

## РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИРОБІВ В РОБОЧІЙ ЗОНІ РОБОТА

### Шабля І.Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ivan.shablia@nure.ua

В роботі розглянуті системи адаптації промислових роботів – передусім їхні засоби сенсифікації. Йдеться про силомоментні, тактильні, локаційні датчики та, звісно, системи технічного зору (СТЗ). Саме на СТЗ зосереджено основну увагу: проаналізовано класифікацію (за розмірністю, тоновістю, активністю), узагальнену структуру, а також ключові функціональні блоки – формування, сегментацію, опис, аналіз зображень і зв'язок із системою керування.

**Ключові слова:** системи технічного зору, камера, мобільний робот.

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR IDENTIFYING PRODUCTS IN A ROBOT'S WORKING AREA

### Shablya I.E.

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauky Ave.

E-mail: ivan.shablia@nure.ua

The paper considers the adaptation systems of industrial robots – primarily their means of sensitization. These are force-moment, tactile, location sensors and, of course, vision systems (VS). It is on VS that the main attention is focused: the classification (by dimension, tone, activity), the generalized structure, as well as the key functional blocks – formation, segmentation, description, image analysis and connection with the control system are analyzed.

**Keywords:** vision systems, camera, mobile robot.

Сучасне виробництво вже не уявити без роботів, які бачать. Не просто рухаються за жорсткою програмою, а справді розпізнають, що лежить перед ними – гайка чи болт, бракована деталь чи якісна, правильно зорієнтована чи ні. Саме ця здатність – «бачити» й розуміти побачене – перетворює звичайний маніпулятор на адаптивну систему, здатну працювати в невизначеному середовищі. І ключ до цього – системи технічного зору (СТЗ) з їхніми алгоритмами обробки зображень.

Ми живемо в час, коли обсяг візуальних даних зростає шалено швидко, і робототехніка тут не виняток. Потреба аналізувати, обробляти й інтерпретувати ці дані в реальному часі стає нагальною як у наукових дослідженнях, так і в прикладних задачах промисловості. Гнучкі виробничі системи вимагають від роботів не лише швидкості, а й здатності приймати рішення на основі того, що вони «побачили». І тут без надійного програмного інструментарію не обійтись.

У цій роботі ми зосередилися на розробці програмного засобу для ідентифікації виробів безпосередньо в робочій зоні робота. Ідея проста, хоч і амбітна: навчити систему не просто фіксувати картинку з камери, а виділяти з неї корисну інформацію – контури, ключові точки, характерні ознаки – і на основі цього визначати, яка саме деталь перед нею і де вона знаходиться. Для цього довелося детально розглянути методи обробки графічної інформації, починаючи від фільтрації й бінаризації і закінчуючи алгоритмами розпізнавання образів.

Практична частина не менш важлива: ми обрали звичайну веб-камеру як джерело зображень і бібліотеку OpenCV як основний інструмент – саме ця зв'язка дає змогу швидко прототипувати рішення без залучення дорогого промислового обладнання.

Така постановка задачі видається цілком логічною. З одного боку, ми спираємося на реальні потреби автоматизованих дільниць, де робот має самостійно «розуміти», що він бере. З іншого – використовуємо відкриті, доступні технології, що робить розробку прозорою і придатною для подальшого вдосконалення. Я переконаний, що подібні програмні засоби – це не просто навчальний проект, а цеглинка в розбудові справді інтелектуальних роботизованих комплексів. І саме про те, як вона створювалася, піде мова далі.

**СИСТЕМИ АДАПТАЦІЇ РОБОТІВ.** Адаптивний робот – це не просто наступний крок після звичайних програмованих маніпуляторів. Це машина, яка навчилася «відчувати» світ навколо себе. Її ключова особливість – гнучке програмування та наявність цілої низки датчиків, які збирають інформацію про навколишнє середовище, про деталь, з якою вона працює, і про стан власних механізмів. Саме це дає їй змогу пристосовуватися до заздалегідь невідомих змін – власне, для цього її і створювали [1].

Звісно, на шляху до ідеального адаптивного робота стоїть чимало перешкод, причому перешкоди не тільки суто технічні, а й наукові та організаційні.

