експериментальними перехідними характеристиками // Відбір і обробка інформації. – 2013. – Вип. 38(114). – С. 50–60. 6. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием // пер. с польского. – М.: Машиностроение, 1974, – 328 с. 7. Дьяконов В. П. Maple 7: учебный курс. – СПб.: Питер, 2002. – 672 с. 8. Черных И. В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.

УДК 681.325

У. Ю. Дзелендзяк[1], В. В. Самотий[2]
[1]Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра комп'ютеризованих систем автоматики
[2]Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki,
katedra Automatyki i Technik Informacyjnych

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ

Наведено систему автоматизованого розпізнавання рухів, яка дає можливість створення анімацій в режимі реального часу з використанням світлочутливих КМОН-матриць та кольорових відеокамер.

Ключові слова: система розпізнавання рухів, КМОН-матриця, 3D-сканування, гіроскопічна система, XNA Framework, XNA Application, API-інтерфейси, DirectX Media Object.

This system of automated motion recognition, which allows you to create animations in real time using photosensitive CMOS-matrix and color cameras.

Key words: recognition system movements, CMOS sensor, 3D-scanning, gyro system, XNA Framework, XNA Application, API- interfaces, DirectX Media Object.

Вступ

Проблема розпізнавання рухів виникає в ігрових задачах, коли віртуальні персонажі повинні точно відтворити рухи акторів. Це дає можливість спростити та пришвидшити процес створення анімацій, покращити їх якість, що робить цей підхід економічно доцільним і конкурентоздатним на ринку. Досягається швидкодія, яка відповідає режиму реального часу. Порівняно з традиційною технологією обсяги робіт значно менше залежать від складності чи тривалості анімації, ніж традиційна техніка. Це дає змогу створювати багато тестових анімацій, щоб можна було оцінити різні стилі та постановки, тому якість кінцевого результату залежить тільки від майстерності актора.

Ми пропонуємо систему автоматизованого розпізнавання рухів, яка складається з апаратної та програмної частин. Апаратна частина є давачем глибини, що містить інфрачервоний проектор, об'єднаний з монохромною світлочутливою КМОН-матрицею, та кольорову відеокамеру. Програму розпізнавання рухів людини написано мовою C# та C-подібною мовою високого рівня HLSL для програмування графіки. Ця мова була створена корпорацією Microsoft і є складовою пакета DirectX, який містить набір програмних пакетів для програмування комп'ютерних ігор. В апаратній частині використовується Point Cloud 3D-сканер. Ці пристрої в автоматичному режимі сканують велику кількість точок на поверхні об'єкта і генерують на виході файл даних. Результат є множиною координат, отриманих 3D-скануванням об'єкта. Результати тривимірного сканування використо-

вуються для створення тривимірних CAD-моделей виробничих деталей, для метрології та контролю якості, а також для безлічі інших цілей, пов'язаних з візуалізацією та комп'ютерною анімацією.

Переваги системи автоматизованого розпізнавання рухів такі: один актор може грати багато ролей; живе відео на тривимірному тлі може виглядати дещо неприродно; можливе редагування постфактум (зміна ракурсів, світла, незначне редагування рухів); ширші можливості костюма і гриму; можливість поєднання системи розпізнавання рухів з ручною мультиплікацією; сцену можна показати з такого ракурсу, який навіть для павільйонних зйомок може бути утрудненим і недоступним; у сценах з великою кількістю комп'ютерних ефектів складно поєднати живих акторів з комп'ютерними персонажами.

Аналіз публікацій

Розглянемо основні види систем розпізнавання рухів. Вони розділяються на два типи, а саме маркерні системи та безмаркерні системи. Маркерна система розпізнавання рухів – це система, у якій використовується спеціальне обладнання. На людину одягають костюм з датчиками, вона створює рухи, необхідні за сценарієм, встає в домовлені пози, імітує дії; дані з датчиків фіксуються камерами і надходять в комп'ютер, де зводяться в єдину тривимірну модель, що точно відтворює рухи актора, на основі яких пізніше (або в режимі реального часу) створюється анімація персонажа. Також цим методом відтворюється міміка актора [4].

Безмаркерна технологія не потребує спеціальних датчиків або спеціального костюма. Безмаркерна технологія основана на технологіях комп'ютерного зору й розпізнавання образів. Актор може зніматися в звичайному одязі, що сильно прискорює підготовку до знімання і дає можливість знімати складні рухи (боротьба, падіння, стрибки тощо) без ризику пошкодження датчиків або маркерів. Знімання проводять за допомогою звичайної камери і персонального комп'ютера [2].

