

## ПРИЛАДИ

УДК 681.3.04

І.А. Дичка, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України "КПІ"

### ПОРІВНЯННЯ ЛІНІЙНИХ ЧОРНО-БІЛИХ ТА КОЛЬОРОВИХ ШТРИХОВИХ КОДІВ

*Запропоновано способи побудови неперервних та дискретних лінійних кольорових штрихових кодів, а також систему показників, які дозволяють кількісно оцінити переваги кольорових штрихових кодів над чорно-білими. Виконано порівняльний аналіз чорно-білих та кольорових штрихових кодів. Показано, що застосування понад двох кольорів для забарвлення штрих-кодових елементів дозволяє істотно збільшити ємність штрих-кодових позначок.*

#### Вступ

Лінійні штрихові коди (ЛШК), що застосовуються в різноманітних галузях, мають бінарну природу – вони використовують два кольори (найчастіше білий та чорний) для забарвлення штрих-кодових елементів [1, 2]. Це дає такі переваги: простоту зчитування та декодування ШК-позначок, а також потребує нескладних пристроїв зчитування. Проте бінарна природа штрихового коду є одночасно й обмежувальним фактором – вона ускладнює досягнення високої ємності штрих-кодових позначок (ШК-позначок).

За таких обставин виходом зі становища є розробка багатокольорових ЛШК. Якщо кількість кольорів перевищує два, то це дозволяє за незмінної площі носія та розмірів штрих-кодових елементів (ШК-елементів) збільшити кількість інформації, яку подає ЛШК.

#### Постановка задачі

Нехай кількість використовуваних кольорів для розфарбовування ШК-елементів дорівнює  $k$ . Якщо  $k = 2$ , то ЛШК називатимемо чорно-білим, якщо  $k \geq 3$ , то, відповідно, – кольоровим.

Для з'ясування доцільності застосування кольорових ЛШК необхідно, перш за все, встановити, яких рис і особливостей додає застосування понад двох кольорів для розфарбовування ШК-елементів. Для порівняння чорно-білих та кольорових ЛШК необхідно вибрати систему показників, які дозволяють б кількісно оцінити перевагу одного виду ЛШК над іншим.

#### Особливості кольорових ЛШК

Незважаючи на те, що чорно-білі ( $k = 2$ ) та кольорові штрихові коди ( $k \geq 3$ ) мають схожу структуру, кольорові ЛШК мають певні особливості, які спричиняють якісні відмінності.

Такими особливостями є:

1. Для чорно-білих ЛШК колір носія не має значення; для кольорових ЛШК колір носія (тла) може бути додатковим кольором, що використовується.
2. Чорно-білі ЛШК допускають тільки один спосіб розфарбовування (штрих (чорний) – проміжок (білий) – штрих (чорний) – проміжок (білий) і т. д.); кольорові ЛШК – три способи розфарбовування (рис. 1), кожний з яких відповідає одному з типів ЛШК – неперервному (Н), дискретному без урахування кольору носія (Д), дискретному з урахуванням кольору носія (Д<sup>т</sup>).

Кольоровий ( $k \geq 3$ ) ЛШК є неперервним, якщо його ШК-знаки починаються одним з  $p$  ( $p < k$ ) задалегідь визначених кольорів, які назвемо базовими кольорами, і завершуються одним з  $k - p$  решти кольорів, які назвемо небазовими (рис. 1). Якщо перший ШК-елемент можна розфарбувати  $p$  способами, то кожний з інших –  $k - 1$  способами (за винятком останнього). Такий спосіб розфарбовування дозволяє розміщувати ШК-знаки один за одним без розділових проміжків, що є ознакою неперервності ЛШК. При цьому максимальна кількість способів розфарбовування ШК-знаків досягається при  $p = \text{int}(k/2)$ .