По-перше, потрібен широкий асортимент спеціалізованих датчиків і пристроїв, які здатні досліджувати й відображати середовище. І, що не менш важливо, потрібні мікропроцесорні системи, які встигатимуть обробляти цей потік даних у реальному часі, програмуючи реакцію робота на отриману інформацію. По-друге, це питання надійності та довговічності. Робот має працювати довго і без збоїв. І по-третє, звісно, метрологічні характеристики. Точність вимірювань тут відіграє вирішальну роль.

Щоб він міг миттєво сприймати зовнішній світ і на основі цього сприйняття сам формував команди для руху своїх маніпуляторів, виконуючи закладену в пам'ять задачу. По суті, адаптивний робот – це машина, яка в процесі роботи відтворює базові функції людини: сприйняття середовища через «органи чуття» (технічні засоби надання функцій сенсоризації), «обмірковування» та прийняття рішення (обробка інформації мікропроцесором) і, нарешті, активний вплив на світ «руками»-маніпуляторами [2].

Технологічних процесів, які автоматизують, – безліч. Відповідно, і параметрів, які робот має вимірювати в роботі, теж дуже багато. Ось лише основні: лінійні та кутові переміщення його механізмів, сили та моменти, що в них виникають, відстань до об'єкта, положення та швидкість захоплення, розміри, форма, колір і навіть температура деталі. А якщо копнути глибше, то можуть знадобитися дані про зазори, перекося, проковзування, внутрішні дефекти, товщину покриття, твердість, напруження... список можна продовжувати довго.

Власне, розвиток цього напрямку і зумовив появу безлічі різноманітних датчиків: силомоментних, тактильних, систем технічного зору, локаційних далекомірів, датчиків внутрішнього стану маніпулятора тощо [3].

Отже, ключову роль в адаптивному роботі відіграє його система сенсоризації. Це, можна сказати, його головна інформаційна підсистема. Інформація, яку вона збирає, найчастіше пов'язана з простором навколо робота: її джерелом є системи технічного зору, силомоментні, локаційні та тактильні пристрої. Щоправда, іноді вдається отримати потрібні дані й опосередковано – просто вимірюючи параметри самого маніпулятора та роблячи висновки про стан робочого простору на основі цих вимірювань.

Цікаво, що система сенсоризації може працювати по-різному. Вона може просто передавати «сирі» дані в систему керування, а там їх уже обробляють. А може мати власні засоби для попередньої обробки інформації і навіть мікропроцесор. У такому разі вона стає більш автономною і здатна сама формувати завдання з обробки даних про середовище та

обмінюватися командами з головною системою керування [4].

Набір систем сенсифілізації потрібен конкретному промислому роботу залежить від багатьох факторів. Наприклад, від того, наскільки складно побудувати апріорну модель технологічного процесу, наскільки важко врахувати всі можливі збурювальні фактори, чи доступні потрібні датчики за ціною, чи легко їх узгодити з системою керування і, звісно, чи є готове програмне забезпечення для обробки їхніх сигналів.

Таким чином, головне завдання систем сенсифілізації – не просто збирати дані, а суттєво зменшити обсяг тієї інформації, яку доводиться закладати в робота заздалегідь. А ще вони спрощують процес навчання робота, підвищують його динамічну точність і швидкодію.

Більша частина інформації, яку збирають ці системи, стосується геометрії: де знаходиться предмет, якої він форми, якого розміру. Але для багатьох операцій, таких як складання або шліфування, необхідно точно знати сили та моменти, що виникають у точці контакту інструмента з деталлю.

Залежно від методу вимірювання засоби сенсифілізації умовно поділяють на контактні та безконтактні. Безконтактні, які працюють на відстані, представлені двома класами пристроїв: системами технічного зору (СТЗ) та локаційними системами. Контактні – це системи силомоментної та тактильної сенсифілізації, які безпосередньо вимірюють сили та фіксують моменти дотику. Такий поділ доцільний, бо кожен клас орієнтований на свій тип операцій.

**СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ РОБОТІВ.** Сфера їх застосування у виробництві – величезна. Це і розпізнавання та сортування деталей, і розбирання «навалу», і визначення координат рухомих об'єктів, і контроль якості поверхні. Причому вони можуть працювати як у парі з маніпулятором, так і окремо. По суті, СТЗ – це окрема підсистема з власним обчислювачем, яка завдяки швидкодіючим мікропроцесорам вирішує завдання ідентифікації та визначення характеристик деталей у реальному часі. Більшість сучасних СТЗ – це перепрограмовувані автомати, які можуть забезпечити стовідсотковий контроль зовнішнього вигляду (тріщини, сколи, колір) та геометричних розмірів. З розвитком ці системи стають дедалі розумнішими, навчаючись розпізнавати об'єкти навіть за зашумлених зображень і при змінному освітленні [5].

**ЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ.** Їх використовують тоді, коли застосування СТЗ з якихось причин недоцільне або неможливе. Класичний приклад – датчики безпеки, які запобігають зіткненню робота з людьми чи предметами. Широко застосовуються ультразвукові локатори, особливо для навігації мобільних роботів і безпеки автоматичних візків. Також вони можуть примітивно розпізнавати деталі з різною здатністю поверхні до відбиття сигналу.

**ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АДАПТАЦІЇ РОБОТІВ.** Говорити про системи сенсифілізації у відриві від системи керування робота – справа безперспективна. Ці речі тісно пов'язані. І тут виникає цілий комплекс проблем, які потребують вирішення. Їх можна згрупувати у три основні блоки: представлення інформації, планування її обробки та, власне, організація адаптивного керування.

Що стосується представлення інформації, то потрібен формалізований опис даних про робота та його робочий простір. Такий, щоб до них було легко отримати доступ, зручно закодувати та ввести в цифрову систему керування. І обробляти цю сенсорну інформацію доводиться одразу на кількох рівнях ієрархії системи керування [6].

Планування обробки – це, мабуть, один із найважливіших шляхів підвищення ефективності. Йдеться про визначення послідовності перетворення даних, організацію мультипроцесорної обробки, встановлення пріоритетів опитування датчиків до початку і під час виконання операції. Мені здається, що дуже перспективними тут є інтерактивні методи, де програміст-оператор бере участь у плануванні. І, звісно, ці напрацювання варто поширювати на системи групового керування роботами.

Що ж робить система керування адаптивного робота? Вона приймає дані від системи сенсоризації, обробляє їх і на основі отриманої картини світу та закладеного завдання керує маніпулятором.

Характерна риса адаптивного робота – чітка ієрархія систем керування. Це не просто зручність, це необхідний спосіб організації його цілеспрямованої поведінки. Функції розбиваються на рівні, між ними визначаються інформаційні потоки, і все це реалізується на відповідних обчислювальних пристроях [7].

Проблеми організації адаптивного керування випливають із необхідності обробляти величезний обсяг інформації в реальному часі. Потрібно моделювати процеси функціонування, щоб навчити систему самонавчання на основі сенсорних даних, отриманих прямо під час роботи. І тут ми впритул підходимо до необхідності використання методів штучного інтелекту та вдосконалення проблемно-орієнтованих мов програмування для таких «чутливих» роботів.

Наведений перелік проблем чітко показує: подальший прогрес у створенні досконалих систем сенсоризації напряду залежить від розвитку теорії штучного інтелекту.

Щоб вирішити нагальні завдання автоматизації, існуючу структуру парку роботів доведеться серйозно перебудувати. Поряд із простими роботами, які працюють за жорсткими, раз і назавжди заданими програмами, мають з'явитися робототехнічні системи якісно іншого рівня – з адаптивними можливостями та елементами штучного інтелекту. Без таких роботів, оснащених різноманітними сенсорними системами, неможливо уявити собі гнучкі виробничі системи (ГВС), а також роботизацію непромислової сфери, роботи в космосі чи під водою.

І серед усіх можливих засобів сенсоризації особлива роль тут відводиться саме системам технічного зору. Вони забезпечують сприйняття відеоінформації, автоматичний аналіз зображень і формування на цій основі команд керування. Сьогодні у світі серійно випускають найрізноманітніші СТЗ, і розробки в цій галузі не припиняються ні на день.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ Отже, потреба в обробці, аналізі та відображенні візуальної інформації зростає в різних наукових і прикладних сферах, зокрема в робототехніці та дослідженнях штучного інтелекту. Тут зазвичай виділяють три основні типи задач:

- обробка зображень;
- аналіз зображень;
- синтез зображень.

У разі першого типу задач вихідними даними і результатом обробки є зображення.

Задача аналізу полягає в розпізнаванні, інтерпретації та розумінні зображення. Вхідними даними для нього є зображення, а вихідними – текст, що описує це зображення.

У разі синтезу на вході є опис (алгоритм побудови), на виході – побудоване за вхідним алгоритмом зображення. На практиці ці три задачі взаємопов'язані.

