

Конох І.С.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Богдан В.О.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Істоміна Н.М.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВАЛІДНОСТІ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ІЗ ВЛАСТИВІСТЮ САМОНАВЧАННЯ

У статті обґрунтовано необхідність удосконалення моделей і методів побудови систем контролю коректності функціонування промислових систем автоматизації. Автоматизація процесу створення систем контролю шляхом реалізації властивостей автоматичного навчання дозволяє скоротити час розробки і відлагодження нових систем промислової автоматизації. Очікуване підвищення рентабельності розробки буде міститися в межах 10%. У роботі розглянуті підходи та надана класифікація архітектур систем контролю валідності функціонування дискретних систем керування, обрано часову і автоматну гібридну модель контролю. Головна ідея роботи полягає у створенні спеціалізованої моделі системи, що здатна класифікувати стани керуючої програми на основі спостережень за циклічними змінами обраного сигнального вектору без необхідності штучного втручання у програмне забезпечення, що реалізує алгоритм керування промисловим обладнанням. Такий вектор складається із сигналів сенсорів, керуючих сигналів, зовнішніх команд, часових відліків між змінами команд і стану сенсорів. Якщо кожен ідентифікований стан є штатним, то поява нових станів зі значним відхиленням сигнального вектора свідчить про нештатну або аварійну ситуацію. Надано опис формальної моделі мультиагентної системи для задач ідентифікації станів і контролю валідності процесу керування. Розглянуто приклад дискретної системи керування автоматичними цеховими воротами і синтезовано функції керування. Розроблено екземпляр супервізорної мультиагентної системи контролю валідності згідно із запропонованою моделлю на платформі SCADA-системи Simplight. Для з'єднання між промисловим контролером і комп'ютером використовується OPC-сервер "Multi-Protocol MasterOPS Server". Досліджено і підтверджено адекватність роботи програмних модулів самонавчання і контролю коректності керування технологічним обладнанням на тестових прикладах, що відповідають штатним і аварійним ситуаціям.

Ключові слова: дискретне керування, контроль валідності, самонавчання, мультиагентна супервізорна система.

Постановка проблеми. Важлива роль у підвищенні ефективності функціонування виробництва належить сучасним технологіям автоматизації. Рентабельність їх впровадження та безпека роботи технологічного обладнання в автоматичному або автоматизованому режимах залежать від змоги організувати контроль за коректністю виконання ними керуючих функцій. Із літературних джерел [1–3] відоме поняття «валідність», яке в контексті керування характеризує поточну відповідність функціонування автоматичної системи цілям керування. Контроль валідності запобігає виникненню аварій, знижує втрати від появи нештатних ситуацій, зменшує час простою обладнання, підвищує безпеку виробництва.

Реалізація функцій контролю валідності потребує високих фінансових і трудових витрат, значних проміжків часу та використання праці кваліфікованих інженерів-розробників. Наявні принципи контролю вимагають індивідуального підходу до кожної моделі системи керування і застосування отриманих результатів для інших систем ускладнено [1].

Практика показує, що в промисловості реалізація програмної частини функцій безпеки і контролю, а також її відлагодження займає 10–25% вартості впровадження нових систем [1]. Співвідношення кількості дискретних і аналогових сигналів, яким оперують промислові системи керування на базі програмованих логічних

контролерів, досягає 15:1. Це повною мірою проявляється у процесі розроблення та налагодження систем управління гірничо-збагачувальним і хімічним технологічним обладнанням, в якому багато процесів і фізичних явищ є потенційно небезпечними, що, своєю чергою, створює ризик аварій і позаштатних ситуацій у процесі випробувань. До того ж підсумкова вартість задіяння основного технологічного обладнання в тестуванні систем керування є надзвичайно високою, що призводить або до зниження ефективності впровадження, або до небезпечного скорочення програми випробувань. Отже, контроль коректності функціонування системи може попередити розвиток аварій і підвищити оперативність реагування персоналу.

Всі вище наведені аргументи обґрунтовують актуальність задач реалізації автоматизованого контролю валідності для дискретних систем промислової автоматизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На поточний час типовий шаблон контролю валідності контуру керування містить діагностичну підсистему, яка функціонує на окремій або сумісній апаратній платформі паралельно з контролером процесу. Із заданим часовим інтервалом відбувається зчитування керуючих сигналів, які формує промисловий контролер, вихідних сигналів актюаторних пристроїв, сигналів сенсорів зворотного зв'язку. Отримана інформація використовується програмним забезпеченням, яке реалізує обрану діагностичну модель, і на виході підсистеми діагностики формуються сигнали сповіщення про нештатні ситуації або аварії.

У роботі [2] наведена класифікація методів діагностики, що використовуються в промислових системах. Можна виділити два основних компонента в діагностичному класифікаторі: тип використовуваного знання та тип стратегії діагностичного пошуку.

