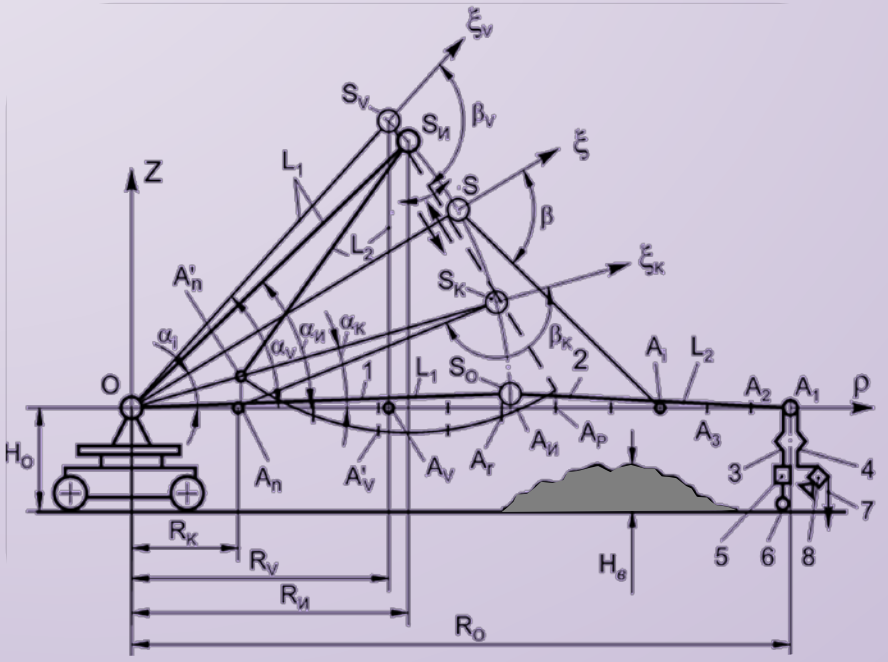
Innovations for Humanitarian Demining

МОДУЛЬНИЙ МАНІПУЛЯТОР З ВІДДАЛЕНОЮ ЗОНОЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ



Проєкт презентує
Василь Струтинський

Ідея проєкту

Розширення функціональних можливостей наземних робототехнічних комплексів для автономної або сумісної із БПЛА роботи в складі систем «бджолиного рою» для додаткового наземного дообстеження важкодоступних ділянок можливого місцерозміщення небезпечних об’єктів, зокрема мін та боєприпасів.

Удосконалення технології пошуку та ідентифікації небезпечних об’єктів шляхом:

- покращення інформативності результатів обстеження місцевості за рахунок дообстеження віддалених важкодоступних ділянок;
- розширення можливостей обстеження місцевості за допомогою оптичних, акустичних, тактильних та інших фізичних методів сканування місцевості;
- покращення умов ідентифікації небезпечних об’єктів на місцевості за рахунок підвищення їх доступності до обстеження (очищення, видалення сторонніх предметів) із застосуванням багатокоординатних механізмів паралельної структури;

Ідея проєкту

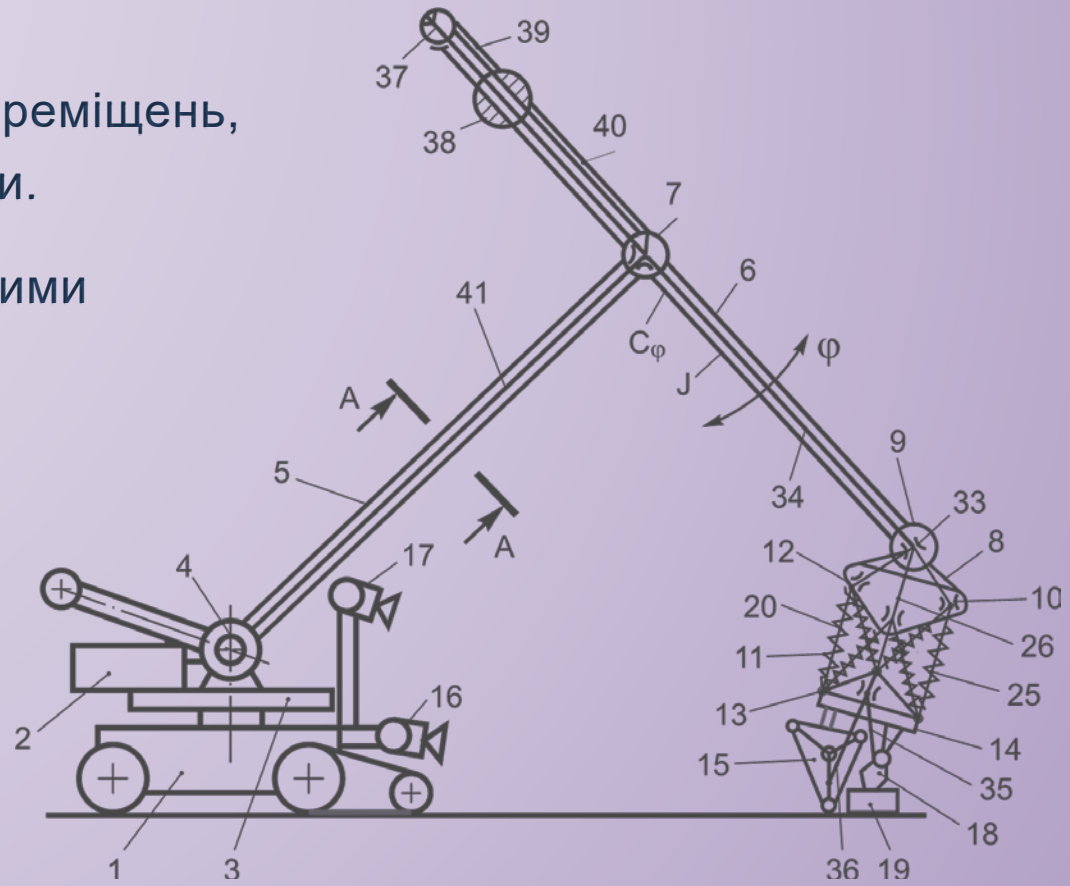
Основні конструктивні рішення

Розміщення потужних приводів важелів і схватів маніпулятора на шасі наземних роботизованих комплексів із формуванням каналів передачі потужності до вузлів маніпуляторів у вигляді механічних трансмісій на базі мінітросових систем

Система приводів містить приводи швидких та точних переміщень, з’єднаних мінітросовими диференціальними механізмами.

Важільні системи маніпулятора з’єднуються універсальними шарнірними модулями.

Точність роботи маніпулятора забезпечується спеціальними механізмами фіксації та гальмування рухомих ланок й механізмами врівноваження важелів та захватних пристроїв, реалізованих у вигляді гіроскопічних систем динамічної стабілізації.

