

УДК 004.932

В.І. Загребнюк, І.С. Рубльов

**СУБДИСКРЕТИЗАЦІЯ ХРОМАТИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ У ПРОСТОРІ  $c\bar{V}X2X3$   
ЗІ ЗМІННИМ КОЕФІЦІЄНТОМ СТИСКУЮЧОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ**

*У роботі виконані дослідження проріджування хроматичних компонентів цифрових зображень. Показано, що проріджування хроматичних компонентів простору  $c\bar{V}X2X3$  зі змінним коефіцієнтом стискуючого перетворення та інтерполяційним відновленням не приводить до візуально відчутної деградації зображень та суттєво зменшує надмірність в колірних площинах.*

**Ключові слова:** хроматичні компоненти, проріджування, схеми субдискретизації, надмірність в колірних площинах.

*В работе выполнены исследования прореживания хроматических компонент цифровых изображений. Показано, что прореживание хроматических компонент пространства  $c\bar{V}X2X3$  с переменным коэффициентом сжимающего преобразования не приводит к визуальной осязательной деградации изображений, а также существенно уменьшает избыточность в цветовых плоскостях.*

**Ключевые слова:** хроматические компоненты, прореживание, схемы субдискретизации, избыточность в цветовых плоскостях.

*In this paper we investigate the reconstruction by interpolation of the subsampled static digital images. It is shown, that sub-sampling of the chromatic components in the  $c\bar{V}X2X3$  color space, followed by interpolation reconstruction, does not lead to visually perceptible image degradation.*

**Keywords:** chromatic components, subsampling, subsampling scheme, color redundancy

**Актуальність.** Широке впровадження систем відеоспостереження з застосуванням відеосерверів, а також поява інтелектуальних відеосерверів з функціями відео-аналітики потребує ефективних методів стиску без суттєвого погіршення якості відео-даних для збереження та пошуку в відео-архівах та передачі в комп'ютерних мережах. Використання інтелектуальних відеосерверів в системах охорони портових територій, спостереження за безпекою в приміщеннях морських вокзалів та причалів, пожежна безпека, спостереження за транспортними засобами на контрольних пунктах, контроль за перевантаженням пакованих вантажів – це не повний перелік можливих застосувань інтелектуальних відеосерверів в галузі морського транспорту.

Між тим, сучасні методи стиску відеопотоків при низьких швидкостях передачі даних в IP-мережах не гарантують від появи характерних для відеокодеків спотворень зображень, що ускладнює або робить немож-

ливим подальше застосування відео-аналітики. Саме тому розроблення нових або удосконалення існуючих методів стиснення відеопотоків та зображень, що забезпечують високу ступінь стиску при збереженні високої якості є актуальними.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є дослідження зменшення просторової та візуальної надмірностей зображення при використанні простору  $sVX2X3$  зі змінним коефіцієнтом стискуючого перетворення.

**Результати дослідження.** Застосування простору  $sVX2X3$  зі змінним коефіцієнтом стискуючого перетворення для всіх досліджуваних схем прорідження призводить до скорочення розмірів палітр хроматичних компонент  $X2$  і  $X3$  при збільшенні коефіцієнту перетворення, внаслідок чого ступінь стиску ентропійними методами для цих компонент збільшується в 2-3 рази. При цьому якість візуального сприйняття зображень для всіх схем проріджування лишається високою (PSNR не менш 35 дБ).

**Вступ.** Однією з основних складових систем збереження та передачі відеоданих є формати стиснення, такі як H.264, H.265, Dіgас та інші. Застосування кодерів та декодерів цих форматів дозволяє не тільки підвищити якісні показники цифрових телевізійних систем, але й вирішувати нові задачі багатьох прикладних телевізійних систем, зокрема відеоспостереження (CCTV). Одним з актуальних напрямів є інтелектуальні відеосервери, які застосовують відео аналітичну обробку відео-даних. На ринку зараз з'явилися відеокамери масового виробництва, які дозволяють передавати нестиснутий відео-потік високої чіткості (HD) за допомогою таких інтерфейсів [1]:

- Інтерфейс HD-SDI дозволяє передавати нестиснене відео по коаксіальному або оптичному кабелю. Плати відео-захвату (фреймграбери) з апаратним стисненням H.264 передають данні на відеосервери подібно до плат захвату аналогового відео.