Знання апріорної області можна розробити з фундаментального розуміння процесу з використанням принципів знань. Таке знання може бути глибоким, каузальним або модельним [3; 4]. З іншого боку, воно може бути отримане з минулого досвіду процесу. Це знання називають неглибоким, складеним, доказовим або історичним.

Модельні апріорні знання можна широко класифікувати як якісні або кількісні. Модель зазвичай розробляється на основі певного фундаментального розуміння фізики процесу. У кількісних моделях це розуміння виражається в термінах математичних функціональних зв'язків між вхо-

дами і виходами системи. Навпаки, в якісних модельних рівняннях ці відносини виражаються через якісні функції, зосереджені навколо різних одиниць процесу.

На відміну від модельних підходів, де передбачається апріорне знання про модель (кількісну або якісну) процесу, в методах, заснованих на історії процесу, потрібна лише наявність великої кількості відповідних анованих історичних даних процесу. Існують різні способи, в яких ці дані можуть бути перетворені і представлені як апріорне знання до діагностичної системи. Це відоме як вилучення ознак. Це може бути як кількісним, так і якісним виділенням ознак. При кількісному вилученні ознак можна виконувати або статистичне, або нестатистичне вилучення ознак.

Стратегія діагностичного пошуку зазвичай значно залежить від схеми представлення знань, яка, своєю чергою, значною мірою залежить від типу апріорних знань. Основним апріорним знанням, необхідним для діагностики несправності, є формалізація множини помилок і взаємозв'язок між спостереженнями (симптомами) і фактичними відмовами в контурах автоматичного керування. Діагностична система може мати їх явно (як у таблиці пошуку), або може бути виведена з деякого джерела знань області.

Тестове й функціональне діагностування виконується по алгоритмах діагностування. В алгоритмах тестового діагностування контрольні точки визначені попередньо, й вони однакові для всіх перевірок і підбираються тільки тестові впливи. В алгоритмах функціонального діагностування попередньо визначені вхідні впливи, а вибору підлягають контрольні точки.

Всі реалізації підсистем контролю, перш за все, використовують програмні моделі поведінки системи управління та об'єкта управління у процесі проходження по штатних гілках робочого алгоритму. Після модельних обчислень проводиться порівняння отриманого прогнозу сигнального відгуку і реального сигнального вектору системи. Такий підхід передбачає використання моделей різної складності, які реалізуються окремими процедурами і вимагають значних трудовитрат розробників.

Можна умовно виділити такі види моделей:

– часова, коли задаються тимчасові рамки вступу наступного сигналу повідомлення для кожного стану керуючого алгоритму;

– мажоритарна, коли результат операції вибирається більшістю однакових даних, отриманих із кількох незалежних каналах;

– порогова, коли ідентифікація позаштатних ситуацій проводиться порівнянням оброблених контрольних сигналів із деяким граничним значенням, у тому числі з використанням нечіткої логіки;

– модель автомата з пам'яттю для дискретних систем, вектори стану і сигналів якого порівнюються з поточним станом керуючої програми;

– модель безперервного динамічного процесу, що відповідає фізичним процесам, що відбуваються в технологічній установці, на основі якої можна оцінити коректність дій, що управляють, і спрогнозувати знаходження критичних параметрів всередині допустимих діапазонів.

Для підвищення ефективності вирішення завдань контролю валідності систем дискретного управління досить розробити технологію автоматизованої ідентифікації моделі об'єкта управління по сигнальних векторах. На основі такої моделі можна проводити ідентифікацію поточного стану системи управління і диференціювати нештатні ситуації.

На основі проведеного аналізу [5–11] було зроблено висновок про доцільність розробки мультиагентної системи (МАС) класифікації станів керуючої програми на основі динаміки зміни сигналів повідомлення та керування. Таким чином, буде реалізовано технологію автоматизованої ідентифікації моделі об'єкта управління на основі сигнальних векторів. На основі такої моделі можна проводити ідентифікацію поточного стану системи управління і диференціювати нештатні ситуації. Таким чином, буде реалізовуватись часова і автоматна гібридна модель контролю.

Постановка завдання. Метою проведених досліджень є підвищення ефективності розробки модулів автоматичного контролю валідності функціонування дискретних систем керування шляхом застосування супервізорних мультиагентних систем.

