

А.В. Бізюк, М.О. Мажуга

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків*

## ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА РОЗПІЗНАВАННЯ МАРКЕРА ДЛЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

*Використовуючи технологію доповненої реальності на практиці, користувач обмежений розширенням камери, особливостями кольору, освітлення і обчислювальною потужністю обладнання. Для оптимізації процесу розпізнавання міток були розглянуті етапи створення маркера і запропоновано оптимальний алгоритм роботи.*

**Ключові слова:** доповнена реальність, мітка, алгоритм, розпізнавання маркера.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У мобільній доповненій реальності користувачі дивляться на пряме зображення, отримане з відеокамери на мобільному пристрої, і сцена, яку вони бачать в реальності, доповнюється тримірними віртуальними об'єктами.

Головна проблема сьогодні – розробка алгоритму для більш швидкого та якісного процесу розпізнавання маркера, адже отримання зображення з камери, його обробка, розпізнавання образів, з подальшим накладенням зображення займає досить багато часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вже сьогодні існує досить широкий спектр галузей науки і техніки, в яких можуть застосовуватися системи доповненої реальності. В першу чергу можна виділити наступні:

- 1) медицина і охорона здоров'я;
- 2) проектування і дизайн;
- 3) картографія та ГІС;
- 4) реклама і маркетинг;
- 5) освіта;
- 6) ігрова індустрія;
- 7) військова техніка.

Для широкого загалу першою областю, в якій застосували технологію додаткової реальності, була реклама. На сьогоднішній день 80% цієї технології використовується в цілях реклами.

У картографії та ГІС доповнена реальність стала популярна в зв'язку з широким розповсюдженням мобільних пристроїв. Так, подібні системи можуть ідентифікувати навколишні об'єкти, дозволяючи людині з легкістю орієнтуватися в просторі.

У медицині дані технології затребувані для створення реалістичних симуляторів. Наприклад, це дозволяє лікарям практикуватися в проведенні різ-

ного роду хірургічних операцій. У проектуванні доповнена реальність може використовуватися для суміщення реальних об'єктів і інструкцій по збірці, управління і т.д.

**Формулювання мети статті.** Мета статті – провести аналіз рішень завдання побудови доповненої реальності в реальному часі для мобільних пристроїв, відібрати найбільш ефективні з них, визначити подальші способи прискорення процесу розпізнавання маркера, поліпшення результатів одержаного зображення.

### Що таке доповнена реальність?

Доповнена реальність (augmented reality) – це технологія, що дозволяє доповнювати зображення реальних об'єктів різними об'єктами комп'ютерної графіки, а також поєднувати зображення, отримані з різних джерел.

Дана технологія доповнює візуальне сприйняття реального світу за допомогою різноманітного контенту: фото, відео, аудіо, текст, 3D моделі. При цьому використовуються різноманітні гаджети: планшети, окуляри доповненої реальності, монітори, екрани і т.д.

### Як працює доповнена реальність?

Можна виділити два головних принципи побудови доповненої реальності:

- на основі маркера;
- на основі координат користувача.

Безмаркерні технології часто використовуються в мобільних пристроях і будуються за допомогою спеціальних датчиків: акселерометр, магнетометр, гіроскоп, GPS-приймач. Ці датчики дають інформацію про пристрій, його орієнтацію і положення у просторі.



Рис. 1. Принцип роботи доповненої реальності

Знаючи місцезнаходження людини, розташування екрану, можна визначити перспективу, а також те, що бачить користувач. Далі, використовуючи цю інформацію, відбувається обробка зображення, отримання інформації датчика. Але зображення, отримане з камери, потребує попередньої обробки. А дані, які передають датчики, неточні. Під маркером розуміється об'єкт, розташований в навколишньому просторі. Він аналізується спеціальним програмним забезпеченням для подальшого відтворення віртуальних об'єктів. На основі інформації про стан маркера в просторі, програма може досить точно розмістити на нього віртуальний об'єкт – це створить ефект фізичної присутності.