Гіроскопічні системи для збору інформації про рух використовують мініатюрні гіроскопи і інерційні сенсори, розташовані на тілі актора – як і маркери або магніти в інших системах розпізнавання рухів. Мінусами гіроскопічних систем є відсутність можливості захоплення рухів і міміки обличчя; для визначення положення актора в просторі потрібна додаткова міні-система [10].

Як наукова дисципліна, комп'ютерний зір належить до теорії та технології створення штучних систем, які отримують інформацію у вигляді зображень. Відеодані можуть бути представлені у вигляді багатьох форм, таких як відеопослідовність, зображення з різних камер або тривимірні дані з медичного сканера. Однак існують функції, типові для багатьох систем комп'ютерного зору [11].

Отримання зображень: цифрові зображення отримують від одного чи декількох датчиків зображення, в які, окрім різноманітних типів світлочутливих камер, входять датчики відстані, радари, ультразвукові камери тощо. Значення пікселів зазвичай відповідають інтенсивності світла в одній чи декількох спектральних смугах, але можуть бути пов'язані з різноманітними фізичними вимірюваннями, такими як глибина, поглинання чи відображення звукових або електромагнітних хвиль [3].

Сегментація – це процес розділення цифрового зображення на декілька сегментів. Точніше, сегментація зображень – це процес присвоєння таких міток кожному пікселу зображення, що пікселі з однаковими мітками мають спільні візуальні характеристики [7].

Метод, оснований на кластеризації, а саме метод k-середніх – це ітераційний метод, який використовується для розділення зображення на кластери. Базовий алгоритм методу описано в [16].

Методи з використанням гістограми дуже ефективні, порівняно з іншими методами сегментації зображень, тому що вони потребують тільки одного проходу по пікселах. Колір або яскравість можна використати для порівняння [12].

Підходи, основані на використанні гістограм, можна також швидко адаптувати для кількох кадрів, зберігаючи їх перевагу в швидкості за рахунок одного проходу. Цей підхід використовує сегментацію, основану на рухомих об'єктах і нерухомому оточенні, що дає інший вид сегментації, корисний у відеотрекінгу [6].

Методи розрізу графа можна ефективно застосувати для сегментації зображень. У цих методах зображення представляється як зважений неорієнтований граф. Кожна частина вершин (пікселів), одержувана цими алгоритмами, вважається об'єктом на зображенні. Деякі популярні алгоритми цієї категорії – це нормалізовані розрізи графів, випадкове блукання, мінімальний розріз, ізоперіметричний поділ і сегментація за допомогою мінімального зваженого дерева [3].

Метод водоподілу – це оснований на областях метод математичної морфології. Основною проблемою цього алгоритму є надмірна сегментація, оскільки всі межі й шуми відображаються в градієнті, що робить необхідним процес видалення [1].

Постановка задачі та програмна реалізація

Система автоматизованого розпізнавання рухів розроблена для операційної системи Windows. Сьогодні більшість 3D анімацій в ігровій індустрії та мультиплікації створюється вручну, що являє собою довгий та трудомісткий процес, в якому бере участь велика кількість спеціалістів. А у медицині та спорті ці технології майже не використовуються через їх собівартість. Складні рухи та реальну фізичну взаємодію, таку як вторинні рухи, вплив ваги та фізичної сили під час взаємодії об'єктів, не можна легко відтворити з необхідною точністю, створюючи вручну анімації для персонажів.

Для вирішення цих проблем необхідно розробити і впровадити систему, яка допоможе програмно розпізнавати та ідентифікувати рухи об'єктів, пришвидшувати процес створення анімацій, з можливістю отримати їх в режимі реального часу. Створена програма повинна швидко реагувати на зміну положення частин об’єкта, тобто його рух, відображати ці зміни на екрані та надавати можливість зберігати окремі рухи. Інтерфейс користувача повинен забезпечувати вільний доступ до всіх функціональних можливостей системи, коректно виводити інформацію на екран і за необхідності записувати анімації.

Система розпізнавання рухів допоможе покращити якість кінцевого результату, кінцевих анімацій, оскільки обсяг роботи набагато менше залежатиме від складності чи тривалості анімації порівняно з традиційною технікою. Це дає змогу створювати багато тестових анімацій, щоб можна було оцінити різні стилі та постановки. Як елементну базу для написання автоматизованої системи використано:

− графічний Framework XNA;
− набір засобів розроблення Kinect SDK;
− стандартні бібліотеки мови C#;
− стандартну бібліотеку мови HLSL.

