіту, зіставляють номер класу, до якого віднесений об'єкт алгоритмом розпізнавання, з номером, який задавався на першому етапі формування об'єкта, визначають правильність розпізнавання об'єкта і систематизують відповідну інформацію для підрахунку оцінок ймовірностей правильних і помилкових рішень, формують апіорний опис

розпізнаваних об'єктів у вигляді бази даних, що містить апіорний алфавіт класів радіовипромінювальних об'єктів і апіорний словник їх сигнальних ознак, пов'язаних зі структурою і параметрами випромінювань радіолокаційних засобів і засобів радіозв'язку, перед початком моделювання задають і документують склад алфавіту класів об'єктів, склад 5 сигнальних ознак і значення помилок їх вимірювання, вид (структуру) досліджуваного алгоритму розпізнавання (або їх деяку сукупність), вид оцінюваного показника ефективності і число прогонів моделі, моделюють параметри сигналів, що випромінюють радіолокаційні засоби і засоби радіозв'язку розпізнаваних об'єктів, для чого вибирають з бази даних один із векторів апіорного опису розпізнаваних об'єктів заданого класу і при кожному прогоні моделі формують 10 з нього вектор випадкових сигнальних ознак заданої розмірності відповідно до заданих значень помилок вимірювання, при цьому конкретні значення сигнальних ознак імітуються в межах інтервалів їх можливої зміни з урахуванням можливих помилок вимірювання в засобі радіоелектронного спостереження, програмним способом здійснюють підрахунок числа правильних і помилкових рішень, послідовно перебирають всі класи апіорного алфавіту 15 розпізнаваних об'єктів (джерел) і формують матрицю оцінок правильних і помилкових рішень, прийнятих досліджуваним алгоритмом розпізнавання, по якій потім визначають середню ймовірність правильного розпізнавання або ймовірності помилок першого і другого роду, згідно з корисною моделлю, заздалегідь формують моделі станів об'єктів у вигляді бази знань, яка містить базу правил (аксіом) на мові числення предикатів першого порядку, а також вбудовані 20 функції або розрахункові модулі, та базу запитів, формують базу фактів шляхом інтерпретації первинних предикатів за сукупністю наступних даних: назва класу; ймовірність розпізнавання класу; номер і тип радіовипромінювального об'єкта; ймовірність розпізнавання типу; тип бортового РЛЗ; ймовірність розпізнавання РЛЗ; найменування (номер стану) режиму роботи РЛЗ; ймовірність розпізнавання режиму роботи РЛЗ; найменування класу випромінювання ЗРЗ; 25 ймовірність розпізнавання класу випромінювання ЗРЗ; широта; довгота і висота місцезнаходження та швидкість руху радіовипромінювального об'єкта, після заданого числа прогонів моделі за кожним запитом здійснюють пошук рішення про стан об'єктів в процесі логічного (дедуктивного) виведення і формують базу реакцій алгоритму логічного виведення на запити та результати розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів, формують і 30 відображають дані для пояснення результатів виведення в текстовому і графічному вигляді, які характеризують дерево виводу (пошуку рішень), правила і факти, які використовувалися в процесі виведення, формують і відображають умови и загальні результати моделювання ефективності розпізнавання заданого алфавіту класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів (джерел) обраним вирішальним правилом по заданому словнику сигнальних ознак.

Корисна модель пояснюється кресленням, на якому відображено загальну схему реалізації запропонованого способу.

Для оцінки ефективності розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів та їх станів за допомогою способу, що заявляється, кожен клас (тип) об'єктів повинен бути описаний декількома (за числом режимів випромінювань РЛЗ та ЗРЗ) еталонними описами сигнальних 40 ознак, пов'язаних з режимами функціонування передавальних пристроїв і антенних систем їх радіоелектронних засобів. На підставі цього опису заздалегідь формується база знань, яка для кожного класу (типу) об'єктів повинна містити сукупність його можливих станів, пов'язаних із відповідними режимами випромінювань РЛЗ і ЗРЗ та їх поєднаннями.

