

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗАСОБИ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЧИМ АГЕНТОМ

А.І. Бронніков¹, к.т.н. О.М. Цимбал¹, к.т.н. Ф.В. Фомовський²

1. Харківський національний університет радіоелектроніки,

2. Кременчуцький національний університет ім. Остроградського

Розглянуто особливості реалізації концепції інтелектуальних виробничих агентів, принципи організації сенсорних систем в умовах статичного і динамічного характеру робочих просторів.

Рассмотрены особенности реализации концепции интеллектуальных производственных агентов, принципы организации сенсорных систем в условиях статического и динамического характера рабочих пространств.

The specifications of modern intellectual manufacturing agents concept and the principles of sensor systems organizations in static and dynamic robot workspace are considered.

Ключові слова: виробничий агент, система керування, система прийняття рішень, візуальне керування

Вступ

Дослідження, розробка та використання гнучких інтегрованих систем (ГІС) є одними з ознак входження людства у постіндустріальну стадію розвитку. Застосування ГІС має забезпечувати швидкий та маловитратний перехід до випуску нових типів продукції, особливо в умовах дрібносерійного виробництва. Ефективність ГІС визначається оптимальною організацією використання технологічного обладнання, яка забезпечується роботизованими та транспортними системами, що постачають у ГІС заготовки, деталі та інструмент, здійснюють необхідне обслуговування та контроль технологічних процесів.

Виробництво компонентів радіоелектронної апаратури (РЕА) та інших виробів радіоелектронного приладобудування має враховувати постійну зміну кон'юнктури споживчого ринку і необхідність переходів від випуску одного до іншого типу продукції в лічені тижні або дні. Випуск РЕА запроваджується в умовах серійного або дрібносерійного виробництва, що й вимагає широкого використання гнучких інтегрованих роботизованих систем (ГІРС) різного типу.

Проте, з точки зору розвитку сучасних виробничих систем, існуючі ГІС виробництва РЕА мають низку істотних недоліків: системи керування ГІС є надмірно централізованими; засоби моделювання роботи технологічного обладнання є застарілими або відсутніми; відсутні автономні засоби керування та моніторингу на робочому місці; відсутні модулі аналізу технологічних завдань, прийняття рішень на окремому робочому місці за результатами моніторингу робочого простору; відсутні модулі адаптації систем прийняття рішень до локальних або глобальних змін у робочому просторі, станах ГІРС; відсутні засоби навчання та самонавчання; відсутні

розвинені модулі комунікації з іншими ГІС та ГІРС. Таким чином, рівень технічного і технологічного розвитку сучасних ГІС є невідповідним викликам виробництва, вимагає підвищеної уваги з боку дослідників і робить дослідження в даній галузі одними з найбільш перспективних [1].

Концепція інтелектуальних виробничих агентів

В умовах підприємства сучасного типу виробничий агент (ВА) є об'єктом з певним рівнем інтелекту, що може реалізуватися фізично (робот, верстат) або логічно (накази, інструкції, програмне забезпечення).

Операційна логіка підприємства поділяється на 4 частини: центральна частина, керування, планування, виробництво. Кожна частина складається з груп ВА. ВА центральної частини забезпечують керівництво підприємством, координацію і керування ним. ВА керування забезпечують виконання керуючих функцій на підприємстві. ВА планування впорядковують і розподіляють наявні і потенційні ресурси для підтримки досягнення цілей підприємства. ВА виробничого типу забезпечують локальне керування і контроль виробництва. Усі ВА мають поєднуватися розподіленою мережею виробництва або Intranet. Мережа ВА є гетерорархічною за властивостями. Кожен ВА має власні властивості і цілі, локальні знання про виробничий процес. У інтелектуальних виробничих системах (ІВС) людина взаємодіє з ВА за допомогою окремих ВА, наприклад Personal Assistant.

