



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

# Обробка медичних зображень

Робота з даними та алгоритми  
для аналізу медичних зображень

Методичні вказівки  
до практичних занять



Київ-2017



## ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
Вимоги до виконання .....	5
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ за темою №1 «Інтерактивні інструменти для аналізу медичних зображень» .....	6
Теоретичні відомості.....	6
Завдання.....	13
Варіанти виконання завдання .....	14
Контрольні запитання.....	14
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ за темою №2 «Розрахунок параметрів налаштування оптичної системи для візуально керованої хірургії» .....	16
Теоретичні відомості.....	16
Завдання.....	18
Варіанти виконання завдання .....	19
Контрольні запитання.....	19
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ за темою №3 «Розрахунок параметрів досліджуваної ділянки медичного зображення для планування хірургічного лікування» .....	20
Теоретичні відомості.....	20
Завдання.....	21
Варіанти виконання завдання .....	22
Контрольні запитання.....	22
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ за темою №4 «Аналіз зображень перфузійних досліджень».....	23
Теоретичні відомості.....	23
Завдання.....	26
Варіанти виконання завдання .....	27
Контрольні запитання.....	28
Список рекомендованої літератури.....	29



## ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ

Завдання до практичних занять необхідно виконувати з використанням будь-якої з мов програмування високого рівня (наприклад, C++, C#, Java, Python). Для візуалізації та роботи із файлами медичних зображень в форматі DICOM слід використовувати бібліотеки з відкритим доступом.

При виконанні робіт необхідно оформляти звіт, який повинен бути представлений в роздрукованому та електронному вигляді. Далі студент проходить співбесіду.

**Роздрукований звіт повинен містити:**

1. Титульний лист.
2. Лист з формулюванням завдання.
3. Опис алгоритму та короткі теоретичні відомості, що були використані при виконанні завдань до практичних занять.
4. Листи з повним текстом програми (лістингом), у якому складні або ключові моменти повинні бути прокоментовані.
5. У звіт необхідно вставляти малюнки, що містять результати виконання програм, та відповіді на контрольні запитання.
6. Завершальний лист може містити рекомендації щодо поліпшення програми.

**Електронний звіт повинен містити:**

1. Текстовий файл звіту.
2. Файли з кодом програмного додатку.

Електронний звіт може знаходитися на будь-якому носіїві інформації та має бути переданий викладачу після закінчення виконання завдання до всіх практичних занять. Структура каталогів та файлів має бути строго визначена відповідно до виконуваного варіанту. Приклад структури каталогів та файлів для електронного звіту з практичних занять, що були виконані для 5-го варіанту, наступний:

```
05 - StudentSurname
├── 05_Pract_1
│   ├── 05_Pract_1_Code
│   │   ├── Class.cpp
│   │   ├── Class.h
│   │   └── Main.cpp
│   └── 05_Pract_1_Report.docx
├── 05_Pract_2
│   ├── 05_Pract_2_Code
│   └── 05_Pract_2_Report.docx
├── 05_Pract_3
│   ├── 05_Pract_3_Code
│   └── 05_Pract_3_Report.docx
└── 05_Pract_4
    ├── 05_Pract_4_Code
    └── 05_Pract_4_Report.docx
```





Ціль – вивчити основи проведення аналізу медичних зображень за допомогою використання інтерактивних інструментів та ознайомитися з принципами роботи таких інструментів; вивчити фактори, що визначають точність вимірювань під час використання інтерактивних інструментів; розглянути алгоритми роботи основних з інтерактивних інструментів для аналізу медичних зображень та навчитися виконувати їх реалізацію однією із мов програмування на вибір.

### Теоретичні відомості

Зазвичай програмні додатки для роботи з медичними зображеннями надають спектр інтерактивних інструментів, що призначені для аналізу досліджуваних зображень.

Точність вимірювань інтерактивних інструментів залежить від безлічі факторів, що визначаються якістю досліджуваних медичних

зображень:

- точності позиціонування пацієнта і його фіксації;
- рухів пацієнта та органів під час сканування;
- модальності досліджуваного зображення та протоколу, що був використаний для його отримання;
- особливостей проведення реконструкції та приглушення артефактів досліджуваного зображення;
- просторової роздільної здатності досліджуваного зображення;
- контрастності досліджуваного зображення.

На додаток до цих зовнішніх факторів, на точність вимірювань також можуть впливати настройки перегляду самих зображень. Параметри, такі як рівень та/або ширина вікна, масштабування, можуть впливати на те, як користувачі сприймають відтворену на досліджуваному зображенні анатомію. Ці налаштування також будуть впливати на точність позиціонування контрольних точок для вимірювань, що виконують за допомогою клацань миші.

Таким чином, користувач несе відповідальність за точність вимірювань на основі якості зображення і на підставі точності розміщення контрольних точок.

### Інструмент «ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ»

Інструмент призначений для виділення аномалії на зображенні, а потім для проведення аналізу цієї зони. Аналіз зазвичай являє собою статистичну оцінку градацій сірого (інтенсивностей) в межах зони, що була визначена інструментом.

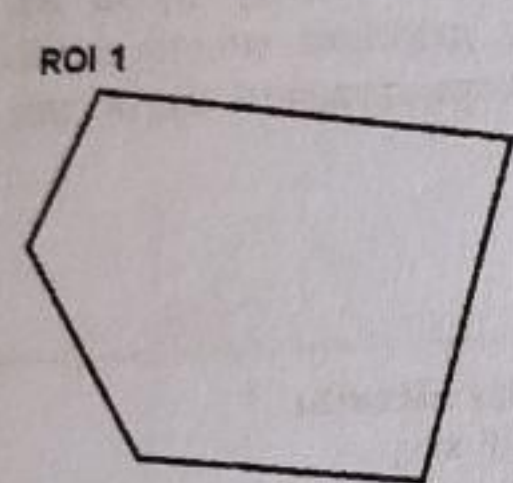
Окрім надання статистичної оцінки градацій сірого (інтенсивностей) в межах зони, інструмент також зазвичай надає можливість оцінити розподіл і частоту інтенсивностей пікселів, що розраховані всередині зони дослідження, за допомогою побудови та відображення відповідної гістограми.



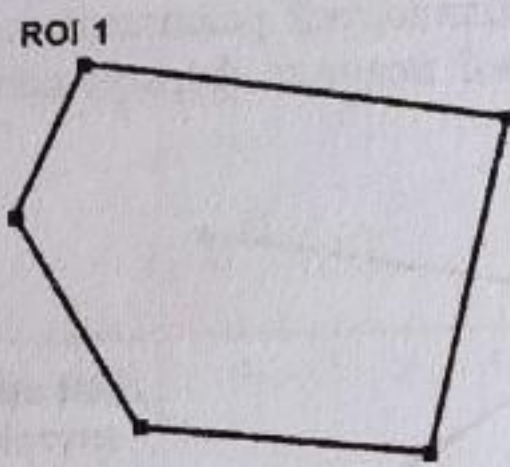
Програмні додатки для роботи з медичними зображеннями мають інструменти як і для проведення автоматичної сегментації різного роду аномалій, так і для виділення зон інтересу у формі простих геометричних примітивів або довільної форми, що визначається в мануальному режимі.

Найбільш розповсюдженими інструментами є:

- прямокутна (квадратна) зона;
- еліптична (кругла) зона;
- зона у вигляді полігону;
- зона із згладженими краями (на основі кривих Безьє);
- зона, визначена мануально;
- автоматично визначена зона на основі сегментації за алгоритмом нарощування ділянок;
- автоматично визначена зона на основі сегментації за алгоритмом розумних ножиць.



Приклад вигляду  
зони інтересу,  
що визначена інструментом  
«ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ»  
(неактивний режим)



Приклад вигляду  
зони інтересу,  
що визначена інструментом  
«ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ»  
(активний режим)

Дані аналізу містять:

- кількість пікселів;
- площа;
- периметр;
- мінімальна інтенсивність;
- максимальна інтенсивність;
- середня інтенсивність;
- стандартне відхилення за інтенсивністю;
- сумарна інтенсивність;
- геометричний центр;
- центр мас.