Суть способу, що заявляється, і можливості його технічної реалізації пояснюються наступним чином.

Практичний інтерес представляють тільки ті системи розпізнавання, які забезпечують необхідний за умовами поставленого завдання гарантований рівень достовірності розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів та їх станів. Проектування таких систем можливо 50 буде успішно вирішити лише шляхом об'єднання методів імітаційного статистичного моделювання та інтелектуальних інформаційних технологій, що дозволяє реалізувати ітеративну процедуру послідовного наближення проектованої системи до потенційно досяжної і оцінити її ефективність в залежності від прогнозованих умов функціонування. Реалізація цього методу статистичного моделювання передбачає створення двоступінчатої комплексної IMM, яка на першому ступені забезпечує багаторазове повторення процесу розпізнавання для кожного з 55 класів (типів) апіорного алфавіту розпізнаваних об'єктів, а на другому ступені - оцінку їх станів із використанням моделі (модуля) ЕСРС на основі даних, отриманих першим ступенем комплексної IMM за результатами заданого числа його прогонів.

Комплексна IMM, реалізуючи заданий набір алгоритмів, доповнений моделлю (модулем) ЕСРС, дозволяє отримати як кількісні оцінки заданого показника ефективності розпізнавання 60 класів (типів) радіовипромінювальних об'єктів, так і показники розпізнавання станів цих об'єктів

по сукупності сигнальних ознак (параметрів РЛЗ та ЗРЗ) в залежності від різних факторів, що дозволить за результатами моделювання обґрунтувати структуру та суттєво підвищити ефективність функціонування проектованої системи розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів та їх станів. При цьому ЕРС у складі комплексної ІММ поряд з формуванням рішень

5 щодо станів радіовипромінювальних об'єктів виконує також функцію автоматичної оцінки правильності та достовірності розпізнавання класів (типів) радіовипромінювальних об'єктів для корегування результатів моделювання на першому ступеню моделювання.

Використання комплексної ІММ систем розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів дозволить підвищити якість та скоротити час відпрацювання системи розпізнавання, що проектується, для конкретних умов її застосування у конкретному засобі радіоелектронного спостереження.

Критерій якості розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів за параметрами випромінювання бортових радіоелектронних засобів (РЛЗ та ЗРЗ) в залежності від завдання, що вирішується засобом радіоелектронного спостереження, визначають за величиною помилок розпізнавання в залежності від виду правила прийняття рішення, складу алфавіту класів, що підлягають розпізнаванню, складу словника сигнальних ознак і необхідної точності їх виміру в засобі радіоелектронного спостереження.

За результатами моделювання у способі, що заявляється, проводиться оцінка достовірності розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів за рахунок використання еталонних достовірних логічних правил прийняття рішень про стан об'єктів за параметрами розпізнаних режимів роботи РЛЗ і розпізнаних класів ЗРЗ та відповідних їм ймовірностей розпізнавання.

Суть способу імітаційного статистичного моделювання систем розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів, що заявляється, пояснюється на прикладі функціонування пристрою, варіант структурної схеми якого показаний на кресленні.

Блоки 1-17 реалізують спосіб-найближчий аналог імітаційного статистичного моделювання системи розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів. ІММ способа-найближчого аналога, реалізуючи заданий набір алгоритмів, дозволяє отримати кількісні оцінки заданого показника ефективності розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів в залежності від різних факторів, що впливають на функціонування проектованої системи розпізнавання.

Спосіб імітаційного статистичного моделювання систем розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів реалізують наступним чином.

Блоки 3 та 4 мають однакову структуру. До складу кожного з цих блоків входять блок вибору алгоритму розпізнавання або їх певної сукупності, блок статистичного алгоритму розпізнавання за критерієм максимуму апостеріорної ймовірності, блок евристичного алгоритму розпізнавання, блок алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Махаланобіса, блок алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Евкліда, блок алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Хемінга, блок вибору колективу правил прийняття рішення (КГШР), блок об'єднання рішень за алгоритмом простого голосування і блок об'єднання рішень за алгоритмом зваженого голосування.