Використовуючи додаткові графічні фільтри і високоякісні моделі, віртуальний об'єкт може стати практично реальним і його буде важко відрізнити від інших елементів інтер'єру або екстер'єру.

Найчастіше в ролі маркера виступає аркуш паперу з деяким спеціальним зображенням. Тип малюнка може варіюватися досить сильно і залежить від алгоритмів розпізнавання зображень. Маркерами можуть бути і геометричні фігури простої форми (коло, квадрат), і об'єкти у формі прямокутного паралелепіпеда, і навіть очі та обличчя людей.

Принцип роботи доповненої реальності.

1. Камера «бачить» в реальному часі мітку, і передає інформацію про неї в комп'ютер або на мобільний пристрій.

2. Спеціально створена програма «прив'язує» до мітки віртуальний об'єкт доповненої реальності і виводить його на екран.

3. Після цього камера відстежує рухи мітки, а програма дозволяє керувати об'єктами так, як це було запрограмовано заздалегідь.

## Як ідентифікувати об'єкт?

Щоб ідентифікувати об'єкт, існують алгоритми розпізнавання в математиці та комп'ютерних науках. Це можна зробити з маркерами або без маркерів. Будь-який штрих-код, напис, QR-код – це вже мар-

кер. Класичний маркер доповненої реальності – це квадрат. Причиною цього є те, що квадрат досить просто побудувати та визначити місце розташування в трьох координатах. Графічний маркер, якщо він має чітку форму, виділяється з реальності, вносить дисонанс в інтер'єр.

Зовні «жива 3D мітка» – це звичайне зображення, нанесене на будь-яку поверхню, наприклад папір, пластик або інший матеріал. Коли ви наближаєте камеру до мітки, то на екрані з'являється віртуальний об'єкт. Найчастіше це 3D модель з анімацією, але це також може бути будь-який графічний об'єкт: текст, зображення або відео. Мітки можна обертати, нахилияти і переміщувати в реальному просторі в будь-якому напрямку – всі 3D моделі на екрані будуть повторювати переміщення мітки.

## Узагальнений алгоритм розпізнавання маркера

Алгоритм розпізнавання маркера представлений на рис. 2. Він включає наступні етапи:

- переведення зображення в градації сірого;
- бінаризація зображення;
- визначення замкнутих областей;
- виділення контурів;
- виділення кутів маркера;
- перетворення координат.

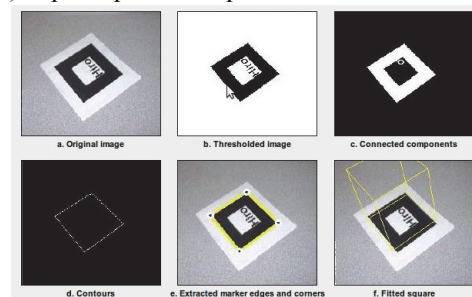


Рис. 2. Алгоритм розпізнавання маркера

## Переведення кольорового зображення в градації сірого

Розглянемо основні алгоритми переведення кольорового зображення в градації сірого.

- Lightness (світлота)  

$$GS = (\max(R,G,B) + \min(R,G,B))/2.$$
- Luminosity (свєтимість)  

$$GS = 0.21 \times R + 0.72 \times G + 0.07 \times B.$$
- Average (середнє значення)  

$$GS = (R + G + B) / 3.$$

Кожен з параметрів (Average, Lightness, Luminosity) створить зображення в градаціях сірого, а різниця між ними полягає в тому, як вони інтерпретують колір зображення в значення сірого. Для роботи був обраний алгоритм світлота (Lightness) для перекладу кольорового зображення в градації сірого. Вибір обумовлений тим, що чорні і білі ко-

льори набагато чіткіше виділяються, порівняно з іншими алгоритмами, за рахунок цього буде простіше розпізнати мітку.

## Бінаризація зображення

Для переведення зображення в двоколірне використовується певний поріг. Методів бінаризації існує досить багато. Для порівняння були обрані основні: метод Otsu, бінаризація зображення із заданим порогом, а також адаптивний метод (рис. 3).



