

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІНАРНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ****К.Р. Шерфедінов**Одеський національний політехнічний університет,  
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: k.sherfedinov@gmail.com

Бінарні цифрові зображення часто є відображенням різноманітних креслень, промислових схем, макетів, планів тощо, які на практиці можуть займати кілька сотень мегабайт, а іноді і гігабайти при збереженні без стиску. На сьогоднішній день зображення, що використовуються, як правило, зберігаються в форматах з втратами для економії трафіка та вільного місця в пам'яті (смартфона або комп'ютера). Але для інженерних схем будь-які втрати інформації часто є неприпустимими, можуть привести до непередбачуваних, жакливих наслідків. Робота присвячена розробці методу стиску бінарних цифрових зображень без втрат. Для забезпечення можливості використання переваг алгоритмів, що працюють з розрідженими матрицями, матриця поданого зображення перетворюється до симетричного виду. Для цього їй ставиться у відповідність дві симетричні матриці шляхом відображення нижньої/верхньої її трикутної частини відносно головної діагоналі, при цьому оболонка кожної з отриманих матриць визначається в залежності від того, яких значень елементів (нульових чи одиничних) більше. Стиск даних відбувається шляхом зменшення профілей матриць, що відповідають зображенню. Для цього використовується алгоритм Катхіла-Макі впорядкування вершин графів, що ставляться у відповідність отриманим симетричним матрицям. Відновлення збереженого бінарного зображення відбувається з використанням оболонок та векторів переставлень, що зберігаються в запропонованій схемі, двох симетричних матриць. Алгоритмічна реалізація розробленого методу перевищує по ефективності (з точки зору стиску) аналогічні формати збереження для бінарних зображень, в матрицях яких кількість нулів/одиниць значно перевищує кількість одиниць/нулів, і може бути використана як складова частина комплексного графічного пакету для роботи з бінарними зображеннями.

**Ключові слова:** бінарне зображення, симетрична матриця, розріджена матриця, стиск без втрат, оболонка матриці, профіль матриці.

**Вступ**

Сучасні інформаційні технології забезпечили стрімкий розвиток таких галузей як дизайн, конструювання, розробка схем для промисловості тощо. Існуючі програмні комплекси Autocad, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDraw, Inkscape суттєво полегшили роботу фахівців, які займаються створенням креслень, макетів, планів будинків та промислових схем. Але разом з цим з'явилася потреба в нових форматах для збереження та обробки результатів роботи інженерів, причому в таких форматах, які б максимально зменшували кількість інформації, що зберігається, і при цьому забезпечували б повне відновлення початкової інформації. Адже деякі схеми (наприклад, плани будинків або промислових проектів) можуть займати кілька сотень мегабайтів, а іноді і гігабайтів пам'яті при збереженні без стиску.

Відмінною рисою схем, графів і креслень від інших зображень є їх монохромність; їх взагалі зручно і доцільно представляти у вигляді набору чорних і білих пікселів – бінарних зображень. Це суттєво полегшує задачу стиску даних і їх збереження [1]. Завдяки наявності всього двох можливих значень пікселів («0» і «1») бінарні зображення (БЗ) добре стискаються і відрізняються малим об'ємом даних, в порівнянні з іншими типами растрових зображень [2].

На сьогоднішній день більшість зображень, якими ми користуємося, обмінюємося в побуті, використовують формат з втратами для більшої економії трафіка та вільного місця в пам'яті смартфона або комп'ютера. Але, на відміну від фотографій у Instagram чи аватарів у Facebook, для інженерних схем важливим є кожен піксель. І якщо знехтувати цією вимогою задля економії трафіку або пам'яті, то дрібні деталі зображення можуть зникнути в процесі стиску з втратами. Наслідки такої «оптимізації» можуть бути непередбачувані.

Для вирішення проблеми втрати даних були розроблені алгоритми стиску, які забезпечують повне відновлення початкової інформації. Деякі з них придатні тільки для зображень певних типів, інші ж є універсальними [2]. Стиск без втрат дозволяє повністю відновити оригінальне повідомлення, тому що не зменшує в ньому кількість інформації, не дивлячись на зменшення довжини. Але існуючі схеми збереження не використовують повною мірою бінарність та розрідженість (яка часто має місце) матриць, що відповідають бінарним зображенням, залишаючи для них актуальним питання розробки нових методів стиску без втрат.

