

УДК 004.93

А. В. Комендант, А. А. Олейник

Запорожский национальный технический университет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЛІНІЙНИХ ШТРИХОВИХ КОДІВ

Комендант О. В., Олейник А. О. Інтелектуальна інформаційна технологія розпізнавання лінійних штрихових кодів. Запропоновано модифікацію методу розпізнавання лінійних штрихових кодів EAN-13 на зображеннях, котра використовує метод порівняння з еталонами для уточнення положення символу штрихового коду шляхом пошуку типових шаблонів-обмежувачів та для декодування знака символу.

Ключові слова Штрихкод, штриховий код, EAN-13, .NET Framework, метод порівняння з еталонами.

Комендант А. В., Олейник А. А. Интеллектуальная информационная технология распознавания линейных штриховых кодов. Предложена модификация метода распознавания линейных штриховых кодов EAN-13 на изображениях, которая использует метод сравнения с эталонами для уточнения положения символа штрихового кода путем поиска типичных шаблонов-ограничителей и для декодирования знака символа.

Ключевые слова: штрихкод, штриховой код, EAN-13, .NET Framework, метод сравнения с эталонами.

Komendant O. V., Oliynyk A. O. Intelligent information technology of linear barcode recognition. A modified method of EAN-13 linear barcode recognition is proposed. Modified method uses the comparison with the standards to clarify of barcode symbol position by looking for guard patterns and uses the comparison with the standards for symbol sign decoding.

Barcode, EAN-13, .NET Framework, method of comparison with the standards.

1. Вступ. Постановка задачі дослідження

Останні кілька років велике поширення набула технологія штрихового кодування [1-3]. Це пов'язано з надійністю, компактністю і дешевиною нанесеного символу, з можливістю вибору обладнання для роботи з ним. Штрихове кодування широко застосовується в роздрібній торгівлі, поштових і вантажних перевезеннях, для ідентифікації електронних компонентів і медичних препаратів.

Традиційні методи введення даних з аркуша паперу в комп'ютер за допомогою клавіатури мають наступні недоліки:

- у середньому трапляється 1 помилка на 300 введених символів;
- введення даних відбувається досить повільно;
- обов'язково потрібна участь людини в процесі.

Такі недоліки значно позначаються при великих обсягах даних, що вводяться (наприклад, при сортуванні пошти). На допомогу приходять автоматичні системи введення даних, такі, як модулі пам'яті, засновані на ППЗУ, магнітні карти, радіомітки, системи відеорозпізнавання символів, штрихові коди тощо.

Символіка штрихового коду може бути роздрукована на досить простому обладнанні, її можна масштабувати досить в широких межах. Штрихове кодування вважається надійним — 1 помилка на 1 мільйон символів.

Штриховий код (ШК) — графічна інформація, що наноситься на поверхню виробів, яка надає можливість її зчитування технічними засобами. ШК — являє собою послідовність чорних і білих смужок або інших геометричних фігур чітко визначених розмірів за допомогою яких виконується кодування цифрової або іншої інформації. Кожна цифра або знак кодується набором штрихів і проміжків за чітко визначеними правилами, які називаються стандарт штрихового кодування. Усі стандарти штрихового кодування можна розділити на дві основні групи: лінійні (одновимірні або 1D) та двовимірні (2D) символіки ШК.

Лінійними або одновимірними називаються ШК, котрі читаються в одному напрямі (по горизонталі). Найбільш розповсюдженими є наступні кодування: EAN, UPC, Code39, Code128, Codabar, Interleaved 2 of 5. Лінійні символіки дозволяють кодувати невеликий об'єм інформації (до 20-30 символів — звичайно цифр) за допомогою нескладних ШК, які читаються недорогими сканерами.

Двовимірними називаються символіки, розроблені для кодування великого об'єму інформації (до декількох сторінок тексту). Двомірний код зчитується за допомогою спеціального

сканера двомірних кодів і дозволяє швидко і безпомилково вводити великий обсяг інформації. Розшифровка такого коду проводиться у двох вимірах (по горизонталі і по вертикалі) [1].