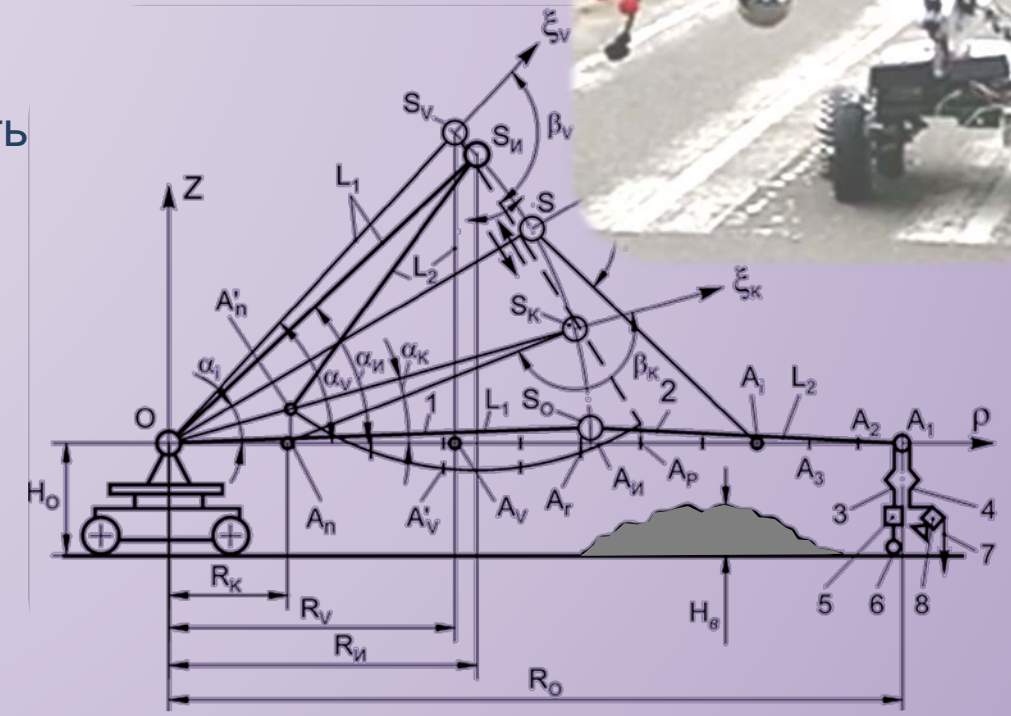


Опис проблеми або можливості

Споживацький сегмент

- Маніпулятор може бути встановлений на шасі роботизованого комплекса і застосований для дообстеження місцевості та є особливо затребуваним на територіях із значними перешкодами для обстеження (рельєф, рослинність, забрудненість)

- Для потенційних споживачів актуальною є можливість розширення функціональних можливостей робототехнічних комплексів шляхом встановлення на діючій роботизованій платформі швидкозмінного маніпулятора модульної конструкції, що дозволяє збільшити робочу зону обслуговування для пошуку та ідентифікації небезпечних об’єктів



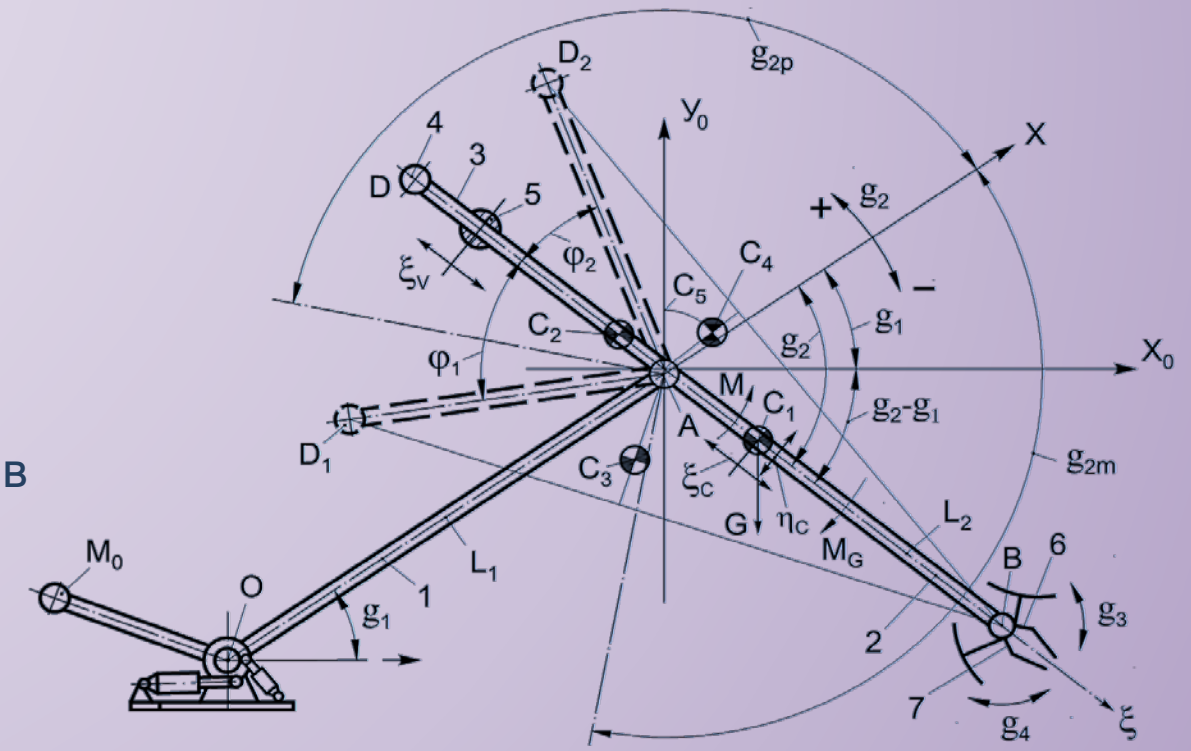
Опис проблеми або можливості

Переваги рішення

- збільшений робочий простір маніпулятора роботизованого комплекса
- розширені можливості автоматизованої ідентифікації об’єктів
- низька собівартість модернізації
- висока енергоефективність та продуктивність

Варіанти реалізації

- модернізація існуючих роботизованих комплексів
- створення роботизованих комплексів із віддаленою зоною обслуговування



Опис проблеми або можливості

Поточна ситуація

- Технологія є результатом багатолітнього досвіду роботи команди проекту по розробці наземних роботизованих комплексів
- Отримано ряд патентів України на ключові технології, що лежать в основі надлегких маніпуляторів
- Розроблено демонстраційний зразок маніпулятора з віддаленою зоною обслуговування з шпренгельною конструкцією важелів і механічними трансмісіями на базі мінітросових систем
- Лабораторне дослідження демонстраційного зразка виявило ряд можливостей покращення експлуатаційних властивостей маніпуляторів із віддаленою зоною обслуговування на етапах виготовлення, модернізації, рекомбінації та обслуговування
- Наступним кроком є створення демонстраційного зразка надлегкого маніпулятора модульної конструкції, що дозволить перейти до пошуку попередніх замовлень на модернізацію роботизованих комплексів

Рішення та бізнес - модель

- Продаж ліцензії на виготовлення та продаж маніпулятора
- Технічний супровід
- Технологія обстеження із цифровізацією аналогових інформаційних функцій, виміряних системами маніпулятора та спеціальними алгоритмами пошуку та ідентифікації небезпечних об’єктів

Ринок

Запропоноване рішення забезпечує:

- робота на місцевості із значними перешкодами для обстеження (рельєф, рослинність, забрудненість);
- розширення можливостей обстеження місцевості за допомогою оптичних, акустичних, тактильних та інших фізичних методів сканування місцевості;
- покращення умов ідентифікації небезпечних об’єктів на місцевості за рахунок підвищення їх доступності до обстеження (очищення, видалення сторонніх предметів)

Конкуренти

Основними конкурентами маніпулятора є традиційні конструкції маніпуляторів роботизованих комплексів, що мають менший робочий простір та обмежені можливості обстеження важкодоступних місць

Для успішного просування на ринку планується:

- створення демонстраційного зразка маніпулятора,
- виконання випробувань у польових умовах,
- проведення рекламної кампанії по висвітленню переваг обладнання та його сильних сторін

Фінансові показники

Фінансові показники

- Очікувана ринкова вартість модернізації роботизовного комплексу – 25% від вартості нового обладнання
- Собівартість модернізації – 15% від вартості нового обладнання