### Мета та постановка задач

*Метою* роботи є розробка нового методу стиску без втрат для збереження бінарних зображень.

Для досягнення мети в роботі вирішуються такі *задачі*:

- обґрунтувати та здійснити вибір інструментів для роботи з бінарними зображеннями з врахуванням мети роботи;
- обґрунтувати та здійснити вибір методу, придатного в процесі організації стиску без втрат БЗ, враховуючи розрідженість їх матриць;
- перетворити матрицю БЗ до симетричного виду, що забезпечує врахування її розрідженості;
- провести оцінку ефективності алгоритмічної реалізації розробленого методу збереження БЗ шляхом обчислювального експерименту; дослідити властивості БЗ, для яких запропонований метод є ефективнішим за існуючі аналоги.

### Основна частина

Предметом дослідження є новий метод збереження чорно-білих зображень у форматі без втрат.

Найпоширенішими існуючими форматами, які зберігають бінарні зображення без втрат, є формати *.pbm* та *.hdf*. При цьому формат *.pbm* не використовує стиск та зберігає всю матрицю зображення як матрицю із нулів та одиниць. На відміну від нього, формат HDF стискає матрицю зображення за допомогою RLE кодування [3].

Оскільки формальним представленням бінарного зображення є матриця з елементами «0» та «1», не обмежуючи спільності міркувань, для спрощення викладу матеріалу в роботі розглядаються схеми електричного кола, креслення. У більшості випадків матриці таких зображень є розрідженими [4], але не є симетричними. Але розрідженість матриці при її збереженні найкраще може бути врахована у випадку її симетричності.

Була запропонована передобробка матриці БЗ перед його стиском, яка полягає в наступному. Нехай

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \dots & m_{2n} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & \dots & m_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & \dots & m_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

матриця бінарного зображення, а  $M1$  і  $M2$  – її верхня і нижня трикутні частини. Приклад наведено на рисунках 1,2.

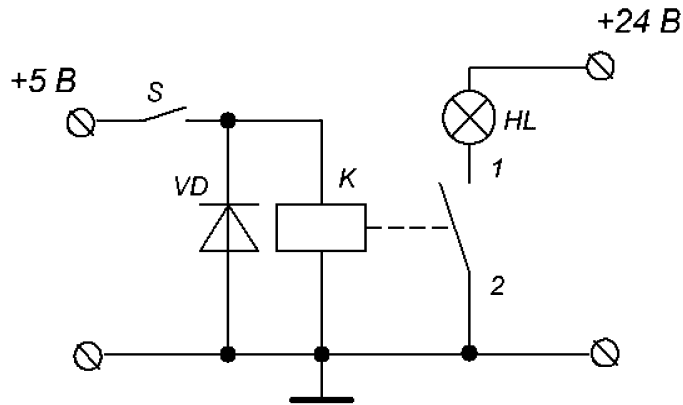


Рис. 1. Схема електричного кола

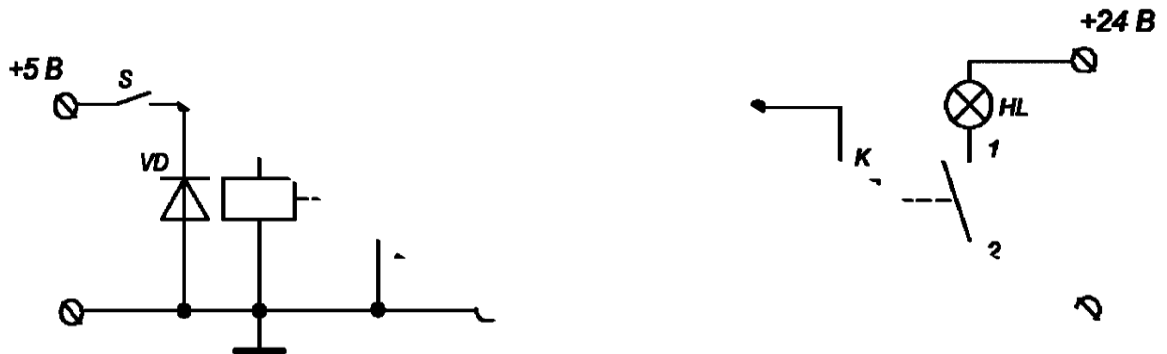


Рис. 2. Бінарні зображення, що відповідають нижній та верхній трикутним матрицям, отриманим з нижньої та верхньої трикутних частин матриці бінарного зображення, наведеного на рисунку 1