Рис. 3. Методи бінаризації зображення

Для роботи був обраний адаптивний метод, тому що після бінаризації зображення залишається чітким і на ньому легко визначити основні лінії. Адаптивні методи також працюють з ділянками зображень і використовуються при неоднорідному освітленні об'єктів, тому зручні при зчитуванні інформації в реальному часі.

## Визначення замкнених областей

Щоб визначити замкнуті області на білому фоні, як правило, застосовують алгоритми «заливки» білих областей і виділяють замкнуті області.

У цьому місці можливі варіації. Спочатку потрібно виділити контури, а потім перевірити на замкнутість або навпаки. В алгоритмі буде використовуватися перший варіант, адже цей підхід швидше.

## Виділення контурів

Межі об'єктів на зображенні зменшують кількість даних, які необхідно обробити, і зберігають важливу інформацію про об'єкти на зображенні, їх форму, розмір, кількість. Головна особливість техніки виявлення меж – можливість отримати точну лінію.

Виявлення контуру – фундаментальний інструмент для сегментації зображення. Такі алгоритми перетворюють вхідне зображення в зображення з контурами об'єктів, переважно в сірих тонах. В обробці зображень за допомогою виділення контуру розглядають важливі зміни рівня яскравості зображення, а також фізичні та геометричні параметри об'єкта на сцені.

Кордон – це зміна яскравості на зображенні. Він, як правило, проходить по краю між двома обла-

стями. За допомогою кордонів можна отримати базу інформації про зображення.

У напівтонових зображеннях існує три види розривів: точка, лінія і кордон. Для виявлення всіх трьох видів неоднорідностей можуть бути використані просторові маски.

У технічній літературі наведено і описано велику кількість алгоритмів виділення контурів і меж. У даній роботі розглянуті найбільш популярні методи: оператори Робертса, Собеля, Превітта, Кірша, Робінсон, алгоритм Канни і LoG-алгоритм.

Оператор Робертса. Оператор виділення кордонів Робертса виконує прості і швидкі обчислення 2D просторового виміру на зображенні. Цей метод підкреслює області високої просторової частоти, які часто відповідають краям зображення.

На вході оператора подається полутонове зображення. Значення пікселів вихідного зображення в кожній точці передбачає якусь величину просторового градієнта вхідного зображення в цій же точці.

Оператор Собеля використовує наближення до похідної. Це дозволяє виявити край в тих місцях, де градієнт найвищий. Даний спосіб знаходить кількість градієнтів на зображенні, тим самим виділяючи області з високою просторовою частотою, які відповідають кордонам. В цілому це призводить до знаходження передбачуваної абсолютної величини градієнта в кожній точці вхідного зображення.

Даний оператор складається з двох матриць, розміром  $3 \times 3$ . Друга матриця відрізняється від першої тільки тим, що повернута на  $90^\circ$ . Це дуже схоже на оператор Робертса. Даний метод набагато простіше, ніж метод Собеля, але призводить до більшої зашумленості результуючого зображення.

Оператор Превітта. В даному алгоритмі оцінюється величина і орієнтація кордону. Навіть при тому, що виділення кордонів є досить трудомістким завданням, такий підхід дає досить непогані результати. Даний алгоритм базується на використанні масок розміром  $3 \times 3$ , які враховують 8 можливих напрямків: північ, північний захід, захід, південний захід, південь, південний схід, схід і північний схід.

Оператор Кірша. Алгоритм заснований на використанні всього однієї маски, яку обертають по восьми головних напрямках. Величина кордону визначається як максимальне значення, знайдене за допомогою маски. Напрямок, визначений маскою, видає максимальну величину.

Оператор Робінсона подібен методу Кірша, але є більш простим в реалізації через використання коефіцієнтів 0, 1 і 2. Маска даного оператора симетрична центральній осі, заповненої нулями.

