

УДК 62.6 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ КРУГОВОГО ОГЛЯДУ

Хасанов Д. С.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: denys.khasanov@nure.ua

В роботі проведено розгляд перспективних технологій побудови систем технічного зору (СТЗ) кругового огляду, проведення теоретичних та експериментальних досліджень з метою визначення характерних особливостей розглянутих систем, пошуку можливостей усунення окремих недоліків та виявлення потенційних сфер застосування таких систем.

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

RESEARCH OF CIRCULAR VISION SYSTEMS

Khasanov Denys

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14

E-mail: denys.khasanov@nure.ua

The paper reviews promising technologies for building all-round vision systems (AVS), conducts theoretical and experimental research to determine the characteristic features of the systems under consideration, searches for opportunities to eliminate individual shortcomings, and identifies potential areas of application for such systems.

Keywords: AVS, camera, mobile robot.

Поряд із промисловими роботами, що функціонують за жорсткими програмами, у широку практику все більше і більше входять робототехнічні системи, що мають адаптивні здібності та елементи штучного інтелекту [1]. Адаптивні роботи, забезпечені різними засобами відчуття – сенсорними системами, і здатні гнучко перебудовувати свої дії відповідно до сприйнятої інформацією про робоче середовище, є одним з найважливіших компонентів гнучких виробничих систем (ГВС) [1], без них немислима роботизація непромислової сфери, проведення багатьох робіт у підготовці багатьох робіт.

При створенні адаптивних роботів дуже істотна роль серед можливих засобів відчуття відводиться системам технічного зору (СТЗ), що забезпечують сприйняття відеоінформації про навколишнє середовище, автоматичну обробку та аналіз зображень робочих сцен з метою формування команд управління роботом у процесі його роботи.

Роботи, забезпечені СТЗ, досить широко і успішно застосовуються в багатьох галузях промисловості на таких операціях, як контроль і відбраковування різних деталей і виробів за зовнішнім виглядом, завантаження обробних верстатів деталями з конвеєрів або з бункерів, сортування і орієнтоване укладання в касети деталей і заготовок, у тому числі неупорядковано навалом, збирання та комплектація вузлів, зварювання, фарбування, упаковка виробів, монтаж електронних схем, і т. д. [3]

СТЗ використовують також для забезпечення умов техніки безпеки на роботизованих робочих місцях, організації обліку та складування предметів виробництва, маршрутизації матеріалопотоків у гнучких виробничих системах, керування транспортними мобільними роботами. Роль адаптивних роботів з технічним зором з елементами мистецтва інтелекту ще більше зростає при розширенні процесу роботизації в таких областях, як гірничодобувна промисловість, будівництво, сільське та лісове господарство, комунальні служби, побут [1], де

робоче середовище носить складний, погано структурований характер, СТЗ простору, що використовується для гасіння пожеж та інших стихійних лих. У таких додатках СТЗ повинна забезпечувати як дані безпосереднього вироблення сигналів зворотний зв'язок під час управління рухами робота і передачу відомостей про довкілля людині-оператору, а й інформацію на формування роботом моделі робочого середовища з метою автоматичного планування дій [4].

У зовнішньому середовищі, що змінюється, інтелектуальний робот або людина-оператор повинен постійно контролювати весь навколишній робота простір. Для вирішення цього завдання застосовуються СТЗ кругового огляду. Донедавна обмеженість обчислювальних здібностей бортової ЕОМ робота, і навіть висока вартість компонентів технічного зору значною мірою гальмували розвиток таких систем. Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки пропонує широкі можливості з розробки СТЗ кругового огляду, що разом із затребуваністю подібних систем доводить актуальність теми роботи.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ КРУГОВОГО ОГЛЯДУ. Система технічного зору (СТЗ) складається з дзеркального конуса, ТВ-камери, персонального комп'ютера сімейства IBM PC, пристрою введення відеосигналу в ЕОМ та програмного забезпечення [2]. Замість ТВ-камери та пристрою введення відеосигналу в ЕОМ можна використовувати цифрові відеокамери, підключені до ЕОМ через стандартні інтерфейси: USB, FireWire.

Навколишнє середовище проектується дзеркальним конусом на ТВ-камеру, забезпечуючи на отриманому зображенні круговий огляд певної частини простору. За отриманим зображенням визначаються напрямки та відстані до об'єктів. Особливістю описуваної СТЗ є використання конічної проєкції світлового потоку навколишнього простору на ТВ-камеру. За допомогою конічного дзеркала навколишнє середовище проектується в об'єктив відеокамери.