Процес перетворення матриці БЗ до симетричного виду застосовується до кожної з  $M1$  та  $M2$  окремо і полягає в наступному: кожна з  $M1$  і  $M2$  відображається симетрично відносно головної діагоналі, в результаті чого з (1) отримуються дві симетричні матриці  $\overline{M1}$ ,  $\overline{M2}$ :

$$\overline{M1} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1n} \\ m_{12} & m_{22} & m_{23} & \dots & m_{2n} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} & \dots & m_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{1n} & m_{2n} & m_{3n} & \dots & m_{nn} \end{pmatrix}, \quad \overline{M2} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} & \dots & m_{n1} \\ m_{21} & m_{22} & m_{32} & \dots & m_{n2} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & \dots & m_{n3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & \dots & m_{nn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

відповідні зображення яких для зображення, наведеного на рисунку 1, представлені на рисунку 3.

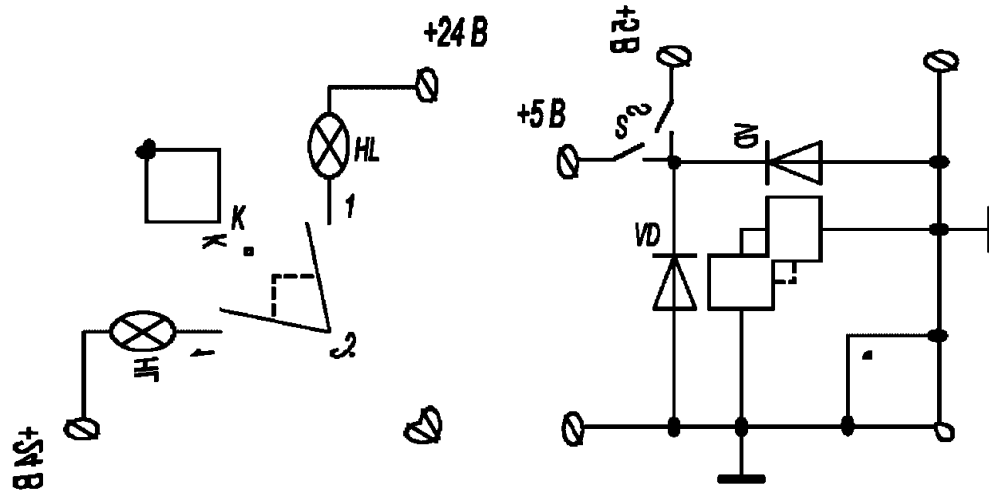


Рис. 3. Зображення, що відповідають трикутним матрицям після симетризації

Для забезпечення можливості врахування розрідженості симетричної матриці при її збереженні (з метою зменшення запитів до пам'яті) пропонується використання оберненого алгоритму Катхіла-Макі впорядкування вершин графів, що ставляться у відповідність отриманим симетричним матрицям  $\overline{M1}$ ,  $\overline{M2}$ , що відображається в симетричному переупорядкуванні рядків та стовпчиків матриць  $\overline{M1}$ ,  $\overline{M2}$  [5].

Ефективність методу Катхіла-Макі залежить від параметрів матриці бінарного зображення. Якщо кількість нульових бітів буде значно більшою, ніж кількість ненульових, то зменшення профілю матриці буде суттєвим. Цей позитивний результат може бути використаний і тоді, коли кількість нульових бітів буде значно менша, ніж кількість ненульових. В цьому випадку пропонується попередньо провести логічну інверсію елементів матриці БЗ.

Таким чином основні кроки методу стиску БЗ без втрат мають наступний вид.

**Крок 1.** Для матриці БЗ отримати симетричні матриці (симетричну матрицю), які відповідають поданій і по яким можна однозначно відновити матрицю поданого БЗ.

**Крок 2.** Для кожної з отриманих матриць визначити  $k_0, k_1$  – кількості нульових і елементів і таких, що дорівнюють одиниці, відповідно.

**Крок 3.** Якщо

$$k_0 < k_1$$

то

для елементів відповідної матриці провести логічну інверсію.

**Крок 4.** Зменшити профілі отриманих симетричних матриць за допомогою відповідних алгоритмів. Зберегти профілі та відповідну інформацію для відновлення симетричних матриць.

Відновлення БЗ після запропонованого стиску відбувається у зворотному напрямі з урахуванням збереженої під час зменшення профілю симетричних матриць інформації.