Для проведення кожного випробування блок імітації 1 формує модель радіовипромінювального об'єкта, приналежність якого до певного класу заздалегідь відома. Формування випадкових реалізацій вхідного вектора сигнальних ознак здійснюється по команді, яка з першого виходу блоку управління 8 надходить на вхід блоку імітації 1. Ця команда містить вид розв'язуваної задачі розпізнавання, номер імітованого класу джерела (об'єкта), склад (перелік) та значення середньоквадратичного відхилення ознак, за якими має здійснюватися розпізнавання імітованого об'єкта, тип досліджуваного алгоритму розпізнавання або їх деякої сукупності з числа реалізованих в моделі, вид оцінюваного показника якості розпізнавання, кількість прогонів моделі.

За цією командою блок імітації 1 зчитує з блоку 2 (в якому зберігається база даних мінімальних і максимальних значень сигнальних ознак) граничні значення сигнальних ознак з вектора еталонного опису об'єкта заданого класу, за якими в блоці імітації 1 за допомогою датчика випадкових чисел формуються конкретні числові значення параметрів імітованого сигналу.

Номер класу об'єкта з першого виходу блоку імітації 1 надходить на перший вхід блоку 2, який з першого виходу видає на другий вхід блоку імітації 1 вектор еталонного опису об'єкта заданого класу.

В результаті при кожному прогоні моделі блок імітації 1 формує вектор випадкових сигнальних ознак. Випадкова реалізація вектора сигнальних ознак радіовипромінювального об'єкта заданого класу, яка формується блоком імітації 1, з другого виходу даного блоку надходить на перші входи блоків 3 і 4, на другі входи яких з виходу блоку 2 надходять вектори

еталонних описів об'єкта заданого класу. Одночасно номер об'єкта з третього виходу блоку 2 надходить на перший вхід блоку оцінки показників ефективності 5 для підрахунку числа правильних і помилкових рішень.

У блоці 3 вектор випадкових сигнальних ознак, що імітується, з другого виходу блоку імітації 1 надходить на перший вхід блоку вибору алгоритму розпізнавання або їх сукупності 5, на другий вхід якого з виходу блоку 2 надходять еталонні описи розпізнаваних класів об'єктів (джерел).

Блок вибору алгоритму розпізнавання або їх сукупності 5 здійснює підключення виходів блоку імітації 1 і блоку 2 до входів блоків 6, 7, 8, 9 і/або 10, що реалізують різні процедури розпізнавання, відповідною командою, яка надходить перед початком проведення сеансу моделювання на третій вхід блоку 5 з другого виходу блоку управління 17.

Блок 6 реалізує статистичний алгоритм розпізнавання за критерієм максимуму апостеріорної ймовірності (Байєса).

Блок 7 реалізує евристичний (інтервальний) алгоритм розпізнавання.

Блоки 8, 9 і 10 реалізують алгоритми розпізнавання за критеріями мінімуму відстані Махаланобіса, мінімуму відстані Хемінга і мінімуму відстані Евкліда відповідно.

Рішення про клас об'єкта, що формуються блоками 6, 7, 8, 9 і/або 10 з виходів цих блоків надходять відповідно на перший, другий, третій, четвертий, і п'ятий входи блоку вибору колективу правил прийняття рішень 11, а також на другий, третій, четвертий, п'ятий, і шостий входи блоку оцінки показників ефективності 15.

Рішення про клас випромінювання ЗРЗ, що формуються аналогічними блоком статистичного алгоритму розпізнавання за критерієм максимуму апостеріорної ймовірності (Байєса) 6, блоком евристичного алгоритму розпізнавання 7, блоком алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Махаланобіса 8, блоком алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Хемінга 9 і/або блоком алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Евкліда 10, що входять до складу блоку 4, надходять відповідно на сьомий, восьмий, дев'ятий, десятий і одинадцятий входи блоку оцінки показників ефективності 15.