XNA Framework ґрунтується на реалізації .NET Compact Framework 2.0 для Xbox 360 і .NET Framework 2.0 під Windows. У нього входить великий набір бібліотек класів, специфічних для розроблення графічних додатків, що підтримують максимальне повторне використання коду на всіх цільових платформах. Framework виконується на модифікації Common Language Runtime, оптимізованій для ігор, щоб створити кероване середовище виконання. Середовище часу виконання (CLR) доступне для Windows XP, Windows 7, Windows 8 і Xbox 360. Оскільки додатки XNA пишуть для CLR, їх можна запускати на будь-якій платформі, що підтримує XNA Framework з мінімальними змінами або взагалі без таких. Додатки, які запускаються на Framework, технічно можуть бути написані будь-якою .NET-сумісною мовою, але офіційно підтримується тільки мова програмування C# і середовища швидкого розроблення XNA Game Studio Express і всі версії Visual Studio 2010.

XNA Framework приховує низькорівневі технологічні деталі, пов'язані з розробленням графічних додатків. Отже, XNA Framework піклується про відмінність між платформами, даючи можливість розробникам приділяти більше уваги смисловому вмісту додатка. XNA Framework інтеґрується з кількома інструментами, такими як XACT, для допомоги у створенні контенту. XNA Framework надає підтримку під час створення двовимірних і тривимірних додатків і дає змогу використовувати можливості контролерів Xbox 360. XNA Framework вибрано через доступність у ліцензії, тому додатки, створені з використанням XNA Framework, вже можна поширювати через

Xbox Live Community. Програмне забезпечення також можна використати для створення комерційних додатків, призначених для Windows.

Kinect SDK дає можливість розробникам писати Kinect-додатки мовами C++/CLI, C# або Visual Basic.NET. Також цей SDK надає драйвери, сумісні з Windows 7 та Windows 8, для синхронізації ПК з Kinect-пристроєм.

Основні елементи роботи з Kinect SDK та XNA

Kinect SDK є складною програмною бібліотекою та інструментами, що допомагають розробникам використовувати можливості Kinect, який стежить за реальними подіями. Kinect і бібліотека програмного забезпечення взаємодіють з додатком, як показано на рис. 1, 2.

