

О. М. Маковейчук

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ДЕКОДУВАННЯ МОЗАІЧНОГО СТОХАСТИЧНОГО МАРКЕРА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Анотація. Предметом вивчення в статті є маркери доповненої реальності. Метою є розробка методу декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності. **Завдання:** аналіз основних операцій у маркерних системах доповненої реальності, аналіз основних існуючих типів AR-маркерів, розробка методу декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності. Використовуваними методами є: методи цифрової обробки зображень, теорії ймовірності, математичної статистики, криптографії та захисту інформації, математичний апарат теорії матриць. Отримані такі результати. Визначено, що однією з основних операцій у маркерних системах доповненої реальності є декодування маркерів у відео-потіці з метою вирізнення віртуальних об'єктів з реального світу. Розроблений метод декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності. **Висновки.** Вперше отримано метод декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі запропонованої системи показників визначає розміри матриці бітів маркера, із трансформованого зображення біт-контейнера будує матрицю бітів маркера, визначає зсув у повній матриці бітів, на основі застосування зворотної перестановки до повної матриці бітів реалізує фільтрацію пермутованого зображення. Напрямами подальших досліджень є розробка методу проєктування віртуальних об'єктів на площину маркера доповненої реальності; розробка інформаційної технології використання мозаїчних стохастичних маркерів у системах доповненої реальності.

Ключові слова: маркер, код, доповнена реальність, віртуальна реальність, моделі, методи, вимоги, зовнішній вплив, робастність, виявлення, декодування.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відомо [1, 2], що доповнена реальність базується на візуальних маркерах та передбачає використання камери та спеціальних візуальних маркерів, наприклад QR-код (quick response code – код швидкого відгуку). В [3] запропоновано новий тип маркерів доповненої реальності. Однією з основних операцій у маркерних системах доповненої реальності є декодування маркерів у відео-потіці з метою вирізнення віртуальних об'єктів з реального світу. При цьому суттєвим є визначення положення та орієнтації камери, яке визначається засобами комп'ютерного бачення [3, 4].

Мета статті – розробка методу декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні існуючі типи AR-маркерів наведені в [1, 2, 5, 6, 7]:

- шаблонні (template markers) – чорно-білі маркери, які мають просте зображення всередині чорної рамки;

- 2D штрих-кодові (barcode markers) – маркери, що складаються з чорно-білих клітинок, які побітово кодують дані, і, іноді, рамки або області синхронізації. Найчастіше в якості штрих-кодових AR-маркерів використовують QR-коди;

- колові (circular markers) – аналогічно до штрих-кодових маркерів, тільки біти кодуються не прямокутними клітинками, а чорно-білими круговими секторами;

- зображення (image markers) – в якості маркерів використовуються звичайні кольорові зображення. Можуть містити рамку або інші орієнтири для виявлення та знаходження положення. Маркери-зображення зазвичай ідентифікуються за допомогою по-

шуку по шаблону або по особливостях зображення.

В [3] запропонований новий тип мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності, вид якого наведений на рис. 1.

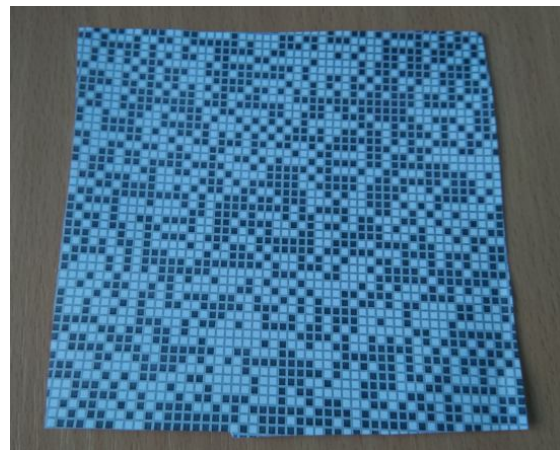


Рис. 1. Мозаїчний стохастичний маркер доповненої реальності

Отже, розробимо метод декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності.

Основна частина

Для декодування маркера необхідно вирішити задачу визначення кількості рядків і стовпців у робочій області, що зручно зробити по трансформованому зображенню маски AR-коду (рис. 1) [8].

Для цього визначимо функції:

$$S_1(x) = \frac{1}{h} \sum_y b_{x,y}, \quad (1, a)$$

$$S_2(y) = \frac{1}{w} \sum_x b_{x,y}, \quad (1, б)$$

де w, h – довжина і ширина зображення b відповідно.