Кількість  $F_n(R, k)$  способів розфарбовування ШК-знака неперервного ЛШК  $k$  кольорами ( $k \geq 2$ ), до складу якого входить  $R$  ШК-елементів, дорівнює:

$$F_n(R, k) = a_{R-1}(k-p) + b_{R-1}(k-p-1),$$

де  $a_{R-1}$ ,  $b_{R-1}$  обчислюють за рекурентною формулою:

$$\begin{cases} a_j = b_{j-1}p + a_{j-1}(p-1); \\ b_j = p(k-1)^{j-1} - a_j, \quad j = 1 \div R-1, \quad b_0 = 1, \quad a_0 = 0. \end{cases}$$

Якщо ШК-знаки в ШК-позначці відокремлюють один від одного розділовими позначками, то ЛШК називають дискретним. Якщо колір носія не враховується або використання його є неможливим, то один з  $k$  заданих кольорів (назвемо його базовим) слід використати для забарвлення розділового проміжку. При цьому перший елемент ШК-знака можна розфарбувати будь-яким кольором, відмінним від базового, кількість розфарбувань першого елемента дорівнює  $k-1$  (рис. 1). Два суміжні елементи ШК-знака повинні відрізнитися кольором – якщо  $i$ -й елемент ( $i = 1 \div R-2$ ) забарвлено певним кольором, то для сусіднього  $(i+1)$ -го елемента можна вибрати один з  $k-1$  кольорів (у тому числі й базовий – колір проміжка, якщо  $i \geq 2, R \geq 3$ ). Колір  $R$ -го (останнього) елемента має відрізнитися від кольору  $(R-1)$ -го елемента та від базового кольору (кольору проміжка).

Такий спосіб розфарбовування не використовує колір носія.

Кількість  $F_\theta(R, k)$  способів розфарбовування ШК-знака дискретного ЛШК  $k$  кольорами без врахування кольору носія дорівнює:

$$F_\theta(R, k) = c_{R-1}(k-1) + d_{R-1}(k-2),$$

де  $c_{R-1}, d_{R-1}$  обчислюють за рекурентною формулою

$$\begin{cases} c_j = d_{j-1}; \\ d_j = (k-1)^j - d_{j-1}, \quad j = 1 \div R-1, \quad b_0 = 0. \end{cases}$$

Якщо колір носія можна використати і вважати додатковим –  $(k+1)$ -м кольором, то колір розділового проміжку може співпадати з кольором носія (рис. 1). Такий спосіб розфарбовування ШК-знака дозволяє будувати дискретний ЛШК з урахуванням кольору носія.