Блок вибору КППР 11 при наявності команди, що надходить на його шостий вхід з третього виходу блоку управління 17, підключає виходи блоків статистичного алгоритму розпізнавання за критерієм максимуму апостеріорної ймовірності (Байєса) 6, евристичного алгоритму розпізнавання 7, алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Махаланобіса 8, алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Хемінга 9 і/або блоку алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Евкліда 10 до входу блоку 12 або до входу блоку 13, перший з яких реалізує алгоритм об'єднання рішень, що формуються блоками статистичного алгоритму розпізнавання за критерієм максимуму апостеріорної ймовірності (Байєса) 6, евристичного алгоритму розпізнавання 7, алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Махаланобіса 8, блок алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Хемінга 9 і/або блоком алгоритму розпізнавання за критерієм мінімуму відстані Евкліда 10, методом простого, а другий - методом зваженого голосування.

Колективні рішення про клас радіовипромінювального об'єкта (джерела), що формуються блоком об'єднання рішень за алгоритмом простого голосування 12 або блоком об'єднання рішень за алгоритмом зваженого голосування 13, з виходів цих блоків надходять відповідно на перший і другий входи блоку 14, а також на дванадцятий і тринадцятий входи блоку оцінки показників ефективності 15.

На третій і четвертий входи блоку 14 надходять колективні рішення, що формуються блоком 4, які одночасно надходять на чотирнадцятий і п'ятнадцятий входи блоку оцінки показників ефективності 15.

Блок 14, третій і четвертий входи якого з'єднані з виходами блоку 4, реалізує алгоритм розпізнавання класів (типів) радіовипромінювальних об'єктів на основі рішень, що формуються блоком 3 розпізнавання класів (типів) РЛЗ і блоком 4 розпізнавання класів випромінювань ЗРЗ відповідно. Сформоване блоком 14 рішення з виходу даного блоку надходить на шістнадцятий вхід блоку оцінки показників ефективності 15 досліджуваних алгоритмів розпізнавання.

Блок оцінки показників ефективності 15 забезпечує реєстрацію і підрахунок за результатами рішення задачі розпізнавання числа правильних і помилкових рішень про належність імітованого вектору ознак до того чи іншого класу (типу) РЛЗ, класу випромінювання ЗРЗ і/або класу об'єктів заданого алфавіту і розрахунок заданих показників якості функціонування досліджуваних алгоритмів. Управління роботою блоку оцінки показників ефективності 15 здійснюється командами, сформованими блоком управління 17 перед початком чергового модельного експерименту, які з четвертого виходу блоку управління 17 надходять на сімнадцятий вхід блоку оцінки показників ефективності 15.

Значення оцінок умовних ймовірностей правильних і помилкових рішень і оцінка середньої ймовірності правильного розпізнавання класів (типів) РЛЗ, що розпізнаються, класів випромінювання ЗРЗ і/або класів об'єктів заданого алфавіту з другого виходу блоку оцінки показників ефективності 15 надходять на перший вхід блоку документування 16.

Блок документування 16 забезпечує документування вихідних даних і результатів моделювання в цілому. Управління роботою блоку оцінки показників ефективності 15 здійснюється командами, сформованими блоком управління 17 відповідно до вихідних даних, які з шостого виходу блоку управління 17 надходять на третій вхід блоку 16.

Блоки 18 і 19 реалізують інтелектуальну модель експертної системи розпізнавання станів (ЕСРС) радіовипромінювальних об'єктів.

Блок 18 реалізує функції формування для ЕСРС даних (про РЛЗ, ЗРЗ та інші), а також формує дані про результати рішення (виведення) ЕСРС, які з його виходу передаються в блок 16 комплексної ІММ для оцінки достовірності та формування узагальнених результатів розпізнавання за рахунок використання еталонних достовірних логічних моделей знань про можливі стани радіовипромінювальних об'єктів.

До складу блоку 19, що реалізує ЕСРС радіовипромінювальних об'єктів, входять блоки 20-29.