Так, щоб визначити кількість стовпців W , необхідно порахувати кількість перетинів знизу вгору функцією $S_1(x)$ лінії порога $Q_1(x)$; аналогічно для визначення кількості рядків H порахуємо кількість перетинів знизу вгору функцією $S_2(y)$ лінії порога $Q_2(y)$ (рис. 2):

$$W = \sum_x \frac{d}{dx} \text{sign}(S_1(x) - Q_1(x)), \quad (2, \text{а})$$

$$H = \sum_y \frac{d}{dy} \text{sign}(S_2(y) - Q_2(y)), \quad (2, \text{б})$$

де $\text{sign}(x)$ – функція, що повертає знак числа x .

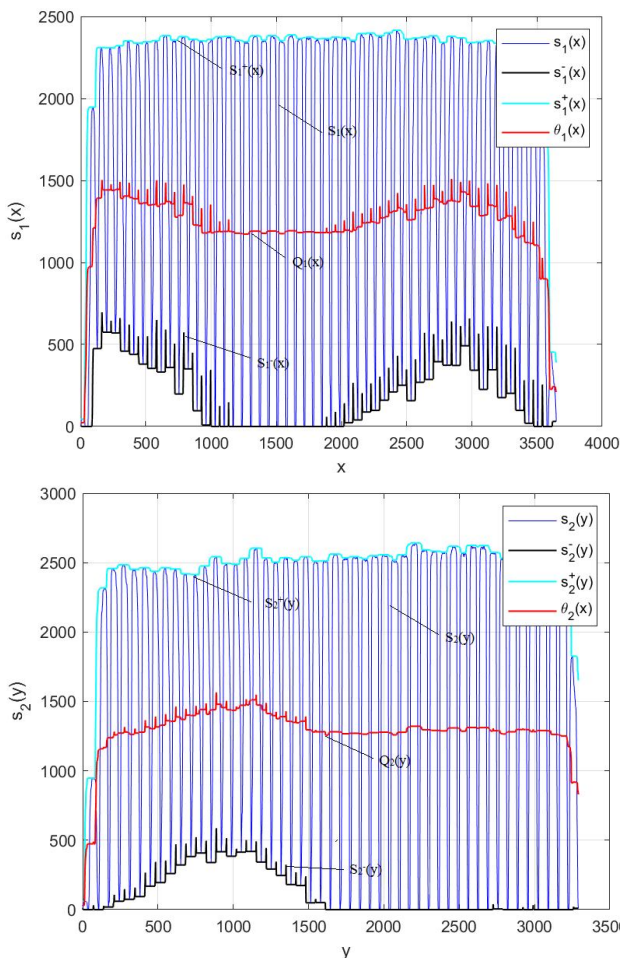


Рис. 2. Графіки функцій $S_{1,2}$ з огинаючими і порогами

Пропонується функції порогів $Q_{1,2}$ визначати як середнє між верхньою і нижньою огинаючими відповідних функцій $S_{1,2}$:

$$Q_{1,2} = (S_{1,2}^+ + S_{1,2}^-) / 2, \quad (3)$$

де верхні огинаючі $S_{1,2}^+$ знаходяться за допомогою операції морфологічного розширення по відрізку довжиною a (що еквівалентно локальному максимуму по цьому відрізку):

$$S_{1,2}^+ = \max_a S_{1,2} \quad (4)$$

Аналогічно, нижні огинаючі $S_{1,2}^-$ знаходяться за допомогою операції морфологічного звуження по відрізку довжиною a (що еквівалентно локальному мінімуму по цьому відрізку):

$$S_{1,2}^- = \min_a S_{1,2} \quad (5)$$

У даній роботі прийнято $a = 63$. Зробивши геометричну трансформацію біт-контейнера і визначивши H, W , ми можемо заповнити матрицю біт-контейнера $\gamma_{m,n}$ значеннями бітів:

$$\gamma_{m(n),n(x)} = g'(y,x), \quad (6)$$

де $g'(y,x)$ – трансформоване зображення біт-контейнера, а індекси m, n є функціями відповідних координат x, y і розраховуються як:

$$m(y) = \left\lfloor \frac{y - \min y}{\max y - \min y} (H - 1) \right\rfloor + 1, \quad (7, \text{а})$$

$$n(x) = \left\lfloor \frac{x - \min x}{\max x - \min x} (W - 1) \right\rfloor + 1, \quad (7, \text{б})$$

де $\lfloor x \rfloor$ – функція округлення знизу.

Заповнена матриця біт-контейнера показана на рис. 3, при цьому значення бітів 1 кодується білим кольором, бітів 0 – сірим кольором, а невизначені значення (відсутні клітинки) – чорним.