Задля досягнення поставленої мети треба вирішити такі задачі:

1. проаналізувати способи реалізації контролю валідності дискретних систем керування й обрати найбільш доцільний метод автоматизованого контролю коректної поведінки системи;

2. розробити модель мультиагентної системи для задач контролю валідності роботи систем керування;

3. розробити контрольний приклад керування дискретним промисловим об'єктом та створити відповідний екземпляр супервізорної мультиагентної системи контролю валідності на програмній платформі Scada;

4. дослідити адекватність роботи програмних модулів аналізу і контролю валідності процесів керування технологічним обладнанням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для підвищення ефективності вирішення завдань контролю валідності систем дискретного управління доцільно розробити технологію автоматизованої ідентифікації моделі об'єкта управління за сигнальним вектором. На основі такої моделі можна проводити ідентифікацію поточного стану системи управління і диференціювати нештатні ситуації. Задача стосується синтезу супервізорної структури з функцією самонавчання для спостереження за динамічною зміною векторів вхідних і вихідних сигналів, ідентифікації стану системи керування та формування сигналу тривоги (*Alarm*) в разі появи нештатної ситуації. Необхідно зазначити, що задача ідентифікації стану програмного автомата, який реалізовано керуючим програмним забезпеченням, змінена на задачу класифікації векторів зовнішніх сигналів системи керування [12; 13].

Задача зберігання сигнальних векторів, що відповідають штатному режиму, оцінки подібності поточного вектору до збереженого, покладається на одноранговий ансамбль агентів. Таким чином, один агент обробляє і оцінює поточний вектор щодо вектору, який він зберігає. Поточний сигнальний вектор системи керування подається на відповідні входи всіх агентів разом. Ансамблю агентів має функціонувати під керуванням агентного супервізора – спеціальної програми, яка працює за жорстким алгоритмом і забезпечує створення нових агентів, виклик на виконання, акумуляцію результатів та додаткові функції.

Структуру розроблюваного агента можна описати такою кортежною моделлю:

$$\text{Agent} = \langle \alpha, zet, Y_{\text{actual}}, Y_{\text{preset}}, W, S, C \rangle, \quad (1)$$

де Y_{actual} – поточний сигнальний вектор; Y_{preset} – встановлений вектор сигналів, сформований у процесі створення агента; W – вектор вагових коефіцієнтів, які задають важливість сигналу; C – множина керуючих прапорів; S – множина прогнозних сигналів; α – відображення множини сигналів вхідного вектора на множину сигналів встановленого вектора, на множину вагових коефіцієнтів і визначає ступінь відповідності поточної ситуації тому стану, на який налаштовано агента; zet – відображення тих самих множин на множину прогнозних сигналів.

Вектор Y_{actual} поточного стану системи має відображати стан системи в динаміці, що потребує запам'ятовування попереднього складу сигналів:

$$Y_{actual} = \langle V_c, V_p, time \rangle, \quad (2)$$

де V_c – вектор поточних сигналів; V_p – вектор попередніх сигналів, які були до зміни стану системи; $time$ – сигнал відліку часу, який пройшов від моменту появи актуальних сигналів до поточного моменту.

Якщо розглядати функціонування системи, то досліджувана МАС містить ознаки штучної двохшарової нейронної мережі, в якій перший шар становлять агенти, а другий – модуль акумуляції виходів агентів та формування сигналів появи нештатної ситуації.

Мультиагентну систему можна описати такою кортежною моделлю:

$$MAS = \langle agents, Y_{actual}, Alarm, S \rangle, \quad (3)$$

де $agents$ – масив агентів, $Alarm$ – сигнал тривоги.

Мультиагентна система є супервізорним додатком, що працює паралельно основній системі керування та здатна здійснювати оцінку валідності її функціонування. Її основою є набір агентів із супервізорного контролю.

Загальна структура системи керування і спосіб вмикання контролюючої МАС наведені на рис. 1. Система керування може функціонувати незалежно від системи контролю валідності, обмінюючись керуючими й інформаційними сигналами з промисловою технологічною установкою.

До модулів контролю входять безпосередньо мультиагентна система, модуль зберігання масиву сигналів попереднього стану, таймер відліку часу, що пройшов із моменту зміни сигналів, схема ски-

дання таймера по події зміни поточного сигнального вектору, генератор тактових імпульсів таймера.

На виході МАС формується сигнал нештатної ситуації ($Alarm$) і сигнал ступеню розпізнавання поточної ситуації. Агенти налаштовані на типові штатні ситуації, що визначаються через масив сигналів системи керування на поточний момент, попередній масив сигналів та сигнал часу, що минув між змінами стану. Створення і додавання кожного нового агента до колекції відбувається за фактом ідентифікації наступної штатної ситуації.

Масиви даних агента можна розділити на чотири групи – вектор поточних сигналів, вектор запам'ятовуваних сигналів, вектор керуючих прапорів, вектор вагових коефіцієнтів і констант. До вихідних сигналів належать ступінь приналежності поточного вектора вхідних сигналів до запам'ятовуваного ($alfa$), вихідна константа (z), їхній добуток ($alfa \cdot z$).