Дані, необхідні для моделювання процесу розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів, з виходу блоку 15 надходять на перший вхід блоку 18 через перший вихід блоку 15. До цих даних належать: номер радіовипромінювального об'єкту (РВО); поточний модельний час (МЧ); назва класу; ймовірність розпізнавання класу; тип радіовипромінювального об'єкта; ймовірність розпізнавання типу; тип РЛЗ; ймовірність розпізнавання РЛЗ; найменування режиму роботи РЛЗ; ймовірність розпізнавання режиму роботи РЛЗ; найменування класу випромінювання ЗРЗ; ймовірність розпізнавання класу випромінювання ЗРЗ; широта, довгота і висота місцезнаходження радіовипромінювального об'єкта; швидкість його руху. З першого виходу блоку 18 ці дані надходять на перший вхід блоку 20, що реалізує універсальний модуль, який означає первинні предикати.

Управління роботою блоку 18 здійснюється командами, сформованими блоком управління 17 перед початком чергового модельного експерименту, які з п'ятого виходу блоку управління 17 надходять на другий вхід блоку 18.

Блок 20 здійснює перетворення (підстановку) даних до первинних заданих функціональних відносин між параметрами у вигляді предикатів, які надходять на другий вхід блоку 20 з першого виходу блоку 21, який є базою правил (аксіом) бази знань ЕСРС 19. База знань складається з блоків 21 (база правил) і 24 (база запитів або питань), які формуються заздалегідь блоком 22, що реалізує інтерфейс ЕСРС. При цьому правила формуються зі списку функціональних відносин (предикатів) і надходять з першого виходу блоку 22 на перший вхід блоку 21. Крім того, в блоці 22 формуються також необхідні запити (питання) на основі того ж списку функціональних відносин і надходять з другого виходу блоку 22 на другий вхід блоку 24. Також в блоці 22 формуються необхідні вбудовані розрахункові типові функції, які надходять з третього виходу блоку 22 на другий вхід блоку 26, який реалізує базу вбудованих функцій або розрахункових модулів. Однією з таких функцій є формула визначення повної ймовірності розпізнавання стану радіовипромінювального об'єкта на основі ймовірностей розпізнавання окремих об'єктів та режимів роботи бортових РЛЗ та класів випромінювання ЗРЗ. Сформовані в блоці 20 нові дані надходять з першого виходу блоку на перший вхід блоку 23, що реалізує базу фактів (даних), які з першого виходу блоку 23 надходять на перший вхід блоку 25, який реалізує механізм (алгоритм) логічного (дедуктивного) виведення.

Процес розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів здійснюється в блоці 25, який реалізує алгоритм логічного виведення в процесі послідовних етапів пошуку рішень.

У автоматичному режимі, на підставі обраної задачі та запитів (питань), що надходять з першого виходу блоку 24 на третій вхід блоку 25, проводиться вибір необхідних для виведення рішень (відповідей) правил, які надходять з першого виходу блоку 21 на другий вхід блоку 25. В процесі логічного виведення (пошуку рішень) в блоці 25 попередньо на основі даних (фактів), що надходять з блоку 23 на перший вхід блоку 25, здійснюється обчислення функцій або розрахункових модулів, які обирають в блоці 26 і надходять з першого виходу блоку 26 на четвертий вхід блоку 25. Результати виведення відповідей на вибрані запити (питання), що отримані в блоці 25, надходять з першого виходу блоку 25 на перший вхід блоку 28, що реалізує базу зберігання реакцій алгоритму логічного виведення на запити, які з першого виходу блоку 28 надходять на перший вхід блоку 27, а з другого виходу блоку 28 вони надходять на перший вхід блоку 29. У блоці 27 формуються результати розпізнавання станів РВО, які з його першого виходу надходять на третій вхід блоку 18.