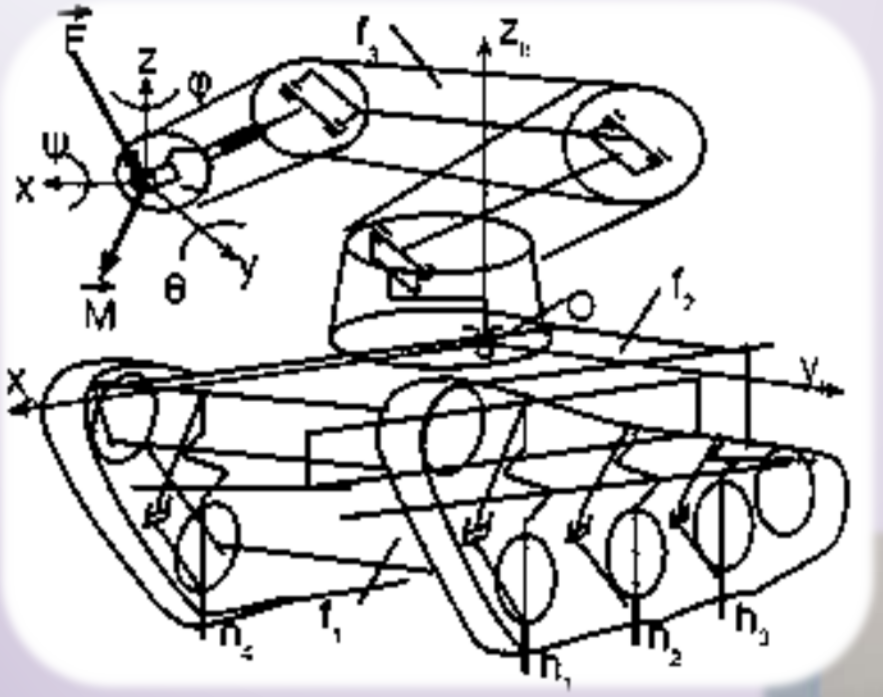
Потреба в інвестиціях

- Створення демонстраційного зразка маніпулятора із віддаленою зоною обслуговування - від $10.000
- Створення діючого виробництва по модернізації роботизованих комплексів – від $100.000

Поточна ситуація

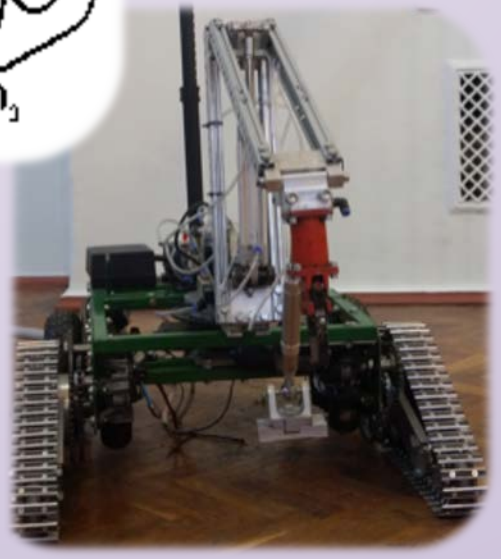
Розроблено та протестовано вузли прототипу

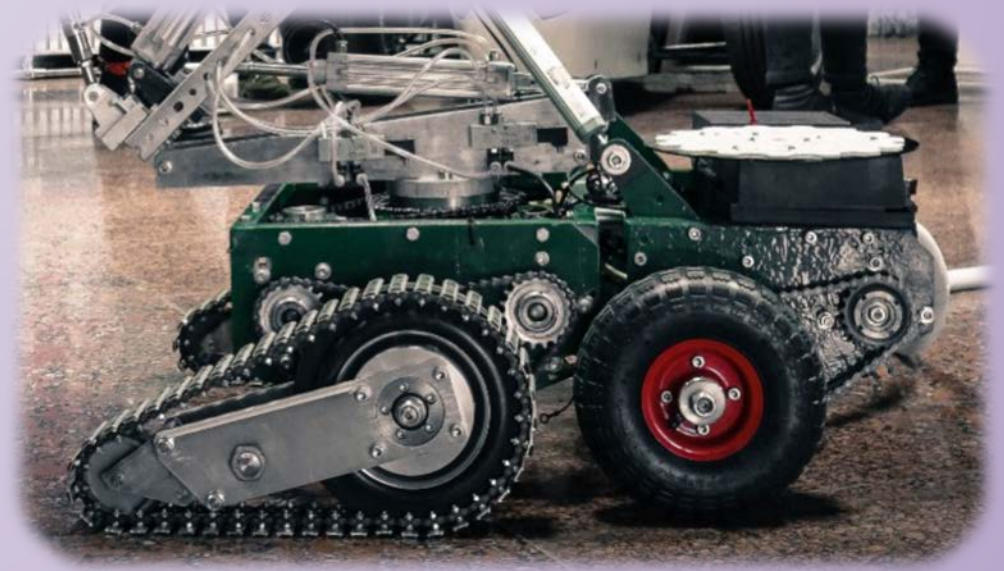
Модулі важелів



Роботизований механізм оснащено маніпулятором з віддаленою зоною обслуговування (4-8 м).

Приводи маніпуляторів зосереджені на шасі роботизованого механізму, а передача потужності до елементів маніпуляторів здійснюється механічними трансмісіями на основі надміцних кевларових мінітросових систем малого діаметру.





Поточна ситуація

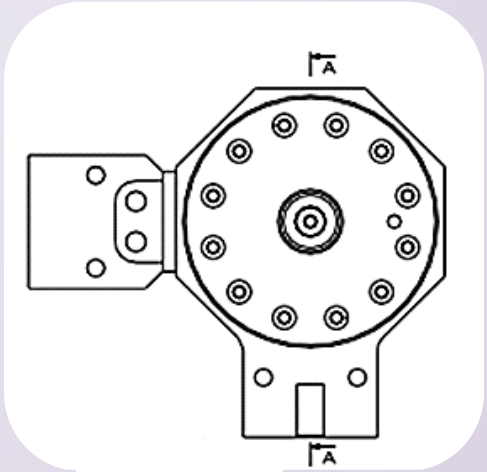
Розроблено та протестовано вузли прототипу