Ступінь приналежності вхідного поточного сигнального вектору до збереженого обчислюється як сума зважених різниць між компонентами векторів, що пройшла функцію активації:

$$alfa = f_{act} \left(\sum_{j=1}^m |y_{actual}^j - y_{preset}^j| \cdot w_j \right), \quad (4)$$

де j – порядковий номер сигналу у складі вектору; m – кількість компонент вектору, $f_{act}()$ – функція активації,

$$f_{act}(x) = \begin{cases} f_{min}, & x > x_{max}; \\ \frac{1}{x}, & x_{min} < x < x_{max}; \\ f_{max}, & x < x_{min}; \end{cases} \quad (5)$$

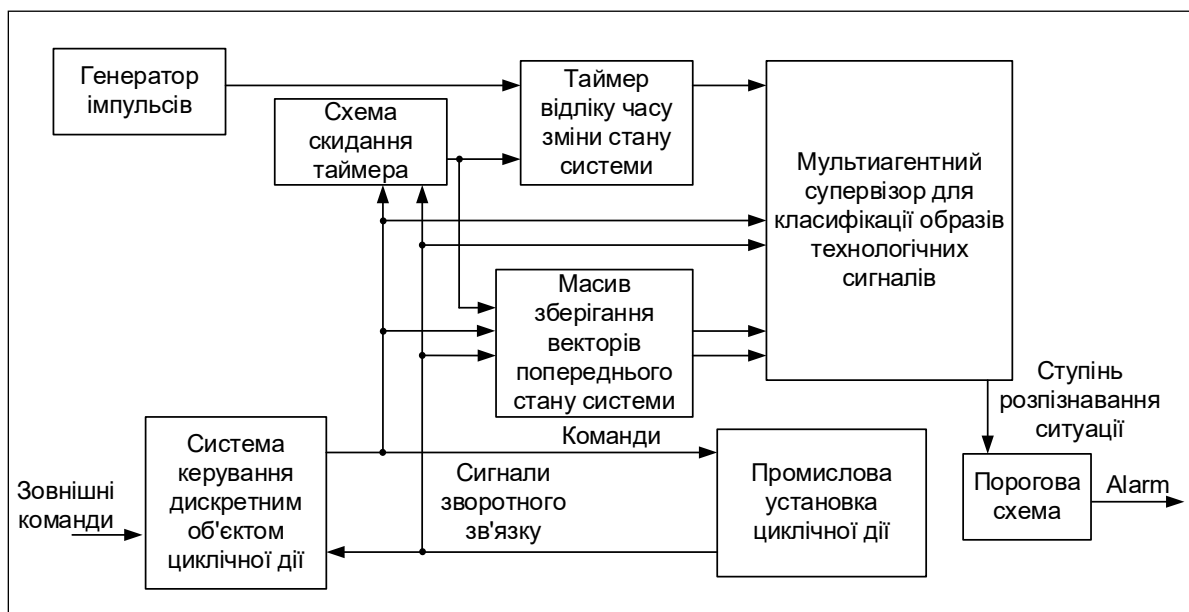


Рис. 1. Загальна структурна схема мультиагентної системи для розпізнавання позаштатних ситуацій

Вихідна константа z у цьому контексті – змінна, що приймає значення 1, коли вхідний вектор відповідає штатної ситуації; 0 – ситуація нештатна або аварійна. Обчислення добутку функції активації на вихідну константу для кожного агента, який демонструє достатній ступінь впізнання, дає змогу однозначно класифікувати поточний стан виробничої системи. На рис. 4 показана структура одиночного агента, що реалізує описаний спосіб його функціонування. Саме така мінімальна структура агента підходить для вирішення описаних задач у складі мультиагентної системи. Можна зазначити, що для розпізнавання векторів і обчислення функціональної залежності структура агента великою мірою відповідає частинам схеми перцептронного нейрона. Однак технології класичних нейронних мереж не мають властивості самонастроювання і самоорганізації, вимагають дотримання умов навчання з учителем, не дають якісної оцінки ступеня розпізнавання ситуації.

Кожен агент оцінює ступінь схожості поточного стану системи з тим, на який він налаштований. Супервізор акумулює виходи ансамблю агентів і формує підсумковий сигнал відповідності поточної ситуації штатного режиму. Акумуляція результатів роботи ансамблю агентів виконується аналогічно операції дефазифікації в алгоритмі нечіткого виведення Сугено за формулою спрощеного розрахунку центра ваги. Порогова схема формує сигнал тривоги у разі, коли сигнал відповідності $alfa$ занадто низький по всьому ансамблю агентів.

Альтернативний спосіб визначення нештатної ситуації полягає в тому, що в колекцію додаються агенти, які налаштовуються на сигнальні вектори, що відображають однозначно аварійні стани. Для

таких агентів значення константи z дорівнює 0. Агрегація виходу агентів і обчислення вихідного сигналу MAC здійснюється за спрощеною формулою обчислення координат центра тяжіння:

$$S = \frac{\sum_{i=1..N} alfa_i \cdot z_i}{\sum_{i=1..N} alfa_i}, \quad (6)$$

де i – номер агента; N – поточна кількість агентів у колекції.