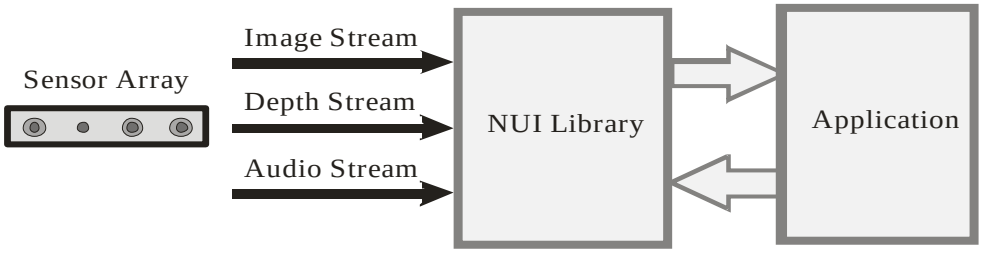


Рис. 1. Апаратне і програмне забезпечення. Взаємодія з додатком

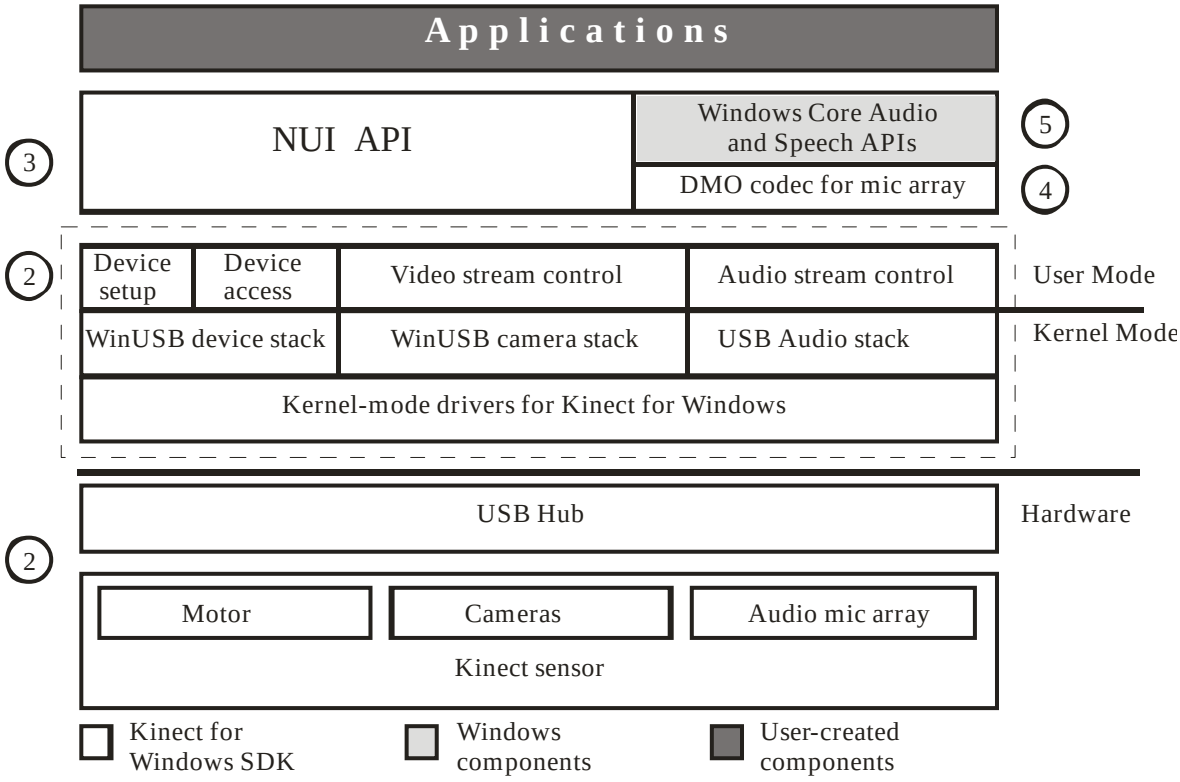


Рис. 2. SDK Архітектура

Компоненти SDK містять:

1. Апаратну частину Kinect – апаратні компоненти, зокрема датчик Kinect і USB-вихід, через який датчик Kinect підключений до комп'ютера.

2. Драйвери Kinect – Windows драйвери для Kinect, які встановлюються під час процесу встановлення SDK. Драйвери Kinect підтримують:

- мікрофонну решітку Kinect в режимі ядра аудіопристрою, до якої ви можете отримати доступ через стандартні аудіо API в Windows;

− контроль потокового аудіо і відео для потокового аудіо та відео (колір, глибину і скелет);
− функцію нумерації пристроїв, що дає можливість додатково використовувати більш ніж один Kinect;
− аудіо- та відеокомпоненти;
− інтерфейс користувача для відстеження скелета, звуку, кольору і глибини зображення.

3. DirectX Media Object (DMO) для мікрофонної решітки формування діаграми спрямованості та локалізації джерела звуку.

4. Windows 7, стандартні API-інтерфейси – звуки, мови, і API-інтерфейси медіа в Windows 7, як описано в Windows 7 SDK і Microsoft Speech SDK. Ці API також доступні для додатків у Windows 8.