Така СТЗ повинна:

- забезпечувати огляд до 360° ;
- використовувати, за винятком конічного дзеркала, серійне обладнання;
- бути відносно недорогою.

Подібні системи добре зарекомендували себе для вирішення задач з інформаційного забезпечення цілеспрямованих переміщень роботів в штучному середовищі. Дослідження цієї СТЗ проводилися на основі даних, отриманих в Інституті прикладної математики імені М. В. Келдиша [3]. Метою дослідження було визначення можливості використання системи як СТЗ кругового огляду для широкого кола задач, що вирішуються в робототехніці.

Алгоритмічне забезпечення розглянутої СТЗ опишемо на прикладі розв'язання задачі обходу рухомим роботом (РР) кількох маяків, що горять одночасно або включаються по черзі [4].

Апаратна частина СТЗ (рисунок 1):

- ТВ-камера з об'єктивом 18° ;
- блок живлення;
- дзеркальний конус 90° , закріплений над ТВ-камерою;
- пристрій введення відеосигналу в ЕОМ;
- ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням.

Конус і камера встановлені зверху мобільного робота так, щоб площина основи конуса була горизонтальною і розташовувалася нижче маяків на фіксовану відстань. Камера розміщена точно на осі конуса на відомій відстані від нього. З метою усунення відблисків від освітлювальних приладів над конусом встановлена горизонтальна пластина-відбивач, а об'єктив камери закритий блендою.

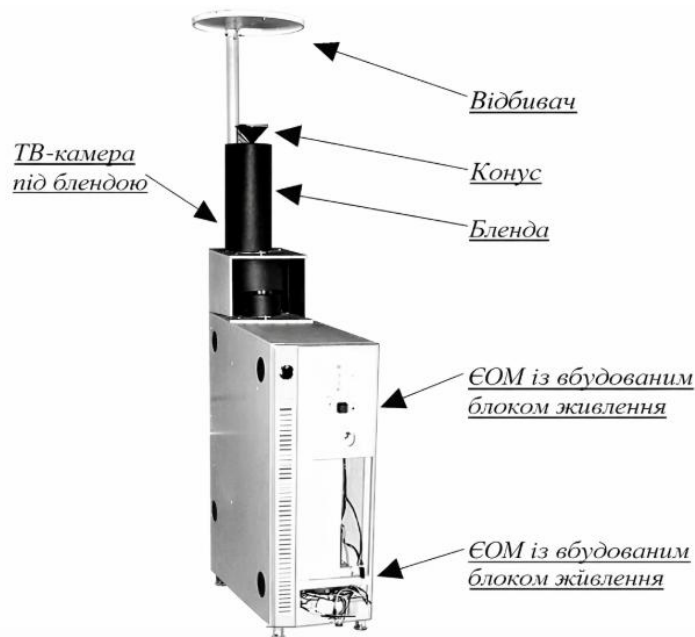


Рисунок 1 – Комплектація СТЗ

Важливим етапом при розробці програмного забезпечення для СТЗ є вибір системи координат, оскільки цей вибір може значною мірою вплинути на складність обчислень. У описуваній системі використовуються такі системи координат [5]:

1. Абсолютна права система координат $OXYZ$. Точка O розташована в центрі полігону на поверхні підлоги. Осі координат OX та OY знаходяться в площині полігону і спрямовані вздовж його країв. Вісь OZ орієнтована ортогонально до поверхні полігону. У цій системі задані відстані між маяками та висота їхнього підвісу.

2. Полярна система координат, пов'язана з основою конуса O^1R^1 (рис. 2). Точка O^1 розташована на осі конуса в площині його основи. O^1R^1 . R_1 , R_2 – відстані до маяків $\square 1$, $\square 2$ кути до маяків. Кут \square відраховується від променя O^1X проти годинникової стрілки (вид зверху). Корпус робота, на якому випробовувався КС, має форму рівностороннього трикутника. При встановленні КС на роботі вісь конуса проходила через центр цього трикутника. Одна з вершин виділялась як напрямна для визначення орієнтації корпусу робота. Вісь O^1X була спрямована на цю вершину.