Значення змінної S в будь-який момент часу буде міститися в межах $[0;1]$. Значення вище за 0,75 можна однозначно тлумачити як підтвердження штатної ситуації, менші за 0,5 – як нештатні.

Для обраної архітектури MAC ансамбль агентів функціонує тільки під керуванням агентного супервізора. Інтелектуальні властивості в задачах класифікації та розпізнавання векторів сигналів почнуть проявлятися в разі об'єднання кількох агентів в єдину структуру. Супервізор програмним шляхом забезпечує виклик на виконання кожного агента при зміні вхідного сигнального вектору, обчислення чіткого підсумкового значення прогнозованого сигналу і додавання нового примірника агента в разі низького ступеня розпізнавання поточного вектору сигналів (значення ступенів приналежності по всьому ансамблю агентів нижче заданого порогу). З точки зору реалізації мультиагентної системи агентний супервізор використовується як клас-контейнер для масиву екземплярів класів-агентів. Під керуванням супервізора кожен екземпляр агента може бути викликано на виконання і за готовністю формується кінцевий результат.

Якщо MAC спостерігає за циклічною зміною сигнальних векторів при штатних ситуаціях,

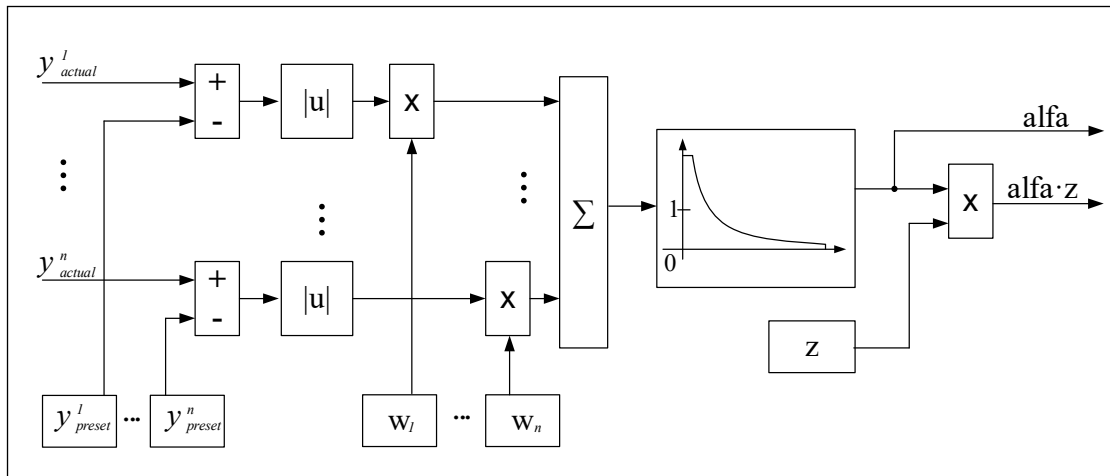


Рис. 2. Структурна схема агента

значення константи z кожного нового агента буде дорівнювати 1.

Для адекватного визначення ступеню близькості масиву сигналів необхідно розрахувати вагові коефіцієнти w для кожного вхідного сигналу кожного агента. Це робиться шляхом усереднення різниці між значенням кожного компонента вхідного вектора між поточним і всіма іншими агентами, що належить до середньої різниці вихідної константи:

$$w_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{k=1..N} \left(\frac{y_{i,j} - y_{k,j}}{z_i - z_k} \right), \quad (7)$$

де k – номер агента із колекції.

Застосовність розроблених принципів і моделей доцільно перевірити на прикладі промислової системи автоматизації, яка функціонує по циклу і має обмежену кількість розгалужень. Цим вимогам відповідає така система керування цеховими воротами. Ворота цеху відкриваються після натискання кнопки, а закриваються з витримкою часу 50 с. Під час закривання контролюється наявність перешкоди в створі воріт. За наявності перешкоди закривання припиняється, ворота зупиняються, протягом 5 с дзвенить дзвінок. Закривання воріт – після натискання кнопки.

Вхідні сигнали повідомлення: x_1 – кнопка відкриття воріт; x_2 – кінцевий вимикач (ворота відкрито); x_3 – витримка часу у 50 с завершена; x_4 – від сенсору наявності перешкоди у створі воріт; x_5 – витримку часу в 5 с завершено; x_6 – кнопка зняття блокування воріт; x_7 – кінцевий вимикач (ворота зачинено).

Команди: Y_1 – відчинити ворота; Y_2 – зачинити ворота; Y_3 – зупинити ворота, запуск таймера на 50 с; Y_4 – зупинити ворота, запуск таймера на 5 с, увімкнути дзвоник; Y_5 – вимкнути дзвоник; Y_6 – зупинити ворота.