### Інструмент «ВІДСТАНЬ»

Інструмент призначений для визначення будь-яких відстаней на зображенні, а потім для проведення аналізу вздовж визначеної кривої. Аналіз зазвичай являє собою статистичну оцінку градацій сірого (інтенсивностей) вздовж визначеної кривої, що була створена інструментом.

Окрім надання статистичної оцінки градацій сірого (інтенсивностей) вздовж визначеної кривої, інструмент також зазвичай надає можливість оцінити розподіл інтенсивностей пікселів вздовж слідування кривої за допомогою побудови та відображення відповідної гистограми.

Програмні додатки для роботи з медичними зображеннями мають інструменти для визначення відстані на зображенні як різними видами кривих, так і будь-якої форми в мануальному режимі.

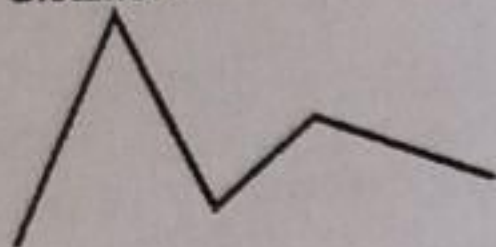
Найбільш розповсюдженими інструментами є:

- відрізок прямої;
- крива у вигляді полілінії;



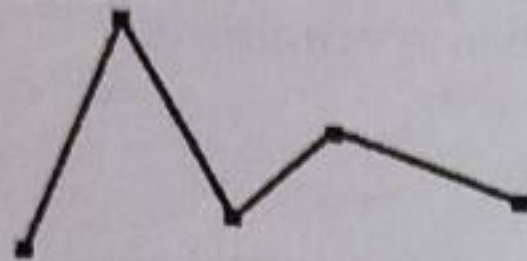
- згладжена крива (на основі кривих Безьє);
- крива, визначена мануально.

Distance 1



Приклад вигляду відстані, що визначена інструментом «ВІДСТАНЬ» (неактивний режим)

Distance 1



Приклад вигляду відстані, що визначена інструментом «ВІДСТІНЬ» (активний режим)

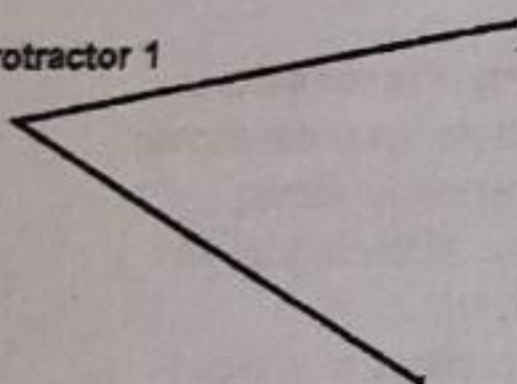
Дані аналізу містять:

- кількість пікселів;
- відстань;
- мінімальна інтенсивність;
- максимальна інтенсивність;
- середня інтенсивність;
- стандартне відхилення за інтенсивністю;
- сумарна інтенсивність.

### Інструмент «КУТОМІР»

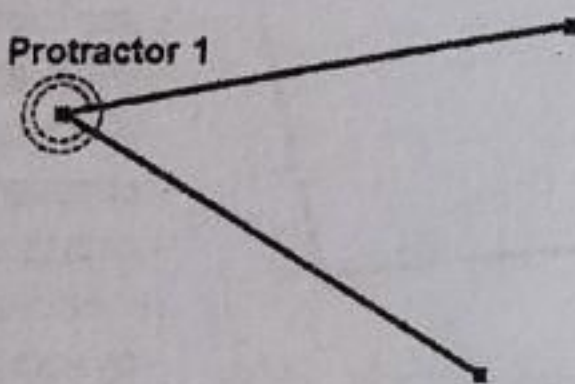
Інструмент призначений для визначення та проведення аналізу кутів на зображенні. В залежності від особливостей реалізації існує декілька модифікацій інструменту, кожна з яких має свої правила формування користувачем кутів для подальшого аналізу.

Protractor 1



Приклад вигляду кутів, що визначені інструментом «КУТОМІР» (неактивний режим)

Protractor 1

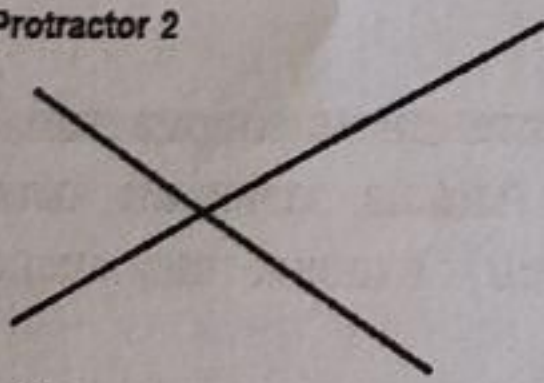


Приклад вигляду кутів, що визначені інструментом «КУТОМІР» (активний режим)

Дані аналізу містять:

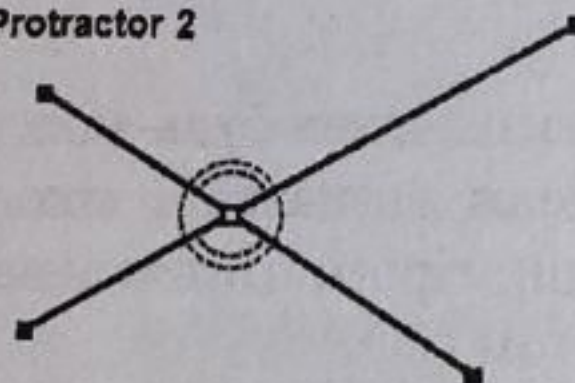
- внутрішній кут;
- зовнішній кут.

Protractor 2



Приклад вигляду кутів, що визначені інструментом «КУТОМІР» для суміжних кутів (неактивний режим)

Protractor 2



Приклад вигляду кутів, що визначені інструментом «КУТОМІР» для суміжних кутів (активний режим)

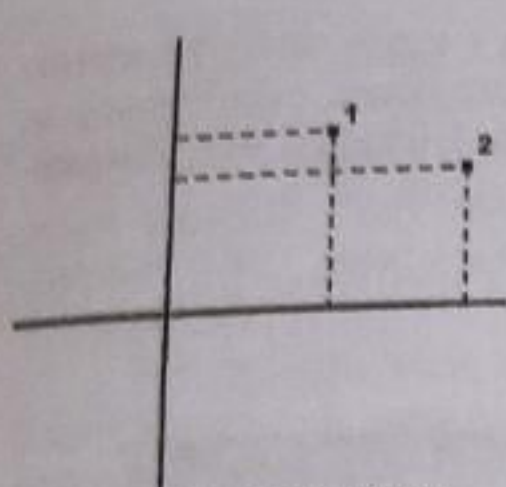
Дані аналізу містять:

- кут між двома прямими;
- суміжний кут.

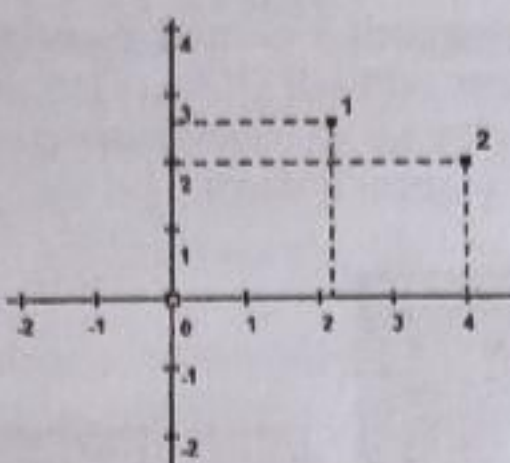
### Інструмент «ПЕРЕХРЕСТЯ»

Використовуючи інструмент «ПЕРЕХРЕСТЯ», можна визначати положення точок і кутів з посиланням на вихідну точку і дві вісі, що розташовані під прямим кутом одна до одної. Залежно від налаштувань можуть відображатися координати визначеної точки або її відстань від заданого початку координат із кутом до вісі  $0x$ .