В межах даної роботи будуть порушені проблеми вирішення двох видів задач: обробки зображення та, частково, аналізу зображення.

При обробці зображення проводиться перетворення вихідної графічної інформації з метою покращення якості, виділення фрагментів, підвищення контрастності тощо. Задача аналізу передбачає аналіз спостережуваної сцени з метою визначення та виділення в ній окремих цікавих компонентів.

Метою даної роботи є оглядовий розгляд систем технічного зору роботів, дослідження основних методів обробки графічної інформації, що отримується за допомогою СТЗ. Практична реалізація даної роботи передбачає розробку програмного засобу, що дозволяє шляхом експериментальних досліджень проаналізувати розглянуті алгоритми перетворення візуальної інформації, що надходить з web-камери, і використовувати найбільш ефективні з

цих алгоритмів для визначення параметрів робочої зони робота.

У ході роботи необхідно вирішити наступні завдання:

- розглянути основи побудови систем технічного зору;
- дослідити основні методи обробки графічної інформації;
- вибрати технічні та програмні засоби для реалізації практичної мети роботи;
- розробити програмний засіб, що включає різні алгоритми перетворення візуальної інформації та реалізує визначення параметрів робочої зони робота;
- виконати аналіз застосування різних методів обробки зображень на основі експериментальних досліджень.

**КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ РОБОТІВ.** Серед систем адаптації роботів найбільшою інформаційною ємністю володіють системи технічного зору, що повідомляють роботу інформацію про властивості об'єкта та середовища маніпулювання за допомогою перетворення, обробки та аналізу відеоінформації за допомогою ЕОМ.

Ефективність функціонування СТЗ різних типів багато в чому визначається досконалістю їх структурних схем, які в реальному масштабі часу повинні виділяти зображення окремих об'єктів розглядуваної сцени, здійснювати їх класифікацію, вимірювати відстань між ними, визначати розміри тощо. Залежно від складності аналізованої сцени, типу розташованих на ній об'єктів використовують різні принципи побудови візуальних аналізаторів: активні, пасивні, монокулярні, біокулярні, що формують дальнісну картину та ін. [8].

При класифікації СТЗ можуть бути використані різні класифікаційні схеми. Так, СТЗ можуть бути розділені наступним чином:

- двовимірні, тривимірні та ті, що мають розмірність 2.5 (зі структурованим підсвічуванням);
- бінарні та багатотонові;
- активні (з підсвічуванням) та пасивні (без підсвічування) тощо.

Як перетворювачі світло-сигнал, що реалізує процес зчитування зображення, в СТЗ застосовують як вакуумні телевізійні передавальні трубки, так і твердотільні матричні перетворювачі зображення – прилади із зарядовим зв'язком (ПЗЗ). Методи збору та передачі інформації в основному запозичені з телебачення: використовуються растрові способи розкладання зображень. Однак для вилучення із зображень потрібних відомостей використовуються методи обробки відеоінформації, включаючи ідентифікацію та розпізнавання образів, інтерпретацію сцен та інші, не характерні для звичайної телевізійної техніки.

Відмінною здатністю задач аналізу, контролю та автоматичної класифікації зображень є їх багатовимірність. У найпростішому випадку зображення характеризується двома просторовими координатами, до яких додається третя – часова. Зображення, отримані в різних діапазонах електромагнітного спектру (видимого, ІЧ та УФ), містять, як правило, дуже великий обсяг інформації, яку необхідно переробити для їх ідентифікації, виявлення відмінностей та прийняття рішень. Це зумовлює жорсткість вимог до систем візуального контролю та класифікації щодо роздільної здатності та продуктивності. Крім того, більшість зображень характеризується наявністю заважаючого фону, а також невизначеністю положення та орієнтації окремих елементів, що призводить до великої надлишковості, що робить необхідним використання методів попередньої обробки зображень: фільтрації, нормування, згладжування тощо [9].

Процес автоматичного аналізу візуальної інформації, як правило, є складною багатоетапною процедурою. Після завершення операції розкладання зображення у відеодатчику інформація в аналоговій або цифровій формі надходить на наступні етапи обробки. Аналіз візуальної інформації являє собою процес, заснований на використанні

аналізуючої структури, чутливої до різних рівнів деталізації зображення. При цьому застосовують різноманітні методи обробки, ідентифікації та розпізнавання двовимірних і тривимірних зображень, у тому числі стереоскопічні методи, методи активного зондувального підсвічування та ін.