- Інтерфейс GigE Vision забезпечує передачу нестисненого відео мережі стандарту Gigabit Ethernet.

- Інтерфейс USB 2.0 і USB 3.0, який використовується для Web-конференцій, в системах машинного зору, а також в малобюджетних системах безпеки для дому, офіса або невеликого магазину.

Альтернативою аналітики нестисненого відео є поява аналітики стисненого (мережного) відео, яке має досить широке застосування спостереження в умовах відсутності деяких перешкод.

Поняття аналітика мережного відео (NVA) було введено форумом ONVIF як тип мережного приладу, що приймає, обробляє та передає потокове стиснене відео. Пристрій NVA додає в RTSP-відеопотік результати відеоаналітики, а саме події та метаданні, які потім будуть застосовані для відображення або для пошуку в архіві.

В форматах кодування для зберігання й передавання відеопотоків з метою підвищення ефективності стиску використовується процедура проріджування (або субдискретизації) хроматичних компонент за різними схемами [2,3], що є одним з методів зменшення просторової

надмірності даних. При цьому для зменшення спотворень, пов'язаних з проріджуванням, використовуються різні методи. Наприклад, для схеми субдискретизації 4:2:0 хроматичні компоненти розбиваються на макроблоки розміром 16×16 пікселів, що використовуються для виконання адаптивного (контекстно-залежного) проріджування, коли окремі частини зображення, наприклад, ті, що містять границі або текстури, не підлягають проріджуванню [4,5]. Для стиску статичних зображень проріджування хроматичних компонентів використовують не так часто, бо в більшості випадків приводить до відчутної деградації зображення при високих ступенях стиску (постеризація, розмиття границь, тощо) [6]. Крім зменшення просторової надмірності, актуальним напрямком підвищення ефективності стиску є зменшення візуальної надмірності зображення, наприклад, за рахунок використання процедури відновлення (inpainting) пропущених частин зображення [7]. Якщо розглядати хроматичні компоненти, як незалежні повідомлення з певним алфавітом, то ефективність стиску можна збільшити на 20 %, скорочуючи довжину алфавіту за рахунок конкатенації квантованих коефіцієнтів дискретно-косинусного перетворення [8]. Перевагою стискуючого відображення sVX2X3 [9] є зменшення розмірів палітри хроматичних компонент, завдяки чому зменшується розмір алфавіту для їх кодування.

#### **Вплив коефіцієнту стискуючого перетворення простору sVX2X3 на розмір палітр хроматичних компонент**

Розглянемо стискуєче відображення простору RGB у простір sVX2X3. Це лінійне відображення здійснюється за формулами

$$\begin{aligned} B_a &= \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \lambda_3 C_3; \\ X2 &= (C_2 - B)/k_z; \\ X3 &= (C_3 - B)/k_z. \end{aligned} \tag{1}$$

Тут  $\lambda_i$  – впорядковані по спаданню власні значення ковариційної матриці, розрахованої для компонент системи RGB, причому власні значення нормовані так, щоб їх сума дорівнювала одиниці –  $\sum_i \lambda_i = 1$ ;  $B_a$  – ахроматична компонента, або яскравість, X2 та X3 –

хроматичні компоненти.  $C_i$  – компоненти кольору простору RGB, впорядковані у відпо-відності до їх власних значень.

Важлива особливість колірного простору sVX2X3, полягає в тому, що динамічні діапазони хроматичних компонент X2 та X3 визначаються залежно від колірному контексту зображення, що враховується власними значеннями  $\lambda_i$  та коефіцієнтом стискуючого перетворення  $k_z$

$$X2 \in [-256(1 - \lambda_3)/k_z, 255(1 - \lambda_3)/k_z],$$

$$X3 \in [-256(1 - \lambda_2)/k_z, 255(1 - \lambda_2)/k_z].$$

Слід очікувати, що використання стискуючого відображення буде мати наслідком зменшення візуальної надмірності за рахунок зменшення розмірів палітр хроматичних компонент при збільшенні коефіцієнту  $k_z$  та просторової надмірності – за рахунок їх субдискретизації. Звідси виникає питання: як буде впливати збільшення коефіцієнту стискуючого перетворення  $k_z$  при здійсненні проріджування на ефективність стиску зображень.