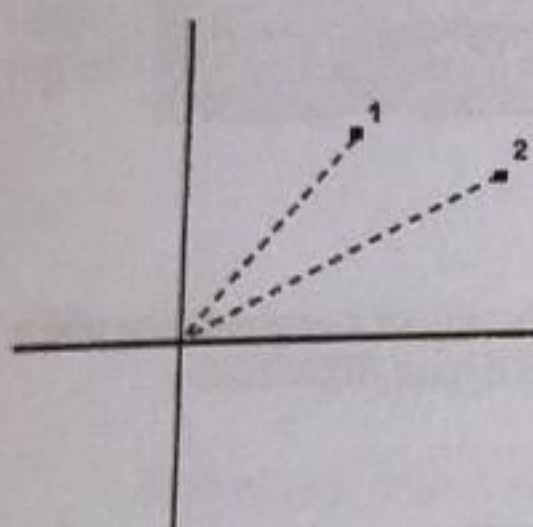
Приклад вигляду точок, що визначені інструментом «ПЕРЕХРЕСТЯ» для визначення координат (неактивний режим)



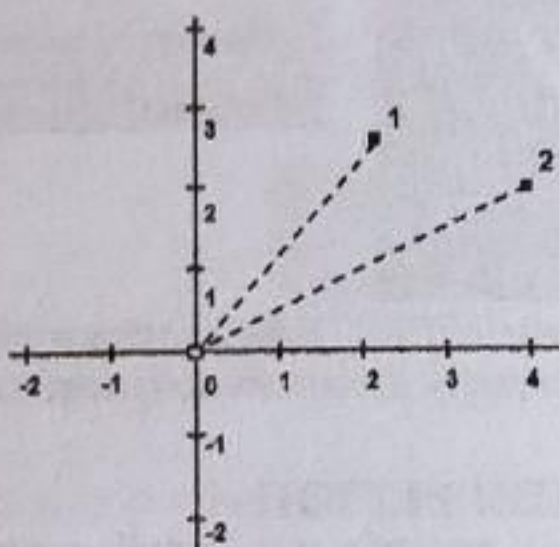
Приклад вигляду точок, що визначені інструментом «ПЕРЕХРЕСТЯ» для визначення координат (активний режим)

Дані аналізу містять:

- відстань вздовж осі  $\theta x$  від заданого початку координат;
- відстань вздовж осі  $\theta y$  від заданого початку координат.



Приклад вигляду точок, що визначені інструментом «ПЕРЕХРЕСТЯ» для визначення відстані/кута (неактивний режим)



Приклад вигляду точок, що визначені інструментом «ПЕРЕХРЕСТЯ» для визначення відстані/кута (активний режим)

Дані аналізу містять:

- відстань від заданого початку координат;
- кут із віссю  $\theta x$ .

### Інструмент «ЛІНІЙКА»

Використання інструменту «ЛІНІЙКА» надає можливість дізнатися масштаб зображення, наприклад, у сантиметрах. Розмір зміни шкали інструменту має відповідати поточним налаштуванням режиму масштабування зображення.

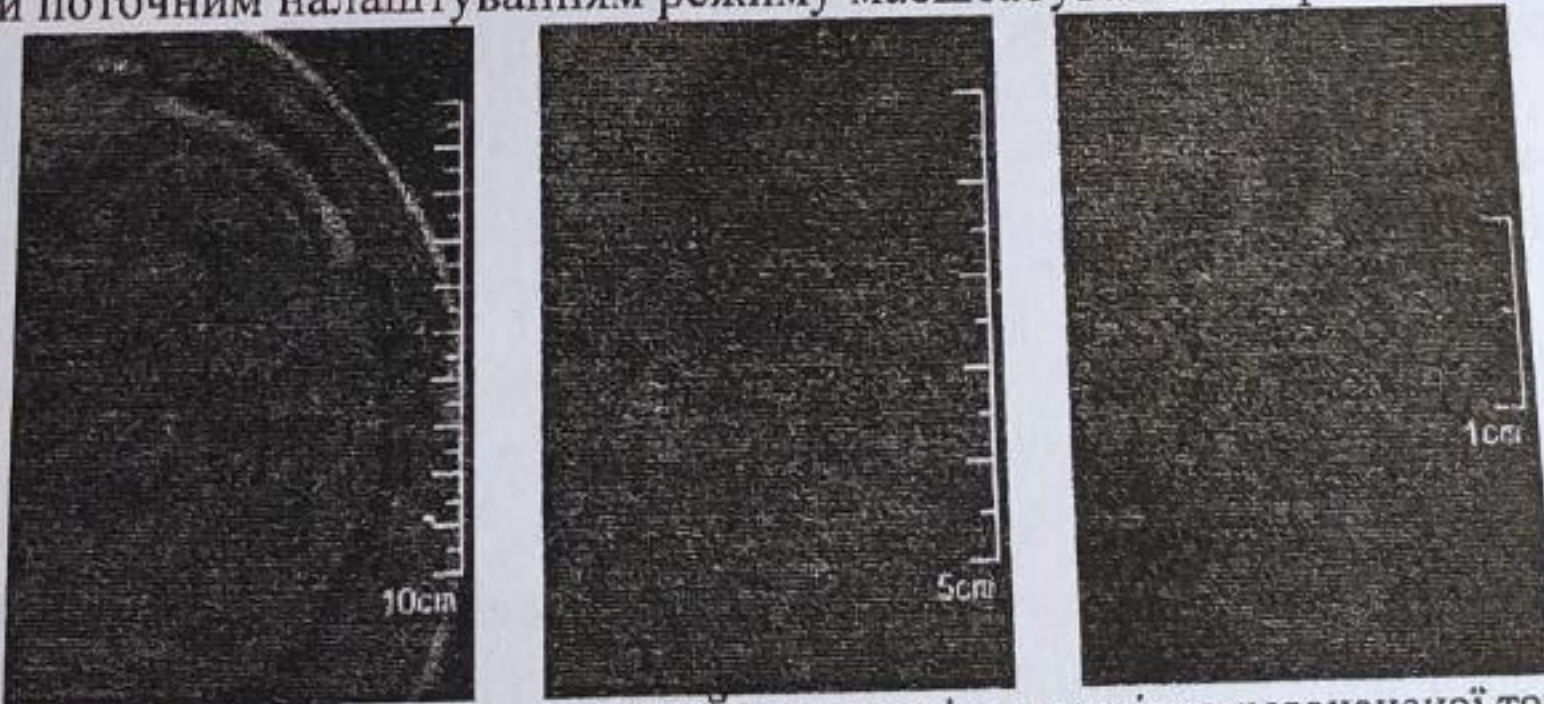


Рис. 1. Приклад вигляду інструменту «ЛІНІЙКА» на зрізах магнітно-резонансної томографії та різних режимів масштабування у програмі перегляду медичних зображень від фірми SIEMENS



### Інструмент «РЕШІТКА»

Як допоміжний засіб для орієнтації і оцінки розмірів і кутів на зображенні може бути використаний інструмент «РЕШІТКА». Цей інструмент складається з паралельних одна одній горизонтальних і вертикальних ліній. Відстань між лініями може бути змінена користувачем в процесі роботи.