В інтерактивному режимі у процесі моделювання при необхідності на запит користувача в блоці 29 формуються дані пояснення результатів виведення в текстовому і графічному вигляді, які характеризують дерево виводу (пошуку рішень), правила і факти, які використовувалися в процесі виведення, що підвищують достовірність результатів розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів. При цьому також забезпечується одночасна взаємодія користувача з ЕСРС для отримання відповідей в діалоговому режимі і автоматичне опитування по заданих (зазначених) запитах.

Управління запуском і зупинкою автоматичного режиму здійснюється на панелі управління блока 22, яка розміщується в нижній частині вікна інтерфейсу ЕСРС. Панель управління включає в себе: кнопку запуску, кнопку паузи, кнопку зупинки, індикатор таймера, індикатор часу, індикатор кількості питань і індикатор процесу формування бази фактів.

Установка таймера здійснюється через панель інструментів блока 22. При натисканні на відповідну кнопку на екрані з'являється вікно, в якому задається одиниця часу і період запуску, необхідний для процесу моделювання.

Інтерфейс блока 22 забезпечує режим корекції бази правил в блоці 21, а також налагодження та перевірку на суперечливість логічних правил опису можливих станів радіовипромінювальних об'єктів на основі заданих контрольних (еталонних) прикладів бази фактів (даних), яка імітує результуючі дані IMM. Для цього необхідно вибрати завдання, база знань якої підлягає коригуванню у вікні діалогового режиму. Вибір і завантаження робочої бази правил здійснюється автоматично відповідно вибраному завданню. При цьому викликається вікно редагування бази правил. Потім включається режим логічного виведення і пояснення результатів пошуку рішення для оцінки їх достовірності та відповідності інформаційним моделям опису можливих станів об'єктів, що розпізнаються.

Інтерфейс блока 22 забезпечує також режим корекції бази питань (запитів) в блоці 24.

Блок управління 17, який здійснює задання вихідних даних і запуск моделювання, забезпечує:

- вибір і введення вихідних даних за допомогою вікна основного меню і панелі інструментів;
- відображення на екрані монітора вихідних даних і результатів моделювання;
- введення і редагування еталонних описів розпізнаваних об'єктів в метриках використовуваних (обраних) ознак;
- вибір, обробку та передачу вихідних даних з першого ступеню комплексної IMM на вхід моделі (блоку) ЕСРС (за допомогою блоку 18, які використовуються при розпізнаванні станів об'єктів);
- вибір, обробку та передачу результатів розпізнавання станів об'єктів з моделі ЕСРС в базу даних IMM для їх відображення на екрані монітора IMM.

Реалізація блоків комплексної IMM, зокрема блоків ЕСРС відома і не представляє технічно складного завдання, так як більшість сучасних систем моделювання будується на базі обчислювальної техніки із спеціалізованим програмним управлінням [5].

Таким чином, спосіб імітаційного статистичного моделювання систем розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів, що заявляється, заснований на поєднанні статистичного експерименту та інтелектуальної експертної системи, дозволяє досліджувати залежність ефективності системи розпізнавання, що проектується, від розмірів і складу алфавітів класів (типів) джерел і об'єктів, які розпізнаються, повноти і точності їх апріорного опису, виду, кількості, складу і точності вимірювання сигнальних ознак, кількості можливих станів об'єктів по сукупності даних розпізнавання параметрів РЛЗ та ЗРЗ та їх загальної ймовірності з урахуванням заданих в базі знань моделей знань про можливі стани об'єктів у вигляді логічних правил.

Спосіб імітаційного статистичного моделювання систем розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів, що заявляється, заснований на адаптованих до предметної області методах і алгоритмах розпізнавання і являє собою програмно реалізовану систему моделювання процесу розпізнавання класів (типів) і режимів роботи РЛЗ, класів випромінювань ЗРЗ, класів (типів) і станів об'єктів за сукупністю сигнальних ознак, пов'язаних з параметрами випромінювань РЛЗ і ЗРЗ, що входять до складу об'єктів. При цьому для кожного конкретного завдання формуються різні варіанти вихідних даних і умов розпізнавання для порівняльної оцінки ефективності досліджуваних правил прийняття рішень і аналізу можливості їх застосування в засобах радіоелектронного спостереження з урахуванням логічних моделей знань (правил) розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів.