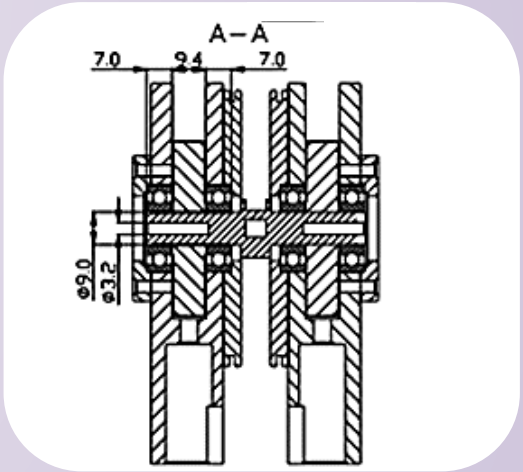
Модулі важелів

Шпренгельна та сотова конструкції

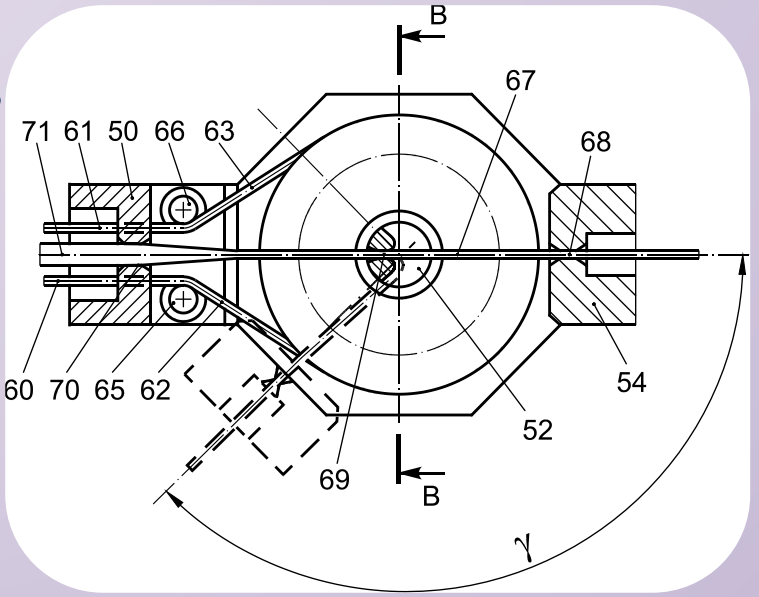
Модулі маніпуляторів

Шарнірні вузли

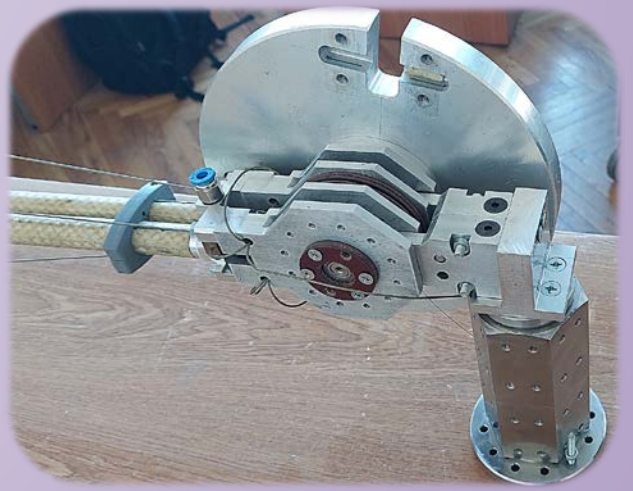




Тросові приводи повороту важелів та трансмісії



З’єднання важелів

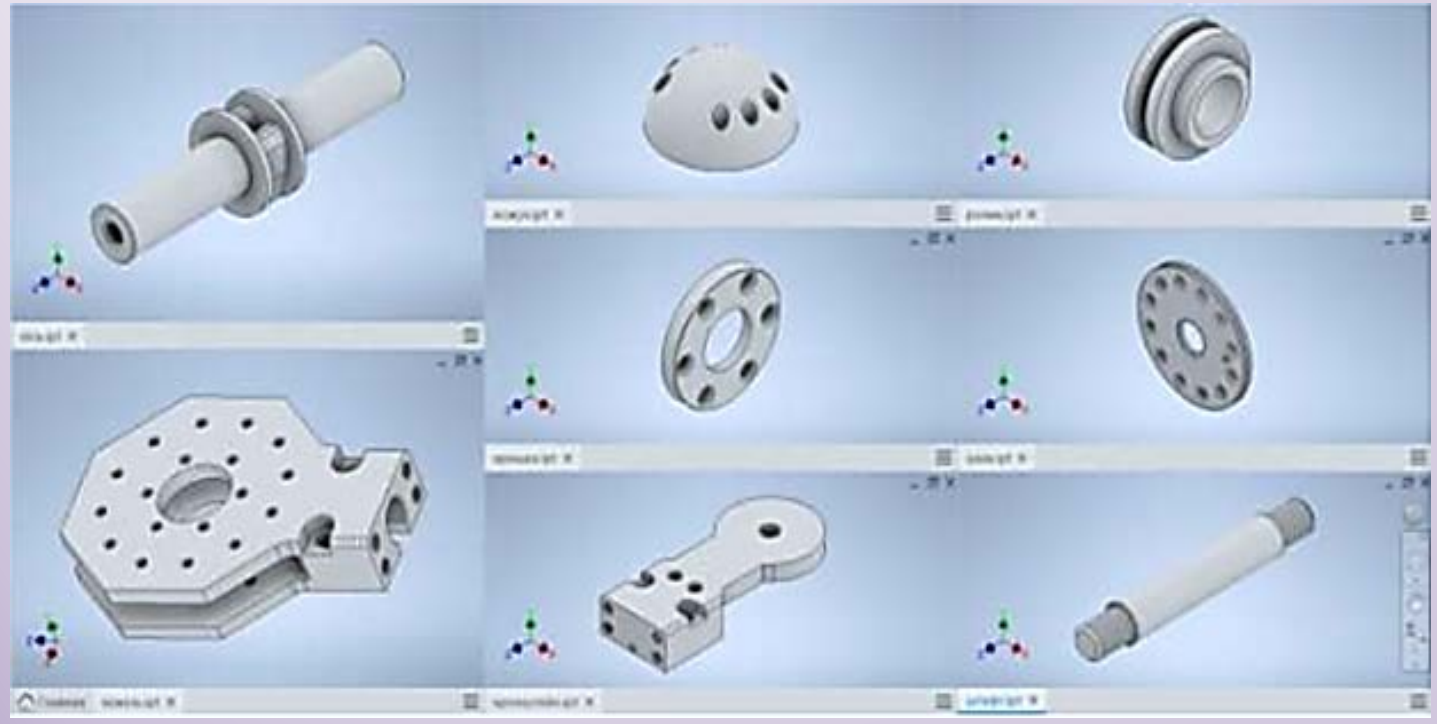


Поточна ситуація

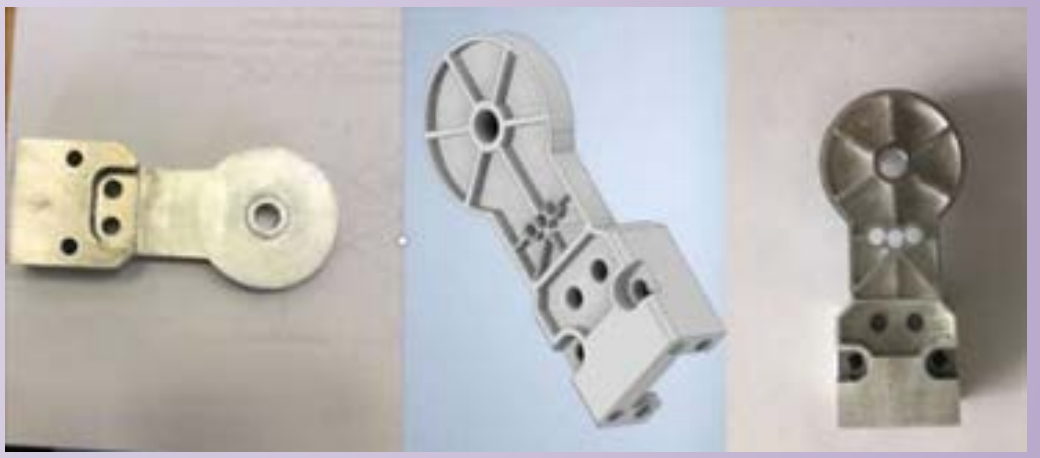
Особливості конструкції шарніра

Розроблено та протестовано вузли прототипу

Деталі шарнірних вузлів

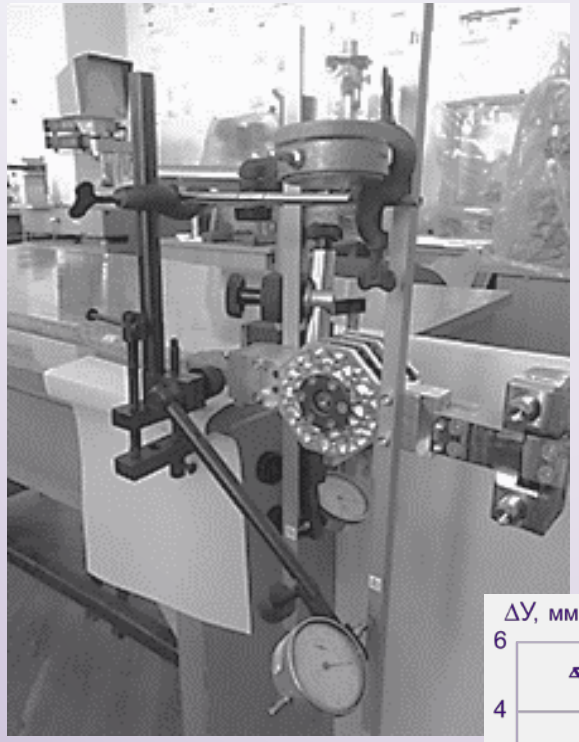


Мінімізація маси деталей шарнірів

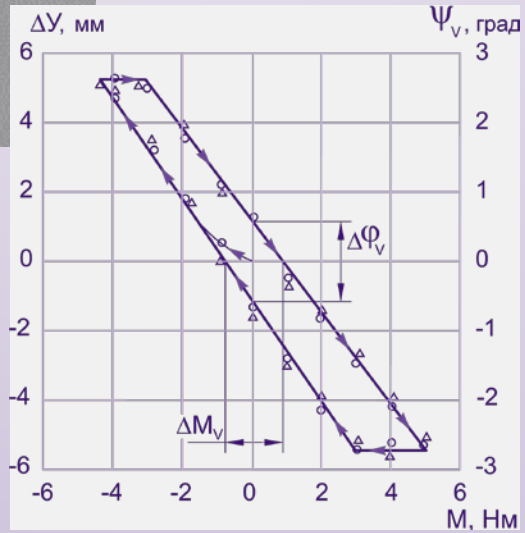


Поточна ситуація

Вдосконалення шарніра



Випробування шарніра