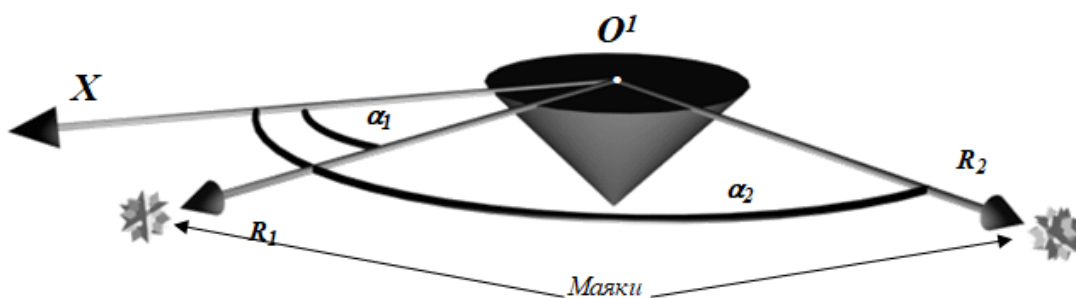


Рисунок 2 – Полярна система координат, пов'язана з конусом.

3. Права прямокутна система координат зображення $O^2X^2Y^2$. Точка O^2 розташована в точці перетину осі конуса та площини зображення. Вісь O^2X^2 – спрямована зліва направо вздовж рядків зображення, вісь O^2Y^2 – знизу вгору вздовж стовпців зображення (рис. 3).

4. Полярна система координат O^2x , пов'язана із зображенням. Вісь O^2x збігається з віссю O^2X^2 . Кут φ відраховується від осі O^2x проти годинникової стрілки (рисунок 3).

Система координат $OXYZ$ використовується планувальником руху для вимірювання відстаней між маяками та висоти їхнього підвісу. Безпосередньо для навігації робота застосовується система координат O^1R .

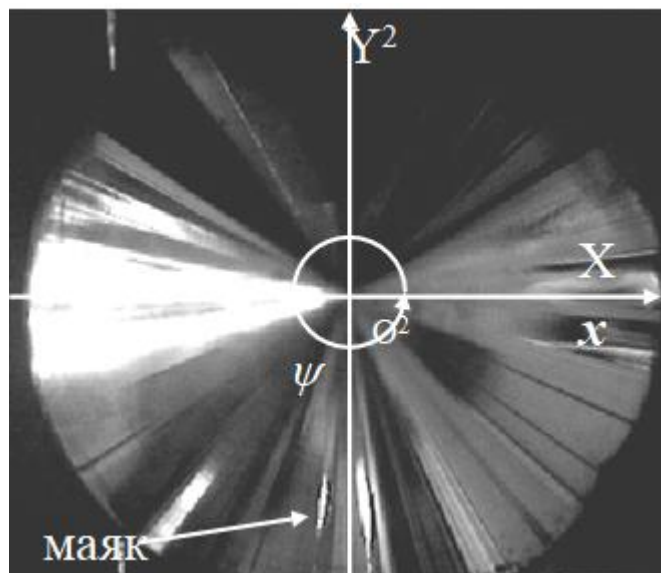


Рисунок 3 – Прямокутна $O^2X^2Y^2$ та полярна O^2x^psi системи координат, пов'язані із зображенням

Визначення напрямків і відстаней до об'єкта здійснюється на основі аналізу розташування образів об'єкта на зображенні. Вихідні дані формуються в системі координат O^1R .

Оскільки образ об'єкта складається з множини точок [6], в якості радіус-вектора (x, ψ) образу об'єкта приймається центр тяжіння цієї множини.

За кутом при вершині конуса, радіусом основи конуса a , відстанню b від вершини конуса до оптичного центру об'єктива ТВ-камери, висотою підвісу об'єктів δH над площиною основи конуса та x – відстанню від осі конуса до образу об'єкта, обчислюється відстань R до об'єкта (рисунок 4).

У розглядуваній СТЗ використовується конус з кутом при вершині 90° , що суттєво спрощує зв'язок між відстанями до об'єкта R та до його образу x , бчислення проводяться за (1):

$$R = \frac{b \cdot (a + \delta H)}{r} + a + \delta H - b \quad r = \frac{b \cdot x}{f - x} \quad (1)$$

де R – відстань до об'єкта;

x – відстань від осі конуса до зображення об'єкта;

a – радіус основи конуса;

b – відстань від вершини конуса до точки фокусування;

r – радіус точки відображення (від осі конуса);

f – відстань від оптичного центру об'єктива ТВ-камери до площини зображення;

δH – висота об'єкта над площиною основи конуса.