Структура символу EAN-13 пропонується у ГОСТ ISO/IEC 15420-2010 [2]. Основними визначеннями є:

— додатковий символ (add-on symbol) — символ, що супроводжує основний символ і кодує інформацію, додаткову до інформації основного символу;

— допоміжний шаблон (auxiliary pattern) — комбінація штрихів і пропусків, представляє компоненти символу, що не містять даних;

— шаблон-роздільник (delineator) — допоміжний шаблон, використовуваний для відділення знаків символу в додатковому символі;

— парний паритет (even parity) — характеристика кодування знака символу, що вказує на парне число темних модулів в знаку;

— шаблон-обмежувач (guard pattern) — допоміжний шаблон штрихів і пропусків, який або відповідає комбінаціям start (старт) або stop (стоп) в іншій символіці, або служить для розділення двох половин символу;

— числовий набір (number set) — серія з 10 комбінацій штрихів і пропусків з парних або непарних паритетом, що кодує цифри від 0 до 9;

— непарний паритет (odd parity) — характеристика кодування знака символу, що вказує на непарне число темних модулів в знаку;

— кодування з перемінним паритетом (variable parity encodation) — спосіб кодування додаткової інформації в послідовності знаків символу, при якому на основі заданої комбінації знаків символу з парних або непарних паритетом представляють в неявному вигляді цифру даних або контрольну цифру.

Носієм основної інформації в ШК є співвідношення ширини темних смуг (штрихів) і ширини пробілів між штрихами. Причому кожна цифра кодується певною кількістю штрихів і прогалін, які мають відповідну ширину і строго певне розташування. Приклад символу штрихового коду EAN-13 наведено на рис. 1.



Рисунок 1 — Символ штрихового коду EAN-13

Відведене для кожної цифри коду місце називається «цифровий знак» і є основною одиницею інформації ШК. Всі цифрові знаки, як правило, мають однакову ширину і складаються з

модулів, тому ширина штрихів і пропусків завжди кратна модулю. Модуль — це найвужчий елемент.

Символіка EAN-13 має наступні властивості:

- набір кодованих знаків: від 0 до 9;
- число елементів у знаку символу — 4, включаючи 2 штриха і 2 пробіла, що складаються кожний з 1, 2, 3 або 4 модулів по ширині (допоміжні знаки мають інше число елементів);
- одна обов'язкова контрольна цифра;
- мінімальна ширина вільних зон: лівої — 11 модулів, правої — 7 модулів.

Кожна цифра має ширину 7 модулів і вибирається з одного з числових наборів А, В або С (табл. 1).

Таблиця 1
Ширина елементів у числових наборах

Цифра	Ширина елементів у числових наборах, модулів											
	А				В				С			
	П	Ш	П	Ш	П	Ш	П	Ш	Ш	П	Ш	П
0	3	2	1	1	1	1	2	3	3	2	1	1
1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1
2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2
3	1	4	1	1	1	1	4	1	1	4	1	1
4	1	1	3	2	2	3	1	1	1	1	3	2
5	1	2	3	1	1	3	2	1	1	2	3	1
6	1	1	1	4	4	1	1	1	1	1	1	4
7	1	3	1	2	2	1	3	1	1	3	1	2
8	1	2	1	3	3	1	2	1	1	2	1	3
9	3	1	1	2	2	1	1	3	3	1	1	2

Символ EAN-13 має бути сформований наступним чином (при зчитуванні зліва направо):

- ліва вільна зона;
- типовий шаблон-обмежувач;
- 6 знаків символу з числових наборів А і В у відповідності з табл. 1.3;
- центральний шаблон-обмежувач;
- 6 знаків символу з числового набору С;
- типовий шаблон-обмежувач;
- права вільна зона.

Так як символ EAN-13 містить лише 12 знаків символу, але кодує 13 цифр даних (включаючи контрольну цифру), додаткова цифра, яка є знаком, що стоїть у крайній лівій позиції в рядку даних, повинна кодуватися змінним паритетом у поєднанні знаків числових наборів А і В для 6 знаків символу в лівій половині символу. Спосіб кодування початкової цифри наведено в табл. 2.

Таблиця 2
Кодування початкової цифри штрихового коду

Початкова цифра	Числові набори, що використовуються при кодуванні лівої частини штрихового коду					
	1	2	3	4	5	6
0	А	А	А	А	А	А
1	А	А	В	А	В	В
2	А	А	В	В	А	В
3	А	А	В	В	В	А
4	А	В	А	А	В	В
5	А	В	В	А	А	В
6	А	В	В	В	А	А
7	А	В	А	В	А	В

8	A	B	A	B	B	A
9	A	B	B	A	B	A

Сума числа модулів, що містяться в штрихах будь-якого знака символу, визначає його паритет. Знаки символу в числовому наборі А є знаками непарного паритету, в числових наборах В і С — знаками парного паритету. У числовому наборі С знаки символу є дзеркальними зображеннями відповідних знаків числового набору В.