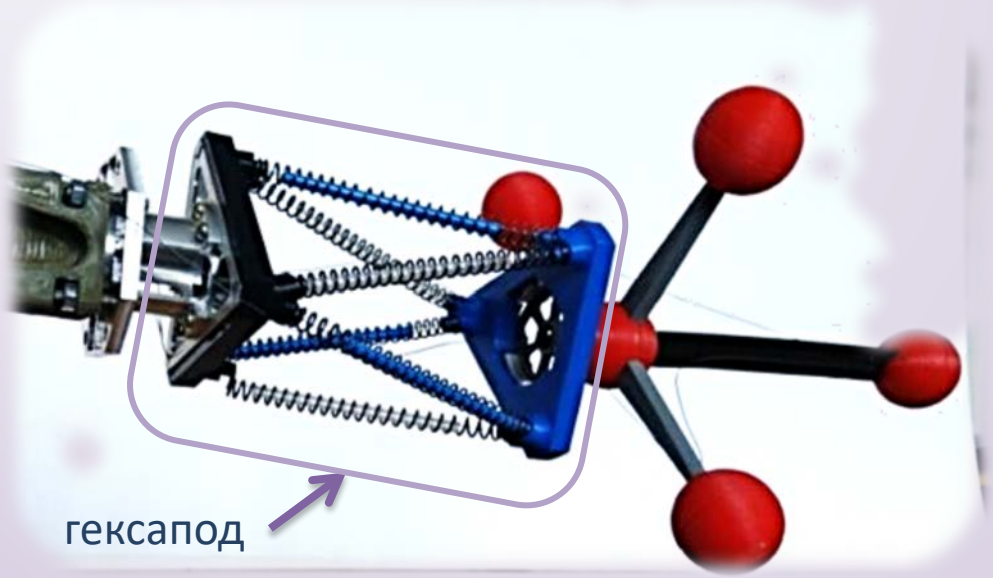
Над чим зараз йде робота

Вдосконалена конструкція шарніра

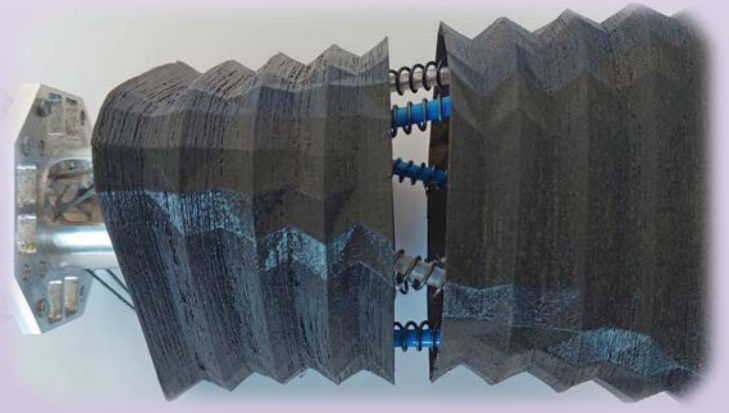
Поточна ситуація

Над чим зараз йде робота

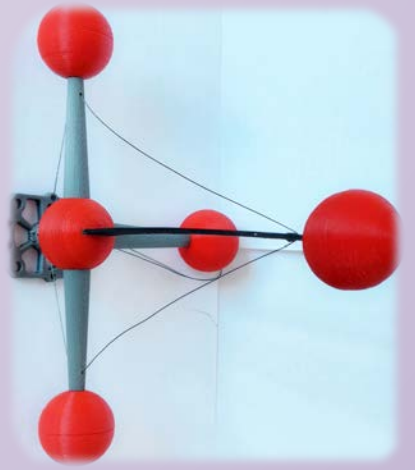
Пристрій точних переміщень робочими органів



Для забезпечення точних та плавних рухів робочих органів використовується пристрій з 6-ма ступенями рухомості (гексапод), який приводиться в рух за допомогою мінітросової системи з приводами. Монтується гексапод на шарнір другої ланки маніпулятора.
На гексапод встановлюються тактильні та захватні пристрої, різноманітні сенсори тощо.



Гексапод
в складеному
стані



Тактильний вузол,
з віброакустичними
сенсорами.