Розглянемо, як будуть змінюватись розміри палітри  $P_{X_2}$  та  $P_{X_3}$  хроматичних компонент в залежності від  $k_z$  та схеми проріджування.

На рис. 1 наведено залежність від  $k_z$ , розміру палітри  $I_{X_2X_3} = P_{kz}/P_2$  ( $P_{kz}$  – середнє значення розміру палітри для  $k_z \in [1,16]$ ;  $P_2$  – середнє значення розміру палітри при  $k_z = 2$ ) для не проріджених хроматичних компонент  $X_2, X_3$ . З наведеного рисунку видно, що при збільшенні коефіцієнту  $k_z$  від 2 до 4 розмір палітри зменшується вдвічі, при  $k_z = 8$  розмір палітри зменшується в 3, а для  $k_z = 10$  – у 4 рази.

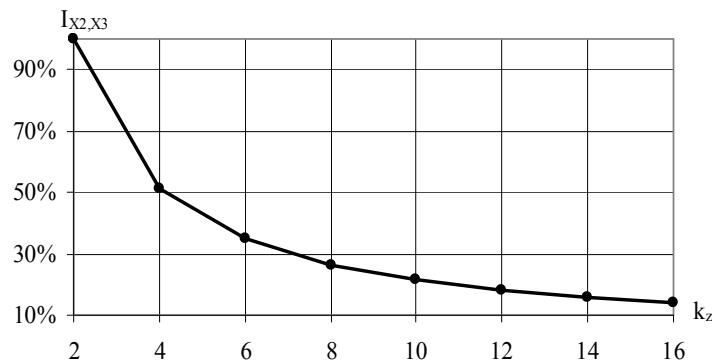


Рис. 1. Відносне зменшення розмірів палітри

Для всіх досліджуваних зображень аналіз значень розмірів палітр хроматичних компонент при збільшенні  $k_c$  від 2 до 16 показав, що залежність  $P_{X_2}$  і  $P_{X_3}$  від  $k_c$  ступенєва

$$P_x = A \cdot k_c^m. \quad (2)$$

Для різних зображень значення  $A$  змінюються в широкому діапазоні, а показник ступіні  $m$  дорівнює  $-0,95 \pm 0,03$  для  $P_{X_2}$  ( $R^2 = 0.999$ ) та  $-0,94 \pm 0,05$  для  $P_{X_3}$  ( $R^2 = 0.992$ ).

Для деяких зображень скорочення розміру палітр при збільшенні  $k_c$  дуже суттєве, тому важливим є зменшення розміру палітр під час проріджування. На рис. 2-3 наведено відсоток зображень  $N$  ( в % ) в залежності від відносного скорочення розміру палітри  $\Delta P_X / P_X$ , де  $P_X$  – розмір палітри непрорідженої компоненти, а  $\Delta P_X = P_X - P_{X,S}$  – різниця між розміром непрорідженої та прорідженої компоненти.