В мультиагентній виробничій системі ціль досягається взаємодією виробничих агентів. Кожен агент має тільки локальні знання про робоче середовище і локальні його властивості. Сумісна і координована взаємодія багатьох агентів надає системі стійкість, гнучкість і завадо-захисність. Це робить концепцію виробництва, заснованого на агентному підході, цікавою для використання.

Проте, з точки зору реалізації мультиагентних систем виробничого призначення, увага має приділятися не тільки взаємодії агентів різних рівнів. Важливою є реалізація кожного з агентів на усіх рівнях виробництва.

З практичної точки зору, виробничий агент (ВА) може бути реалізованим у вигляді інтелектуальної робототехнічної системи здатної переміщуватися в межах виробництва (його частини, зокрема гнучкої інтегрованої системи (ГІС)), виконувати транспортні, допоміжні, та, у певних випадках, технологічні операції, наприклад у здійсненні технологічних операцій збирання. Особливістю функціонування виробничого агента у робочому просторі (РП) є, здебільшого, детермінованість

положення основних елементів РП (основного технологічного обладнання) і не детермінованість положення та властивостей другорядних елементів (транспортної системи, інших агентів, людей).

Інтелектуальний виробничий агент, як система, має наступні складові:

- система керування (СК) (забезпечує формування та обробку сигналів керування маніпулятором та шасі робота);

- шасі робота – мобільна платформа (забезпечує здійснення рухів та переміщення усієї конструкції);

- маніпулятор (або декілька маніпуляторів, забезпечує виконання виробничих функцій агента);

- сенсорна система (у складі датчики, що забезпечують надсилання сигналів про стан робочого простору (РП) у систему керування);

- система технічного зору (забезпечує огляд (моніторинг) РП та надсилання сигналів у СК робота);

- система зв'язку (забезпечує надсилання та отримання сигналів від СК робота, інших роботів).

При цьому, верхнім рівнем системи керування виробничого агента є інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, яка забезпечує визначення низки важливих з точки зору функціонування ВА подій.

При цьому завдання виробничого агента мають подаватися у вигляді бажаного розташування робота у точці простору (або об'єкта простору), операцій (маніпуляцій) у точці простору (або об'єкта простору), отриманих дані про стан простору (за допомогою сенсорної системи або СТЗ).

Особливості прийняття рішень в ГІС

Широке використання інтелектуальних математичних методів у виробництві спонукає розробку нових моделей виробничих процесів, що реалізуються у інтелектуальних виробничих системах (ІВС) [1,2].

В наш час відкрита архітектура мультиагентних систем (МАС) стає основним напрямом розвитку систем розподіленого штучного інтелекту. І, хоча, універсального визначення агента нема, це не зупиняє дослідників від розширення областей застосування агентів. На практиці ці агенти зазвичай розглядаються як самокеровані програмні об'єкти, що мають власну систему оцінок і засоби незалежного розв'язання певних завдань з наступним розв'язанням більших завдань як за власною ініціативою, так і за запитами інших агентів.

Сучасні виробничі системи, що є у більшості децентралізованими, є типовим застосуванням МАС. Переваг такого застосування багато: виробнича інформація зберігається і обробляється у розподілений спосіб на відміну від єдиних великих систем; забезпечується поліпшення якості виробничих систем шляхом навчання і взаємодії об'єктів; забезпечується метод інтеграції підприємства. Все це вказує на актуальність досліджень у галузі виробничого використання МАС.

Вкажемо на опис даних інтелектуальної системи керування (ІСК) роботом з точки зору планування стратегій, який характеризується набором множин.

Робототехнічна система (РТС) у складі ГІС, стан якої характеризується множиною елементів $x_i \in X, i = 0 \dots n-1$, як вектор станів $X = \{X^0, X^1, \dots, X^{n-1}\}$,

що у моменти часу t_0, \dots, t_{n-1} приймає значення

$$X_0 = \{x_0^0, x_0^1, \dots, x_0^{n-1}\}, \quad X_1 = \{x_1^0, x_1^1, \dots, x_1^{n-1}\}, \dots$$

$$X_{n-1} = \{x_{n-1}^0, x_{n-1}^1, \dots, x_{n-1}^{n-1}\}.$$

РТС існує в робочому просторі (РП) $s_i \in S, i = 0 \dots m-1$.