Стани автомата з пам'яттю: z_1 – ворота зачинено; z_2 – відкривання воріт; z_3 – ворота відкрито; z_4 – закривання воріт; z_5 –

зупинка воріт за умови наявності перешкоди; z_6 – ворота зачинено.

Проведемо синтез автомата Мура. Станів виділено 6, для їх кодування у двійковому коді 8-4-2-1 необхідно 3 тригера. Закодуємо стани автомата. При кодуванні використовуємо карту Карно, розміщуючи за можливості зв'язані стани в сусідніх клітках не по діагоналі. Це допоможе на попередньому етапі синтезу дещо зменшити кількість апаратних гонок сигналів. Коды станів: $z_1=000$; $z_2=001$; $z_3=101$; $z_4=100$; $z_5=110$; $z_6=111$; заборонені стани – $Q_1=010$; $Q_2=011$.

На основі UML-діаграми (рис. 3), враховуючи коди станів, побудуємо таблицю переходів (табл. 1), що наочно показує порядок зміни станів системи, умови переходів і появи команд (припускаємо, що пам'ять автомата буде реалізована на RS-тригерах).

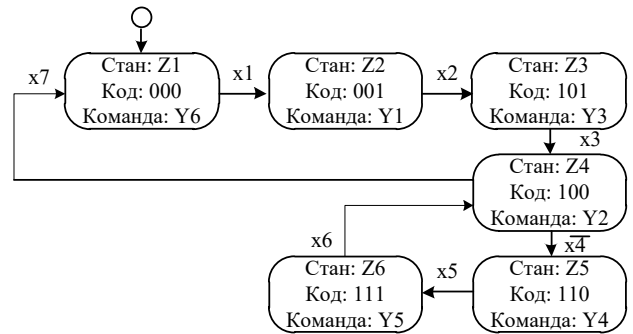


Рис. 3. UML-діаграма станів керуючого автомата

Аналіз таблиці 1 дає змогу синтезувати логічні функції переходу та функції команд:

$$S_1 = z_2 x_2; S_2 = z_4 \overline{x_7} x_4; S_3 = z_1 x_1 + z_5 x_5; R_1 = z_4 x_7;$$

$$R_2 = z_6 x_6; R_3 = z_3 x_3 + z_6 x_6;$$

$$Y_1 = z_2; Y_2 = z_4; Y_3 = z_3; Y_4 = z_5; Y_5 = z_6; Y_6 = z_1.$$

Цикли моделювання наочно показують коректність проведеного синтезу автомата з пам'яттю. На рис. 4 зображено результати моделювання.

Таблиця 1

Таблиця переходів автомата

Початковий стан z_i	z_1	z_2	z_3	z_4		z_5	z_6
Код стану	000	001	101	100		110	111
Команди Y_i	Y_6	Y_1	Y_3	Y_2		Y_4	Y_5
Вхідний сигнал x_i	x_1	x_2	x_3	x_7	$\overline{x_7} x_4$	x_5	x_6
Наступний стан z_j	z_2	z_3	z_4	z_1	z_5	z_6	z_4
Код наступного стану	001	101	100	000	110	111	100
Функції переходу (RS)	S3	S1	R3	R1	S2	S3	R2, R3

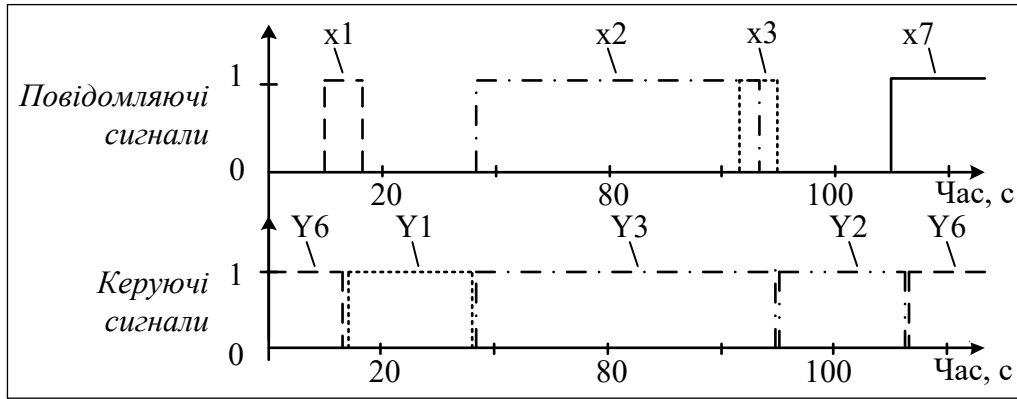


Рис. 4. Результати моделювання штатного сценарію роботи системи

Результати моделювання демонструють працездатність автомата з пам'яттю як керуючого алгоритму. Наступним етапом буде дослідження поведінки мультиагентної системи контролю для штатних і нештатних ситуацій і визначення працездатності моделі контролю валідності.