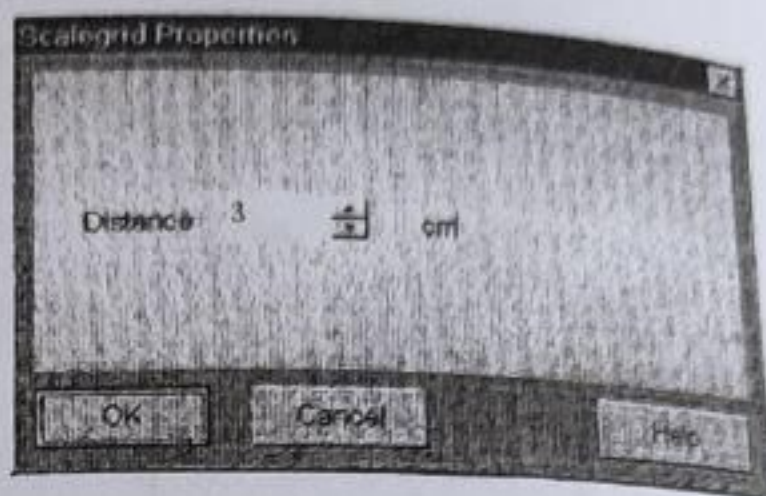
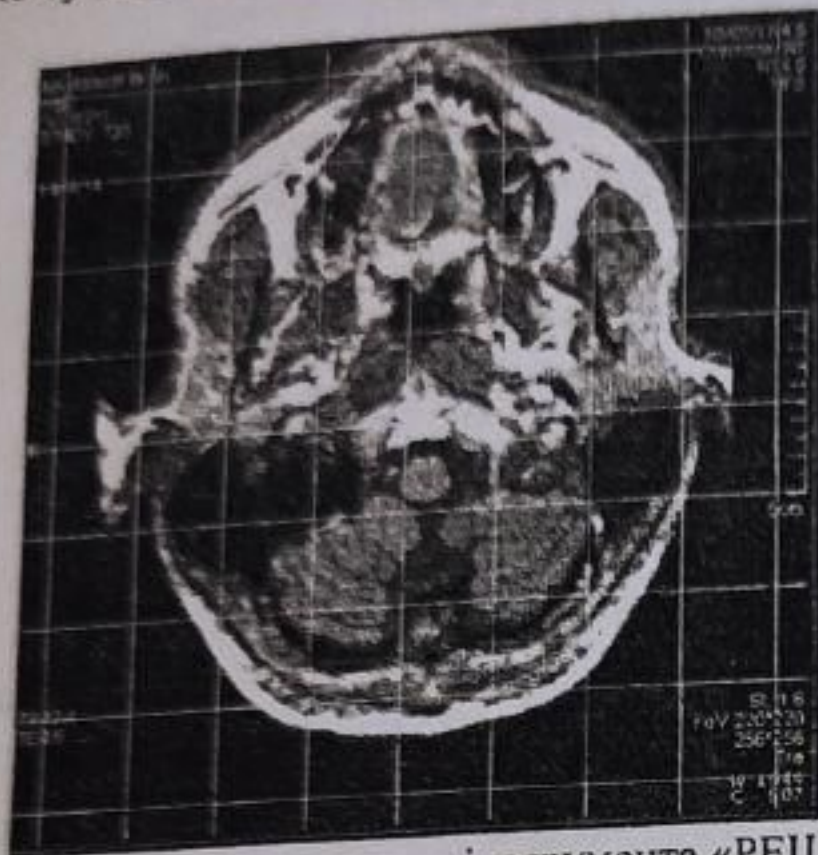


Рис. 2. Приклад застосування інструмента «РЕШІТКА» до зрізу комп'ютерної томографії та вікна налаштування у програмі перегляду медичних зображень від фірми SIEMENS

### Інструмент «ЗБІЛЬШУЮЧИЙ РЕГІОН»

Використовуючи інструмент «ЗБІЛЬШУЮЧИЙ РЕГІОН», можна збільшити зображення із сталим коефіцієнтом масштабування лише для невеликої зони, що зазвичай також має якісь сталі розміри. Коли інструмент активовано, збільшувач регіон переміщується відповідно до положення курсора миші.

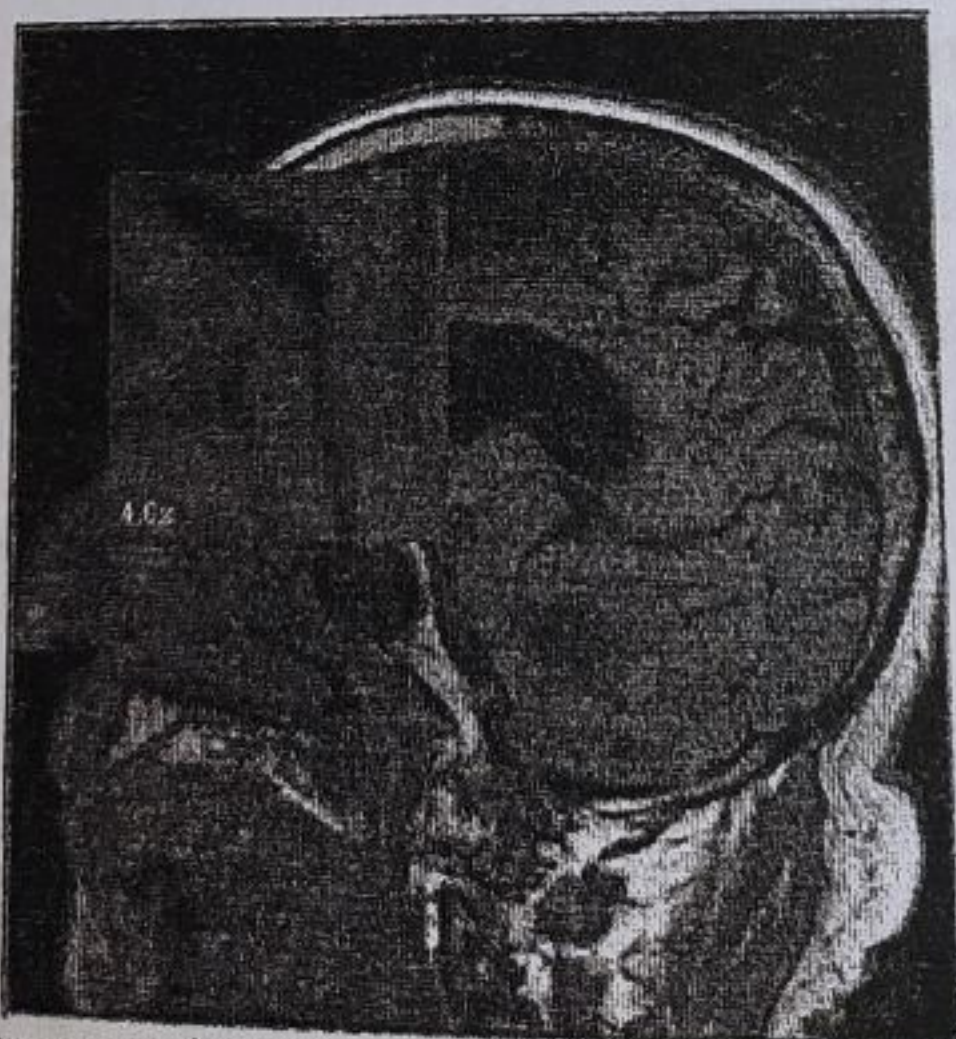


Рис. 3. Приклад реалізації інструменту «ЗБІЛЬШУЮЧИЙ РЕГІОН»



## Інструмент «ПІКСЕЛНА ЛУПА»

Використання інструменту «ПІКСЕЛНА ЛУПА» надає можливість відображати середнє значення інтенсивностей (наприклад, значення Хаунсфілда для зображень комп'ютерної томографії) для невеликої зони пікселів (наприклад, для зони площею  $5 \times 5$  пікселів). В залежності від реалізації розмір зони може бути іншим, або задаватися користувачем, або відповідати лише одному пікселу зображення.

Інструмент також надає можливість проаналізувати положення центра зони дослідження в координатах пацієнта. Слід зауважити, що результат аналізу інструментом «ПІКСЕЛНА ЛУПА» не має залежити від поточного коефіцієнта масштабування зображення, а отже надає сталі значення за умови збереження його положення в системі координат пацієнта.