РП є 2-х або 3-х вимірним і залежить від часу. Множина характеристик РП задається як вектор станів $S = \{S^0, S^1, \dots, S^{n-1}\}$ і у моменти часу t_0, \dots, t_{n-1} приймає значення

$$S_0 = \{s_0^0, s_0^1, \dots, s_0^{n-1}\}, S_1 = \{s_1^0, s_1^1, \dots, s_1^{n-1}\}, \dots$$

$$S_{n-1} = \{s_{n-1}^0, s_{n-1}^1, \dots, s_{n-1}^{n-1}\};$$

РТС здатна планувати рішення $d_k \in D, k = 0 \dots l-1$ стосовно перетворення своїх станів і станів РП. Множина рішень, що приймаються системою планування стратегій (СПР) інтелектуальної системи керування (ІКС) формують вектор $\bar{D} = \{d_0, d_1, \dots, d_{m-1}\}$, де m – кількість рішень у проміжку часу t_0, \dots, t_{n-1} .

Рішення реалізуються діями РТС: $a_i \in A, i = 0 \dots l-1$.

Множина дій $A = \{a^0, a^1, \dots, a^{n-1}\}$ здійснюється робототехнічною системою як реалізація прийнятих рішень \bar{D}_i у складі рухів або маніпуляцій $a_{mv} \subset A, a_{mp} \subset A$.

Ціль функціонування РТС є станом $y \in X$, що досягається послідовним перетворенням станів :

$$x_0 \rightarrow x_1 \rightarrow \dots \rightarrow x_{n-1} = y.$$

Таким чином в процесі досягнення мети відбуваються перетворення:

$$x_1 = f_1(x_0, y, s_0, d_0, a_0) + \varepsilon_1, \|x_1 - x_0\| \leq \varepsilon_1,$$

$$\dots$$

$$x_k = f_k(x_{k-1}, y, s_{k-1}, d_{k-1}, a_{k-1}) + \varepsilon_k, \|x_k - x_{k-1}\| \leq \varepsilon_k,$$

$$\dots$$

$$y = f_n(x_{n-1}, y, s_{n-1}, d_{n-1}, a_{n-1}) + \varepsilon_n, \|y - x_{n-1}\| \leq \varepsilon_n,$$

f - функція переходів, ε - похибка переходу.

Переходи характеризуються вартістю $c_i \in A, i = 1 \dots n$ та тривалістю $t_i \in T, i = 1 \dots n$. Метою є знаходження такої послідовності переходів f_1, \dots, f_n , яка забезпечуватиме перехід системи з початкового стану X_0 у цільовий Y .

Умовами пошуку є:

$$\sum_{i=1}^n t_i \rightarrow \min, \sum_{i=1}^n c_i \rightarrow \min, \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \rightarrow \min.$$

При цьому вказані множини представляють конкретні елементи ІСК.

Зокрема, робототехнічну систему (множина X) з точки зору розв'язання завдань ІСК пропонується описати у складі наступних елементів:

- маніпулятор (опис рухів суглобів маніпулятора);

- система керування (набір сигналів, що надсилається або отримуються маніпулятором);

- сенсорна система (датчики, що забезпечують надсилання сигналів про стан робочого простору (РП) у систему керування (СК) роботом);

- система технічного зору (забезпечує огляд (моніторинг) РП та надсилання сигналів у СК робота);

- система зв'язку (прийом та передавання сигналів від СК робота, інших ГІС);

- шасі робота (отримання інформації від СК, надсилання даних у СК, здійснення рухів).

Опис множини рішень D пропонується у складі:

- рішення про переміщення маніпулятора (маніпуляторів) на рівні окремих операцій (взяти об'єкт, пересунути, покласти, поміняти об'єкти місцями тощо), у тому числі досягнення цільової точки;

- рішення про напрям рухів шасі мобільного робота (праворуч, ліворуч, прямо, назад тощо), зміни швидкості і прискорення;

- запити давачів та системи технічного зору;

- очікуваний результат (прийняття рішення);

- передумови прийняття рішень.