Параметр x визначається в пікселях, а потім переводиться в метричну систему за формулою: $x_{метр} = \beta * x_{пкс}$. Параметр β обчислюється виходячи з відомих розмірів конуса в метричній системі та в пікселях на зображенні.

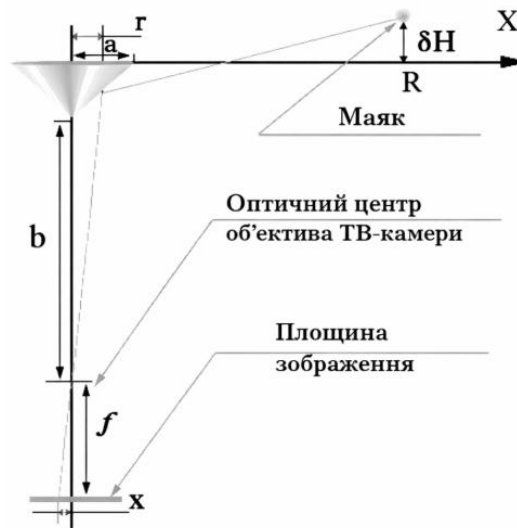


Рисунок 4 – Схема визначення відстані до об'єкта

Діапазон відстаней, на яких може функціонувати розглядувана СТЗ, визначається межами поля зору, що задаються геометричними характеристиками СТЗ та відстанню від основи конуса до площини підвісу об'єкта. Кути α і ψ відраховуються в паралельних площинах. Тому при формуванні вихідних даних розрахунок кута ψ зводиться до додавання певної константи до кута α .

Кутова роздільна здатність $\delta\psi$ розглядуваної СТЗ залежить від центру розташування образу об'єкта за радіусом та від числа точок, що утворюють дискретне коло цього радіуса (рисунок 6).

Наприклад, коло радіусом 3 пікселі утворюють 16 точок, що відповідає роздільній здатності $\delta\psi = 22,5^\circ$. Коло радіусом 20 пікселів утворюють 112 точок, і роздільна здатність складає $\delta\psi = 3,2^\circ$. Для кола максимального радіуса 125 пікселів із 704 пікселів кутова роздільна здатність $\delta\psi$ становить $0,51^\circ$ на 1 піксель (рисунок 5).

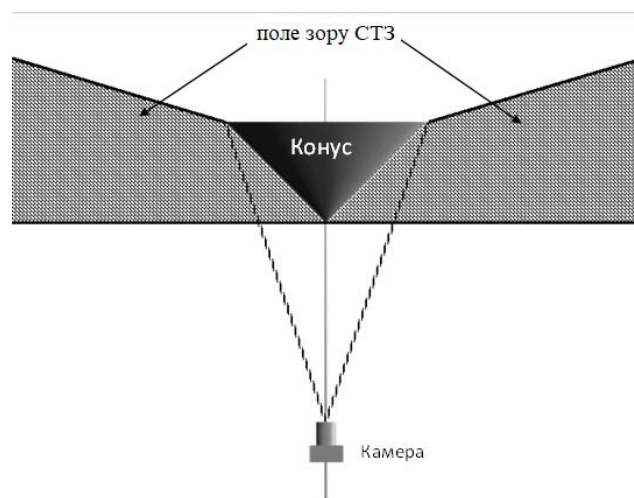


Рисунок 5 – Поле зору СТЗ

Нерівномірність роздільної здатності оптичної системи є основним недоліком цієї СТЗ, значущість якого зростає зі збільшенням кількості вимог до системи щодо визначення об'єктів навколишнього середовища.

Оскільки при зменшенні відстані до маяка відбувається збільшення відстані від проекції осі конуса на зображенні до образу маяка (рис. 5 і 6), при наближенні до маяка кутова роздільна здатність СТЗ зростає, і точність визначення напрямку на маяк підвищується.

Крім того, досяжна точність визначення напрямку на маяк вища за кутову роздільну здатність СТЗ. Це пов'язано з тим, що образ маяка являє собою множину точок, і при обчисленні напрямку на маяк визначається центр тяжіння цієї множини. Точність визначення координат центру тяжіння об'єкта на зображенні обернено пропорційна квадратному кореню характерних розмірів об'єкта по координатних осях.