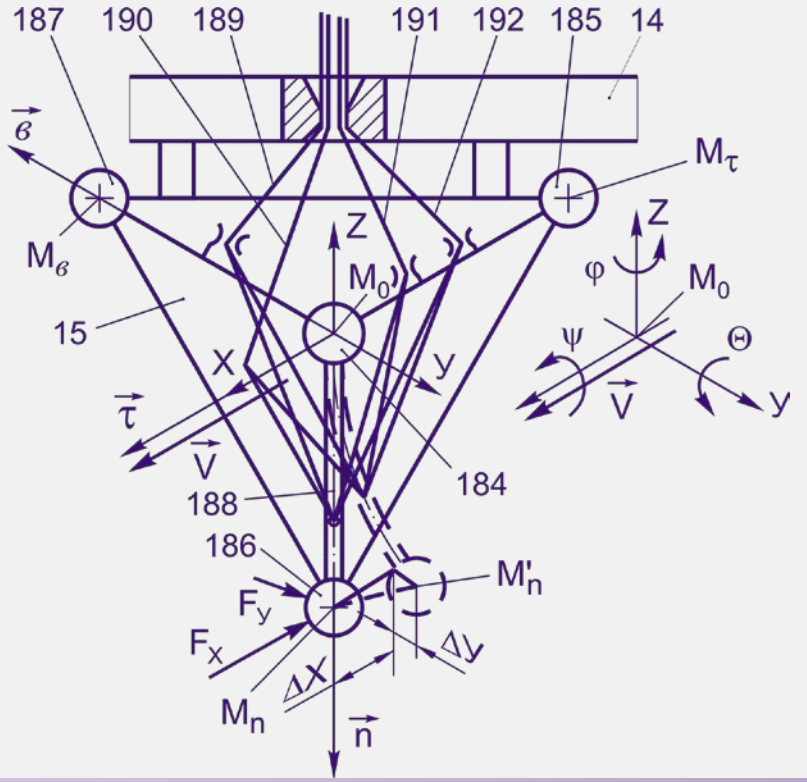
Поточна ситуація

Над чим зараз йде робота

Виконавчі модулі маніпулятора

Багатокоординатний привод

Тактильний пристрій

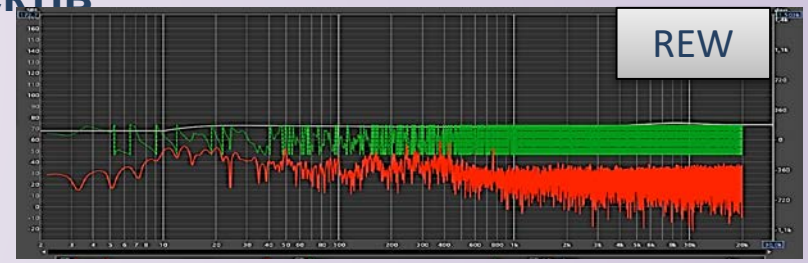


Поточна ситуація

Над чим зараз йде робота

Обробка віброакустичних даних об’єктів

мікрофон



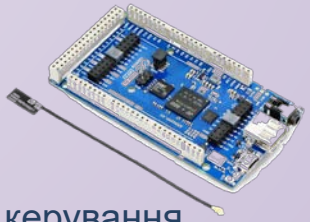
п’єзоакселерометер

підсилювач

АЦП

Обробка зображень системою штучного інтелекту

комплект камер



плати
обробки зображень та керування

Обробка даних металодетекторів

металодетектор

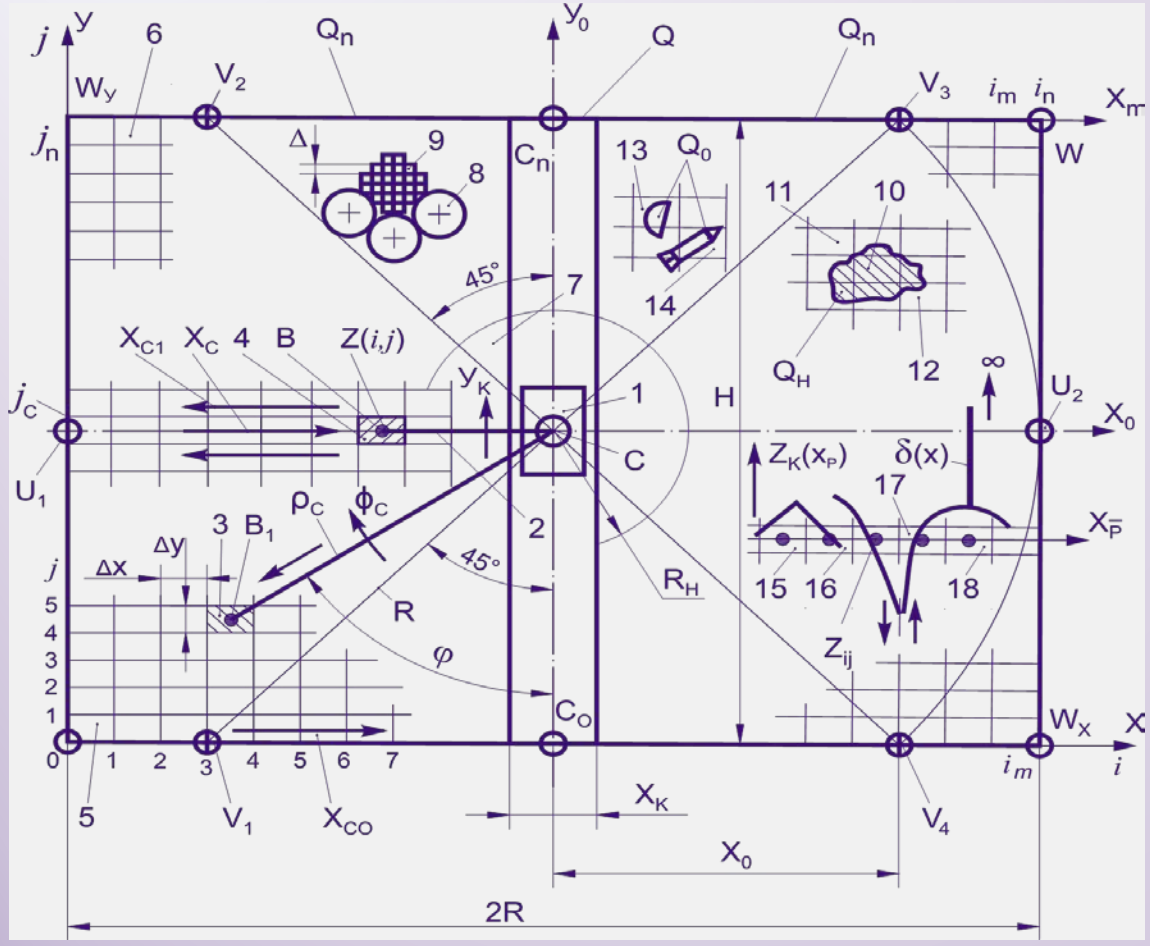
модуль обробки сигналів

Обробка даних

Поточна ситуація

Над чим зараз йде робота

Методологія визначення інформаційних функцій пошуку небезпечних об’єктів



Цифровізація аналогових інформаційних функцій виміряних системами маніпулятора

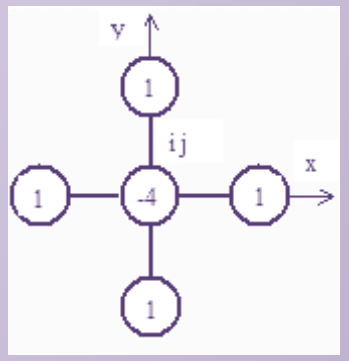
Визначення матриць цифрових значень інформаційних функцій

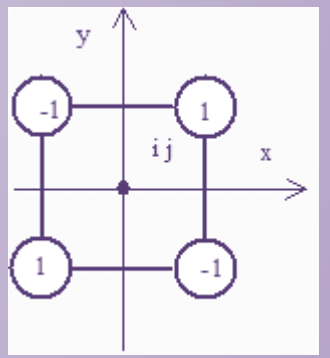
$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix}$$

Застосування кінцевих різниць

$$z_{ij} = f(x_{i+1}, y_j) + f(x_i, y_{j+1}) + f(x_{i-1}, y_j) + f(x_i, y_{j-1}) - 4f(x_i, y_j) \cong \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial yz}$$

Трафарети формування цифрових моделей з використанням кінцевих різниць





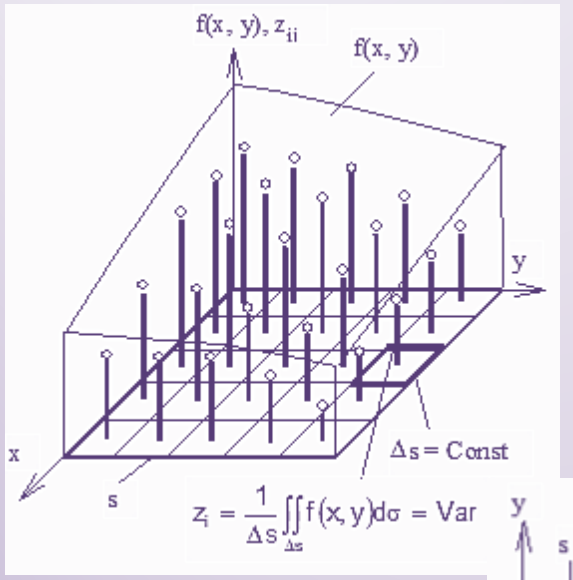
Знаходження інформаційних функцій пошуку небезпечних об’єктів на ділянці місцевості шляхом сканування

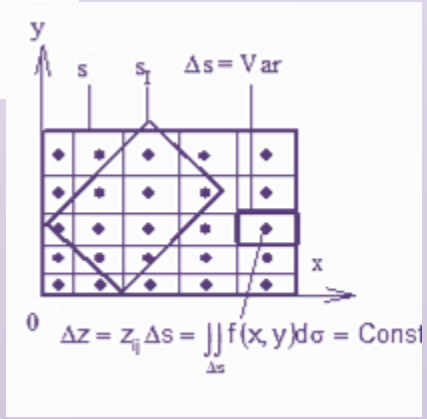
Поточна ситуація

Над чим зараз йде робота

Методологія визначення інформаційних функцій пошуку небезпечних об’єктів

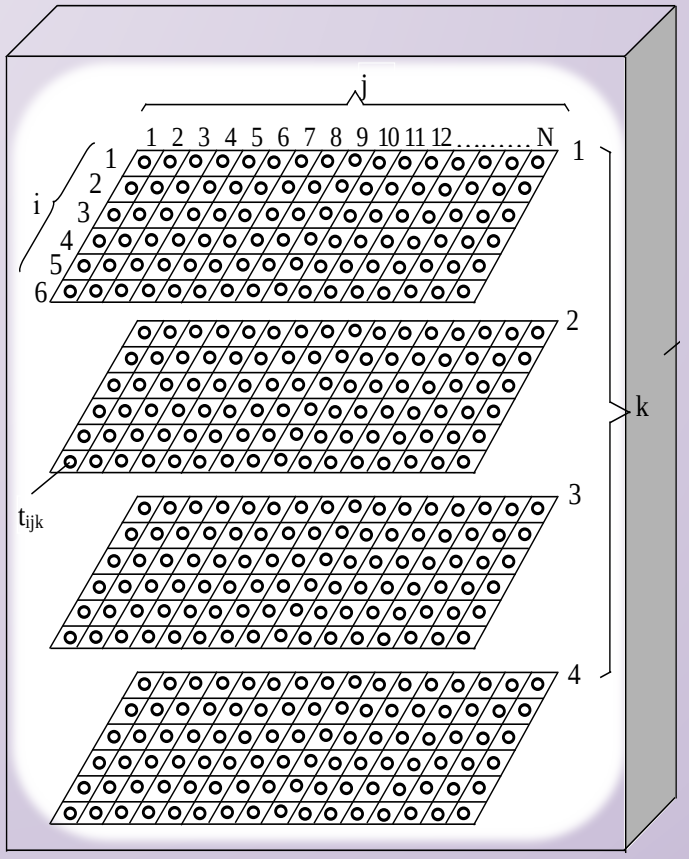
Формування матриці
із інформаційної функції
по значеннях подвійного інтегралу