Опис множини об'єктів зовнішнього середовища S :

- об'єкти простору (координати об'єктів, напрям та швидкість руху, клас приналежності об'єкта, технічний стан, можливість використання під час виконання рішення);

- стан середовища (характер місцевості, наявність шляхів і їх стан, перешкоди і їх змін, опади, освітленість тощо).

Опис множини Y цілей ІСК робота:

- розташування робота у точці РП (або біля цільового об'єкта РП);

- операції (маніпуляції) у точці простору (або біля цільового об'єкта РП);

- отримані дані про стан РП (за допомогою сенсорної системи або СТЗ).

Прикладами постановки завдання роботу є:

знаходиться у точці (x, y, z) ;

здійснити операцію (взяти об'єкт (клас (гайка))).

Гнучка інтегрована складальна система (ГІСС) у складі автоматів складання (паяння), транспортно-складальних роботів, накопичувачів, що формують множину $eq_i \in Eq, i = 0 \dots n - 1$. Метою ГІСС є забезпечення складання пристроїв (модулів) РЕА, зокрема на друкованих платах M .

При цьому $M = \langle B, Ch, T, R, C, L, \dots \rangle$, Де B – друкована плата, Ch – мікропроцесорні пристрої, T – напівпровідникові прилади, R – резистори, C – конденсатори, L – індуктивності.

Конфігурація пристрою визначається його конструкторським проектом M^G , який визначає цільове розташування елементів на друкованій платі. Фактично модуль (плата) прямокутною матрицею, що заповнюється елементами множини M .

Початково, $M_0 \in$ нульовою матрицею. ГІСС генерує рішення $d_k \in D, k = 0, \dots, l - 1$, що реалізуються діями (технологічними переходами): $a_k \in A, k = 0, \dots, l - 1$.

Рішення \bar{D} про порядок виконання операцій складання є

послідовністю операцій $a_i \in A, i = 0 \dots l - 1$, що полягатимуть у встановленні в B окремих елементів множин Ch, T, R, C, L, \dots , наприклад

$$\bar{D} = \{Ch_0, Ch_1, T_0, T_1, R_0, Ch_3, C_0, L_0, \dots\}.$$

В процесі досягнення цільового стану M^G відбуваються перетворення $M_i = f_i(Eq, D_i, M_{i-1})$: $M_0 \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots \rightarrow M^G$.

Заповнення M визначатиметься порядком операцій складання. Цей порядок визначатиметься проектом M^G , технологічними правилами Tg , можливостями технологічного обладнання E . Таким чином $\bar{D} = g(M^G, Tr, E)$. Метою є знаходження такої послідовності переходів f_1, \dots, f_n , яка забезпечуватиме перехід системи з початкового стану M_0 у цільовий M^G .

Приклад організації робочого простору ГІСС показано на рисунку 1.

Під час розробки ІСК для ГІС різного призначення важливим етапом є вибір моделей планування стратегій із урахуванням конкретних умов робочого простору, можливостей моделей технологічного обладнання, в тому числі роботів, характеристик їх сенсорних систем та інших показників. Характер обраних моделей визначає і сутність методів планування стратегій [2].