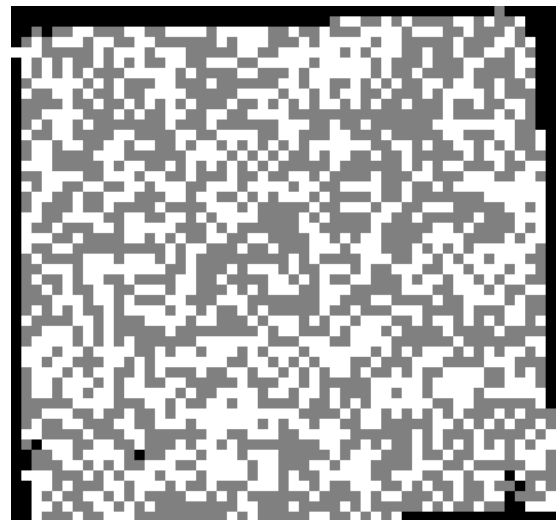


Рис. 3. Заповнена матриця біт-контейнера

На даному етапі ми маємо вже заповнену матрицю біт-контейнера γ , але, оскільки для обробки міг бути представлений тільки фрагмент зображення, матриця біт-контейнера може визначитися меншого розміру і ми повинні визначити положення заповненої матриці у матриці повного розміру Γ (в нашому випадку її розмір 63×63). Недостаючі значення, як і раніше, заповнимо 0.

Для вирішення цієї задачі основна ідея є така: переберемо послідовно всі можливі способи вписати існуючий фрагмент у матрицю повного розміру, після чого проведемо декодування (інверсну перес-

тановку) і для декодованої матриці порахуємо деяку функцію, що має різкий екстремум для правильно дешифрованих зображень (аналогічно до попереднього розділу).

Оскільки у правильно декодованому зображенні його пікселі будуть суттєво корельованими, то наша функція повинна приймати екстремальні значення для цього випадку.

Положення матриці біт-контейнера знаходиться з умови мінімуму цільової функції:

$$\{m_0, n_0\} = \arg \min_{m,n} S(\hat{P}^{-1} \Gamma). \quad (8)$$

В якості такої функції можемо взяти:

$$S(\hat{P}^{-1} \Gamma) = \frac{1}{4} \left\langle \left| \nabla \hat{P}^{-1} \Gamma \right|^2 \right\rangle, \quad (9)$$

де \hat{P}^{-1} означає інверсну перестановку, трикутні дужки $\langle \dots \rangle$ позначають операцію усереднення, а коефіцієнт 1/4 введено з міркувань зручності.

В даному випадку мінімум знаходиться в точці (7, 6), що відповідає індексам розташування верхнього лівого матриці кута біт-контейнера у повній матриці.

Тоді повна матриця біт-контейнера заповнюється як:

$$\Gamma_{m+m_0-1, n+n_0-1} = \gamma_{m,n}, \quad (10)$$

На рис. 4 показано графік цільової функції для всіх можливих положень, на рис. 5 – повна матриця біт-контейнера.

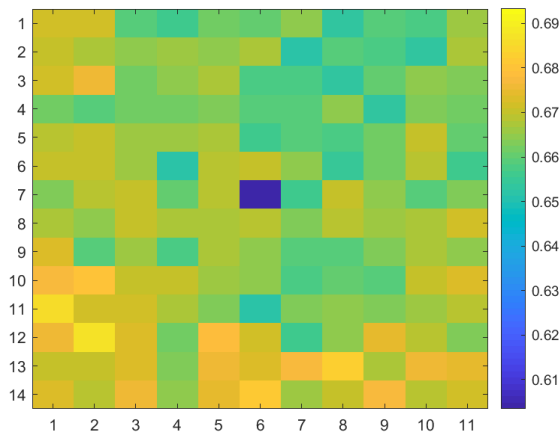


Рис. 4. Графік цільової функції для всіх можливих положень

Декодування повної матриці біт-контейнера Γ проводиться за допомогою інверсної псевдовипадкової перестановки \hat{P}^{-1} (вважаємо, що вона відома):

$$G = \hat{P}^{-1}(\Gamma), \quad (11)$$

Наступним етапом проводиться заповнення невизначених пікселів. Ця операція проводиться для кожного блоку розміром 3x3 пікселі, значення блоку присвоюється біту, що зустрічається найчастіше (0 елементи до розгляду не беруться).

Це виконується за допомогою λ -функції (у MATLAB-нотації):

$$fun = @(x) mode(x(x > 0)), \quad (12)$$

де $mode(x)$ – функція, що повертає моду послідовності x (елемент послідовності, що зустрічається найчастіше).



Рис. 5. Повна матриця біт-контейнера

Результат застосування інверсної псевдовипадкової перестановки до повної матриці біт-контейнера представлено на рис. 6.



Рис. 6. Результат застосування інверсної псевдовипадкової перестановки до повної матриці біт-контейнера

Кінцевий результат декодування маркера представлено на рис. 7, всі біти, не зважаючи на досить значну частину пропусків (див. рис. 5), відновлено правильно.

Таким чином, вперше отримано метод декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі запропонованої системи показників визначає розмір матриці бітів маркера, із трансформованого зображення біт-контейнера будує матрицю бітів маркера, визначає зсув у повній

матриці бітів, на основі застосування зворотної перестановки до повної матриці бітів реалізує фільтрацію перматованого зображення.