Проведення експериментів з IMM, що реалізує спосіб імітаційного математичного моделювання систем розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів і яка заявляється, дозволяє без звернення до лабораторних і натурних експериментів вирішувати

завдання, пов'язані з побудовою оптимальних систем розпізнавання радіовипромінювальних джерел і/або об'єктів, що розпізнаються, при великих розмірах алфавіту класів і словника сигнальних ознак, з урахуванням конкретних умов їх функціонування та заданих в базі знань логічних правил розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів.

5 Джерела інформації:

1. Кирсанов Э.А. Обработка информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга: статистический и нейросетевой подходы [Электронный ресурс] /Кирсанов Э.А., Сирота А.А. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – С. 344-ISBN 978-5-9221-1420-2 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114202.html>.

10 2. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. СПб.: Корона принт; М.: Альтекс-А, 2004, С. 363-369) (аналог).

3. Патент RU № 2399097, МПК G09B 9/00, опубліковано: 10.09.2010, бюл. № 25 (аналог).

4. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высшая школа, 1989. – С. 232 (аналог).

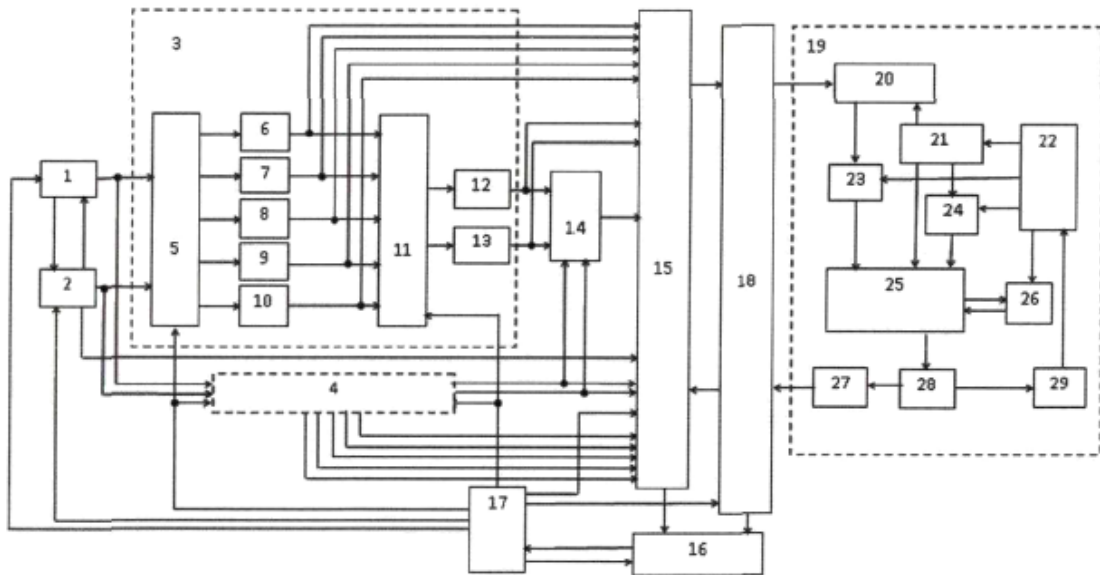
15 5. Патент на корисну модель № 135543 від 10.07.2019. "Спосіб імітаційного статистичного моделювання системи розпізнавання радіовипромінювальних об'єктів" Калюжний М.М., Ніколаєв І.М., Хряпкін О.В., Безрук В.М., Галкін С.О., Задонський О.І., Ковшар В.О. //Зареєстровано у Держреєстрі патентів України на корисні моделі 10.07.2019, опубліковано 10.07.2019, бюл. № 13 (найближчий аналог).