Вектор вхідних сигналів MAC має такий склад:

$$Y_{actual} = \langle x_c^1, \dots, x_c^7, y_c^1, \dots, y_c^6, x_p^1, \dots, x_p^7, y_p^1, \dots, y_p^6, time \rangle, \quad (8)$$

де індекс с відповідає поточним дискретним сигналам комплексу об'єкт керування-система керування, а індекс р позначає сигнали на минулому такті керування.

У результаті автоматичного синтезу MAC для описаного прикладу сформовано 16 агентів, які зберігають стан сигнальних ліній для можливих варіантів роботи. З огляду на те, що часовий проміжок між змінами стану сигналів може у штатних режимах відрізнятися (наприклад, надходження сигналу зняття блокування воріт після усунення перешкоди), кількість виділених ситуацій і створених агентів може бути суттєво більшою, ніж кількість станів у таблиці переходів автомата.

Як платформу керування було використано програмований логічний контролер Siemens S7-1500. Система контролю валідності реалізується на персональному комп'ютері у середовищі SCADA Simplight. Для встановлення зв'язання між контролером Siemens S7-1500 і комп'ютером використовується OPC-сервер "Multi-Protocol MasterOPS Server".

Після налаштування зв'язку між OPC-сервером і контролером, між SCADA і OPC-сервером забезпечується доступ до необхідних тегів процесу.

З метою реалізації мультиагентної системи було створено скрипт "MAS" на мові C++, за допомогою якого виконується алгоритм агентного супервізора. Скрипт «InsertIntoDB» виконується кожену секунду та здійснює запис всіх станів каналів (тегів) у базу даних, на основі отриманих даних виконується

аналіз та виявлення нештатних ситуацій. Встановлення зв'язку бази даних і SCADA Simplight реалізовано за допомогою ODBC драйвера для Microsoft Access. На цьому движку виконується зберігання масивів агентної системи та обчислення вихідного сигналу з метою визначення нештатної ситуації.

Робота мультиагентної системи будується на масивах даних аналогічних (8). Для дослідницького прикладу з керування цеховими воротами було промодельоване надходження сигналів для штатних і нештатних режимів. Врахування сигналу таймера між зміною сигнальних образів дає змогу відокремлювати нештатні режими, враховуючи типову динаміку об'єкта керування.

Окрім випадки показано на рис. 5. Наочно показано формування сигналів Alarm, коли в разі наявності команди на відкриття воріт сигнал сенсору про повне відкриття не надходить занадто довго. Також відображено ситуацію, коли при відкритті сенсору закритого положення не скидається вчасно.

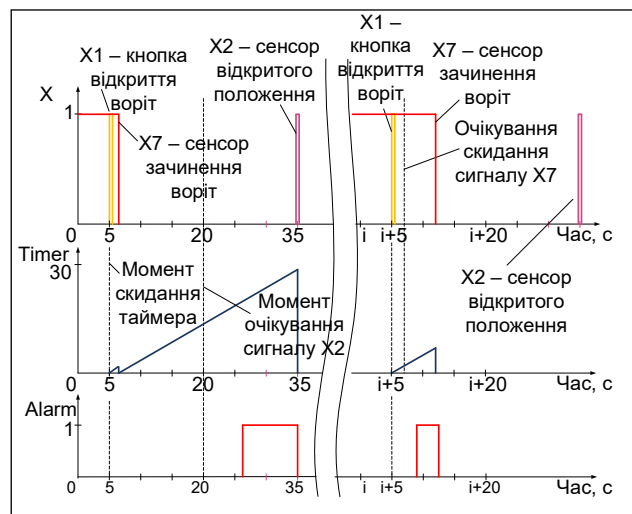


Рис. 6. Результати роботи автоматизованої системи з визначення нештатної ситуації

Висновки. У роботі вдосконалено модель мультиагентної системи класифікації сигнальних образів стану автоматизованого об'єкта керування, що відрізняється обліком попереднього і поточного стану об'єкта, врахуванням часу, який минув між моментами зміни стану, і дає змогу автоматично визначити нештатну ситуацію за результатами попередніх спостережень за об'єктом. За результатами роботи можна стверджувати, що використання програмних модулів аналізу працездатності систем промислової автоматизації і слідкуванням за технологічним процесом із функціями автоматичного навчання дасть змогу скоротити час розробки і відлагодження нових систем промислової автоматизації.