Знаки символу в числових наборах А і В завжди починаються зліва зі світлого модуля і закінчуються праворуч темним модулем, а в числовому наборі С починаються зліва з темного модуля і закінчуються праворуч світлим модулем.

Допоміжні шаблони наведено у табл. 3.

Таблиця 3
Допоміжні шаблони

Допоміжний шаблон	Кількість модулів	Ширина елемента, модулі					
		П	Ш	П	Ш	П	Ш
Типовий шаблон-обмежувач	3		1	1	1		
Центральний шаблон-обмежувач	5	1	1	1	1	1	
Спеціальний шаблон-обмежувач	6	1	1	1	1	1	1
Шаблон-обмежувач додаткового символу	4		1	1	2		
Шаблон-розділювач додаткового символу	2	1	1				

Системи зчитування штрихових кодів розроблені таким чином, щоб зчитувати недосконалі (невисокої якості) символи в межах, передбачених використовуваними на практиці методами.

Проте, як правило, для зчитування штрихових кодів використовуються сканери штрихових кодів, які при необхідності ревізії продукції на складах великих підприємств є незручними у застосуванні, оскільки вимагають підключення до комп'ютера за допомогою кабелю. Бездротові сканери та сканери з пам'яттю мають певні обмеження на час роботи та суттєво дорожчі за дротові аналоги, що ускладнює їх використання на практиці.

Тому актуальною є розробка програмного забезпечення для автоматизованого розпізнавання штрихових кодів, яке в подальшому може бути використано для пакетного розпізнавання зображень штрихових кодів, отриманих за допомогою широко розповсюджених та відносно доступних засобів фотографування (цифрові фотокамери, мобільні телефони тощо).

2. Класифікація методів розпізнавання лінійних штрихових кодів

Сутність розпізнавання ШК полягає у отриманні даних, закодованих у ШК, що міститься на зображенні.

Узагальнений метод розпізнавання ШК можна представити у вигляді такої послідовності етапів:

- підготовка зображення;
- локалізація ШК на зображенні;
- визначення орієнтації ШК;
- формування профілю зображення вздовж прямої, котра перетинає всі штрихи коду;
- декодування символу конкретного типу ШК;
- перевірка контрольної суми.

На вхід методу поступає зображення. На першому етапі зображення підготовлюється до наступних етапів — перетворюється з кольорового у зображення в градаціях сірого. На етапі локалізації визначаються ділянки зображення, що містять ШК. Для кожної виділеної ділянки визначається орієнтація ШК. Усередині ділянки виконується пошук прямої, що перетинає всі штрихи символу і формується профіль зображення вздовж цієї прямої. Профіль зображення вздовж лінії являє собою вектор яскравості пікселів вздовж даної лінії.

Отриманий профіль передається на етап декодування символу конкретного типу ШК, на якому визначаються закодовані символи у відповідності до кодових таблиць.

На останньому етапі перевіряється правильність розпізнавання ШК шляхом підрахування контрольної суми і порівняння її з типовою для даного типу ШК.

У наш час запропоновано багато різних методів розпізнавання ШК і в більшості випадків вони є мало схожими на узагальнений метод розпізнавання ШК. З цієї причини під терміном «методи розпізнавання ШК» мають на увазі достатньо широкий клас методів, часом мало схожих один на одного [3, 4, 5].

Методи розпізнавання ШК можуть бути класифіковані за різними критеріями. Узагальнену класифікаційну схему методів розпізнавання ШК наведено на рис. 2.

