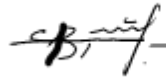


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет прикладної математики та інформатики
Кафедра кібербезпеки

Затверджено

На засіданні
кафедри кібербезпеки
факультету прикладної математики та
інформатики
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 3/23 від 3 жовтня 2023 р.)



В.о. завідувача кафедри Венгерський П.С.

Силабус з навчальної дисципліни
“ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ГЕОМЕТРІЯ ТА
КОМП’ЮТЕРНА ГРАФІКА”,
що викладається в межах ОПІ Інформатика
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 122 – комп’ютерні науки

Львів 2023 р.

| | |
|--|---|
| Назва дисципліни | Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка |
| Адреса викладання дисципліни | Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1 |
| Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна | Факультет прикладної математики та інформатики Кафедра кібербезпеки |
| Галузь знань, шифр та назва спеціальності | 12 – інформаційні технології 122 – комп'ютерні науки |
| Викладачі дисципліни | Венгерський Петро Сергійович, професор кафедри кібербезпеки Олексин Михайло, асистент кафедри кібербезпеки |
| Контактна інформація викладачів | petro.venherskyi@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/venherskyi ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 380. м. Львів, вул. Університетська, 1 |
| Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються | Консультації в день проведення лекцій/практичних занять (за попередньою домовленістю). |
| Сторінка курсу | https://ami.lnu.edu.ua/course/computer-graphics-informatics https://sites.google.com/view/cabinetvps |
| Інформація про дисципліну | В даному курсі розглядаються основні визначення; гіпотези; типові задачі обчислювальної геометрії. Наведено структуру основних матриць для базових операцій перетворення координат. Порівняння різних способів побудови канонічних кривих. Наближення кривих кубічними сплайнами; кривими Без'є; параболічними апроксимаціями. Наближення просторових поверхонь білінійними; лінійчатими бікубічними фрагментами. Порівняння різних методів побудови растрової розгортки прямолінійних відрізків. Показує використання алгоритму з впорядкованим списком ребер: розглядає різні прийоми збереження списку активних ребер. Реалізацію алгоритму заповнення з затравкою. Побудову алгоритму Кируса-Бека. Програмну реалізацію його трьохвимірного варіанту. Реалізацію та аналіз алгоритму Сазерленда-Ходжмена. Використання алгоритму плаваючого горизонту для побудови зображення реальних просторових поверхонь. Реалізацію основних моментів алгоритму Робертса. Програмування ключевих положень інтервального алгоритму пострічкового сканування. Реалізацію алгоритму визначення видимих поверхонь шляхом трасування променя. |
| Коротка анотація дисципліни | Дисципліна “Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка” є нормативною дисципліною з спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньої програми Інформатика, яка викладається в 5-му семестрі в обсязі 3-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). |
| Мета та цілі дисципліни | Метою курсу є викладення математичних та алгоритмічних основ комп'ютерної графіки, основних форматів зберігання графічних зображень та основних етапів їх алгоритмічної реалізації. |
| Література для вивчення дисципліни | Базова 1. David J. Eck, Hobart and William Smith Introduction to Computer Graphics. – NY: HobartandWilliamSmithColleges, 2021. – 456p. |

| | |
|--------------------------------------|---|
| | <ol style="list-style-type: none"> 2. Steve Marschner, <u>Peter Shirley</u> Fundamentals of Computer Graphics.- A K Peters/CRC Press; 5th edition, 2021. – 700p. 3. Donald Hearn, M. Pauline Baker Computer Graphics, C Version (2nd Edition). - Prentice Hall; Subsequent edition, 2020. – 652p. 4. Peter Shirley, other Fundamentals of Computer Graphics Subsequent edition, 2022. – 752 p. 5. Маценко В.Г. Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка, Черн. нац. Університет ім.Ю.Федьковича, Рута, 2023. – 424 с. https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/6844 . |
| Обсяг курсу | Загальний обсяг: 90 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 32 год. лекцій та 16 год. лабораторних робіт. Самостійної роботи: 42 год. |
| Очікувані результати навчання | Після завершення цього курсу студент буде : знати: основні математичні основи та базові алгоритми генерації зображень, структуру основних форматів зберігання графічних зображень; вміти: застосовувати вивчені алгоритми візуалізації графічних зображень в практичних задачах. |
| Компетентності | <p>ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>СК1. Здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування.</p> <p>СК4. Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач.</p> <p>СК8. Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: узагальненого, об'єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами й алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління.</p> |
| Програмні результати навчання | <p>ПР2. Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації.</p> <p>ПР9. Розробляти програмні моделі предметних середовищ, вибирати парадигму програмування з позицій зручності та якості застосування для реалізації методів та алгоритмів розв'язання задач в галузі комп'ютерних наук.</p> |
| Ключові слова | Растрова і векторна графіка, однорідні координати, перспективна проекція, алгоритми растрової розгортки, алгоритми стиснення зображень. |
| Формат курсу | Очний. |
| Теми | <ol style="list-style-type: none"> 1. Основні поняття комп'ютерної графіки. Етапи основного алгоритму обробки зображень. 2. Типи графічних пристроїв для вводу зображення. Сканери. Дігітайзери. Клавіатура. Аеро- та фотознімки. Космічні знімки. 3. Типи графічних пристроїв для візуалізації зображення. Растрові та векторні монітори. Принцип їх роботи. 4. Математичні основи комп'ютерної графіки. Однорідні координати на площині та в просторі. Базові перетворення координат. 5. Афінна та перспективна геометрії. Аксонометричне та перспективне проектування. |