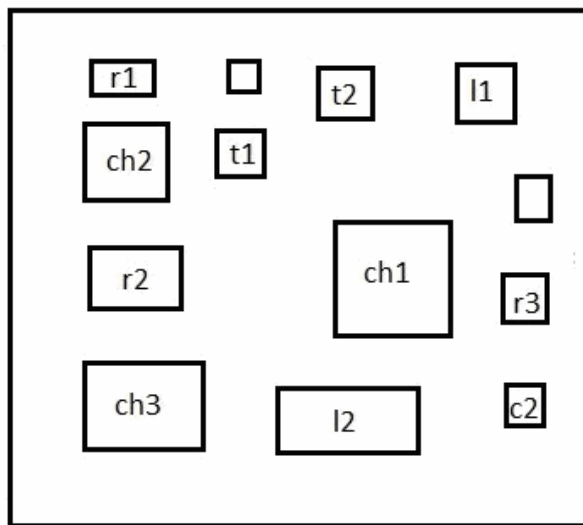


Рис. 1 Приклад організації робочого простору ГІСС для завдання маніпуляційного робота

Реалізація сенсорних систем агентно-орієнтованого виробництва

Реалізація інтелектуального виробничого агента вимагає здійснення процесу керування за допомогою автономної системи керування або, за певних умов, людини-оператора.

Бортова система прийняття рішень здійснює керування ВА (роботом) за допомогою алгоритмів пошуку рішень, які закладені у самому керуючому пристрої робота. Основою для роботи системи прийняття рішень є інформація від сенсорної системи. Сенсорні пристрої робота та керування від ЕОМ складають карту місцевості. Керування ВА включає його позиціонування

по цій карті. Сенсорна система ВА є обмеженою за можливостями, зокрема, при зміні навколишнього середовища не завжди відразу може перебудуватися карта робочого простору, у якому здійснюється орієнтація та керування.

Одним з перспективних методів керування ВА є візуальне керування (ВК). Візуальне керування є процесом, що ґрунтується на основі інформації, що надходить від системи технічного зору (візуальної підсистеми) в процесі функціонування і забезпечує адаптацію системи керування до змін параметрів робочого середовища роботизованої системи.

Основна особливість адаптивних систем візуального керування полягає у можливості отримання інформації та використання цієї інформації в процесі функціонування за дуже малий проміжок часу.

Прикладом застосування однозонової системи візуального керування може бути багатофункціональний мобільний робот (ВА), оснащений маніпулятором, обладнаний СТЗ із можливістю отримання інформації від глобальної системи технічного зору. За допомогою СТЗ відбувається постійний аналіз гнучкої виробничої ділянки, спостереження за станом її об'єктів, виконання поставлених перед ВА задач. Сенсорна система здійснює спостереження за такими складовими гнучкої інтегрованої виробничої ділянки:

- статичні об'єкти (виробничі обладнання);
- динамічні об'єкти (люди, інші ВА, обладнання).

Якщо під час виконання завдання відбуваються зміни навколишнього середовища, система керування на основі інформації про виявлені системою технічного зору перешкоди, посилає до ВА команди для корегування маршруту.

Система візуального керування складається з персонального комп'ютера, системи технічного зору та бездротової системи передачі даних. Людина-оператор за допомогою маніпулятора «миша» на екрані ЕОМ може вказувати початкову та кінцеву точку маршруту, корегувати маршрут, що, в основному, прокладається інтелектуальною системою керування ВА. При цьому інформація про робочий простір отримується за допомогою глобальної системи технічного зору. Приклад введення інформації такій системі показано на рис. 2.

Аналіз інформації про стан робочого простору здійснюється за допомогою методу Кенні та аналізу контурів. Розпізнавання положення робота забезпечується за допомогою класифікатора Хаара або штучної нейронної мережі (багатошаровий перцептрон). Для забезпечення навчання необхідно згенерувати достатньо велику кількість цільових та фонових (негативних) зображень.

Основним завданням багатозонової системи є спостереження за об'єктом у різних робочих зонах за допомогою декількох камер, розпізнавання об'єкта, визначення траєкторії руху. Для вирішення завдання використана бібліотека комп'ютерного зору OpenCV. Кількість камер може змінюватися, але при підключенні великої кількості камер існує проблема, пов'язана з великим навантаженням при передачі значного обсягу відеоінформації. Ця проблема вирішується шляхом

зменшення розмірів (якості) зображення, або зменшення частоти кадрів. Зони спостереження камер представлені на рис. 3.а.