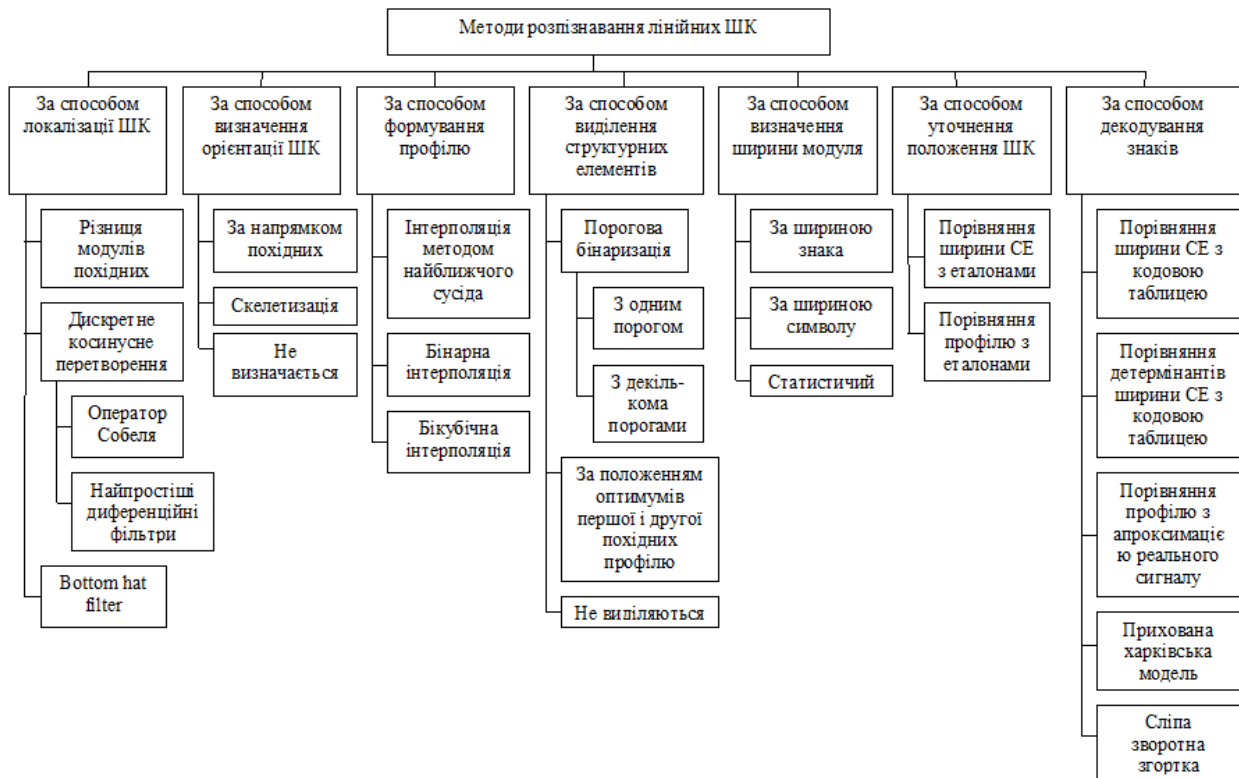


Рисунок 2 — Класифікація методів розпізнавання ШК

Нижче наведено пропоновану класифікацію методів розпізнавання ШК.

1. За способом локалізації ШК:

— різниця модулів похідних у взаємно перпендикулярних напрямках:

- а) найпростіші диференційні фільтри [3];
- б) оператор Собеля [4];

— використання дискретного косинусного перетворення;
— bottom hat filter.

2. За способом визначення орієнтації ШК:

— за напрямком похідних;
— використання скелетизації [3].
— орієнтація ШК приймається постійною і не визначається.

3. За способом формування профілю зображення вздовж прямої, котра перетинає всі штрихи коду:

— інтерполяція методом найближчого сусіда;
— білінійна інтерполяція;
— бікубічна інтерполяція.

4. За способом виділення структурних елементів ШК:

— порогова бінаризація:
а) бінаризація з одним порогом;

б) збільшення просторової роздільної здатності за рахунок бінаризації з декількома порогами [3];

— використання локальних мінімумів і максимумів першої і другої похідних профілю;
— структурні елементи не виділяються [4].

5. За способом визначення ширини модуля:

— статистичний [3];
— за шириною знака [2];
— за шириною символу [4];

6. За способом пошуку шаблонів-обмежувачів для уточнення границь символу:

— порівняння відносної ширини структурних елементів з кодовою таблицею;
— порівняння профілю зображення з еталонними даними [4].

7. За способом декодування знаків:

— порівняння відносної ширини структурних елементів з кодовою таблицею;
— порівняння детермінантів ширини структурних елементів з кодовою таблицею [2];
— порівняння профілю з апроксимацією реального сигналу еталонними даними [4];
— використання прихованої марківської моделі (hidden Markov model);
— використання сліпої зворотної згортки (blind deconvolution).