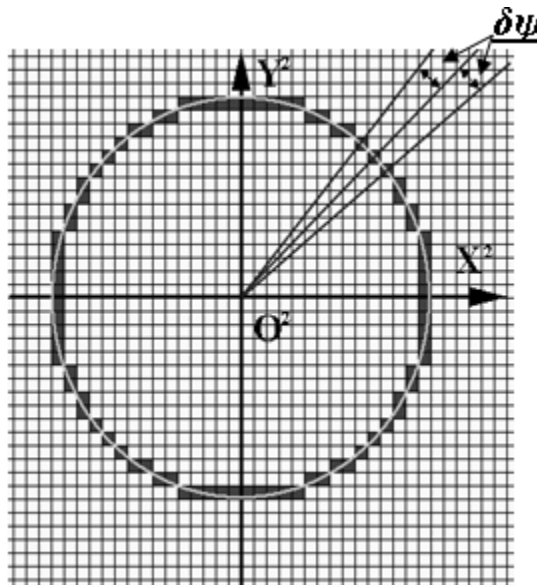


Рисунок 6 – Зображення дискретного кола радіуса 15 пікселів

Для образу маяка (еліпс площею від кількох десятків до сотні пікселів) у всьому діапазоні розглядуваних дальностей ця точність становить частки пікселя. Найбільший інтерес при організації проходу в ворота представляє точність визначення напрямку а найменшій відстані до маяка. Для умов вищеописаного полігону та компоновки конічної СТЗ ця точність склала $0,25^\circ$ на 1 піксель на відстані 1,2 м.

Точність визначення відстані до маяка. Як видно з формул, зв'язок між відстанню x образу маяка від осі конуса та відстанню до маяка R від осі конуса має гіперболічний характер. Таким чином, підбираючи параметри СТЗ, можна варіювати діапазон відстаней та точність вимірювань.

Якщо в умовах полігону яскравість образу маяка не сильно залежить від відстані ПР до маяка, можна забезпечити високу точність вимірювань на малих відстанях. Але при цьому точність на великих відстанях буде низькою. Або навпаки – можна забезпечити прийнятну точність у великому інтервалі відстаней, проте точність на малих дистанціях буде гіршою.

Для досліджуваної СТЗ при $\delta H = 6$ см зміна відстані x до образу маяка з 20 до 21 пікселя відповідає зменшенню відстані R до маяка на 40 см (рисунок 6). Тобто у першому наближенні (без урахування розмірів образу маяка) точність визначення дальності до маяка становить 40 см на піксель. Оскільки образ маяка має значну протяжність по радіусу, дисперсія при обчисленні положення центру тяжіння образу більша, ніж при обчисленні центру тяжіння по

куту. З урахуванням визначення положення центру тяжіння образу маяка в радіальному напрямку з точністю 0,5 пікселя точність вимірювань дальності підвищується до 20 см. При зміні x зі 115 до 116 пікселів, що відповідає відстані 1,2 м, оцінка першого наближення точності визначення відстані складає 12 см, що відповідає точності 10%.

Як зазначалося раніше, кутова точність на такій відстані перевищує 0,1%. У результаті проведених експериментів, при додатковому налаштуванні СТЗ і переміщенні маяків у 20° кутовому діапазоні на відстані до маяка 1,2 м у статичних експериментах була досягнута точність вимірювань 10 см. Для досягнення такої точності при переміщенні маяків у більшому кутовому діапазоні потрібне більш точне налаштування СТЗ із використанням допоміжного обладнання.

У результаті експериментів було встановлено, що кутове відхилення осі камери відносно осі конуса суттєво не впливає на зображення, яке формує конічне дзеркало. Зокрема, лише при відхиленні понад 5° стає помітною відмінність зображення краю конуса від кола. Плоскопаралельні зміщення конуса відносно камери в межах, допустимих системою налаштування сенсора, також не призводять до помітних спотворень. Таким чином, зроблено висновок про відсутність суттєвого впливу зазначених змін на визначення кута до маяка в даній реалізації сенсора.

Однак, як показали експерименти, плоскопаралельні переміщення камери відносно конуса паралельно площині його основи суттєво впливають на точність визначення як відстані до маяка, так і розмірів області поля зору СТЗ. Неправильне встановлення конуса відносно камери може призвести до похибки вимірювання відстані до 200% на дистанції 2 м. Коректність позиціонування конуса відносно камери перевірялася шляхом багаторазових вимірювань відстані до рівновіддалених маяків за допомогою сенсора з подальшим визначенням необхідного зміщення камери та конуса.