Як уже було зазначено, СТЗ можна класифікувати відповідно до того, яким чином у них проводиться обробка зображень, на бінарні та багатотонові. У бінарних двовимірних системах кожна точка зображення описується в термінах двох тонів – чорного та білого, а в багатоградувальних системах точки зображення можуть мати півтони. Перехід від півтонових зображень до бінарних здійснюється за допомогою операції порівняння з порогом. У бінарних системах об'єкти спостерігаються або у відбитих, або в прохідних променях, при цьому похиле освітлення в ряді випадків використовується для отримання тіней, за якими можна оцінити висоту об'єкта. Процедури обробки відеоінформації в бінарних системах простіші і, відповідно, швидкість обробки вища. Такі системи завдяки нижчій інформаційній ємності зображення мають підвищену швидкодію порівняно з півтоновими системами, в яких яскравість кодується набагато більшим числом рівнів. Водночас багатоградувальні системи дозволяють отримати набагато більше інформації про об'єкт, ніж бінарні. Якщо відбивна здатність, текстура, форма деталі такі, що цю деталь важко виділити з фону, необхідно обробляти півтонові зображення. Такі СТЗ дозволяють здійснити більш тонкий аналіз відеоінформації, однак у реальному масштабі часу ці системи поки що працюють лише у порівняно вузьких галузях.

СТЗ можуть бути розділені на двовимірні, тривимірні та ті, що мають розмірність 2.5. Двовимірні системи призначені для ідентифікації плоскої робочої сцени, форма об'єктів у якій однозначно визначається за двовимірною проекцією. Більшість існуючих СТЗ працює з двовимірними зображеннями. Такі СТЗ реалізуються в основному за допомогою відеодатчиків, що діють при розсіяному освітленні. Системи розмірності 2.5 додатково забезпечують визначення окремих просторових параметрів, для цих цілей у них використовуються допоміжні освітлювальні засоби. Тривимірні системи дозволяють ідентифікувати будь-які просторові властивості об'єктів незалежно від вибору спостережуваної позиції.

**УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ.** Структурна та функціональна схеми системи технічного зору розкривають суть всіх принципових операцій з формування, обробки та аналізу зображень і встановлюють порядок та умови перетворення відеоінформації, а також організацію взаємозв'язку різних підсистем та блоків [1].

Коротко охарактеризуємо основні групи функціональних операцій узагальненої СТЗ робота.

Формування зображення:

- освітлення робочої сцени, включаючи керування порядком і часом увімкнення та вимкнення освітлювальних приладів, спрямованістю та інтенсивністю джерел світла, вибір виду структурованого освітлення, зміну розташування освітлювачів;

- автоматизоване налаштування системи: наведення відеосенсора; фокусування; вибір об'єктів і світлофільтрів; калібрування СТЗ та її «прив'язка» до абсолютної системи координат або до системи координат робота;

- аналогові перетворення відеосигналу: фільтрація, лінійне та нелінійне підсилення, зміщення нульового рівня та інші перетворення, що забезпечують необхідні амплітудні та частотні характеристики, відношення сигнал-шум, електричні параметри;

- введення зображення в обчислювальний пристрій: вибір послідовності та частоти опитування відеосенсорів, просторових точок знімання відеоінформації (схеми сканування); визначення порога бінаризації (при введенні двоградувальних зображень) або рівнів

квантування відеосигналу (для багатоградувальних зображень); власне оцифрування відеосигналу за допомогою аналого-цифрових перетворювачів або компараторів; запам'ятовування всього зображення або його частини; пересилання даних у відповідні блоки обробки відеоінформації;

– попередня обробка зображень, що формуються: видалення шумів шляхом цифрової фільтрації та згладжування; підвищення контрастності (перетворення шкали інтенсивності, загострення перепадів, підкреслення меж); корекція геометричних та оптичних спотворень; допоміжні математичні операції над зображенням (диференціювання, логічне порівняння тощо);

– стиснення (кодування) інформації та ін.

Сегментація зображення:

– декомпозиція зображення робочої сцени на складові її об'єкти, їх групи, фрагменти та інші частини;

– вибір одного або декількох «вікон»;

– розбиття зображення на характерні ділянки: виділення та простеження контурів; знаходження однорідних областей;

– виявлення типових особливостей зображень (куточків, отворів, виступів, виїмок, міток, кольірних та текстурних неоднорідностей).