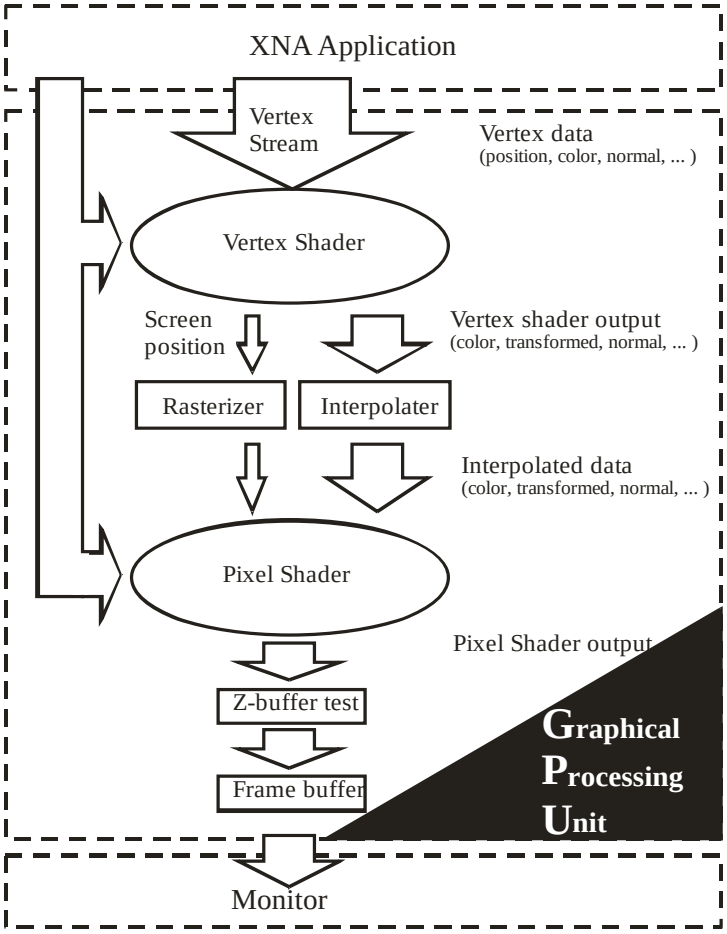


Рис. 3. Блок-схема відображення графічних об’єктів

Для створення системи використовувався графічний Framework XNA (рис. 3). Нижче наведено основні елементи роботи з цим Framework.

Під час створення нового проекту за допомогою XNA створюється клас Game1, який є похідним від класу Microsoft.Xna.Framework.Game, що забезпечує базову ініціалізацію графічного пристрою, логіку графічного додатка і код промальовування для додатків XNA. Клас Game1 доволі простий, оскільки основні дії виконуються у класах GamePiece і GamePieceCollection.

До закритих членів класу належить об'єкт GamePieceCollection, в якому зберігаються елементи гри, об'єкт GraphicsDeviceManager і об'єкт SpriteBatch, які використовують для промальовування елементів додатка.

Initialize() – під час виконання цієї функції виконується ініціалізація всіх об’єктів додатка.

Під час виконання додатка платформа XNA Framework також багаторазово викликає метод Draw. Метод Draw виконує промальовування елементів додатка, викликаючи метод Draw об'єкта GamePieceCollection.

Клас GamePiece інкапсулює всі функціональні можливості, необхідні для завантаження зображення елемента додатка Microsoft XNA, відстеження стану мишки щодо елемента гри, захоплення мишки, забезпечення оброблення маніпуляції та інерції, а також забезпечення можливості дезактивації елемента додатка, коли він досягає меж точки перегляду.

Метод UpdateFromMouse відповідає за виявлення натискання кнопки мишки, коли мишка перебуває в межах елемента додатка, і за виявлення відпускання кнопки мишки.

Коли натиснута ліва кнопка мишки (мишка у межах кордонів елемента), цей метод встановлює прапорець, який вказує, що цей елемент гри захопила мишка, і починає оброблення маніпуляції.

Оброблення маніпуляції починається зі створення масиву об'єктів Manipulator2D і передавання їх об'єкту ManipulationProcessor2D. Це змушує процесор маніпуляції оцінити маніпулятори (в цьому випадку один маніпулятор) та ініціювати події маніпуляції.

Особливості реалізації системи автоматизованого розпізнавання рухів

Система автоматизованого розпізнавання рухів працює за таким алгоритмом:

1. З сенсора Kinect отримуємо набір байтів кольорового зображення.
2. З цього набору формуємо кольорове зображення.
3. Паралельно з сенсора отримують множину точок тривимірного простору.
4. На основі цих точок формується карта глибини.
5. Проводиться процес сегментації кольорового зображення.
6. Зображення передаються на NUI API.
7. Отримуємо масив точок з ідентифікаторами суглобів.

Для сегментації використовуються алгоритми розмивання Гаусса, k-середніх.

Розмивання Гаусса – це тип фільтра розмивання зображення, що використовує функцію Гаусса для розрахунку трансформації кожного піксела у зображенні.

Рівняння функції Гаусса в одному вимірі:

$$G(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

у двох вимірах воно є результатом двох таких функцій, по одній на напрямок:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

де x – це відстань від початку координат по осі абсцис; y – це відстань від початку координат по осі ординат, σ – стандартне відхилення розподілу Гаусса.

Коли метод застосовується у двох вимірах, отримують поверхню, контури якої – це концентричні кола розподілу Гаусса з центральної точки. Значення з цього розподілу використовують для створення матриці згортки. Для кожного нового значення піксела визначається середнє зважене в околі піксела. Значення поточного оригінального піксела має більшу вагу (найвище значення розподілу Гаусса), а сусідні піксели отримують все меншу вагу залежно від того, наскільки віддалені вони від поточного оригінального піксела. Це створює ефект розмитості, яка зберігає кордони та краї краще, ніж інші аналогічні фільтри розмиття.