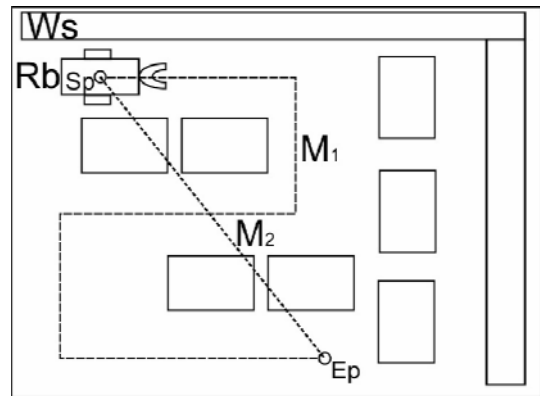


Рис.2 Маршрут робота

Тут Ws – робочий простір, Rb – Виробничий агент (Робот), Sp – початкова точка руху ВА, Ep – кінцева точка руху ВА, M1– маршрут переміщення робота за умовою перешкод, M2– найкоротший шлях за умови відсутності перешкод.

Всі зони спостереження камер будуть перетинатися між собою, як показано на рис 3.б. Це спрощує визначення траєкторії руху об'єкта. Якщо об'єкта немає в полі зору камер, то необхідно дочекатися його появи. Для цього камери по черзі опитуються на наявність руху. Робиться це з деякою затримкою з метою зниження навантаження на систему. Якщо об'єкт перебуває в полі зору камери, то вибір активної камери здійснюється за напрямком руху об'єкта. Але в такому випадку необхідна загальна система координат для кількох камер. Якщо об'єкт знаходиться на плоскій поверхні, а камери розташовані перпендикулярно до цієї поверхні, то досить використовувати розміри зображення для визначення координат. У такому випадку початковою системою координат є система координат першої камери, на якій було виявлено рух. Якщо об'єкт виявлено відразу двома камерами, координатами об'єкта на другій камері стають координати об'єкта на першій камері. Далі відбувається обчислення зміщення системи координат [3].

Виявлення рухів можна виконувати різними способами Найвірнішим є виділення рухомого контуру і запис траєкторії руху. Траєкторія руху необхідна для визначення напрямку руху об'єкта. Використовуючи камеру, в поле зору якої з'явиться об'єкт, можна визначити напрямку руху ВА, але тільки в тому випадку, коли положення камер відомі.

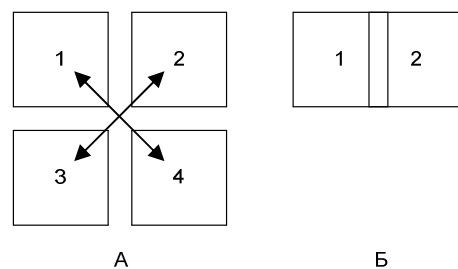


Рис. 3 Приклади робочих просторів багатозонової системи: А – приклад робочого простору, Б – перетин робочих зон

Виявлення ознак виробничого агента у робочому просторі

Для детектування робота у робочому просторі було створено класифікатор Хаара.

Детектор дозволяє виділяти ознаки Хаара (ознаки цифрового зображення, використані при розпізнаванні образів). Вейвлети Хаара використовувалися вперше при створенні детекторів облич. Аналогічно цьому детектору, був створений класифікатор для знаходження мобільного робота Lego NXT MindStorms.

Для створення класифікатору треба зібрати два види зразків: позитивні і негативні. Негативні зразки набираються з довільних зображень. Ці зображення не повинні містити зображень цільового об'єкта. Негативні зразки передаються функції через файл опису заднього фону, який містить назви файлів зображень. Позитивні зразки - створюються за допомогою утиліти createsamples. Набір позитивних зразків може бути створений як з одного зображення предмета, так і з серії зображень на яких відзначені вікна містять цільовий об'єкт.

Одиночне зображення, наприклад, може містити зображення робота. З цього єдиного зображення, шляхом випадкових перетворень (обертання, зміна кольору, приміщення на різний фон і т.д.) виходить великий набір зразків для навчання. Параметри випадкової зміни параметрів задаються в командному рядку.