Опис зображення:

– проведення вимірювань та розрахунків для отримання кількісних характеристик (ознак) об'єктів;

– визначення якісних (логічних, «лінгвістичних») ознак для класифікації об'єктів;

– встановлення місцезнаходження об'єктів (координат геометричного центру та/або інших характерних точок);

– знаходження орієнтації об'єктів у робочій області.

Аналіз зображення:

– розпізнавання образів або класифікація об'єктів (зіставленням з еталонними зображеннями, прийняттям рішення на основі дискримінантних функцій, структурно-синтаксичними та іншими методами);

– інтерпретація сцени;

– побудова (уточнення) моделі проблемного середовища;

– прийняття рішень про подальші операції системи технічного зору.

Зв'язок з системою керування робота передбачає виконання наступних операцій [11]:

– обмін логічними сигналами (командними, синхронізуючими, блокуючими, перериваючими та ін.), підтримка протоколу обміну даними;

– отримання від системи керування робота запитів на виконання функціональних завдань технічного зору;

– повідомлення системі керування робота типів розпізнаних (класифікованих) об'єктів;

– передача координат та параметрів орієнтації об'єктів та інших кількісних результатів обробки відеоінформації;

– передача результатів інтерпретації сцен та необхідних відомостей про модель проблемного середовища;

– надсилання вимог на виконання впливів на середовище з метою полегшення зорового сприйняття.

У конкретних СТЗ, що застосовуються в робототехніці, питома вага кожної з описаних операцій неоднакова, ті чи інші з них можуть бути відсутні, об'єднуватися з іншими, виконуватися в різній послідовності.

За характером організації процесу проходження інформації через систему функціональні

схеми СТЗ можна розділити на наступні три групи:

- розімкнені з незмінюваною послідовністю операцій, коли відеоінформація реєструється фіксованим способом, обробляється та аналізується за жорстко визначеним лінійним ланцюжком алгоритмів;

- з умовними переходами, в яких залежно від умов зовнішнього середовища та/або від результатів поточної операції передбачено зміну порядку виконання різних процедур формування, обробки та аналізу зображень, повторення вже пройдених етапів, встановлення нових значень певних параметрів системи, проходження інших гілок виконання алгоритмів (при цьому всі умови переходів і вирішальні правила однозначно задаються ще до початку роботи СТЗ, алгоритми та параметри системи вибираються з заздалегідь фіксованого набору);

- адаптивні зі зворотним зв'язком між різними етапами процесу технічного зору, що дозволяє оперативно використовувати нову інформацію, що набувається в ході їх виконання: автоматично налаштовувати апаратну частину СТЗ, оптимізувати умови освітлення, положення відеосенсорів, цілеспрямовано модифікувати класифікуючі ознаки, гнучко перебудовувати алгоритми з метою максимального пристосування до особливостей конкретного завдання [12].

Чим більш високий рівень функціональної гнучкості потрібен від роботи з технічним зором, тим більш глибокий зворотний зв'язок необхідний між усіма основними операціями СТЗ.

Процедури формування, обробки, сегментації, опису та аналізу зображень доцільно будувати ітеративно так, щоб залежно від результатів даної фази відбувався або перехід до чергового етапу, або його пропуск, або повернення на якусь із попередніх стадій, причому з активним використанням отриманих знань і результатів поточних операцій для покращення процесу технічного зору.

При виборі структурної організації СТЗ робота (рис. 1) необхідно виходити з вимог технічного завдання, складу та призначення використовуваних функціональних блоків, порівняльних переваг та обмежень можливих варіантів їх реалізації. Зі структурної та функціональної схем має бути видно, які блоки реалізуються апаратними, які програмними, а які апаратно-програмними засобами. У схемі вказуються інформаційні та командно-логічні зв'язки між усіма функціональними блоками, а також їх взаємодія з допоміжними блоками СТЗ (наприклад, блоком контролю та діагностування, відеомонітором, пультом оператора) та з системою керування робота.