Програмні додатки для роботи з медичними зображеннями надають можливість працювати із інструментом в декількох режимах: відображати значення відповідно до поточної позиції курсора миші, створювати маркер на зображенні в фіксованому положенні, обирати, переміщати або видаляти такі маркери.

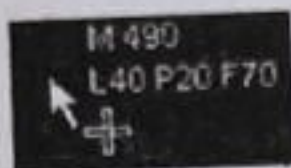


Рис. 4. Приклад вигляду інструменту «ПІКСЕЛНА ЛУПА» під час аналізу відповідно до поточної позиції курсора миші у програмі перегляду медичних зображень від фірми SIEMENS

Результат томографічного обстеження являє собою послідовність двовимірних зображень, що характеризують досліджуваний об'єм. Для аналізу отриманих даних зручно використовувати мультипланарну реконструкцію (MPR – MultiPlanar Reconstruction), що надає можливість працювати із вторинними зображеннями. Отримані зображення є двовірними зрізами в будь-якій з площин досліджуваного об'єму, наприклад, сагітальній, корональній або будь-якій з косих проекцій.

Програмні додатки для роботи з медичними зображеннями у більшості випадків формують мультипланарну реконструкцію із трьох опорних сегментів та одного результуючого.

У трьох опорних сегментах за замовчуванням відображаються зрізи у площинах, які паралельні і перпендикулярні до напрямку сканування. Таким чином користувач має змогу проводити аналіз зрізів вздовж однієї з осей системи координат пацієнта, тобто у стандартних анатомічних площинах (сагітальній, корональній, аксіальній). Товщина такого MPR-зрізу буде дорівнювати розміру одного вокселя у відповідному напрямі і є мінімально можливою. Для проведення більш складного аналізу товщина зрізу може бути збільшена шляхом усереднення градацій сірого усіх задіяних вокселів об'єму для отримання значення градації сірого кожного із пікселів зрізу вздовж осі його формування.

Результуючий сегмент може містити різного роду інформацію як в текстовому форматі, так і нові двовимірні або тривимірні зображення, згенеровані на основі оригінальних даних.



Для покращення розуміння користувачем роботи із сегментами мультипланарної реконструкції лише один із сегментів є активним, тобто таким, до якого відносять усі виконувані на даний момент часу операції.

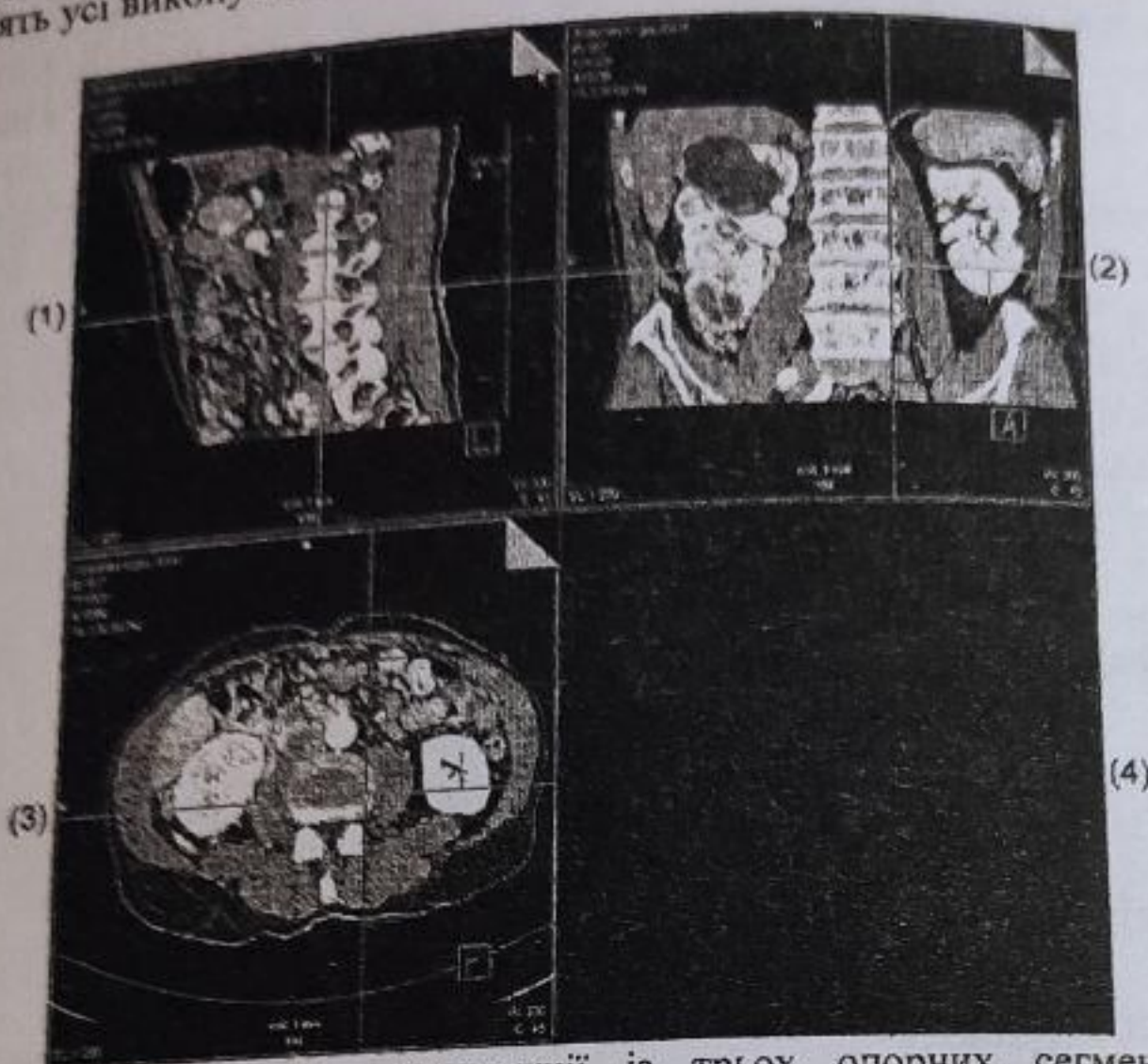


Рис. 5. Вигляд мультипланарної реконструкції із трьох опорних сегментів та одного результуючого у програмі перегляду медичних зображень від фірми SIEMENS:

- (1) опорний сегмент в сагітальній площині;
- (2) опорний сегмент в корональній площині;
- (3) опорний сегмент в аксіальній площині;
- (4) результуючий сегмент.

Навігація крізь об'єм надає можливість користувачу знайти зрізи, на яких наявні зони інтересу, та застосувати на цих зрізах інтерактивні інструменти для проведення аналізу знайдених зон.

Під час проведення аналізу обраний інструмент має залишатися активним до тих пір, поки користувач не обере інший або явно його не вимкне. Це надає можливість користувачу застосовувати вимірювання в будь-якому сегменті, а не тільки в активному. Після застосування інструменту до будь якого із сегментів цей сегмент стає активним.

В більшості програмних додатків для обробки медичних зображень інтерактивні інструменти дозволяють не тільки задавати графічні елементи для проведення різного роду аналізу, але й проводити редагування таких елементів за їх контрольними точками, копіювання та вставку на інші зображення. Слід зауважити, що аналіз даних під час таких змін має виконуватися в режимі реального часу.



## Завдання

## Частина 1



1. Ознайомитися з теоретичними основами проведення аналізу медичних зображень за допомогою інтерактивних інструментів.
2. Провести аналіз та обрати середовище розробки програмних додатків, язык програмування та необхідні сторонні бібліотеки для роботи; обґрунтувати свій вибір.