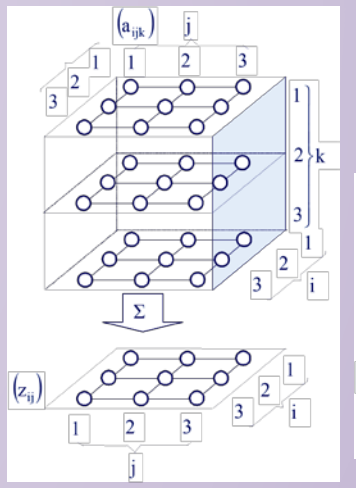


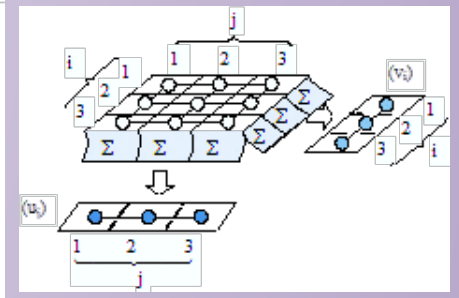
Застосування просторових матриць

Об'єднання матриць цифрових значень
окремих інформаційних функцій
в просторову матрицю

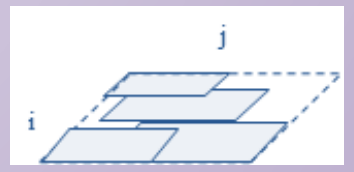


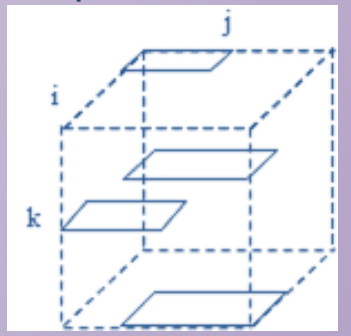
Згортка просторових матриць
по одному індексу





Згортка просторових матриць
по фрагментам



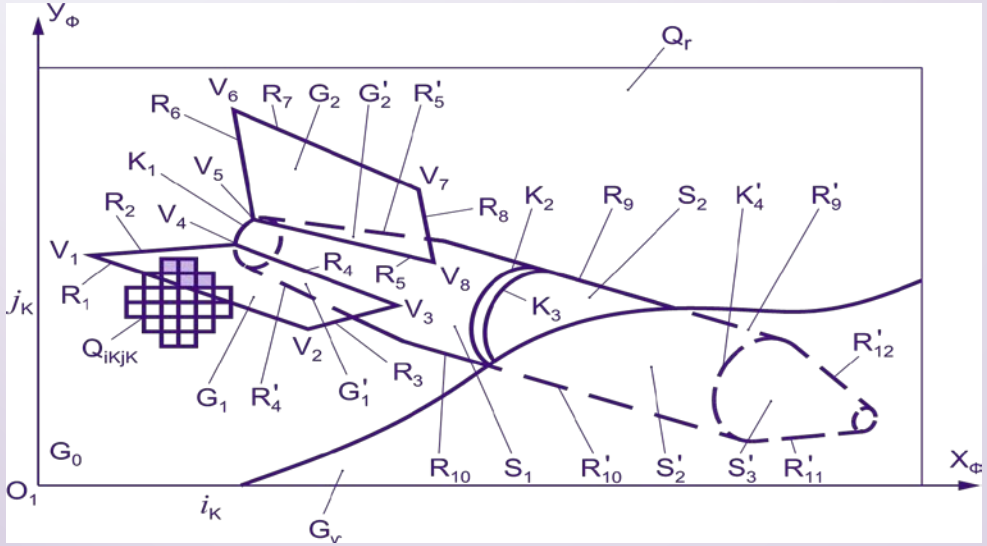


Поточна ситуація

Над чим зараз йде робота

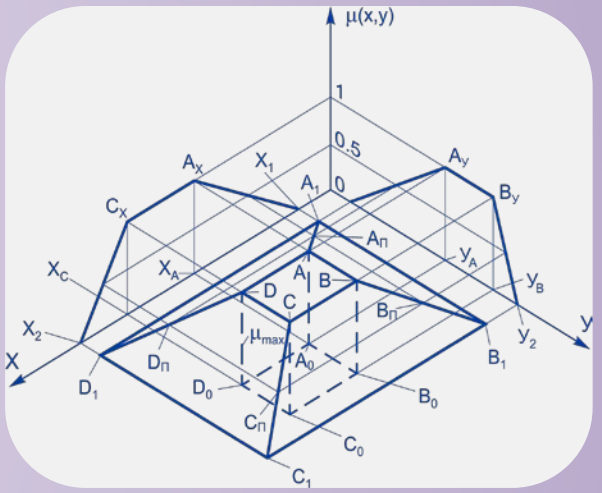
Алгоритми пошуку та ідентифікації небезпечних об’єктів

Фрагмент плоскої проєкції сцени із небезпечним об’єктом

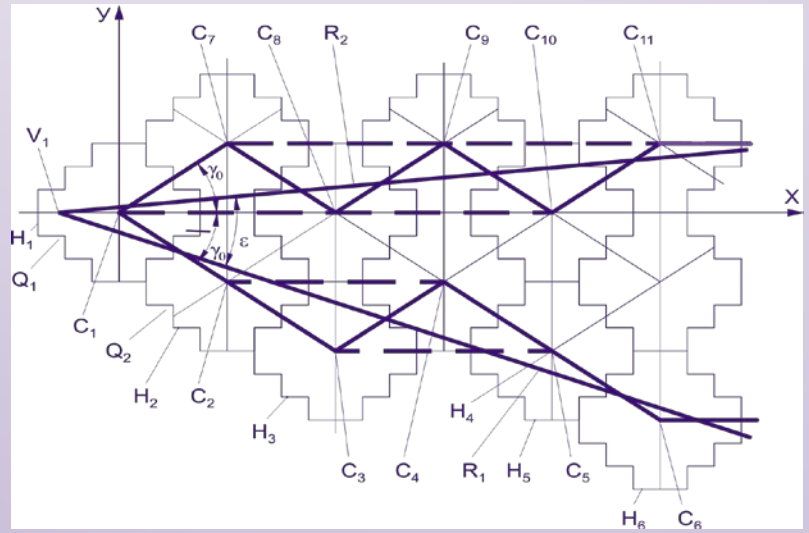


Застосування нечітких (розмитих, fuzzy) множин для пошуку мін

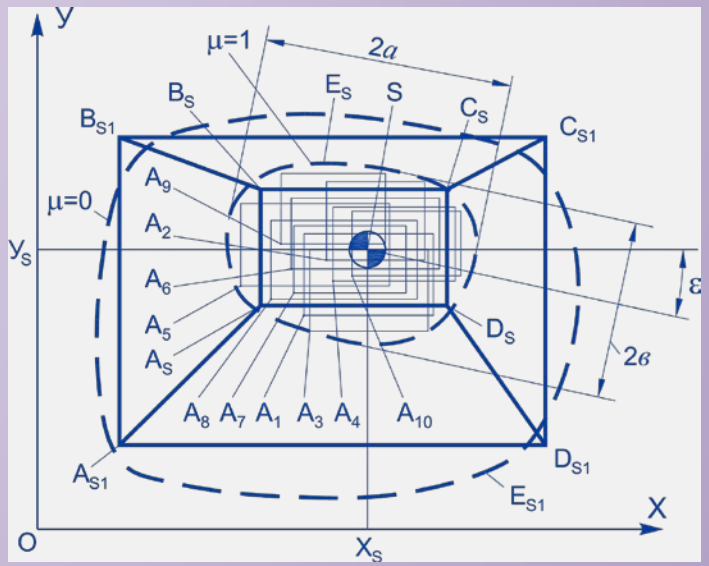
характеристична функція приналежності знаходження небезпечного об’єкту на місцевості