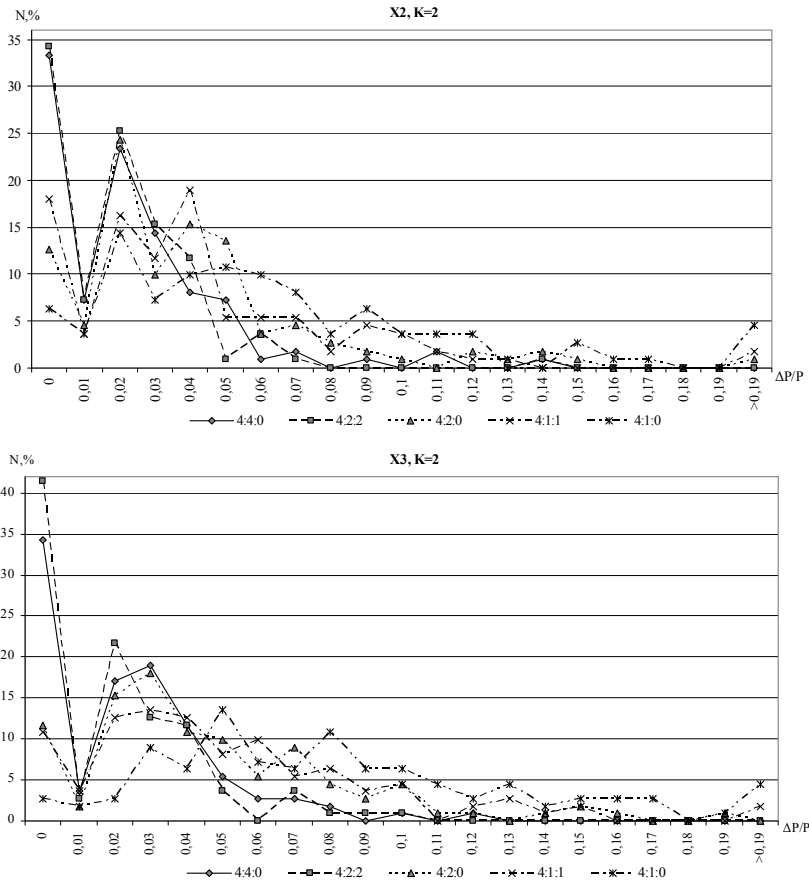


Рис. 2. Відсоток зображень з відносним скороченням палітри  $\Delta P_X / P_X$  для  $k_c = 2$ :

а – компонента X2; б – компонента X3

Як видно з рис. 2, при стискувачому перетворенні з коефіцієнтом  $k_c = 2$  для схем 4:4:0 та 4:2:2 у третини зображень розмір палітр компонент X2 і X3 не змінився, а для 64 % зображень розмір палітри зменшився менш ніж на 10 %. Для схем 4:2:0, 4:1:1 та 4:1:0 доля зображень зі

зменшенням палітри менш ніж 10 % складають 81 % , 77 % та 77,5 %. З наведених даних видно, що проріджування практично не зменшує розмір палітри хроматичних компонент.

Збільшення коефіцієнту стискуючого перетворення  $k_z$  призводить до зростання кількості пікселів з однаковими значеннями хроматичних компонент. Внаслідок цього відсоток зображень, палітра яких не змінюється при проріджування, зростає: для 90 %, зображень зменшення розміру палітри порівняно з непрорідженою компонентою менше ніж 10 %. Це видно з рисунку 3 для  $k_z = 8$ .

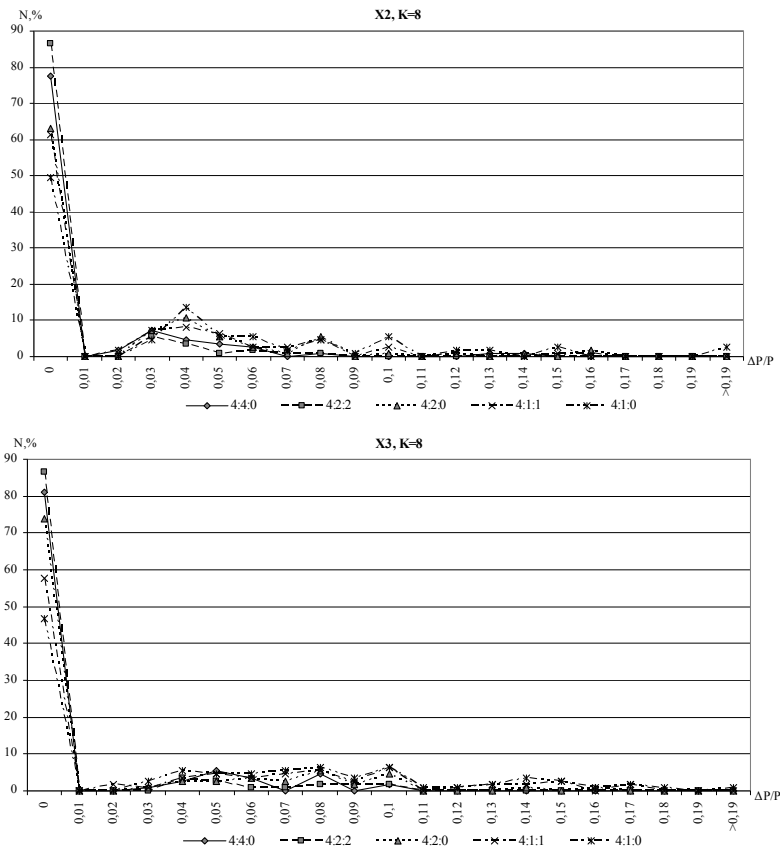


Рис. 3. Відсоток зображень з відносним скороченням палітри  $\Delta P_x / P_x$  для  $k_c = 8$ :  
а – компонента X2; б – компонента X3