| | |
|--|---|
| | <p>6. Задання плоских та просторових кривих. Кубічні сплайни; параболічна інтерполяція; криві Без'є.</p> <p>7. Апроксимація поверхонь в просторі. Білінійні поверхні. Лінійчаті поверхні. Лінійні поверхні Кунса. Бікубічна поверхня. Поверхні Без'є.</p> <p>8. Алгоритмічні основи комп'ютерної графіки. Алгоритми креслення відрізків. Цифровий диференційний аналізатор. Алгоритм Брезенхема.</p> <p>9. Растрова розгортка в реальному часі. Растрова розгортка суцільних областей. Заповнення многокутників. Простий алгоритм з впорядкованим списком ребер. Методи його покращення.</p> <p>10. Алгоритми заповнення зі зерном.</p> <p>11. Двовимірна відсіч. Алгоритм Сазерленда-Коена; що використовує розбиття відрізка. Узагальнення: відсіч двовимірного відрізка випуклим вікном. Алгоритм Кируса-Бека. Внутрішня та зовнішня відсіч.</p> <p>12. Вилучення невидимих ліній. Алгоритми вилучення невидимих ліній. Алгоритм плаваючого горизонту. Алгоритм Робертса. Алгоритм Варнака. Поняття z-буферу. Алгоритм, що використовує z-буфер. Алгоритм порядкового сканування. Алгоритм порядкового сканування, що використовує z-буфер. Інтервальний алгоритм порядкового сканування. Алгоритм визначення видимих поверхонь шляхом трасування променя.</p> <p>13. Графічні формати зберігання зображень. Про растеризацію і векторизацію. Принципи збереження зображень у растрових і векторних форматах.</p> <p>14. Опис найпоширеніших форматів графічних файлів. Їх переваги, недоліки та сфери застосування.</p> <p>15. Перетворення файлів з одного формату в інший. Імпорт та експорт зображень.</p> |
| <p>Підсумковий контроль, форма</p> | <p>Іспит у кінці 5 семестру</p> |
| <p>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p> | <p>Презентації, лекції, індивідуальні завдання, тести</p> |
| <p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p> | <p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • виконання індивідуальних завдань, тестування: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50; • іспит: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50. <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних</p> |

| | |
|---------------------------|--|
| | <p>завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> |
| <p>Завдання до іспиту</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Довести властивості для перетворення на площині: <ol style="list-style-type: none"> а) перетин переходить в перетин; б) паралельні в паралельні; в) середина відрізка переходить в середину відрізка 2. Написати матрицю повороту на кут $0, 90, -90, 180$. 3. Записати матрицю повороту навколо осі X на кут γ. 4. Написати матрицю повороту навколо довільної осі, що проходить через точку (a, b, c) паралельно заданому вектору. 5. Написати матрицю дзеркального відображення в просторі. 6. Написати матрицю симетрії відносно довільної площини та довільної точки. 7. Вивести рекурентну формулу для параметричного зображення еліпса. 8. Записати матрицю для знаходження похідних у точках проходження кубічного сплайну для ациклічних граничних умов. 9. Записати умови спряження для сегментів кривої Без'є по першій та другій похідних. 10. Побудувати лінійчату поверхню для обмежуючих кривих $P(u, 0), P(u, 1)$. 11. Пояснити структуру поверхні Без'є як двопараметричного сімейства кривих Без'є, які характеризуються параметрами u, w, що лежать в межах $[0, 1]$. 12. Дослідити алгоритм ЦДА для заокруглення вверх і вниз. 13. Написати алгоритм Брезенхема для малювання кола в будь-якому октанті. 14. Побудувати пострічковий алгоритм заповнення зі затравкою, мінімізуючи перебір внутрішніх пікселів. 15. Побудувати алгоритм розподілу інтенсивності похибки за методом збудження, використовуючи матрицю Ліма. 16. Скласти алгоритм двовимірної відсічі вікном паралельним осям координат екрану, використовуючи ідею Сазерленда-Коена. 17. Написати матрицю трьохвимірного обертання. 18. Побудувати ефективний алгоритм з впорядкованим списком ребер, використовуючи ідею групового сортування. 19. Удосконалити алгоритм затравки за рахунок оптимізації процесу вибору пікселів біля затравочного пікселя. |
| <p>Опитування</p> | <p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p> |