Пропонується наступна алгоритмічна реалізація запропонованого методу стиску без втрат бінарних цифрових зображень з використанням засобів програмного середовища Matlab.

**Крок 1.** Отримати для поданого зображення бінарну матрицю  $M$  за допомогою вбудованої функції `im2bw` (для наочної ілюстрації використовується БЗ, представлено на рисунку 4) [7].

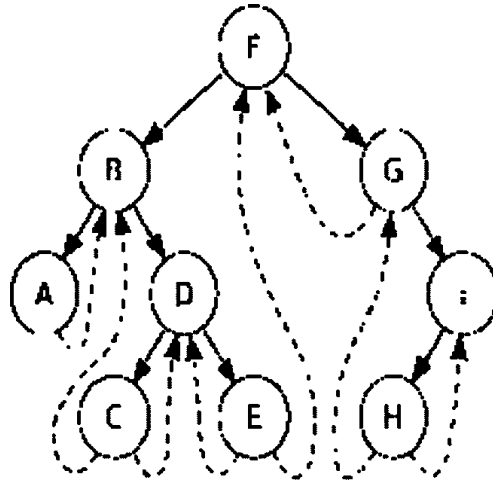


Рис. 4. Бінарне зображення

**Крок 2.** Розбити бінарну матрицю на дві частини – верхню трикутну та нижню трикутну стосовно головної діагоналі за допомогою функції `triu` та `tril` (рис.5)[8]

**Крок 3.** Побудувати відповідні  $M$  симетричні матриці  $\overline{M1}$ ,  $\overline{M2}$  (2) (рис.6).

**Крок 4.** Для кожної з  $\overline{M1}$ ,  $\overline{M2}$  визначити  $k_0, k_1$  - кількості нульових на ненульових бітів. Ті біти, кількість яких більше, далі вважатимуться для відповідної матриці кольором переднього плану, в той час як інша частина бітів буде кольором тла. Якщо для  $\overline{M1}$  і/чи  $\overline{M2}$   $k_0 < k_1$ , провести інверсію елементів. Результат кроку – матриці  $\overline{M1_i}$ ,  $\overline{M2_i}$ .

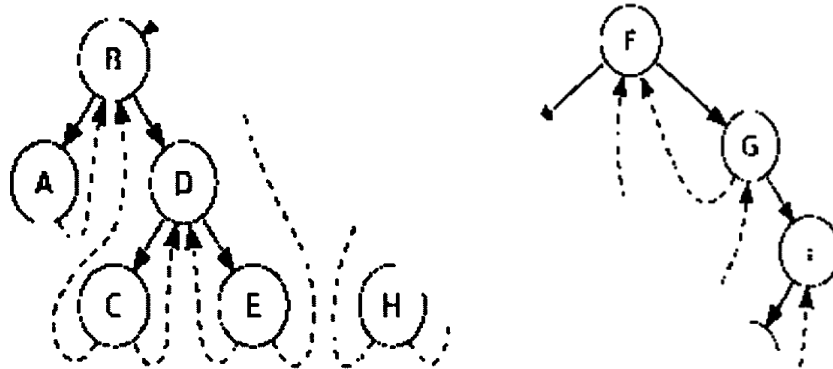


Рис. 5. Верхня та нижня трикутні частини бінарного зображення

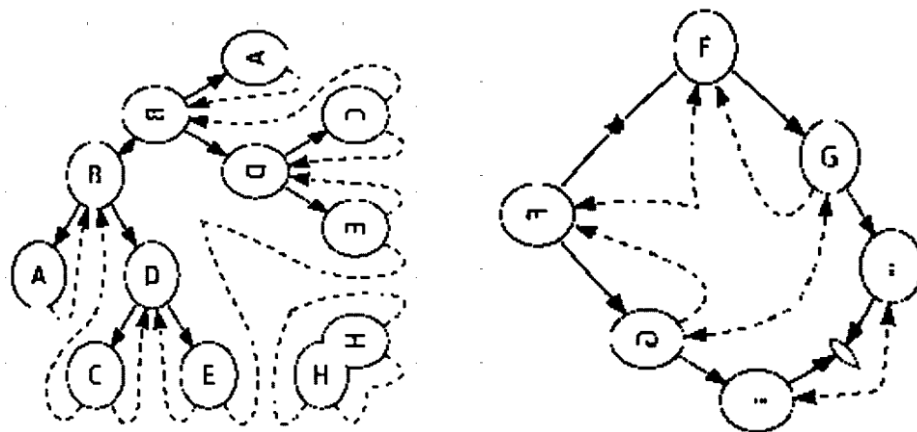


Рис. 6. Бінарні зображення після симетризації

**Крок 5.** Застосувати зворотний алгоритм Катхіла-Макі зменшення профілю для кожної з матриць  $\overline{M1}_i$ ,  $\overline{M2}_i$  за допомогою функції `sumrcst`. Результат – матриці  $\overline{\overline{M1}}$ ,  $\overline{\overline{M2}}$