У середньому, по всім зображенням з Берклівської бази тестових зображень [10] та з бази CorelDraw, кількість кольорів у палітрах хроматичних компонент слабо залежить від схем субдискретизації та більш сильно – від значення коефіцієнту стискуючого перетворення  $k_z$ .

**Залежність статистичної надмірності від коефіцієнту стискуючого перетворення простору cVX2X3.** Слід очікувати, що за рахунок зменшення палітри хроматичних компонент буде зменшуватись як статистична надмірність хроматичних компонент, так і всього зображення у цілому. На рис. 4 наведені середні, по всім тестовим зображенням, значення ентропії хроматичних компонент в залежності від  $k_z$ .

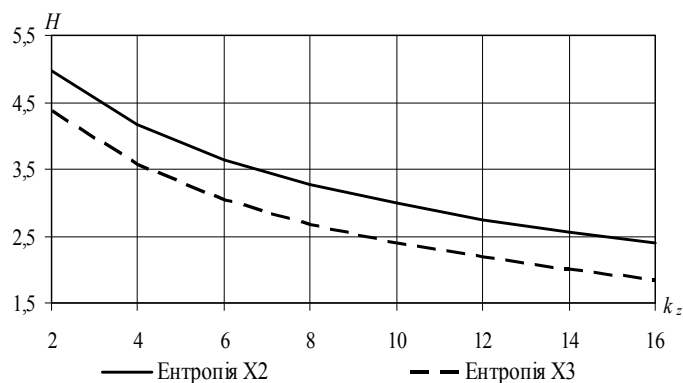


Рис. 4. Залежність ентропії від коефіцієнту стискуючого перетворення

Слід зазначити, що ентропія хроматичних компонент практично не залежить від схеми субдискретизації. Це очікуваний результат, оскільки ентропія не залежить від просторової надмірності зображення.

Як видно з наведеного рисунку ентропія хроматичних компонент зменшується зі збільшенням  $k_z$ . При чому, при  $k_z = 16$  ентропія X2 зменшилась у два рази, а X3 – у 2,4 рази.

**Вплив коефіцієнту стискуючого перетворення на візуальне сприйняття зображення.** Зменшення розмірів палітри та проріджування можуть супроводжуватися спотвореннями зображення, у даному випадку – це спотворення кольорів за рахунок зменшення палітри хроматичних компонент, а також розмиття контурів – за рахунок субдискретизації. Для формалізованої оцінки інтенсивності спотворень та їх впливу на якість візуального сприйняття використовувалось пікове відношення сигнал/завади (PSNR) для різних значень та схем субдискретизації. На рис. 5 наведені середні значення, по всім тестовим зображенням, PSNR для кожного колірною каналу та для схеми субдискретизації 4:1:0.

Як видно з наведеного рисунку навіть для  $k_z = 16$  значення PSNR не менші 35 дБ, це свідчить про те, що для переважної більшості зображень спотворення є візуально невідчутними.