Позитивні зразки можуть бути створені із серії зображень на яких відзначені вікна містять цільовий об'єкт.

Далі відбувається навчання з використанням утиліти haartraining.

При запуску на виконання програмного забезпечення, необхідно враховувати деякі впливи.

По-перше, одним з впливових ефектів є освітлення. Зміна освітлення призводить до зміни якості детектування робота в робочому просторі і залежить від яскравості позитивного зображення.

По-друге, кут камери при детектуванні, коли позитивні зображення мають інший кут щодо камери і є можливістю виявити робот при різних положеннях всередині робочого простору. Якщо всі позитивні зображення мають однаковий кут при виявленні, виникає залежність від розташування камери при детектуванні робота.

В таблиці наведені ймовірності знаходження робота в робочому просторі при різних кутах камери, різними поворотами робота і різному освітленні.

Для проведення експерименту була знайдена центральна точка робочого простору. Положення робота щодо цієї точки в реальних умовах схематично показано на рисунку 4.

Експериментальне дослідження складалося з 20 ітерацій при різних рівнях освітлення і розташуванням положення робота в центральній точці РП. Результати проведення експерименту занесені в таблицю 1.

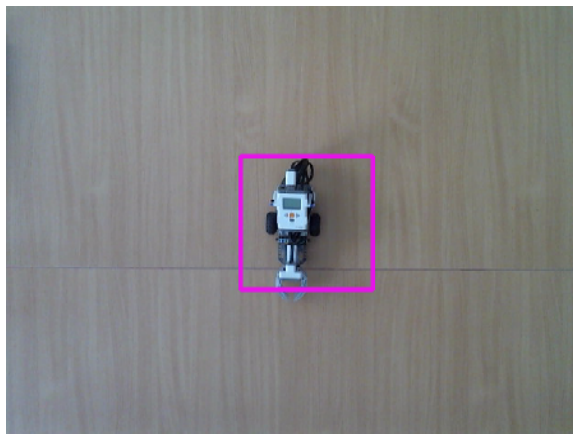


Рис. 4. Положення робота відносно центральної точки РП

Таблиця 1

Вірогідність виявлення робота у РП за нульових початкових умов при різних рівнях освітлення

Положення робота відносно камери, (0,0)	№	Рівень освітлення			Кут повороту робота, град = 0
		Високий	Середній	Низький	
	1	+	+	+	
	2	+	+	+	
	...	+	+	+	
	19	+	+	+	
	20	+	+	+	
Якість виявлення		100%	100%	100%	

Можна зробити висновок, що за початкових умов (розташування робота в центрі РП з нульовим кутом повороту) якість розпізнавання складає 100%.

Висновки

Таким чином в запропонованій статті розглянуто основні особливості реалізації інтелектуальних компонентів системи керування виробничого агента, а саме, розглядається опис даних завдання прийняття рішень підсистеми планування стратегій функціонування інтелектуальної ПС, розглядається побудова сенсорних підсистем виробництва, таких як: підсистема адаптивного візуального керування, підсистема детектування виробничого агента на основі класифікатора Хаара. Описується проведення експериментів з розпізнавання моделі виробничого агента (мобільної платформи) при різних рівнях освітлення та кутах поворотів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Невлюдов, И.Ш.. Интеллектуальное проектирование технологических процессов роботизированной сборки [Текст] / И.Ш. Невлюдов, А.М. Цымбал, С.С. Милютіна. – Харьков: НТМТ, 2010. – 206 с.
2. Цымбал О.М., Бронніков А.І., Куценко О.І., Шейн С.С. Концепція інтелектуальних виробничих агентів та особливості її реалізації / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Харьков, 2014, № 1/2 (67), С. 9 - 13.
3. Цымбал А.М., Бронніков А.И. Моделирование адаптивного принятия решений в ИСУ роботом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород. – 2013. – №4, С. 173-176.