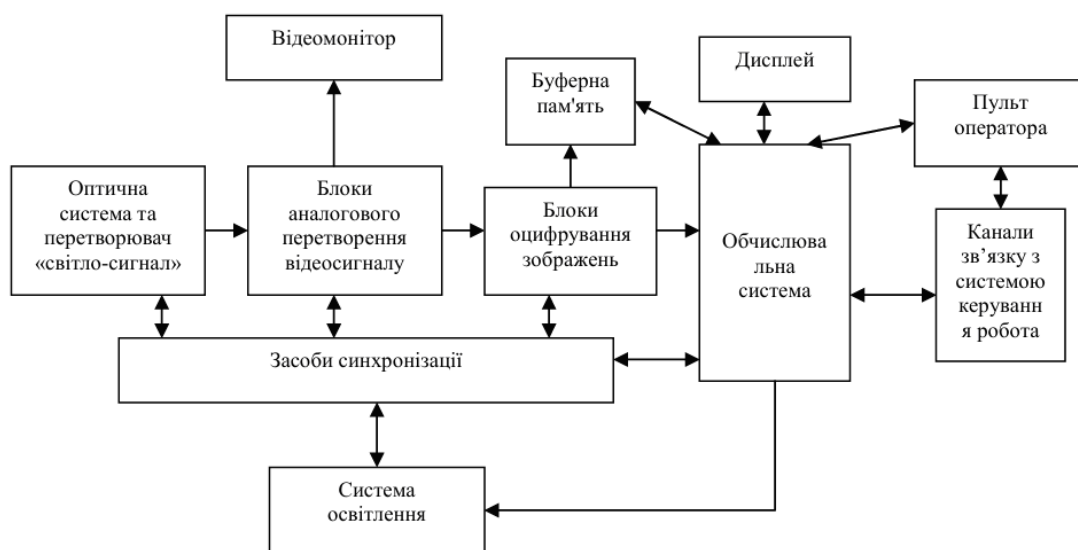


Рисунок 1 – Узагальнена структура СТЗ

На рисунку 1 показано загальну структуру, що відображає принцип побудови ряду СТЗ промислових роботів. Система містить освітлювальний пристрій; відеосенсор; схему аналогових перетворень сигналів; блок, що забезпечує оцифрування зображення (можливо, з проміжним зберіганням у буферній пам'яті); попередню цифрову обробку та стиснення відеоінформації; обчислювальний пристрій (включаючи спеціалізовані обчислювальні блоки, запам'ятовувальні пристрої, а також відповідне математичне забезпечення, що реалізує програмні функціональні модулі); блок зв'язку з людиною-оператором, системою керування робота, ЕОМ інших рівнів тощо.

Представлена на рисунку 1 схема є узагальненою. Можливі й інші структурні схеми СТЗ роботів, оскільки застосовувані в робототехніці СТЗ відрізняються широким розмаїттям.

**ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОДАТКА.** Веб-камера як джерело отримання зображень. Функціонування систем технічного зору в режимі реального часу накладає істотні обмеження на вибір апаратної платформи та програмного середовища. У промислових та дослідницьких системах технічного зору нерідко використовуються робочі станції під керуванням операційних систем реального часу, а також спеціалізовані обчислювальні модулі, орієнтовані на потокову обробку візуальних даних. Подібні рішення відрізняються високою продуктивністю та передбачуваністю відгуку, однак їхня вартість робить застосування в рамках даної роботи економічно недоцільним [1, 13].

У зв'язку з викладеним, як джерело первинної візуальної інформації використовується стандартна веб-камера, що виступає спрощеним, але достатнім за своїми характеристиками засобом захоплення зображень [1]. Бібліотека OpenCV (Open Source Computer Vision Library) являє собою великий набір реалізацій алгоритмів комп'ютерного зору, процедур цифрової обробки зображень та чисельних методів широкого профілю. Бібліотека написана мовами C та C++, поширюється з відкритим вихідним кодом і дозволяє вільне використання як в академічних, так і в комерційних проектах [13]. Проект Intel OpenCV за своїм задумом став однією з помітних спроб формування відкритого стандарту в області інструментарію для вирішення завдань машинного та технічного зору. Наявність оптимізованих під різні платформи реалізацій ключових алгоритмів зумовила широке застосування даної бібліотеки в дослідницьких та прикладних розробках.