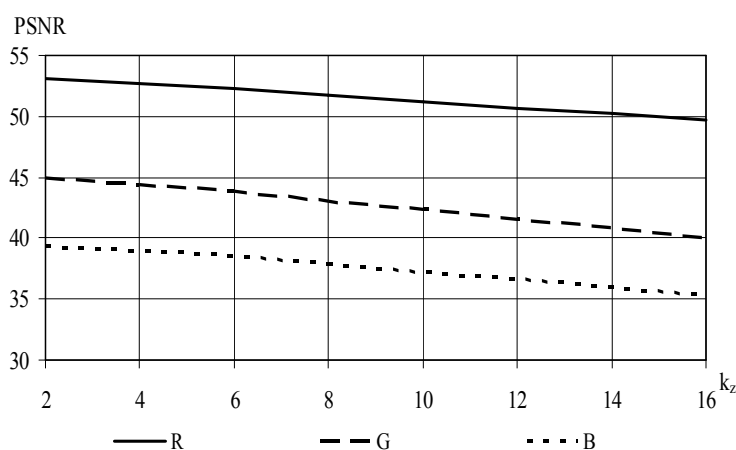


Рис. 5. Оцінювання якості візуального сприйняття

**Висновки.** Виходячи з результатів виконаних досліджень, можна зробити наступні висновки: використання простору  $sVX2X3$  при про- ріджуванні та подальшому відновленні хроматичних компонент X2 і X3 при змінному коефіцієнті стискуючого перетворення приводить до суттєвого зменшення статистичної надмірності зображення, що може позитивно вплинути на ефективність їх стиску ентропійними методами. Використання стискуючого відображення та субдискретизації для всіх схем та значень  $k_z$  не супроводжується візуально відчутними спотвореннями для переважної більшості зображень. Виходячи з цього, подальші дослідження будуть спрямовані на більш поглиблений аналіз ефективності стиснення з використанням ентропійних кодеків.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Птицын Николай. Рынок видеоаналитики 2012: анализ и прогнозы. Материалы доклада на 3-ей конференции *Intelligent Video 2.0*, Москва, 2012 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://synesis.ru/blog/article/ptitsyn-ryinok-videoanalitiki-2012> – Дата доступу: 15.08.2012
2. Graeme Nattress *Chroma Sampling: An Investigation*, 2008 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.nattress.com/Chroma\\_Investigation/chromasampling.htm](http://www.nattress.com/Chroma_Investigation/chromasampling.htm). – Дата доступу: 24.06.2011
3. Kerr Douglas A. *Chrominance Subsampling in Digital Images 2010* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://doug.kerr.home.att.net/pumpkin/Subsampling.pdf>. – Дата доступу: 17.06.2011



4. Poynton Charles. *Digital Video and HDTV: Algorithms and Interfaces*. USA: Morgan Kaufmann Publishers. – 2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ea-rtu.tuke.sk/archiv/Pristupny/tt/DigitalVideoAndHDTVAlgorithmsAndInterfaces.pdf>. – Дата доступу: 24.06.2011
5. Alexander Wong, William Bishop. *Practical content-adaptive subsampling for image and video compression in Proceedings of the IEEE International Symposium on Multimedia (ISM'06)*, pp. 667-673, San Diego, California, December 2006 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.einfodaily.com/piTunez/04061230.pdf>. – Дата доступу: 24.06.2011
6. Chan, Glenn. *Towards Better Chroma Subsampling SMPTE Journal*, 2007 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.glennchan.info/articles/technical/chroma/chroma1.htm>. – Дата доступу: 17.06.2011
7. Dong Liu *Image Compression With Edge-Based Inpainting* / Dong Liu, Xiaoyan Sun, Feng Wu, Shipeng Li, Ya-Qin Zhang // *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, vol.17, no.10. – 2007 – pp.1273-1287. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://research.microsoft.com/en-us/people/fengwu/inpainting\\_csvt\\_07.pdf](http://research.microsoft.com/en-us/people/fengwu/inpainting_csvt_07.pdf). – Дата доступу: 14.03.2012
8. Bheshaj Kumar *Performance evaluation of jpeg image compression using symbol reduction technique.* / Bheshaj Kumar, Kavita Thakur, G. R. Sinha // *Computer Science & Information Technology*. – Vol.2. – № 1. – 2012. – P.217-227 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://airccj.org/CSCP/vol2/csit2120.pdf>. – Дата доступу: 14.03.2012
9. Загребнюк В.І. *Стискуюче відображення для кодування цифрових зображень.* / В.І. Загребнюк // *The 1th International Conference «Advanced Information Systems and Technologies, AIST 2012» 15-18 May 2012, Sumy, Ukraine*
10. *The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision>. – Дата доступу: 17.06.2011

Стаття надійшла до редакції 20.11.2013

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету **В.В. Вичужанін**