Теоретично в кожній точці зображення буде відмінним від нуля результату функції Гаусса. Це означає, що під час розрахунку для кожного піксела необхідно брати значення усіх пікселів у зображенні. На практиці, коли обчислюють дискретне спрощення функції Гаусса, вага пікселів на відстані більш ніж 3σ достатньо мала, щоб мати якийсь вплив на середнє зважене значення, і вважається нулем. Значення пікселів, що розташовані за межами цього діапазону, можна проігнорувати. Як правило, програмі оброблення зображень необхідно тільки розрахувати матриці з розмірами $\lceil 6\sigma \rceil \times \lceil 6\sigma \rceil$, щоб забезпечити результат, досить близький до отриманого від усього розподілу Гаусса.

Розмивання Гаусса може застосовуватися для двовимірних зображень у вигляді двох незалежних одновимірних, так званих лінійно розділених обчислень. Тобто ефекту застосування двовимірної матриці можна досягти за рахунок застосування ряду одновимірної матриці Гаусса в горизонтальному напрямку, а потім повторно у вертикальному напрямку. Щодо швидкості обчислення це корисна властивість, оскільки розрахунки можна виконати в $O(\omega_{\text{kernel}}\omega_{\text{image}}h_{\text{image}}) + O(h_{\text{kernel}}\omega_{\text{image}}h_{\text{image}})$ час (де h – висота і ω – ширина), на відміну від $O(\omega_{\text{kernel}}h_{\text{kernel}}\omega_{\text{image}}h_{\text{image}})$ для нерозділених обчислень.

Застосування розмивання Гаусса призводить до розмивання на зображення і має ті самі наслідки, що застосування єдиного розмивання Гаусса, радіус якого дорівнює квадратному кореню з суми квадратів радіуса розмиття, що застосовується. Наприклад, застосування послідовного розмивання Гаусса з радіусом 6 і 8 дає ті самі результати, що й застосування єдиного розмивання

радіусом 10, оскільки $\sqrt{6^2+8^2}=10$. Згідно з цим відношенням, час оброблення не можна зменшити імітацією розмивання Гаусса з послідовними процесом.

У розробленні системи використовувався лінійно відокремлений алгоритм розмивання Гаусса, який розділяє процес на два етапи. У першому проходженні одновимірна матриця використовується для розмиття зображення тільки в горизонтальному або вертикальному напрямку, на другому проході – для розмиття в іншому напрямку. Отриманий результат відповідає результату з використанням двовимірних матриць, але потребує меншої кількості обчислень.

Метод *k*-середніх (*k*-means) – це метод кластеризації, мета якого – розділити n спостережень на *k* кластерів, так, щоб кожне спостереження належало до кластера з найближчим до нього середнім значенням. Метод базується на мінімізації суми квадратів відстаней між кожним спостереженням та центром його кластера, тобто функції

$$\sum_{i=1}^{N} d(x_i,\ m_j(x_i))^2, \tag{3}$$

де d – метрика; x_i – *i*-й об’єкт даних; $a^{m_j(x_i)}$ – центр кластера, якому на *j*-й ітерації приписаний елемент x_i.

Алгоритм методу:

1. Маємо масив спостережень (об’єктів), кожен з яких має певні значення за низкою ознак. Відповідно до цих значень об’єкт розташовується у багатовимірному просторі.
2. Дослідник визначає кількість кластерів, що необхідно утворити.
3. Вибирають *k* випадкових спостережень, які на цьому кроці вважаються центрами кластерів.
4. Кожне спостереження “приписується” до одного з *n* кластерів – того, відстань до якого найкоротша.
5. Розраховується новий центр кожного кластера як елемент, ознаки якого розраховуються як середнє арифметичне ознак об’єктів, що входять у цей кластер.
6. Відбувається така кількість ітерацій (повторюються кроки 3-4), поки кластерні центри стануть стійкими (тобто під час кожної ітерації в кожному кластері опинятимуться ті самі об’єкти), дисперсія всередині кластера буде мінімізована, а між кластерами – максимізована.

Вибір кількості кластерів відбувається на основі дослідницької гіпотези.

Якщо її немає, то рекомендують створити 2 кластери, далі 3, 4, 5, порівнюючи отримані результати.

Головні переваги методу *k*-середніх – його простота та швидкість виконання. Метод *k*-середніх зручніший для кластеризації великої кількості спостережень, ніж метод ієрархічного кластерного аналізу (у якому дендограми стають перевантаженими і втрачають наочність).