За результатами проведених досліджень можна сформулювати таке:

- особливу увагу варто приділити аналізу дискретних систем керування, бо на них доводиться 70–90% задач промислової автоматизації;
- мультиагентна система аналізу образів стану з автоматичним навчанням дасть змогу скоротити трудомісткість і час реалізації систем

контролю валідності процесів керування, тим самим підвищити ефективність впровадження нових систем промислової автоматизації;

- модель системи контролю валідності має містити блок фіксації зміни стану системи керування, який складається з таймера відліку часу між зміною сигнального вектору і схеми скидання таймера; сигнал таймера додатково використовується мультиагентною системою для ідентифікації нештатної ситуації;

- спосіб формування масивів даних агентів і розрахунку ступеню відповідності поточної ситуації той, на яку налаштовано кожен агент, по сигнальних векторах дає змогу розв'язати задачу контролю валідності систем промислової автоматизації у вигляді процедур для промислових контролерів або SCADA-систем;

- за результатами аналізу практичного застосування мультиагентної системи для задач контролю валідності стану автоматичного керування цеховими воротами можна стверджувати про коректність запропонованої моделі та її працездатність.

Список літератури:

1. Himmelblau D.M. (1978). *Fault Diagnosis in chemical and petrochemical processes*. Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam. 414 p.
2. Venkatasubramanian V. Process fault detection and diagnosis: past, present and future. *IFAC Proceedings*. 2001. Vol. 34, Iss. 27. P. 1–13. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)33563-2](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)33563-2)
3. Milne R. Strategies for diagnosis. *IEEE Trans. Syst. Man. and Cybernetics*. 1987. SMC-17(3). P. 333–339.
4. Willsky A.S. A survey of design methods for failure detection in dynamic systems. *Automatica*. 1976. Vol. 12. P. 601–611.
5. Яременко В.С. Огляд наявних мультиагентних систем для задач інтелектуального аналізу даних. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2018. Том 29 (68). Ч. 2. №. 3. С. 47–55.
6. Fariz A., Abouchabaka J., Rafalia N. Using multi-agents systems in distributed data mining: a survey. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*. 2015. № 73(3). P. 427–440.
7. Cao L., Weiss G., & Philip S. A brief introduction to agent mining. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2012. № 25(3). P. 419–424.
8. Pawlewski P., Julián V., Fdez Riverola F., Corchado E., Corchuelo R., Bajo J., Corchado Rodríguez J.M., Dignum F., Demazeau Y., Campbell A. (Eds.) *Trends in practical applications of agents and multiagent systems*. : Berlin: Springer. 2011. 729 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12433-4>
9. Serrano E., Rovatsos M., Boti A J.A. Data mining agent conversations: a qualitative approach to multiagent systems analysis. *Information Sciences*. 2013. No. 230. P. 132–46.
10. Kazik O., Peskova K., Pilat M., Neruda R. Meta learning in multi-agent systems for data mining. *Proceedings of the 2011 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*. Vol. 02. P. 433–434.
11. Sharma D., Shadabi F. Multi-agents based data mining for intelligent decision support systems. *Systems and Informatics (ICSAI), 2nd International Conference on IEEE*. November, 2014. P. 241–245.
12. Конох И.С., Найда В.В., Сухомлин Л.В. Использование информационных технологий для повышения эффективности пусконаладочных работ и испытаний систем автоматического управления. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КрНУ, 2015. Вип. 3/2015 (92), Ч. 1. С. 40–47.
13. Конох И.С. Представление образов динамических процессов в системах автоматического управления с помощью самонастраивающихся агентов. *Автоматизированные системы управления приборами автоматики*. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Харьков, 2014. Вып. 167. С. 29–38.

Konokh I.S., Bohdan V.O., Istomina N.M. AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE DISCRETE CONTROL SYSTEMS VALIDITY WITH SELF-LEARNING PROPERTY

The necessity of models and methods improving under design of correctness control systems of industrial automation systems is grounded in the paper. Automation of control systems designing through implementation of automatic learning properties reduce the time of development and debugging of new industrial automation systems. The expected increase in the cost-effectiveness of development will be within 10%. The approaches and architectures classification of validity control systems for discrete control systems functioning are considered. The time and automatic hybrid model of control is chosen. The main idea of the work is to create a specialized system model with classification ability of the states of the control program on the basis of cyclic changes observations of the selected signal vector without artificial interference in software that implements the algorithm of industrial equipment control. The vector consists of sensor signals, control signals, external commands and time stamps between command changes and sensors states. If each identified state is regular, then the emergence of new states with a significant deviation of the signal vector indicates an abnormal or emergency situation.

The description of the formal model of the multi-agent system for the state identification and control of the process validity tasks is given. An example of a discrete control system for production unit automatic gates is considered and the control functions are synthesized.

The instantiation of the supervised multi-agent validity control system has been developed in accordance with the proposed model on the Simplight SCADA-based platform. The Multi-Protocol MasterOPS Server is used for interconnection between an industrial controller and a computer.

The operating adequacy of program modules with self-learning and the correctness control of technological equipment control are researched and confirmed using test cases corresponding to the regular and emergency situations.

Key words: discrete control, validity control, self-learning, multi-agent supervisory system.