## Частина 2

1. Ознайомитися з теоретичними основами роботи мультипланарної реконструкції томографічних зрізів для проведення аналізу медичних зображень.
2. Розробити програмний додаток для завантаження серії зображень томографічного дослідження в форматі DICOM.
3. Реалізувати відображення та навігацію зображень томографічного дослідження в режимі мультипланарної реконструкції (один піксел зображення має відповідати одному пікселу екрана).

## Частина 3

1. Відповідно до свого варіанту розробити графічний інтерфейс інтерактивного інструменту для проведення аналізу медичних зображень.
2. Створити подію, при обробці якої надається можливість застосовувати розроблений інструмент до зображення будь-якої з площин мультипланарної реконструкції.

## Частина 4

1. Відповідно до свого варіанту розробити та реалізувати алгоритм для проведення аналізу даних за допомогою розробленого у попередній частині інтерактивного інструменту.
2. Провести аналіз даних на аксіальній площині за допомогою розробленого інтерактивного інструменту.
3. Перевірити результати проведеного аналізу за допомогою завантаження тієї ж самої серії зображень томографічного дослідження та проведення аналізу аналогічним інструментом з будь-якого стороннього програмного додатка для роботи з медичними зображеннями.

## Частина 5

1. Відповідно до свого варіанту створити подію, при обробці якої виникає можливість виконати задану дію користувача для розробленого в попередніх частинах інтерактивного інструменту (дані аналізу інструменту мають оновлюватися в режимі реального часу залежно від виконуваних користувачем дій).
2. Скласти і захистити звіт по роботі.



Варіанти виконання завдання

Номер варіанту	Інструмент	Дані для аналізу	Дія користувача
1	Зона дослідження (прямокутник)	Кількість пікселів та площа в сантиметрах квадратних	Масштабування прямокутника відповідно до зміни положення контрольних точок
2	Відстань (відрізок прямої)	Кількість пікселів та відстань в міліметрах	Редагування положення контрольних точок відрізка прямої
3	Кутомір	Внутрішній та зовнішній кути, координати пацієнта для центра кутоміра	Редагування положення контрольних точок кутоміра
4	Кутомір для суміжних кутів	Кут між двома прямими та суміжний кут, координати пацієнта для центра кутоміра	Редагування положення контрольних точок кутоміра
5	Перехрестя	Координати точок в заданій інструментом системі координат	Редагування положення точок для аналізу (положення заданого початку координат інструменту не змінюється)
6	Перехрестя	Відстань і кут для точок в заданій інструментом системі координат	Редагування положення точок для аналізу (положення заданого початку координат інструменту не змінюється)
7	Лінійка	Масштаб	Інтерактивна зміна коефіцієнта масштабування всього зображення
8	Решітка	Відстань зображення між лініями решітки	Інтерактивна зміна відстані між лініями пропорційно одному сантиметру
9	Збільшуючий регіон	Збільшена в чотири рази частина зображення	Інтерактивна зміна положення центра збільшуючого регіона та інтерактивна зміна коефіцієнта масштабування збільшуючого регіона
10	Пікселна лупа	Середнє значення зони 5 x 5 та координати пацієнта для її центра	Переміщення маркера лупи по зображенню із відображенням результатів аналізу відповідно до поточної позиції курсора миші

Контрольні запитання

- Від чого залежить точність вимірювань інтерактивних інструментів?
- Які існують інтерактивні інструменти аналізу медичних зображень?
- Призначення інструменту «ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ».
- Які існують види інструменту «ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ»?
- Що містять дані аналізу для інструменту «ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ»?







6. Для чого призначений інструмент «ВІДСТАНЬ»?
7. Як можна задати відстань на зображенні?
8. Що містять дані аналізу для інструменту «ВІДСТАНЬ»?
9. Призначення інструменту «КУТОМІР».
10. Що містять дані аналізу для інструменту «КУТОМІР»?
11. Для чого використовується інструмент «ЛІНІЙКА»?
12. Що таке інструмент «РЕШІТКА», для чого він використовується?
13. Для чого використовується інструмент «ЗБІЛЬШУЮЧИЙ РЕГІОН»?
14. Призначення інструменту «ПІКСЕЛНА ЛУПА».
15. Що таке мультипланарна реконструкція зображення, яке її призначення?
16. Із яких сегментів складається мультипланарна реконструкція зображень у більшості програмних додатків для роботи з медичними зображеннями?
17. Призначення кожного з сегментів мультипланарної реконструкції зображень у програмних додатках для роботи з медичними зображеннями.
18. Умови, за яких сегмент мультипланарної реконструкції зображень стає активним.



## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ за темою №2 «Розрахунок параметрів налаштування оптичної системи для візуально керованої хірургії»



Ціль – ознайомитися з основами роботи оптичної системи для візуально керованої хірургії; навчитися визначати умови, при яких промені проєкцій від цільової точки на фокусні площини камер перетинаються, та розраховувати координати цільової точки при заданих вхідних параметрах.



### Теоретичні відомості

Візуально керована хірургія – це загальний термін для будь-якого оперативного втручання, в якому хірург має змогу відстежувати положення хірургічних інструментів в тілі пацієнта, керуючись передопераційними та / або інтраопераційними тривимірними зображеннями хворого. В такий чин, візуально керована хірургія передбачає використання візуалізації анатомії пацієнта та аналізу можливостей хірурга під час виконання хірургічних втручань в режимі реального часу.

Система працює на основі аналізу *доопераційних діагностичних даних* пацієнта – як правило, КТ або МРТ зображень. Однак, на цьому етапі може бути отримано декілька наборів даних різних модальностей одночасно. Технології мультимодального рендерінгу дозволяють візуалізувати одне надзвичайно детальне тривимірне зображення анатомії пацієнта, що забезпечить хірурга значно більшою кількістю даних, ніж будь-яка одна з модальностей візуалізації.

На наступному етапі виконують *сегментацію*, тобто визначення анатомічних границь тканин, що будуть задіяні під час проведення оперативного втручання. В такий чин формується тривимірна модель пацієнта і визначається найменш інвазивний шлях до потрібного місця в організмі пацієнта.

Тривимірна модель в подальшому на етапі *реєстрації* використовується для суміщення із фактичним положенням пацієнта на операційному столі. Реєстрація цих даних дозволяє використання доповненої реальності під час візуалізації. Для можливості виконання реєстрації проводять визначення контрольних точок на тілі пацієнта. Після завершення реєстрації встановлюється зв'язок хірургічних інструментів із тілом пацієнта в такий чин, що хірург може працювати в математичному просторі зображення анатомії, який є таким самим, як і фізичний простір пацієнта. Отже, відстеження хірургічних інструментів під час виконання оперативного втручання відбувається для пацієнта відносно до побудованої тривимірної моделі. Це дозволяє хірургу під час проведення оперативного втручання стежити за його хірургічними інструментами на екрані монітора відносно візуалізації тривимірної моделі анатомії пацієнта. Хірург може визначати положення інструментів і кут, під яким вони входять в тіло, а отже, ефективно



виконувати процедури, уникаючи при цьому невидимі в полі зору анатомічні структури.

Існує чотири види систем для відстеження хірургічних інструментів:

- механічні;
- ультразвукові;
- електромагнітні;
- оптичні.

На сьогоднішній день найбільш використовуваними серед них є оптичні системи позиціонування, оскільки надають більшу точність у розрахунках та є найшвидшими з точки зору отримання результату. Ці системи використовують інфрачервоні датчики в поєднанні з світлодіодами або пасивними відбивачами світла, що кріпляться до тіла пацієнта (наприклад, через ремінь або наліпки) та до хірургічних інструментів.