Досить отримати результат від обробки перших чотирьох масок, інші ж можна отримати, інвертуючи перші. Максимальне значення, отримане після

застосування всіх чотирьох масок до пікселя і його оточення вважається величиною градієнта, а кут градієнта можна апроксимувати як кут ліній нулів в масці, які дають максимальний відгук

Марр-Хілдрет – метод знаходження границь в цифрових зображеннях, який виявляє неперервні криві всюди, де помітні швидкі і різкі зміни яскравості групи пікселів. Це досить простий метод, працює він за допомогою згортки зображення з LoG-функцією або як швидка апроксимація з DoG. Нулі в обробленому результаті відповідають контурам.

Виділення контуру методом LoG здійснюється в два кроки. На першому кроці згладжується зображення, а потім обчислюється функція Лапласа, що призводить до утворення подвійних контурів. Визначення контурів зводиться до знаходження нулів на перетині подвійних кордонів. Детектор кордонів Канни – це один з найпопулярніших алгоритмів виявлення контурів. Важливим кроком у даному алгоритмі є усунення шуму на контурах, який може вплинути на результат, при цьому необхідно максимально зберегти кордон. Для цього необхідно ретельно підібрати порогове значення при обробці методу.

Експериментальні результати. На рис. 4 представлені результати роботи алгоритмів, описаних вище. Всі алгоритми були реалізовані в програмному середовищі MATLAB R2009a. Мета експерименту полягала в отриманні обробленого зображення з ідеально виділеними контурами.

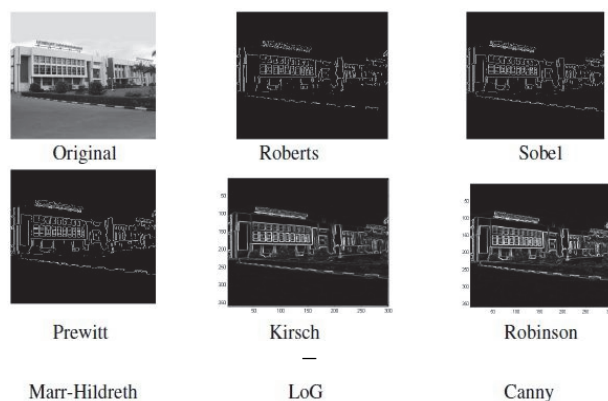


Рис. 4. Результат роботи різних алгоритмів виділення контурів

При аналізі отриманих результатів були виявлені наступні закономірності: оператори Робертса, Собеля і Превітта дають дуже різні результати. Марр-Хілдрет, LoG і Канн практично однаково виявили контури об'єкта, Кірш і Робінсон дали такий же результат. На відміну від операторів Робертса і Собеля, алгоритм Канни не надто сприйнятливий до шуму на зображенні. Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що алгоритм Канни справляється набагато краще за інших.

## Виділення кутів маркера

Виділивши контур, його необхідно зіставити з маркером. Щоб знайти координати об'єкта в кадрі необхідно по декількох точках (чотири і більше) знайти параметри афінових перетворень, які допоможуть стиснути, розгорнути, викривити зображення так, щоб знайдені ключові точки зійшлися.

Для вирішення цього завдання можна застосувати алгоритм Дугласа-Пекера (він же алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера, алгоритм розбиття і злиття), що дозволяє зменшити число точок кривої, апроксимованої великою серією точок. Таким чином, ми отримуємо координати кутів маркера.

## Перетворення координат

Координати кутів маркера повинні бути перпендикулярними, але в реальності розташовані під кутом. Таким чином, ми можемо визначити положення «камери» відносно об'єкта і точку відліку початку координат. При зміні кута з якого «дивиться» камера, змінюється розмір проекції (рис. 5).

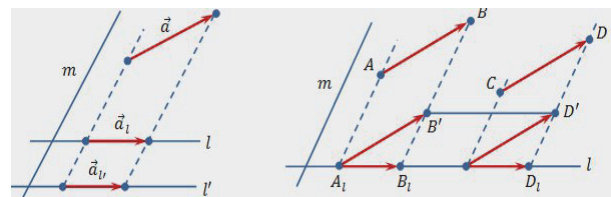


Рис. 5. Приклад зміни розміру проекції

Знаючи положення камери і точки відліку, можна намалювати проекцію для 3D моделі. Якщо використовувати квадрат з чистим полем як якості маркерів, то він симетричний, і розпізнати оберти можна тільки частково. Іноді цього достатньо. Якщо ж ні – то можемо внести всередину квадрата додатковий маркер і отримати в результаті ще й кут повороту, використовуючи перетворення Хафа.