3. Модифікований метод розпізнавання штрихових кодів

Було модифіковано метод декодування символу штрихового коду EAN-13 [1].

Запропонована модифікація полягає в тому, що:

— пропонується для виділення структурних елементів використовувати порогову бінаризацію з фіксованим порогом, який визначається за методом Оцу [7];

— запропоновано уточнювати положення символу шляхом пошуку типових шаблонів-обмежувачів символу методом порівняння з еталонами;

— запропоновано метод декодування знака символу шляхом порівняння з еталонами.

Пропонується модифікований метод декодування символу штрихового коду EAN-13. Модифікований метод можна представити у наступному вигляді:

1. Завантажити зображення.

2. Сформувані профіль зображення вздовж прямої, котра перетинає всі штрихи коду.

Накладається обмеження, що на зображенні може міститися лише один символ ШК. Символ повинен бути розташований таким чином, щоб горизонтальна лінія, проведена від середини лівої сторони коду до середини правої сторони, перетинала всі його штрихи.

3. Виконати порогову бінаризацію профілю за допомогою методу Оцу [7].

4. Визначити ширину структурних елементів символу ШК як довжини неперервних послідовностей пікселів однакового кольору — білого або чорного.

5. Уточнити положення символу ШК.

6. Декодувати знаки штрихового коду.

7. Обчислити значення 13-го знаку символу EAN-13.

8. Перевірити контрольну цифру символу.

9. Вивести результат декодування.

Модифікований метод уточнення положення символу можна представити у наступному вигляді:

1. Встановити лічильник ітерацій $i = 0$.

2. Обчислити кількість позицій, у яких може бути розташований символ. Оскільки символ EAN-13 складається з 59 структурних елементів, то кількість позицій, у яких може бути розташований символ обчислюється за наступною формулою:

$$n'_b = n_b - 59 + 1,$$

де n'_b — кількість позицій, у яких може бути розташований символ; n_b — кількість виявлених структурних елементів.

3. Обчислити довжину модуля, виражену в пікселях:

$$m_i = \frac{\sum_{j \in P} b_{i+j}}{11},$$

де m_i — ширина модуля, якщо символ буде розташований у позиції i , виражена у пікселях; b_{i+j} — ширина виявленого $(i+j)$ -го структурного елемента; $p = \{0, 1, 2, 27, 28, 29, 30, 31, 56, 57, 58\}$ — позиції структурних елементів, що належать типовим шаблонам-обмежувачам.

4. Нормувати ширину виявлених структурних елементів:

$$b'_{i+j} = \frac{b_{i+j}}{m_i},$$

де b_{i+j} — нормована ширина виявленого $(i+j)$ -го структурного елемента.

5. Обчислити оцінку розташування символу в позиції i :

$$f_i = \sqrt{\sum_{j \in P} (b_{i+j} - 1)^2},$$

6. Збільшити лічильник ітерацій: $i = i + 1$.

7. Якщо $i \geq n'_b$, то перейти до наступного етапу, інакше перейти до етапу 2.

8. Відсортувати m_i для $i = \overline{1, n'_b}$ у порядку зростання.

Модифікований метод декодування знаку символу має наступний вигляд:

1. Встановити лічильник ітерацій $i = 0$.

2. Обчислити довжину модуля у пікселях:

$$m_p = \frac{\sum_{j=0}^3 b_{p+j}}{7},$$

де m_p — ширина модуля блоку, що починається з p -ї позиції, виражена у пікселях; $p = \{3, 7, 11, 15, 19, 23, 32, 36, 40, 44, 48, 52\}$ — номери структурних елементів, з яких починаються блоки; p_k — список номерів структурних елементів, з яких починаються блоки; $k = \overline{0, 11}$ — номер знака (блоку).

3. Нормувати ширину структурних елементів блоку:

$$b'_{p+j} = \frac{b_{p+j}}{m_p},$$

де b'_{p+j} — нормована ширина $(p+j)$ -го структурного елемента.

4. Обчислити оцінку відповідності блока j -му еталону знаку:

$$f_{i,p} = \sqrt{\sum_{j=0}^3 (b'_{p+j} - c_{i,j})^2}, f_{i+10,p} = \sqrt{\sum_{j=0}^3 (b'_{p+j} - c_{i,3-j})^2},$$

де $f_{i,p}$ — оцінка відповідності блока, що починається з p -го структурного елемента, i -му еталону знаку; $c_{i,j}$ — ширина j -го структурного елемента еталону i -го знаку.