Роботи в цьому напрямі також активно проводяться за кордоном. Зокрема, група вчених під керівництвом Гіеон-Іл Квеона (Gyeong-il Kweon) з університету Хонама (Honam University, Південна Корея) розробила ширококутну лінзу, яка майже не спричиняє спотворень і водночас є відносно недорогою у виробництві.

Пристрій корейських дослідників являє собою скляний купол, усередині якого розташоване V-подібне дзеркало. Світло проникає через купол, після чого відбивається від цього дзеркала. Далі відбиті промені спрямовуються до лінзи, встановленої у верхній частині купола. Вона збирає промені та формує чітке зображення, яке передається на малогабаритну камеру.

Ця розробка дозволяє охоплювати простір під кутом 151°, однак, за словами Квеона, за невеликого ускладнення конструкції це значення можна збільшити до 160°. Рівень дисторсії – викривлення зображення – не перевищує 1%.

Хоча стаття про винахід лише нещодавно з'явилася в журналі «Прикладна оптика» (Applied Optics) [7], ця лінза вже серійно виробляється та продається корейською компанією Nanophotonics. Вартість такої лінзи становить 105 доларів США.

У результаті проведеного аналізу системи можна виділити такі характеристики.

Переваги: постійний круговий огляд; відсутність рухомих частин; використання однієї камери..

Недоліки: необхідність складної попередньої обробки зображення; високі вимоги до якості дзеркальної поверхні, відсутності дефектів і забруднень; нерівномірна роздільна здатність по площі зображення (у напрямку до центра конуса вона знижується до критичних значень); відсутність можливості корекції різкості зображення (наприклад, неможливо використовувати додаткову оптику); наявність «мертвих зон» у верхній та нижній площинах (можлива подальша доопрацювання).

Таким чином, подібну систему технічного зору доцільно застосовувати в системах, де необхідно визначати відстань і напрямок до обмеженої кількості типів об'єктів, наприклад під час навігації за маяками або при вирішенні транспортних задач в умовах складських приміщень.

Із усіх систем, що забезпечують круговий огляд, у робототехніці найбільшого поширення набули системи технічного зору із системами орієнтації (СО). СО можуть мати один або два ступені свободи (рисунок 7). Системи з одним ступенем свободи забезпечують панорамування, однак у верхній та нижній частинах поля огляду залишаються «сліпі зони». СО з двома ступенями свободи позбавлені цих недоліків, тому застосовуються значно частіше.

Системи технічного зору з панорамуванням і нахилом широко застосовуються в системах зовнішнього та внутрішнього відеоспостереження. Розроблено велику кількість таких пристроїв у корпусах із різним рівнем захисту та вантажопідйомністю. Деякі з них можуть використовуватися без суттєвих змін у робототехніці. Зокрема, для розроблюваного в студентському конструкторському бюро робота-дослідника може бути застосована система PS20 компанії Pelco, характеристики якої наведені в додатку А. Даний пристрій забезпечує клас захисту IP66.

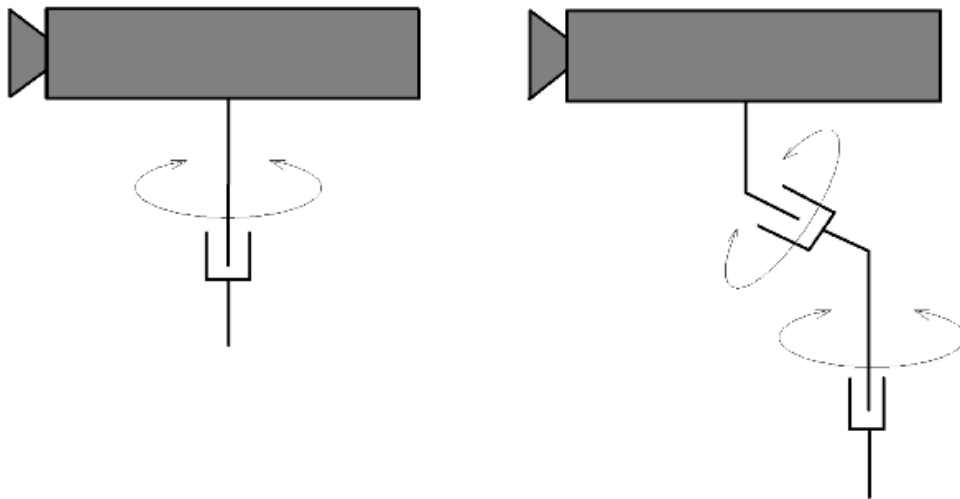


Рисунок 7 – Кінематичні схеми систем технічного зору з системами орієнтації (панорамування).