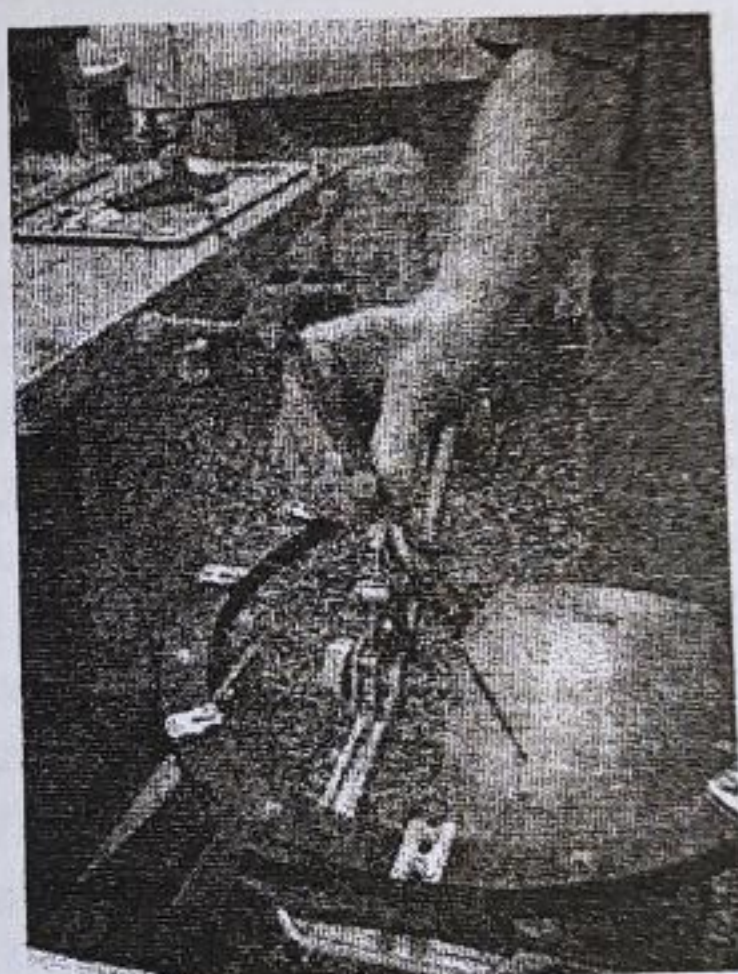


Рис. 6. Датчики для відстеження просторового положення, що використовуються в хірургічних оптичних системах позиціонування.

Під час виконання оперативного втручання датчики на тілі пацієнта та на хірургічних інструментах мають бути одночасно доступні для відстеження системою камер.

Використання декількох камер, що надають двовимірний сигнал — зображення, дозволяє проводити визначення тривимірних координат точки в просторі. За умови, що більше двох датчиків згруповані разом та формують конструкцію жорсткого тіла, стає можливим визначати орієнтацію хірургічних інструментів у просторі. Це дає в цілому шість ступенів свободи для хірургічних оптичних систем позиціонування.

Вимірювальний принцип, що використовується в роботі оптичної системи для візуально керованої хірургії, відомий як триангуляція.



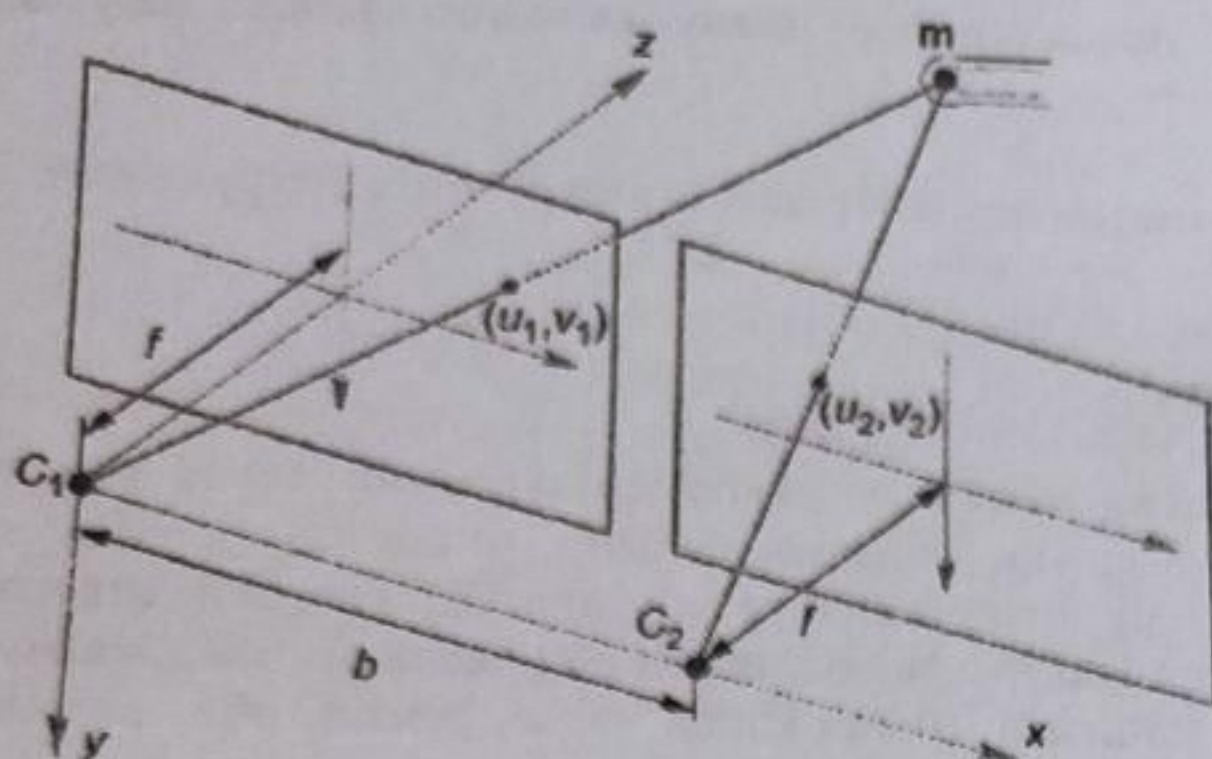


Рис. 7. Схематичне подання принципу тріангуляції, що використовується в роботі оптичної системи для візуально керованої хірургії.

В оптичній системі обидві камери  $C_1$  та  $C_2$  мають однакові оптичні характеристики. Просторові координати точки визначаються через проекції цієї точки на площини фокальної відстані від камер.

За умови, що камери  $C_1$  та  $C_2$  розташовані одна від одної на відстань  $b$  вздовж осі  $Ox$ , для спрощення розрахунків положення камери  $C_1$  визначається в початку координат. Обидві камери мають оптичні осі, які паралельні осі  $Oz$ , а отже, фіксують зображення на відстані  $z = f$ .

Положення світодіода або пасивного відбивача світла визначене точкою  $m$ . Координати точки  $m(x, y, z)$  визначаються як перетин проекцій цієї точки. Проекція точки  $m$  на фокальну площину камери  $C_1$  задана точкою з координатами  $(u_1, v_1)$ , а на фокальну площину камери  $C_2$  — точкою  $(u_2, v_2)$ . Таким чином, точка  $m$  знаходиться на перетині променів  $(su_1, sv_1, sf)$  та  $(b+ru_2, rv_2, rf)$ , які перетинаються за умови  $s = r = b / (u_1 - u_2)$ .

## Завдання

### Частина 1



1. Ознайомитися з теоретичними відомостями роботи оптичної системи для візуально керованої хірургії.
2. Відповідно до свого варіанту розробити математичну модель та розрахувати координати цільової точки в тривимірному просторі.

### Частина 2

1. Відповідно до свого варіанту виконати програмну реалізацію визначення координат цільової точки в тривимірному просторі та провести візуалізацію положень координатних вісей, розташування камер та цільової точки після розрахунку її координат. Для розрахунків прийняти, що 1 сантиметр дорівнює





- 10 пікселам координатного простору сцени, перша камера розташована в початку координат, точки проєкції від цільової точки на фокусні площини камер задавати інтерактивно.
2. Скласти і захистити звіт по роботі.