**ВИСНОВКИ.** В роботі було проведено аналіз предметної області, зокрема досліджено принципи побудови систем адаптації промислових роботів, класифікацію та узагальнену структуру систем технічного зору. Встановлено, що для забезпечення гнучкості та автономності роботизованих комплексів у недетермінованому середовищі критично важливим є застосування методів цифрової обробки зображень та комп'ютерного зору. Практична частина роботи полягатиме у створенні програмного засобу для ідентифікації виробів у робочій зоні. Як апаратну базу було обрано стандартну веб-камеру, що дозволило змодельовати процес отримання первинної візуальної інформації без застосування дорогого промислового обладнання. Програмну реалізацію буде виконано з використанням бібліотеки OpenCV, яка надає широкий набір оптимізованих алгоритмів для обробки, фільтрації та аналізу зображень.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Martyshkin, Alexey I. "Motion planning algorithm for a mobile robot with a smart machine vision system." *Nexo Revista Científica* 33.02 (2020): 651-671.
2. Dudek, Gregory, and Michael Jenkin. *Computational principles of mobile robotics*. Cambridge university press, 2024.

3. Tawiah, Thomas Andzi-Quainoo. "A review of algorithms and techniques for image-based recognition and inference in mobile robotic systems." *International Journal of Advanced Robotic Systems* 17.6 (2020): 1729881420972278.

4. 15. Технічне та програмне забезпечення розробки малогабаритного мобільного робота: монографія / І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, Д.В. Гурін. Кривий Ріг: КФК ДНП «Державний університет «Київський авіаційний інститут», 2025. – 355 с.

5. ВЕАМ робототехніка [Електронний ресурс] : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків : Видавець Чернявський Д. О., 2024. 276 с.

6. Lyashenko, V., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2023). Automated Monitoring and Visualization System in Production. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 5(6), 9-18.

7. Yevsieiev V. Classification of Digital Twins in Collaborative Robot Modeling Problems / V. Yevsieiev, K. Luchaninov // *Computer-integrated technologies, automation and robotics 2026 : Proceedings of III st All-Ukrainian Conference, May 14-15, 2026. - Kharkiv .: [electronic version], 2026. - P. 93-96.*

8. Industry 5.0 та колаборативна робототехніка: динамічний опис навколишнього середовища роботів-маніпуляторів з використанням мови Python: монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2026. – 279 с.

9. Yevsieiev V. Development of a model for constructing the optimal trajectory of the gripping device of a collaborative robot-manipulator taking into account the influence of the cargo mass and energy consumption / V. Yevsieiev, D. Gurin // *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. – 2026. - № 107. – С. 224-240. - DOI: 10.32620/oikit.2026.107.15.*

10. Nevludov , I. ., Omarov , M. ., Yevsieiev , V. ., Maksymova , S. ., & Jabrayilzade , E. . (2026). MATHEMATICAL MODELING OF TRAJECTORIES CONSTRUCTION, MOVEMENT OF THE GRIPPING DEVICE OF A COLLABORATIVE ROBOT. *Advanced Information Systems*, 10(1), 11–20. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2026.1.02>

11. Yevsieiev V. Multi-Agent Collaborative Robots With Adaptive Sensor Fusion for Monitoring and Mitigation of Emergency Situations / V. Yevsieiev, N. Demska // *Інтелектуальні технології цивільної безпеки та робототехнічні системи аварійно-рятувальних робіт 2026 : матеріали I-ої Всеукраїнської конфер.12-13 лютого 2026 р. - Харків: [електронний друк], 2026. – С. 162-165.*

12. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Remote monitoring system of patient status in social IoT environments using amazon web services technologies and smart health care. *International Journal of Crowd Science*, 9(2), 110-125.

13. Невлюдов, І., Євсєєв, В., Максимова, С., & Артюх, Р. (2025). Математична модель адаптивного ієрархічного високорівневого керування триланкового колаборативного робота-маніпулятора. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*, (2 (32)), 58-68.

14. Yevsieiev, V., Gurin, D., Kulish, S., & Voloshyn, Y. (2025). Development of a partially supervised Markov decision-making model for a 3-link collaborative robot-manipulator. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2025(4), 83-94.

15. Yevsieiev V. Digital Twins of Collaborative Robotic Systems for Decision Support in Emergency Situations / V. Yevsieiev, S. Svetlana // *Intelligent Civil Safety Technologies and Robotic Systems for Emergency and Rescue Operations (ICSTRO-2026) : Proceedings of I-st All-Ukrainian Conference, February 12-23, 2026. – Kharkiv, 2026. - P. 153-156.*

**Науковий керівник:** Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри КІТАРБІ Харківського національного університету радіоелектроніки