Машинне подання ребер контура

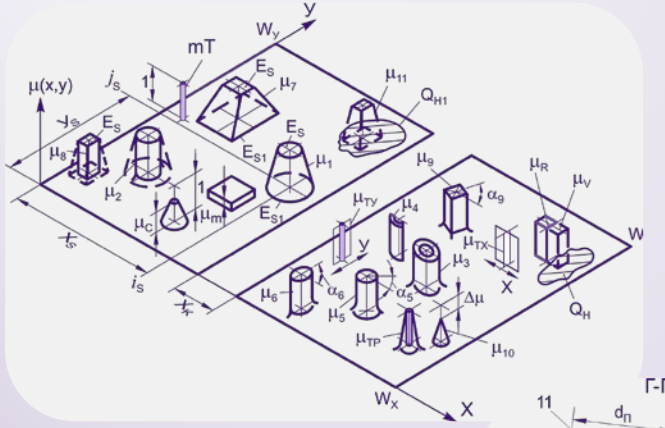


знаходження результуючої функції приналежності об’єднанням нечітких множин відповідних набору використаних інформаційних функцій

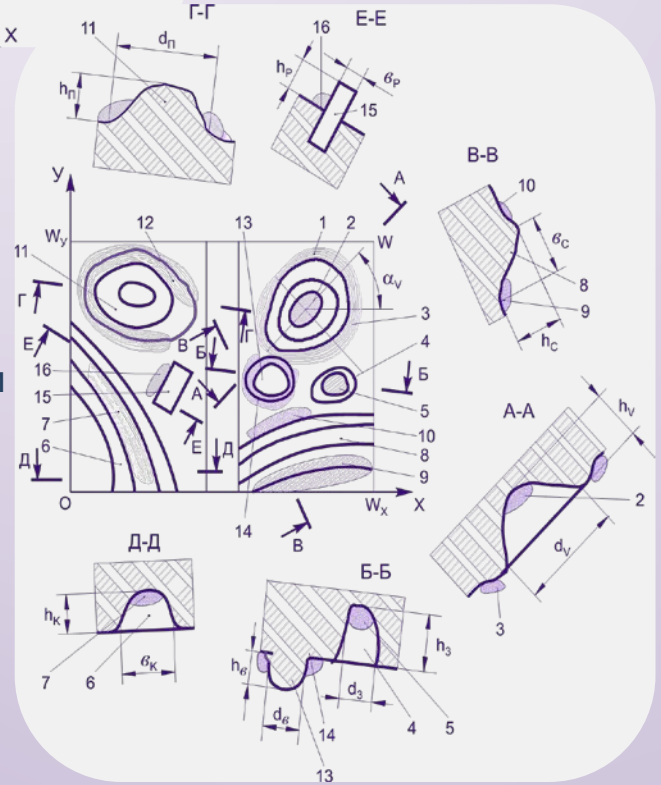


Поточна ситуація

Ідентифікація небезпечних об'єктів

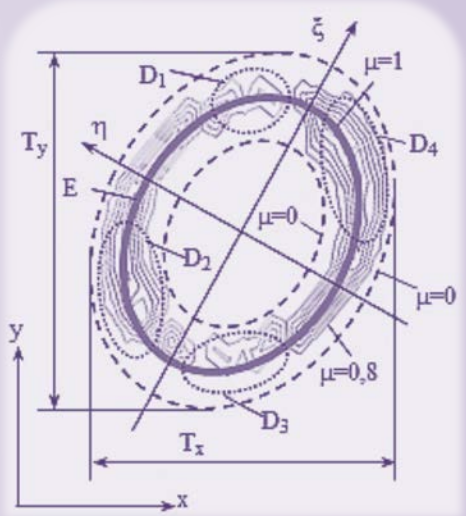


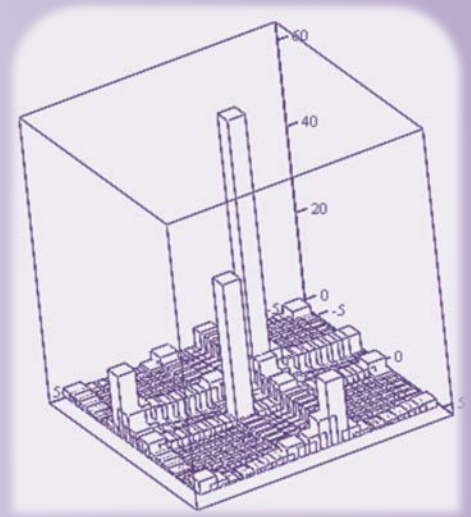
Зображення характеристичних функцій наявності небезпечних обєктів на плоскій проєкції сцени



Характерні нерівності поверхні та вірогідні місця розташування небезпечних об’єктів на плоскій проєкції сцени

Над чим зараз йде робота





Двомірна характеристична функція приналежності

- **у вигляді ряду**

в комплексній формі $$\mu(x,y)=\sum_{k=-\infty}^{+\infty}\sum_{m=-\infty}^{+\infty}C_{k,m}e^{j\left(k\omega_X x+m\omega_Y y\right)}$$ $$j=\sqrt{-1}$$

$$\omega_X=2\pi/T_X \qquad \omega_Y=2\pi/T_Y$$ - базові значення частот

$$C_{k,m}=\frac{1}{T_X T_Y}\int_{-\frac{T_X}{2}-\frac{T_X}{2}}^{\frac{T_X}{2}+\frac{T_X}{2}}\mu(x,y)\cdot e^{-j\left(k\omega_X x+m\omega_Y y\right)}$$ - комплексні коефіцієнти двовимірного ряду Фур’є, пов’язані із значенням характеристичної функції

- **уточнена** $$\mu_f(x,y)=Re\left[C_{8,7}\cdot e^{j\left(8\omega_X x+7\omega_Y y\right)}+C_{11,9}\cdot e^{j\left(11\omega_X x+9\omega_Y y\right)}\right]$$

Гіперспектральний аналіз дає можливість суттєво спростити математичну модель опису двовимірної характеристичної функції приналежності, що визначає поточні значення інформаційної функції

Поточна ситуація

Стан захисту інтелектуальної власності

- ✓ Крокуючий пристрій мобільного робота: пат. 120668 Україна : B62D 57/032 / В.Б. Струтинський; О.Я. Юрчишин; Н.Б. Бондаренко; Ю.Р. Келавець. – № a201806920; заявл. 20.06.2018; опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1/2020. - 6 с. Власник – КПІ ім. Ігоря Сікорського https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1401008/
- ✓ Мобільний робототехнічний комплекс з дистанційним керуванням: пат. 127035 Україна : B25J 5/00, B25J 9/00, B25J 5/02 (2006.01), B25J 9/06 (2006.01), B25J 19/00, B25J 19/04 (2006.01) / В.Б. Струтинський; А.М. Гуржій; С.Ю. Вакуленко; В.В. Новак. - № a201908587; заявл. 18.07.2019; опубл. 22.033.2023, Бюл. № 12/2023. Власник – КПІ ім. Ігоря Сікорського https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1727728/
- ✓ Система просторового динамічного навантаження рухомого об'єкта: пат. на корисну модель 159635 Україна : F16M11/00 / В.Б. Струтинський; О.Я. Юрчишин; Ю.Й. Бесарабець; О.А. Плівак; В.С. Павлун. – № u202405760; заявл. 05.12.2024; опубл. 18.06.2025. Власник – КПІ ім. Ігоря Сікорського https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1861786/

Команда проєкту

- Данильченко Юрій – керівник проекту
- Струтинський Василь – науково-дослідні роботи
- Саленко Олександр – дослідно-конструкторські та технологічні роботи,
- Плівак Олександр – дослідно-конструкторські роботи, розробка конструкторської документації
- Майданюк Сергій – дослідно-конструкторські роботи, розробка конструкторської документації
- Петришин Андрій – дослідно-конструкторські роботи, розробка конструкторської документації