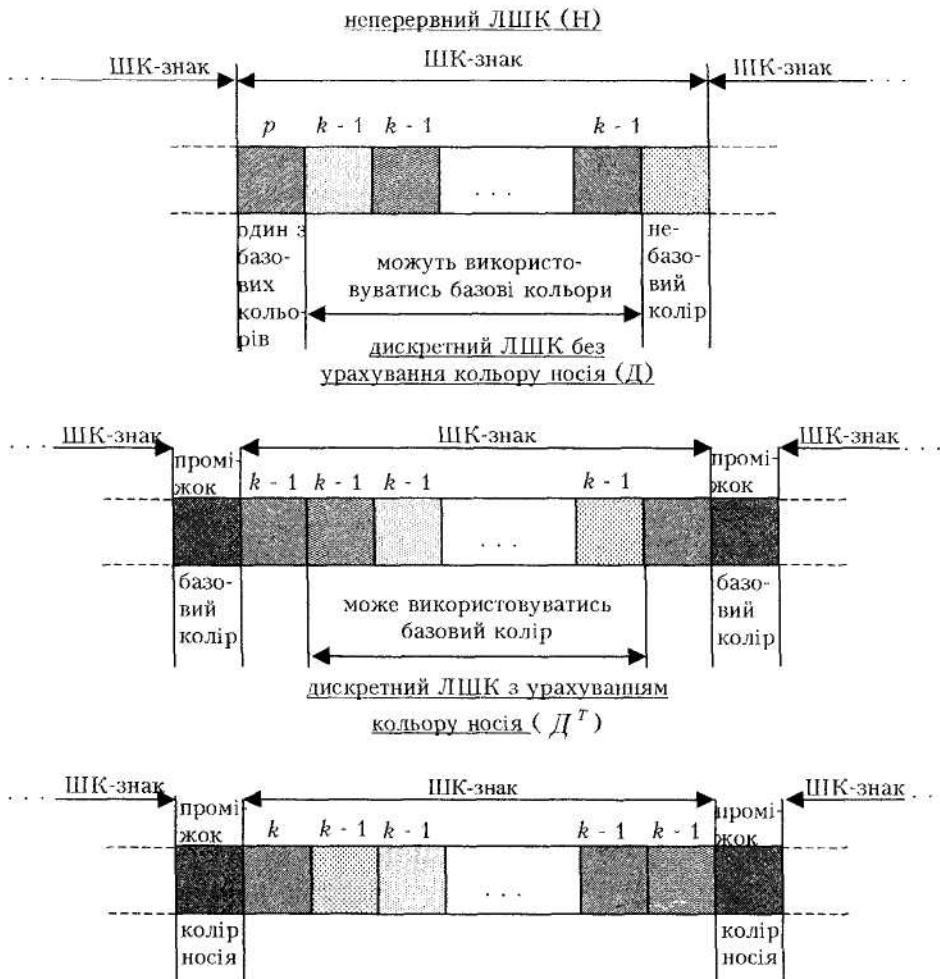


Рис. 1. Способи розфарбовування ШК-знаків кольорових лінійних штрихових кодів

Кількість  $F_0^T(R, k)$  розфарбувань ШК-знака дискретного ЛШК, з урахуванням кольору носія, при  $k \geq 3$  дорівнює:

$$F_0^T(R, k) = k(k-1)^{R-1}.$$

Тип чорно-білого ЛШК визначається парністю/непарністю кількості  $R$  елементів у ШК-знаках: парне  $R$  задає неперервний ШК, непарне  $R$  – дискретний ЛШК; тип кольорового штрихового коду не залежить від  $R$ , він залежить від способу розфарбовування.

Тому чорно-білі ЛШК можуть мати тип Н або Д, а кольорові ЛШК – три типи: Н, Д, Д<sup>Т</sup>.

Застосування понад двох кольорів для розфарбовування елементів ШК-знаків є головним джерелом зростання інформаційної щільності подання даних. Так символіка неперервного чорно-білого ЛШК EAN налічує 20 ШК-знаків шириною 7 модулів. При цьому використовуються 4 градації ширини елементів ( $L = 4$ ), а ШК-знаки складаються з 4 елементів ( $R = 4$ ). Якщо замість двох кольорів (чорного та білого) застосовувати три кольори ( $k = 3$ ), то кожний ШК-знак можна розфарбувати  $F_n(R, k) = F_n(3, 4) = 6$  способами. Отже, символіка неперервного трикольорового ЛШК з параметрами  $L = 4, R = 4, k = 3$  налічуватиме  $20 \cdot 6 = 120$  ШК-знаків. Один ШК-знак коду EAN подає в середньому  $\log_2 20 = 4,32$  біт інформації, а трикольоровий ЛШК з аналогічними параметрами  $L, R$  –  $\log_2 120 = 6,91$  біт. Відповідно, інформаційна щільність трикольорового ЛШК в 1,6 рази вища, ніж чорно-білого EAN.

Таким чином, за рахунок застосування трьох і більше кольорів, з'являється нова якість – істотно зростає інформаційна щільність. Головними складниками зростання інформаційної щільності є кольоровість ЛШК, у тому числі й використання кольору тла, якщо це можливо, як додаткового кольору, а також правильний вибір типу ЛШК – Н, Д, Д<sup>Т</sup>. Кількість кольорів переважно впливає на досягнення високої інформаційної щільності. Це пояснюється тим, що зі зростанням  $k$  кількість  $F(R, k)$  розфарбувань ШК-знака заданої структури стрімко зростає.