### Варіанти виконання завдання

Номер варіанту	Відстань, на якій камери розташовані одна від одної	Фокусна відстань камер	Координати другої камери
1	50 см	1 м	У додатній частині вісі $Ox$
2	54 см	2 м	У від'ємній частині вісі $Ox$
3	58 см	3 м	У додатній частині вісі $Oy$
4	62 см	4 м	У від'ємній частині вісі $Oy$
5	66 см	5 м	У додатній частині вісі $Oz$
6	70 см	1 м	У від'ємній частині вісі $Oz$
7	74 см	2 м	У від'ємній частині вісі $Oy$
8	78 см	3 м	У додатній частині вісі $Oy$
9	80 см	4 м	У від'ємній частині вісі $Ox$
10	84 см	5 м	У додатній частині вісі $Ox$

### Контрольні запитання



1. Які основні складові оптичної системи для потреб візуально керованої хірургії?
2. Чому для визначення координатного розташування цільової точки в тривимірному просторі не достатньо однієї камери?
3. Вивести формули для розрахунку координат цільової точки в оптичній системі.
4. Які є види систем відстеження хірургічних інструментів?
5. Який вид систем відстеження хірургічних інструментів є найбільш розповсюдженим та чому саме?
6. Який вимірювальний принцип використовується в роботі оптичної системи відстеження хірургічних інструментів?



## ПРАКТИЧНЕ ЗАЙНЯТТЯ за темою №3

### «Розрахунок параметрів досліджуваної ділянки медичного зображення для планування хірургічного лікування»



**Ціль** – ознайомитися з основами розрахунків різних статистичних характеристик ділянки медичного зображення для потреб проведення планування хірургічного лікування; навчитися на прикладі обробки ділянки томографічного зображення розраховувати та візуалізувати гістограму розподілу значень яскравості досліджуваної ділянки зображення, а також розраховувати для неї значення одновимірних та двовимірних статистичних характеристик.

#### Теоретичні відомості



Розподіл частот, що характеризує розподіл значень яскравості першого порядку для вокселної моделі досліджуваної ділянки з діапазоном значень яскравості від 0 до  $M$ , визначається формулою:

$$P(v_k) = n_k / N,$$

де  $v_k$  – це  $k$ -й рівень яскравості з інтервалу  $[0, M]$ ,  $n_k$  – кількість вокселів моделі досліджуваної ділянки, рівень яскравості яких дорівнює  $v_k$ ,  $N$  – загальне число вокселів моделі досліджуваної ділянки. Статистичні характеристики та формули для їх розрахунку, що описують форму гістограм розподілу частот першого порядку, наступні:

- математичне сподівання  $\alpha_1(v) = \sum_{k=1}^M v_k \cdot P(v_k)$ ;
- дисперсія  $\mu_2(v) = \sum_{k=1}^M (v_k - \alpha_1(v))^2 \cdot P(v_k)$ ;
- середньоквадратичне відхилення  $\sigma(v) = \sqrt{\mu_2(v)}$ ;
- коефіцієнт асиметрії  $\gamma_1(v) = \frac{1}{\sigma^3(v)} \sum_{k=1}^M (v_k - \alpha_1(v))^3 \cdot P(v_k)$ ;
- коефіцієнт ексцесу  $\gamma_2(v) = \frac{1}{\sigma^4(v)} \sum_{k=1}^M (v_k - \alpha_1(v))^4 \cdot P(v_k) - 3$ ;
- ентропія  $H(v) = \sum_{k=1}^M P(v_k) \cdot \log_2(P(v_k))$ ;
- енергія  $U(v) = \sum_{k=1}^N (P(v_k))^2$ .

Статистичні характеристики, що описують форму гістограм розподілу частот другого порядку, ґрунтуються на визначенні спільного розподілу імовірностей для пар зображень досліджуваної ділянки. Розподіл частот, що характеризує спільний розподіл значень яскравості для пар вокселів моделі досліджуваної ділянки з діапазоном значень яскравості від 0 до  $M$  (розподіл другого порядку), визначається формулою:



$$P(v_k, v_l) = n_{k,l} / N,$$

де  $v_k$  – це  $k$ -й рівень яскравості з інтервалу  $[0, M]$ ,  $v_l$  – це  $l$ -й рівень яскравості з інтервалу  $[0, M]$ ,  $n_{k,l}$  – кількість випадків, коли з пари вокселів моделі досліджуваної ділянки рівень яскравості одного вокселя дорівнює  $v_k$ , а другого –  $v_l$ ,  $N$  – загальне число вокселів моделі досліджуваної ділянки.

Статистичні характеристики та формули для їх розрахунку, що описують форму гістограм розподілу частот другого порядку, наступні:

- автокореляція  $R(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M v_k \cdot v_l \cdot P(v_k, v_l)$ ;
- коваріація  $cov(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M (v_k - \alpha_l(v)) \cdot (v_l - \alpha_l(v)) \cdot P(v_k, v_l)$ ;
- момент інерції  $J(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M (v_k - v_l)^2 \cdot P(v_k, v_l)$ ;
- середня абсолютна різниця  $AD(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M |v_k - v_l| \cdot P(v_k, v_l)$ ;
- зворотня різниця  $ID(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M P(v_k, v_l) / (1 + (v_k - v_l)^2)$ ;
- ентропія  $H(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M P(v_k, v_l) \cdot \log_2(P(v_k, v_l))$ ;
- енергія  $U(v, v) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M (P(v_k, v_l))^2$ .

## Завдання

### Частина 1



1. Ознайомитися з теоретичними відомостями реалізації розрахунку різних параметрів досліджуваної ділянки медичного зображення.
2. Розробити програмний додаток для завантаження серії зображень томографічного дослідження в форматі DICOM.
3. Розробити інтерактивний інструмент «ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ» для проведення аналізу квадратної ділянки довільного зрізу із завантаженої серії. Розміри квадратної ділянки мають задаватися безпосередньо під час визначення її положення на зображенні в режимі реального часу.

### Частина 2

1. Реалізувати розрахунок гістограми розподілу значень яскравості для досліджуваної ділянки зображення, що визначається розробленим в попередній частині інтерактивним інструментом «ЗОНА ДОСЛІДЖЕННЯ».
2. Створити події, при обробці яких можна ввімкнути та вимкнути відображення гістограми в розробленому програмному додатку. Візуалізація гістограми має



містити візуалізацію розподілу значень яскравості для досліджуваної ділянки зображення, а також положення та масштаб значень координатних вісей.

## Частина 3

1. Реалізувати розрахунок розподілу частот, що характеризують розподіл значень яскравості першого та другого порядку.
2. Реалізувати розрахунок наступних статистичних характеристик для досліджуваної ділянки зображення: математичного сподівання, двовимірної ентропії, двовимірної енергії та характеристик, заданих відповідно до свого варіанту.
3. Створити події, при обробці яких можна ввімкнути та вимкнути відображення розрахованих статистичних характеристик.
4. Скласти і захистити звіт по роботі.

Номер варіанту	Варіанти виконання завдання	
	Одновимірні характеристики	Двовимірні характеристики
1	Дисперсія та середньоквадратичне відхилення	Зворотна різниця
2	Коефіцієнт асиметрії	Середня абсолютна різниця
3	Коефіцієнт ексцесу	Момент інерції
4	Ентропія	Коваріація
5	Енергія	Автокореляція
6	Дисперсія та середньоквадратичне відхилення	Автокореляція
7	Коефіцієнт асиметрії	Момент інерції
8	Коефіцієнт ексцесу	Коваріація
9	Ентропія	Середня абсолютна різниця
10	Енергія	Зворотна різниця

## Контрольні запитання



1. Які підходи використовують для визначення ділянок на томографічних медичних зображеннях?
2. Що характеризують значення одновимірних статистичних характеристик?
3. Що характеризують значення двовимірних статистичних характеристик?
4. Чи можна розраховувати статистичні характеристики за даними, що отримані після проведення гістограмних перетворень зображення. Відповідь пояснити.
5. Як обрати точність для відображення даних статистичних характеристик? Що на це впливає?