ContentLoadException – виняток використовується для повідомлення про помилки методу ContentManager.Load. ContentManager – компонент, який завантажує керовані об'єкти з бінарних файлів. Він також управляє терміном життя завантажених об'єктів вивільненням ContentManager, сприяє вивільненню всіх завантажених об’єктів. Load<T>() – завантажує актив, оброблений за конвеєром вмісту. Effect – використовується для встановлення та доступу до ефекту та вибору методу промальовування. Model – складається з декількох об'єктів ModelMesh, які можуть бути оброблені самостійно. SpriteFont – текстура шрифту. Для її завантаження потрібно додати XML-файл у проект, що описує, як побудувати карту текстури для вашого шрифту. Під час побудови проекту XNA Game Studio створює текстуру із зображенням символів шрифту, який ви вкажете, з урахуванням зазначеного розміру точки шрифту. Texture – це ресурс текстури. Texture2D – це 2D сітка з текселів. Тексель є найменшою одиницею текстури, яка може бути порахована або записана в GPU. Тексель складається з 1 – 4 компонентів. Зокрема, тексель можна подати у будь-якому з доступних форматів текстур, наявних у SurfaceFormat. TextureCube – це набір з шести 2D текстур, по одному для кожної грані куба. SpriteBatch містить групу спрайтів для промалювання з деякими параметрами. SpriteBatch.Begin() починає операцію пакетного промальовування спрайтів з

використанням відкладеного сортування та параметрами за замовчуванням. SpriteBatch.Draw додає спрайт до пакета спрайтів для промальовування, використовуючи зазначену текстуру, положення, вихідний прямокутник, колір, обертання, походження, масштаб. SpriteBatch.DrawString додає спрайт до пакета спрайтів, для промальовування використовуючи зазначений шрифт, текст, положення, колір, обертання, масштаб. SpriteBatch.End очищає пакет спрайтів і відновлює стан пристрою, як це було раніше перед викликом SpriteBatch.Begin(). BlendState містить стан накладення. Additive – під час побудови проекту налаштовує об’єкти, як AdditiveBlend, що додає дані призначення до вихідних даних без використання альфа-каналу. AlphaBlend – під час побудови проекту налаштовує об’єкти для змішування об’єктів з використанням Alpha-каналу. NonPremultiplied – під час побудови проекту налаштовує об’єкти NonPremultipliedAlpha, для змішування цих об’єктів. StaticOpaque – під час побудови проекту налаштовує об’єкти для змішування цих об’єктів. SamplerState – містить стан Sampler, який визначає зразок даних текстури. AnisotropicClamp – містить стан за замовчуванням для анізотропної фільтрації текстур з одиничним координуванням. AnisotropicWrap містить за замовчуванням стан для анізотропної фільтрації текстур з повторенням координат. LinearClamp містить стан за замовчуванням для лінійної фільтрації текстур з одиничним координуванням. LinearWrap містить за замовчуванням стан для лінійної фільтрації текстур з повторенням координат. PointClamp містить стан за замовчуванням для точкової фільтрації текстур з одиничним координуванням. PointWrap містить за замовчуванням стан для точкової фільтрації текстур з повторенням координат. DepthStencilState містить стан глибини трафарету. Default – вбудований стан об'єкта з налаштуваннями за замовчуванням для використання буфера глибини трафарету. DepthRead – вбудований стан об'єкта з налаштуваннями, які дозволяють лише читати буфер глибини трафарету. None – вбудований стан об'єкта з налаштуваннями за замовчуванням без використання буфера глибини трафарету. RasterizerState містить стан-растеризатор, що визначає, як перетворити векторні дані на растрові. CullClockwise – вбудований стан об'єкта з налаштуваннями для виклику примітивів за годинниковою стрілкою. CullCounterClockwise – вбудований стан об'єкта з налаштуваннями для виклику примітивів проти годинникової стрілки. CullNone – вбудований стан об'єкта з налаштуваннями, щоб не викликати жодний з примітивів.

Реалізація додаткових підпрограм системи автоматизованого розпізнавання рухів

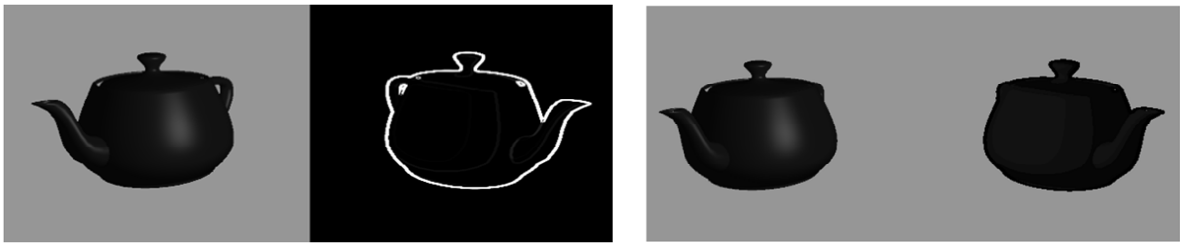
У системі автоматизованого розпізнавання рухів створено три підпрограми, а саме:

1. Перетворення 3D анімації на 2D анімацію, з подальшим записом результатів перетворень.
2. Тестова гра наочно відображає взаємодію сенсорів системи з користувачем у режимі реального часу.
3. Постоброблення анімації для згладжування та видалення паразитних шумів.