Схема курсу

| Тиж. | Тема, план, короткі тези | Форма діяльності (заняття) | Література | Завдання, год. | Термін виконання |
|------|---|--|----------------|----------------|------------------|
| 1 | Тема 1. Основні поняття комп'ютерної графіки. Етапи основного алгоритму обробки зображень. Растрова та векторна графіка, роздільна здатність, якість друку малюнка. Кольори, палітри, різні кольорові моделі. Пристрої вводу та виводу зображення., Основні принципи роботи растрових та векторних моніторів. Пристрої взаємодії із зображенням | лекція, самостійна робота | [1-5] | 2 2 | 1 тиждень |
| 2 | Тема 2.. Типи графічних пристроїв для вводу зображення. Сканери. Дігітайзери. Клавіатура. Аеро- та фотознімки. Космічні знімки. | лекція, самостійна робота лаб. | [1-5] [1-5] | 2 4 2 | 2 тиждень |
| 3 | Тема 3. Типи графічних пристроїв для візуалізації зображення. Растрові та векторні монітори. Принцип їх роботи | лекція, самостійна робота | [1-5] | 2 4 | 3 тиждень |
| 4 | Тема 4. Математичні основи компютерної графіки. Однорідні координати на площині та в просторі. Базові перетворення координат. Точки в нескінченості. Узагальнення обертань. | лекція, самостійна робота лаб. | [1-5] [1-5] | 2 4 2 | 4 тиждень |
| 5 | Тема 5. Афінна та перспективна геометрія. Аксонометричне та перспективне проектування. Точки збігу зображення. Одно-, двох-, трьохточкові перспективні проєкції. | лекція, самостійна робота, лаб. | [1-5] | 4 4 2 | 5-6 тиждень |
| 6 | Тема 6. Задання плоских та просторових кривих. Кубічні сплайни; параболична інтерполяція; криві Без'є. | лекція, самостійна робота | [1-5] | 2 4 | 7 тиждень |
| 7 | Тема 7. Апроксимація поверхонь в просторі. Білінійні поверхні. Лінійчаті поверхні. Лінійні поверхні Кунса. Бікубічна поверхня. Поверхні Без'є | лекція, самостійна робота, лаб. | [1-5] | 2 4 2 | 8 тиждень |
| 8 | Тема 8. Алгоритмічні основи компютерної графіки. Алгоритми креслення відрізків. Цифровий диференційний аналізатор. Алгоритм Брезенхема | лекція, самостійна робота | [1-5] | 4 4 | 9-10 тиждень |
| | Тема 9. Растрова розгортка в реальному часі. Растрова розгортка суцільних областей. | лаб. | [1-5] | 2 | |

| | | | | | |
|----|--|---------------------------------|-------|-------------|----------------|
| | Заповнення багатокутників. Простий алгоритм з впорядкованим списком ребер. Методи його покращення. Алгоритми заповнення зі зерном. | | | | |
| 9 | Тема 10. Двовимірна відсіч. Алгоритм Сазерленда-Коена; що використовує розбиття відрізка. Узагальнення: відсіч двовимірного відрізка випуклим вікном. Алгоритм Кируса-Бека. Внутрішня та зовнішня відсіч | лекція, самостійна робота | [1-5] | 2 4 | 11 тиждень |
| 10 | Тема 11. Вилучення невидимих ліній. Алгоритми вилучення невидимих ліній. Алгоритм плаваючого горизонту. Алгоритм Робертса. Алгоритм Варнака. Поняття z-буферу. Алгоритм; що використовує z-буфер. Алгоритм пострічкового сканування. Алгоритм пострічкового сканування; що використовує z-буфер. Інтервальний алгоритм пострічкового сканування. Алгоритм визначення видимих поверхонь шляхом трасировки променя. | лекція, самостійна робота, лаб. | [1-5] | 4 4 2 | 12-13 тиждень |
| 11 | Тема 12. Графічні формати зберігання зображень. Просамостійна растеризацію і векторизацію. Принципи збереження зображень у растрових і векторних форматах. | лекція, самостійна робота, лаб. | [1-5] | 4 4 2 | 14 -15 тиждень |
| | Тема 13. Опис найпоширеніших форматів графічних файлів. Їх переваги, недоліки та сфери застосування. Перетворення файлів з одного формату в інший. Імпорт та експорт зображень. | лаб. | [1-5] | 2 | 16 тиждень |