Подібні системи технічного зору для формування зображення навколишнього простору потребують певного часу, тривалість якого визначається швидкістю механізму панорамування. Ця часова затримка є основним недоліком таких систем кругового огляду. Найменше значення затримки досягається при рівномірному обертанні системи панорамування з постійною швидкістю.

До переваг можна віднести можливість використання оптики для корекції зображення, довільну орієнтацію камери для отримання зображення необхідної області, а також відсутність «сліпих зон».

Системи технічного зору з панорамуванням і нахилом можуть застосовуватися в робототехнічних комплексах, де допускається затримка отримання інформації про навколишній простір у кілька секунд. Наприклад, це можуть бути роботи-дослідники, завданням яких є періодичний огляд середовища, роботи-першопрохідці для дослідження інших планет, а також усі системи, в яких круговий огляд здійснюється за запитом.

На думку професора Люка Лі (Luke Lee) з Каліфорнійського університету в Берклі (University of California, Berkeley), який протягом багатьох років займається створенням технічних систем, натхнених природними «патентами», зокрема незвичайними зоровими системами, перспективним для багатьох сфер застосування є наслідування рідкісних типів зорових структур [5]. Так, нещодавно він та його колеги створили штучний оматидій (фасетку) — елементарну світлоприймальну комірку складного ока бабок та багатьох інших комах (рисунок 8).

Оматидії передають свої сигнали до мозку одночасно, що дозволяє кохам ефективно та швидко виявляти рух і здійснювати розпізнавання зображень.

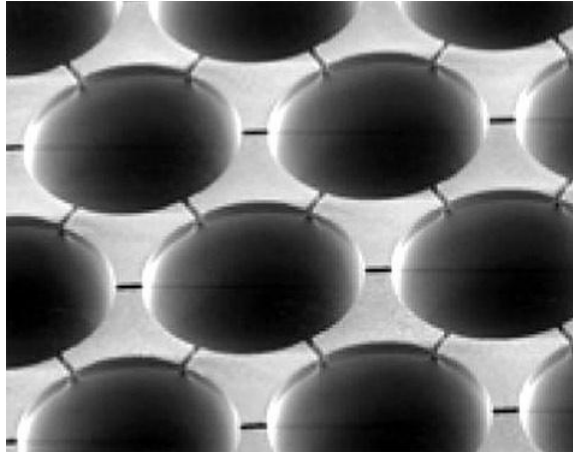


Рисунок 8 – Ґратка синтетичних м'яких лінз, що імітує систему зору комах

Штучний аналог фасетки містить мініатюрну лінзу, з'єднану з хвилеводом, який спрямовує світло донизу на оптико-електронний пристрій. Сукупність таких фасеток може бути розміщена на куполі (рисунок 9), що дозволяє приладу практично одночасно бачити майже у всіх напрямках.

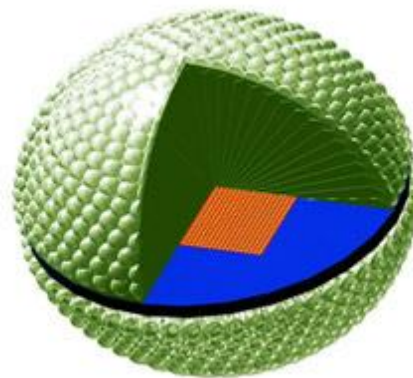


Рисунок 9 – Система, що сприймає повне сферичне поле зору

Поєднання двох таких систем «спина до спини» гіпотетично забезпечує повне сферичне поле зору: 360° по горизонталі та 360° по вертикалі [8].

Дослідники також вивчають оптичні властивості тварин, у яких раніше навіть не припускали наявність зору. Так, кілька років тому вчені виявили, що один із видів морських зірок (brittle star) «оснащений» спеціальними кристалами кальциту (рис. 10) по всьому тілу, які

виконують роль незвичайних світлоприймачів і формують систему, подібну до складного ока комах.