Для перетворення 3D анімації на 2D анімацію використано алгоритм оператора Собеля.

Оператор Собеля (рис. 4, а) використовується в області оброблення зображень. Часто його застосовують в алгоритмах виділення кордонів. По суті, це дискретний диференціальний оператор, який обчислює наближене значення градієнта яскравості зображення.

Строго кажучи, оператор використовує ядра 3×3, з якими згортають вихідне зображення для обчислення наближених значень похідних по горизонталі та по вертикалі. Нехай A – вихідне зображення, а Gx і Gy – два зображення, де кожна точка містить наближені похідні по x і по y.



а *б*

Рис. 4. Результат виконання оператора Собеля (а); результат кінцевого оброблення (б)

Далі, зрівнюючись з деяким пороговим значенням, будуємо спеціальну текстуру з межами і складаємо зображення (рис. 4, б). Тестова гра, створена у цій роботі, наочно показує практичне застосування розробленої системи у сфері розважання.

Висновок

Розроблено і досліджено систему автоматизованого розпізнавання рухів для платформи Windows. Створена система має такі функції: розпізнавання рухів людини, причому розпізнавання відбувається в реальному часі; збереження створених анімацій та подальше їх оброблення. На основі порівняльної оцінки існуючих технологій та програм для створення анімацій розроблено систему автоматизованого розпізнавання рухів, яка містить апаратну частину та програмне середовище. Апаратна частина являє собою давач глибини, що складається з інфрачервоного проектора, об'єднаного з монохромною КМОН-матрицею, та кольорову відеокамеру. Програмна частина – це програма, написана мовою C# з використанням технології DirectX. Розроблена автоматизована система дає можливість створення як 3D, так і 2D-анімації, залежно від потреб користувача. Розроблена система дає змогу порівнювати рухи користувача в реальному часі з еталонними, що дозволяє користувачу вивчати ці рухи (наприклад, танцювальні рухи, семафорна азбука). Застосування цієї системи автоматизованого розпізнавання рухів для створення розважальних програм може зменшити витрати та обсяг роботи на створення ключових кадрів анімації. Вона дає змогу створювати багато тестових анімацій для оцінювання різних стилів та постановок, тому якість кінцевого результату залежить тільки від майстерності актора.

1. Hubert Nguyen GPU Gems 3, 2007. 2. Edwards, Cliff (2009-06-01). Microsoft Moves onto Nintendo's Motion Turf // BusinessWeek. McGraw-Hill. – P. 1–2. 3. Nutt, Christian (2008-01-17). Q&A: 3DV's Barel On The Future Of Camera-Based Game Control // Gamasutra. Think Services. 4. Totilo, Stephen (2009-06-01). Why Xbox 360 New Controller Is Called 'Natal' // Kotaku. Gawker Media. 5. Jason Sanders, Edward Kandrot CUDA BY EXAMPLE: AN INTRODUCTION TO GENERAL-PURPOSE GPU PROGRAMMING, 2010. 6. Wilson, Mark; Buchanan, Matt (2009-06-03). Testing Project Natal: We Touched the Intangible // Gizmodo. Gawker Media. 7. Wingfield, Nick (2009-05-13). Microsoft Swings at Wii With Videocam // The Wall Street Journal (Dow Jones & Company): B1, ISSN 0099-9660, OCLC 4299067, процитовано 2009-06-02. 8. "E3 2009: Microsoft Press Conference Live Blog". IGN. 2009-06-01. 9. E3: Microsoft Xbox throws down gauntlet with "Natal" controller. The Seattle Times. 10. Project Natal "101". Microsoft. 2009-06-01. Archived from the original on 2009-06-01. 11. "Project Natal" 101". Microsoft. 2009-06-01. 12. http://http.developer.nvidia.com/GPUGems3/ gpugems3_ch26.html. 13. http://cvrc.ece.utexas.edu/Publications/HAU3D11_Xia.pdf. 14. http://blog. seattlepi.com/ digitaljoystick/archives/169993.asp.