Лабораторні роботи:

- Перетворити в пам'яті та отримати на екрані та пристрої друку зображення в матричній та графічній формах:
 - на площині: одиничного квадрата та одиничного рівностороннього трикутника
 - в просторі: одиничного куба та одиничного тетраедра.
- Реалізувати алгоритми малювання у випадку параметричного та непараметричного задання. Порівняти різні варіанти з точки зору точності та швидкодії:
 - коло
 - еліпс
 - парабола
 - гіпербола.
- Реалізувати алгоритм апроксимації поточною заданої кривої кубічним сплайном у випадку граничних умов:
 - фіксованих
 - слабких
 - циклічних
 - ациклічних.

4. Реалізувати алгоритм параболічної інтерполяції. Передбачити інтерактивний ввід та обробку інформації.
5. Реалізувати алгоритм побудови кривих Без'є. Передбачити інтерактивну побудову характеристичної ламаної.
6. Реалізувати алгоритм побудови інтерполюючої поверхні $Q(u,v)$. Результати представити у вигляді проєкцій на площини $x=0, y=0, z=0$ сімейства координатних кривих $Q(u,v)$ та $Q(u,v)$
 1. $Q(u,v)$ - білінійна поверхня
 2. $Q(u,v)$ - лінійчата поверхня
 3. $Q(u,v)$ - лінійна поверхня Кунса
 4. $Q(u,v)$ - бікубічна поверхня
 5. $Q(u,v)$ - поверхня Без'є
7. Розробити алгоритм креслення відрізка з однієї довільної точки в іншу на псевдорастрі $32*32$. Псевдобуфер кадра задати у вигляді одновимірного масиву. Демонстраційний тест має включати не менше ніж 16 відрізків з початком в центрі кола і кінцями, що рівномірно розташовані на колі:
 1. алгоритм ЦДА
 2. цілочисельний алгоритм Брезенхема.
8. Для області, що обмежена многокутниками $(4,4)-(4,26)-(20,26)-(-28,18)-(21,4)-(21,8)-(10,8)-(10,4)$ та $(10,12)-(10,20)-(17,20)-(-21,16)-(21,12)$ на растрі $32*32$ розробити та реалізувати алгоритм розгортки та заповнення суцільної області. Передбачити виведення списку заповнених пікселів в форматі "стрічка-колонка":
 1. простий алгоритм з впорядкованим списком ребер*
 2. покращений алгоритм з впорядкованим списком ребер; що використовує групове сортування (для реалізації групового сортування використовувати зв'язний список; вміст якого має покроково друкуватись)*
 3. простий гранично-заповнюючий алгоритм з затравкою.
 4. Затравочний піксель $(14;20)$. Забезпечити видачу на екран списку граничних пікселів та вмістимого стеку*
 5. пострічковий алгоритм з затравкою. Затравочний піксель $(14; 20)$.
9. Реалізувати алгоритм відсічі відрізків двовимірним прямокутним вікном. Алгоритм має на першій ітерації визначати та зображати повністю видимі відрізки; а також визначати і відкидати тривіально невидимі відрізки:
 1. простий алгоритм двовимірної відсічі
 2. алгоритм Сазерленда-Коена
 3. алгоритм розбиття середньою точкою.
10. Написати програму, що реалізує алгоритм Кируса-Бека для відсікаючого вікна заданої форми. Алгоритм має визначати та відкидати многокутники іншої форми. Передбачити можливість вибору між зовнішньою та внутрішньою відсічкою:
 1. трикутник
 2. трапеція
 3. паралелепіпед
 4. довільний випуклий п'ятикутник.
11. Написати програму, що реалізує метод плаваючого горизонту для Поверхні заданої функцією
$$F(x,z) = 8 * \cos(1.2r) / (r+1), \text{ де}$$

$$r = x^2 + z^2, \quad -2p < x, z < 2p.$$

Точка спостереження знаходиться в безмежності на додатній півосі z, зображення повернуто на 25° навколо осі x, а потім на 15° навколо осі y.