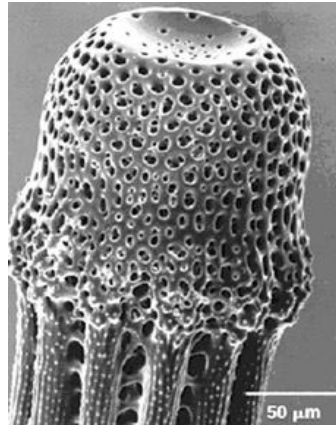


Рисунок 10 – «Оптичний кристал морської зірки»

У конструкції оптичних систем [8] використовуються не тверді напівпровідники, метал і скло, а гнучкі полімери, рідини та подібні матеріали, наслідуючи природні принципи. Такий підхід дає змогу покращити різні характеристики оптико-електронних систем формування зображень і навіть надати їм нові властивості.

ВИСНОВКИ. Було досліджено систему технічного зору на основі дзеркального конуса, яка забезпечує повний огляд навколишнього середовища (360°) без використання рухомих частин. Встановлено, що така система є відносно простою та недорогою у реалізації, однак має ряд недоліків, зокрема нерівномірну роздільну здатність зображення та складність обробки отриманих даних.

Також було проаналізовано системи технічного зору з механізмами орієнтації (панорамування та нахилу). Визначено, що вони дозволяють отримувати більш якісне та гнучке зображення, проте мають затримку у формуванні повної картини навколишнього середовища через наявність рухомих елементів.

Окрему увагу приділено перспективним напрямкам розвитку систем технічного зору, зокрема біонічним підходам, що базуються на принципах зору комах. Такі системи можуть забезпечити майже миттєвий огляд у всіх напрямках та мають великий потенціал для застосування у робототехніці.

У результаті роботи було встановлено, що вибір конкретної системи технічного зору залежить від умов експлуатації та поставлених задач. Для задач навігації в обмеженому середовищі доцільно використовувати системи на основі дзеркального конуса, тоді як для більш складних умов — системи з орієнтацією або комбіновані рішення.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Shi H., Li J., Li Z. A distributed strategy for cooperative autonomous robots using pedestrian behavior for multi-target search in the unknown environment //Sensors. 2020. Т. 20. №. 6. С. 1606.
2. Pandey, Krishna Kant, and Dayal R. Parhi. "Trajectory planning and the target search by the mobile robot in an environment using a behavior-based neural network approach." Robotica 38.9 (2020): 1627-1641.
3. Bian, Hongwei, et al. "Navigation coordinate system." Essentials of Navigation: A Guide for Marine Navigation. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. 19-50.

4. Amit, Yali, Pedro Felzenszwalb, and Ross Girshick. "Object detection." Computer vision: A reference guide. Cham: Springer International Publishing, 2021. 875-883.
5. Al-Hamdani, Ali H., et al. "Solar energy collector utilizing micro-lens array technology coupled with V-shaped mirror prisms as a light guide interface." Journal of Optics (2024): 1-6.
6. Zare, Maryam, et al. "A survey of imitation learning: Algorithms, recent developments, and challenges." IEEE Transactions on Cybernetics 54.12 (2024): 7173-7186.
7. Young, Sarah, et al. "Visual imitation made easy." Conference on Robot learning. PMLR, 2021.
8. 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. –355с.
9. Nevliudov, 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.
10. Yevsieiev V. Digital Twin in Modeling and Control of Collaborative Robots: Analysis, Comparison and Application Recommendations / V. Yevsieiev, S. Starikova // Computer-integrated technologies, automation and robotics 2026 : Proceedings of III st All-Ukrainian Conference, May 14-15, 2026. - Kharkiv .: [electronic version], 2026. - P. 89-92.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gopejenko, V., & Kosenko, V. (2025). Development of mathematical support for adaptive control for the intelligent gripper of the collaborative robot manipulator. Advanced Information Systems, 9(3), 57-65.
15. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. Computational intelligence and neuroscience, 2022(1), 3046116.
16. 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.
17. Yevsieiev V. Intelligent Collaborative Control of Mobile Robots for Emergency and Rescue Operations Within the Industry 5.0 Paradigm / V. Yevsieiev // Yevsieiev V. Intelligent Collaborative Control of Mobile Robots for Emergency and Rescue Operations Within the Industry 5.0 Paradigm / V. Yevsieiev // 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. 144-147.

Науковий керівник: *Фролов Андрій Віталійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри КІТАРБІ Харківського національного університету радіоелектроніки*