**Крок 6.** Отримати оболонки матриць  $\overline{\overline{M1}}$ ,  $\overline{\overline{M2}}$  та відповідні вектори переставлень, що підлягають збереженню. (Отримані симетризовані оболонки наведені на рисунку 7).



**Рис. 7.** Симетризовані оболонки матриць  $\overline{\overline{M1}}$ ,  $\overline{\overline{M2}}$

**Крок 7.** Записати у текстовий файл два вектора переставлень та дві оболонки матриць  $\overline{\overline{M1}}$ ,  $\overline{\overline{M2}}$ , а також інформацію про наявність/відсутність інверсії елементів матриці/матриць. Закінчення збереження зображення.

Для кожного зображення алгоритм відновлення та відображення має наступні кроки.

**Крок 1.** Зчитати дані з текстового файлу – вектори перестановки та оболонки матриць  $\overline{\overline{M1}}$ ,  $\overline{\overline{M2}}$ .

**Крок 2.** Відновити матриці  $\overline{\overline{M1}}$ ,  $\overline{\overline{M2}}$ , використовуючи їх оболонки.

**Крок 3.** За допомогою векторів переставлень відновити  $\overline{M1}_i$ ,  $\overline{M2}_i$ .

**Крок 4.** За допомогою інформації про наявність/відсутність інверсії відновити  $\overline{M1}$ ,  $\overline{M2}$ .

**Крок 5.** Матриці  $\overline{M1}$ ,  $\overline{M2}$  об'єднати в одну матрицю наступним чином: верхня трикутна частина  $\overline{M1}$  буде верхньою трикутною частиною матриці  $M$  бінарного зображення, а нижня трикутна частина  $\overline{M2}$  - нижньою трикутною частиною  $M$ .

**Крок 6.** Відобразити отримане бінарне зображення за допомогою графічного інтерфейсу додатку.

**Крок 7.** Закінчення відновлення зображення.

Тестування розробленого додатку проводилося на 200 БЗ. В результаті обчислювального експерименту були отримані наступні результати. Алгоритмічна реалізація розробленого методу збереження бінарних зображень зі стиском без втрат є на 71% ефективнішою (з точки зору обсягу використовуваної пам'яті), ніж формат Portable Network Graphics (PNG), на 5,8% ефективнішою, ніж формат Hierarchical Data Format (HDF), та на 69% ефективнішою, ніж формат Portable Bitmap (PBM) для БЗ з розрідженою матрицею (кількість нулів/одиниць серед елементів матриці перевищує не менше ніж в 1.7 разів кількість одиниць/нулів).

## Висновки

В роботі розроблений новий метод та його алгоритмічна реалізація стиску без втрат бінарних цифрових зображень. Результати тестування алгоритмічної реалізації підтверджують її високу ефективність з точки зору обсягу використовуваної пам'яті при збереженні БЗ.

Цільовою аудиторією для даного програмного продукту є креслярі, дизайнери, інженери, а областю застосування є обробка схем, креслень, інженерних планів тощо.

Розроблений метод на сьогоднішній день є більш ефективним, ніж методи PBM, BMP, HDF з точки зору об'єму стисненої інформації для БЗ з розрідженою матрицею. В майбутньому даний метод може використовуватися як складова частина графічного процесору для бінарних зображень.