5. Збільшити лічильник ітерацій: $i = i + 1$.

6. Якщо $i \geq 10$ то перейти до наступного етапу, інакше перейти до етапу 4.

7. Вибрати еталон, найбільше схожий на блок:

$$g_p = \arg \min \{ f_{i,p} \}, i = \overline{0, 19},$$

де g_p — номер еталону знаку, найбільше схожого на блок, що починається з p -ї позиції.

8. Визначити паритет odd_p p -го знаку. Якщо $g_p < 10$, то перейти до наступного етапу, інакше перейти до етапу 10.

9. $odd = true$.

10. $g_p = g_p - 10, odd = false$.

4. Експерименти та результати

Запропонований модифікований метод розпізнавання штрихових кодів було програмно реалізовано мовою програмування C# на програмній платформі .NET Framework. Було проведено тестування розробленого програмного забезпечення. Для тестування було обрано вибірку з 3500 файлів зображень штрихових кодів створених методом цифрової фотографії. У якості критерію для експериментального порівняння досліджуваних методів було використано відсоток правильно

розпізнаних зображень штрихових кодів. Для порівняння було використано програму ZBar Barcode Reader [6]. У результаті експериментів було встановлено, що розроблена програма розпізнає 94,7% тестових зображень, а ZBar Barcode Reader — 84,9%. Результати експериментів представлено у табл. 4.

Таблиця 4
Результати експериментів

Програмне забезпечення	Кількість правильно розпізнаних зображень	Частка правильно розпізнаних зображень, %
ZBar Barcode Reader	2971	84,9
Розроблена програма	3316	94,7

5. Висновки

У ході виконання даного дослідження було проведено огляд та аналіз методів розпізнавання лінійних штрихових кодів. Виконано математичну постановку задачі розпізнавання лінійних штрихових кодів.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропоновано модифікований метод розпізнавання лінійних штрихових кодів EAN-13. Розроблений метод використовує для виділення структурних елементів штрихового коду бінаризацію з фіксованим порогом, який визначається за методом Оцу. Модифікований метод відрізняється від існуючих методів розпізнавання лінійних штрихових кодів фазою уточнення положення символу, оскільки використовує метод порівняння з еталонами для пошуку типових шаблонів-обмежувачів символу штрихового коду. Запропонований метод характеризується особливою процедурою декодування символів шляхом порівняння ширини структурних елементів зі значеннями з таблиці еталонів, що дозволяє збільшити точність розпізнавання штрихових кодів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонований модифікований метод було програмно реалізовано мовою програмування C# на програмній платформі .NET Framework. Розроблений програмний продукт має структуру і виконує функції, необхідні для розпізнавання штрихових кодів EAN-13, що містяться у файлах зображень. Проведено порівняльний аналіз розробленого методу з відомими аналогами. Результати проведених досліджень показали, що запропонований метод характеризується більш високою точністю розпізнавання символів штрихового коду у порівнянні з відомими аналогами.

Література

1. Штриховой код [Електронний ресурс]: Матеріал из Википедии — свободной энциклопедии — Режим доступа до ресурсу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%85%D0%BA%D0%BE%D0%B4>
2. ГОСТ ISO/IEC 15420-2010. Межгосударственный стандарт. Кодирование штриховое. Спецификация символики штрихового кода EAN/UPC. — М.: Стандартинформ, 2010 г. — 62 с.
3. Краснобаев А. А. Алгоритмы распознавания штриховых кодов [Текст] / А. А. Краснобаев // ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. — 2004. — С. 25.
4. Титов И. О. Маркировка динамических объектов с помощью штрих-кода [Текст] / И. О. Титов, Г. М. Емельянов // Вестник Новгородского государственного университета. — 2010. — С. 50.
5. Козлов Е. Г. Устойчивые к искажениям алгоритмы распознавания штрих-кода EAN-13 [Текст] / Е. Г. Козлов // Материалы XLIX Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика. — 2011. — С. 10.
6. ZBar bar code reader [Електронний ресурс] — Режим доступа: <http://zbar.sourceforge.net/>
7. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [Текст] / N. Otsu // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. — 1979. № 9. — С. 62.