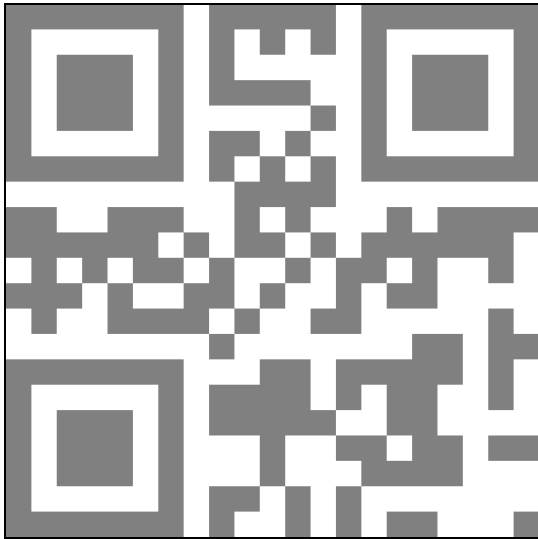


Рис. 7. Кінцевий результат декодування маркера

Висновки і напрямки подальших досліджень

Встановлено, що однією з основних операцій у маркерних системах доповненої реальності є декодування маркерів у відео-потіці з метою вирізнення віртуальних об'єктів з реального світу.

Вперше отримано метод декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі запропонованої системи показників визначає розміри матриці бітів маркера, із трансформованого зображення біт-контейнера будує матрицю бітів маркера, визначає зсув у повній матриці бітів, на основі застосування зворотної перестановки до повної матриці бітів реалізує фільтрацію перматованого зображення.

Напрямами подальших досліджень є:

розробка методу проектування віртуальних об'єктів на площину маркера доповненої реальності;

розробка інформаційної технології використання мозаїчних стохастичних маркерів у системах доповненої реальності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Facebook Research. AR/VR-Facebook Research. 2019 // [Electronic resource] – URL: <https://research.fb.com/category/augmented-reality-virtual-reality>.
2. Siltanen, Theory and applications of marker-based augmented reality / S.Siltanen // Espoo 2012 – 2012. – 198 p.
3. Маковейчук О. М. Новий тип маркерів доповненої реальності / О. М. Маковейчук // Сучасні інформаційні системи. — 2019. — Том. 3. — № 3. — С. 43–48.
4. Lowe, David G. Object recognition from local scale-invariant features. //Proceedings of the International Conference on Computer Vision 2 – 1999 – P. 1150–1157.
5. Форсайт А.Д., Компьютерное зрение. Современный подход / Форсайт А. Д., Понс Ж. // Компьютерное зрение. Современный подход. – 2004. – 928 с.
6. Hartley R., Multiple View Geometry in Computer Vision / Hartley R., Zisserman S. // Cambridge University Press New York, NY, USA – 2003. – 655 p.
7. Маковейчук О. М. Використання генетичних алгоритмів для знаходження інверсних псевдовипадкових блочних перестановок / О. М. Маковейчук, І. В. Рубан, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2019. — № 4 (56).
8. Adobe Blog. The 10 VR Trends We'll See in 2018, 2019 // [Electronic resource] – URL: <https://theblog.adobe.com/10-vrtrends-well-see-2018/>.

Received (Надійшла) 31.10.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2019

Decoding Method for Mosaic Stochastic Augmented Reality Marker

O. Makoveychuk

Abstract. The **subject matter** of the article is the augmented reality markers. The **goal** is to develop a method for decoding a mosaic stochastic augmented reality marker. The **tasks** are: analysis of basic operations in marker systems of augmented reality, analysis of the main existing types of AR-markers, development of a method for decoding a mosaic stochastic marker of augmented reality. The **methods** used are: methods of digital image processing, probability theory, mathematical statistics, cryptography and information protection, the mathematical apparatus of matrix theory. The following **results** are obtained. It is determined that one of the main operations in marker systems of augmented reality is the decoding of markers in a video stream in order to extract virtual objects from the real world. A method for decoding a mosaic stochastic augmented reality marker has been developed. **Conclusions.** For the first time, a decoding method for a mosaic stochastic augmented reality marker has been obtained. In which on the basis of the proposed system of indicators determines the size of the matrix of bits of the marker. From a transformed image of a bit container, it builds a matrix of marker bits. Defines the offset in the full matrix of bits. Based on the application of reverse permutation in the full matrix of bits, it implements filtering of a permuted image. The directions of further research are the development of a method for designing virtual objects on the plane of the augmented reality marker; development of information technology for using mosaic stochastic markers in augmented reality systems.

Keywords: marker, code, augmented reality, virtual reality, models, methods, requirements, external influence, robustness, identification, decoding.