Класичне перетворення Хафа використовує перетворення координат точок об'єкта, що шукається в точках накопичувального простору. Перетворення Хафа для пошуку будь-якого об'єкта як на площині (зображення), так і в просторі можна коротко описати наступним чином.

1. Вибір розмірності накопичувального простору і його створення.
2. Вибір кількості проміжних значень при переведенні точок з декартової площини в накопичувальний простір.
3. Переведення кожної граничної точки зображення (простору) з декартової системи в накопичувальний простір.
4. Пошук максимуму в накопичувальному просторі.

5. Відновлення координат і розмірів об'єкта, що шукається, за допомогою знайденого максимуму.

Існує безліч методів виділення різних ліній на зображеннях. Перетворення Хафа – це метод виявлення прямих і кривих ліній у напівтонових або кольорових зображеннях. Метод дозволяє вказати параметри кривих і забезпечує пошук на зображенні кривих заданого сімейства.

Цей метод був обраний через ряд переваг:

- a) легко реалізувати;
- b) швидкий у використанні;
- c) вирішує проблему дискретизації, оскільки сітка дискретизації нерегулярна і на кожній ітерації уточнюється;
- d) займає мало пам'яті.

### Висновок

Розпізнавання (трекінг) мітки доповненої реальності і накладення віртуальних об'єктів на зображення з камери відбувається в реальному часі. Щоб підготувати мітку доповненої реальності до роботи, її потрібно роздрукувати на будь-якому принтері, бажано на щільному і матовому папері.

Це потрібно для того, щоб вона не згиналася в процесі роботи і щоб завадити утворенню відблиску.

Для оптимізації і прискорення роботи з маркерами був запропонований алгоритм, який складається з шести етапів: переведення зображення в градації сірого (за допомогою методу Lightness), бінаризації зображення (адаптивний метод), визначення

замкнених областей (спочатку виділити контури, а потім перевірити на замкнутість), виділення контурів (алгоритм Канні), виділення кутів маркера (алгоритм Дугласа-Пекера), перетворення координат (використовуючи перетворення Хафа). Вибір кожного етапу алгоритму аргументовано, приведені результати тестування.

### Список літератури

1. Абламейко С.В. *Обробка зображень: технології, методи, застосування* / С.В. Абламейко. – М.: Амалфея, 2000. – 304 с.
2. Анісімов Б.В. *Розпізнавання і цифрова обробка зображень* / Б.В. Анісімов, В.Д. Курганов, В.К. Злобін. – М.: Висш.шк., 1983. – 295 с.
3. Сойфер В.А. *Методи комп'ютерної обробки зображень* / В.А. Сойфер. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
4. Яні Б. *Цифрова обробка зображень* / Б. Яні. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
5. Canny J. *A Computational Approach To Edge Detection* / J. Canny // *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986. – P. 679-698.

Надійшла до редколегії 4.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук ст. наук співробітник С.В. Герасимов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ МАРКЕРА ДЛЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

А.В. Бизюк, М.О. Мажуга

*Используя технологию дополненной реальности на практике, пользователь ограничен расширением камеры, особенностями цвета, освещения и вычислительной мощностью оборудования. Для оптимизации процесса распознавания меток были рассмотрены этапы создания маркера и предложен оптимальный алгоритм работы.*

**Ключевые слова:** дополненная реальность, метка, алгоритм, распознавание маркера.

### SELECTING THE OPTIMAL MARKER RECOGNITION ALGORITHM FOR ADDITIONAL REALITY

A. Bizuk, M. Mazhuga

*Using the technology of augmented reality in practice, the user is limited by the expansion of the camera, the features of color, lighting and the computing power of the equipment. To optimize the process of recognition of marks, the stages of creating a marker were considered and an optimal algorithm of work was proposed.*

**Keywords:** augmented reality, label, algorithm, marker recognition.