20

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб імітаційного статистичного моделювання системи сумісного розпізнавання класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів, який включає те, що за допомогою датчика випадкових чисел формують модель об'єкта, приналежність якого до певного класу заздалегідь відома, шляхом завдання сукупності числових значень ознак, які для об'єктів заданого класу генеруються як реалізації багатовимірної випадкової величини з заданим законом розподілу по одному з відомих алгоритмів, числові значення ознак піддають випадковому спотворенню у відповідності з заданими помилками їх вимірювання, спотворені значення параметрів, що представляють для системи розпізнавання спостережуваний об'єкт, подають на вхід алгоритму розпізнавання, в якому визначається приналежність об'єкта до одного з класів заданого алфавіту, зіставляють номер класу, до якого віднесений об'єкт алгоритмом розпізнавання, з номером, який задавався на першому етапі формування об'єкта, визначають правильність розпізнавання об'єкта і систематизують відповідну інформацію для підрахунку оцінок ймовірностей правильних і помилкових рішень, формують апіорний опис розпізнаваних об'єктів у вигляді бази даних, що містить апіорний алфавіт класів радіовипромінювальних об'єктів і апіорний словник їх сигнальних ознак, пов'язаних зі структурою і параметрами випромінювань радіолокаційних засобів і засобів радіозв'язку, перед початком моделювання задають і документують склад алфавіту класів об'єктів, склад сигнальних ознак і значення помилок їх вимірювання, вид (структуру) досліджуваного алгоритму розпізнавання (або їх деяку сукупність), вид оцінюваного показника ефективності і число прогонів моделі, моделюють параметри сигналів, що випромінюють радіолокаційні засоби і засоби радіозв'язку розпізнаваних об'єктів, для чого вибирають з бази даних один із векторів апіорного опису розпізнаваних об'єктів заданого класу і при кожному прогоні моделі формують з нього вектор випадкових сигнальних ознак заданої розмірності відповідно до заданих значень помилок вимірювання, при цьому конкретні значення сигнальних ознак імітуються в межах інтервалів їх можливої зміни з урахуванням можливих помилок вимірювання в засобі радіоелектронного спостереження, програмним способом здійснюють підрахунок числа правильних і помилкових рішень, послідовно перебирають всі класи апіорного алфавіту розпізнаваних об'єктів (джерел) і формують матрицю оцінок правильних і помилкових рішень, прийнятих досліджуваним алгоритмом розпізнавання, по якій потім визначають середню ймовірність правильного розпізнавання або ймовірності помилок першого і другого роду, який **відрізняється** тим, що заздалегідь формують моделі станів об'єктів у вигляді бази знань, яка містить базу правил (аксіом) на мові числення предикатів першого порядку, а також вбудовані функції або розрахункові модулі, та базу запитів, формують базу фактів шляхом інтерпретації первинних предикатів за сукупністю наступних даних: назва класу; ймовірність розпізнавання класу; номер і тип радіовипромінювального об'єкта; ймовірність розпізнавання типу; тип бортового радіолокаційного засобу (РЛЗ); ймовірність розпізнавання РЛЗ; найменування (номер стану) режиму роботи РЛЗ; ймовірність розпізнавання режиму роботи РЛЗ; найменування класу випромінювання ЗРЗ; ймовірність розпізнавання класу випромінювання бортового засобу

- радіозв'язку (ЗРЗ); широта; довгота і висота місцезнаходження та швидкість руху радіовипромінювального об'єкта, після заданого числа прогонів моделі за кожним запитом здійснюють пошук рішення про стан об'єктів в процесі логічного (дедуктивного) виведення і формують базу реакцій алгоритму логічного виведення на запити та результати розпізнавання станів радіовипромінювальних об'єктів, формують і відображають дані для пояснення результатів виведення в текстовому і графічному вигляді, які характеризують дерево виводу (пошуку рішень), правила і факти, які використовувалися в процесі виведення, формують і відображають умови і загальні результати моделювання ефективності розпізнавання заданого алфавіту класів (типів) і станів радіовипромінювальних об'єктів (джерел) обраним вирішальним правилом по заданому словнику сигнальних ознак.



Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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