## Список літератури

1. Миано, Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии / Дж. Миано. – М.: Издательство Триумф, 2003. – 336 с. ISBN 5-89392-078-3.
2. Ватолин, Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: Диалог-мифи, 2002. – 384 с. ISBN 5-86404-170-X.
3. "Method and system for data compression and restoration". Google Patents. 7 August 1984. Retrieved 14 July 2019.
4. Reginald, P. Tewarson. Sparse Matrices / P. Reginald. – Academic Press, 1973. – 160 с. ISBN 0126856508.
5. E. Cuthill and J. McKee. Reducing the bandwidth of sparse symmetric matrices In Proc. 24th Nat. Conf. ACM, pages 157–172, 1969.
6. Hazewinkel, Michiel, ed. (2001) [1994], "Symmetric matrix", Encyclopedia of Mathematics, Springer Science+Business Media B.V. / Kluwer Academic Publishers, ISBN 978-1-55608-010-4.
7. Таранчук, В.Б. Основные функции систем компьютерной алгебры / В.Б. Таранчук. – Минск: БГУ, 2013. – 59 с.
8. Дьяконов, В.П.. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова. – СПб.: «Питер», 2002. – 608 с. ISBN 5-318-00667-1.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОХРАНЕНИЯ БИНАРНЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

К.Р. Шерфединов

Одесский национальный политехнический университет,  
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: k.sherfedinov@gmail.com

Бинарные цифровые изображения часто являются отражением разнообразных чертежей, промышленных схем, макетов, планов и тому подобное, которые на практике могут занимать несколько сотен мегабайт, а иногда и гигабайты при сохранении без сжатия. На сегодняшний день изображения, которые используются, как правило, хранятся в форматах с потерями для экономии трафика и свободного места в памяти (смартфона или компьютера). Но для инженерных схем любые потери информации часто являются недопустимыми, могут привести к непредсказуемым, ужасным последствиям. Работа посвящена разработке метода сжатия бинарных цифровых изображений без потерь. Для обеспечения возможности использования преимуществ алгоритмов, которые работают с разреженными матрицами, матрица данного изображения превращается к симметричному виду. Для этого ей относится в соответствие две симметричных матрицы путем отражения нижней/верхней ее треугольной части относительно главной диагонали, при этом оболочка каждой из полученных матриц определяется в зависимости от того, каких значений элементов (нулевых или единичных) больше. Сжатие данных происходит путем уменьшения профилей матриц, которые отвечают изображению. Для этого используется алгоритм Катхилла-Макки упорядочения вершин графов, которые ставятся в соответствие

полученным симметричным матрицам. Возобновление сохраненного бинарного изображения происходит с использованием оболочек и векторов переставлений, которые хранятся в предложенной схеме, двух симметричных матриц. Алгоритмическая реализация разработанного метода превышает по эффективности (с точки зрения сжатия) аналогичные форматы сохранения для бинарных изображений, в матрицах которых количество нулей/единиц значительно превышает количество единиц/нулей, и может быть использована в качестве составной части комплексного графического пакета для работы с бинарными изображениями.

**Ключевые слова:** бинарное изображение, симметричная матрица, разреженная матрица, сжатие без потерь, оболочка матрицы, профиль матрицы.

## DEVELOPMENT OF METHOD OF MAINTENANCE OF BINARY DIGITAL REPRESENTATIONS

K.R. Sherfedinov

Odessa National Polytechnic University,

1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: k.sherfedinov@gmail.com

Binary digital representations often are the reflection of various drafts, industrial charts, layouts, plans and others like that, that in practice can occupy several hundreds megabyte, and sometimes and gigabytes at maintenance without a compression. To date images that is used, as a rule, are kept in formats with losses for the economy of traffic and available space in memory (smartphone or computer). But for engineering charts any losses of information often are impermissible, can result in unforeseeable, terrible consequences. Work is sanctified to development of method of compression of binary digital representations without losses. For providing of possibility of taking advantage of algorithms that work with disperse matrix, the matrix of this image transforms to the symmetric kind. For this purpose two symmetric matrices belong in accordance her by the reflection/of her overhead three-cornered underbody of relatively main diagonal, here the shell of each of the got matrices is determined depending on that, what values of elements (zero or single) are more. The compression of data takes place by reduction of profiles of matrices that answer an image. The algorithm of Cathill-Mackey of organization of tops of counts that is put in accordance to the got symmetric matrices is used for this purpose. Proceeding in the stored binary image takes place with the use of shells and vectors of moving that is kept in an offer chart, two symmetric matrices. Algorithmic realization of the worked out method exceeds on efficiency (from the point of view of clenck) the analogical formats of maintenance for binary images, in the matrices of that the amount of zeros/of units exceeds the amount of units/of zeros considerably, and can be used as component part of complex graphic package for work with binary images.

**Keywords:** binary image, symmetric matrix, disperse matrix, clenck without losses, shell of matrix, profile of matrix.