Розрізняють два способи побудови символік ЛШК та відповідно виділення ШК-знаків зі ШК-позначки при декодуванні ШК-позначок: спосіб "2" – виділення ШК-знаків за двома ознаками – сталістю ширини ШК-знаків та сталістю кількості елементів у ШК-знаках; спосіб "1" – виділення ШК-знаків з ШК-позначки за однією ознакою – сталістю кількості елементів у ШК-знаках.

Порівняння способів здійснюватимемо за показником інформаційної щільності:

$$J = \frac{I}{m_{cp} + m_p} \left[ \frac{\text{біт}}{\text{модуль}} \right],$$

де  $I = \log_2 N$  – кількість інформації, яку подає ШК-знак символіки потужності  $N$ ;  $m_{cp}$  – середнє значення ширини ШК-знаків символіки;  $m_p$  – ширина розділового проміжку (в модулях).

Модуль (скорочено – "мод") – мінімальна ширина, якій кратні розміри всіх елементів ЛШК. Для неперервного ЛШК  $m_p = 0$ , для дискретного –  $m_p = 1$ .

Аналіз способів "1" та "2" свідчить, що зі зростанням кількості використаних кольорів показник інформаційної щільності  $J$  зростає. Наприклад, при  $N = 64$   $J_{(2)}$  зростає від значення 0,5 біт/модуль при  $k = 2$  до значення 1,0 біт/модуль при  $k = 3$  та значення 2,0 біт/модуль при  $k = 8$  (рис. 2).

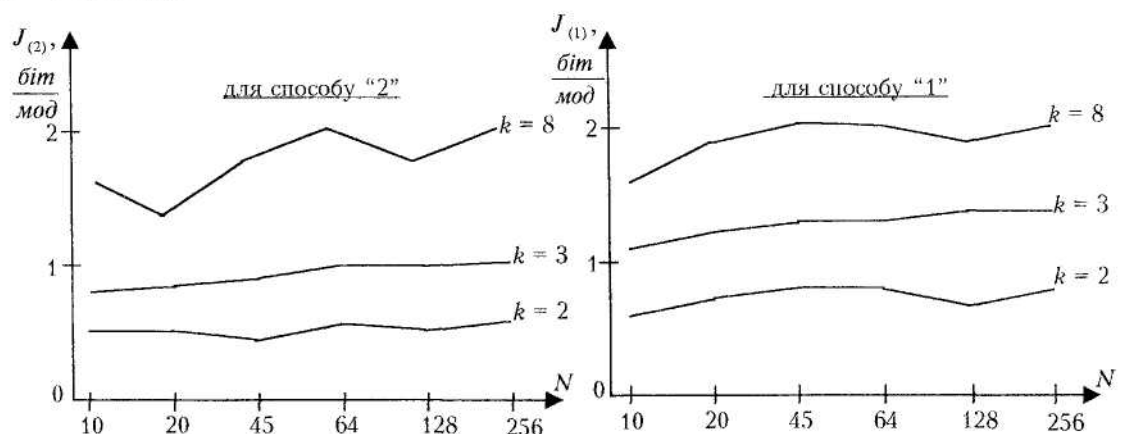


Рис. 2. Залежність інформаційної щільності  $J$  штрихових кодів від кількості кольорів ( $k$ ) при застосуванні способів "1" та "2" виділення ШК-знаків з ШК-позначки

Ступінь зростання інформаційної щільності кольорових ЛШК, порівняно з чорно-білими, будемо характеризувати коефіцієнтом

$$\delta = \frac{J(k \geq 3)}{J(k = 2)},$$

де  $J(k \geq 3)$  – інформаційна щільність кольорових ЛШК;  $J(k = 2)$  – чорно-білих ЛШК.

При застосуванні способу "1" інформаційна щільність кольорових ЛШК, порівняно з чорно-білими, зростає в 1,25 (при  $k = 3, L = 4$ ) – 3,36 (при  $k = 8, L = 2$ ) рази, при застосуванні способу "2" – в 1,51 (при  $k = 3, L = 4$ ) – 4,00 (при  $k = 8, L = 2$ ) рази (рис. 3).

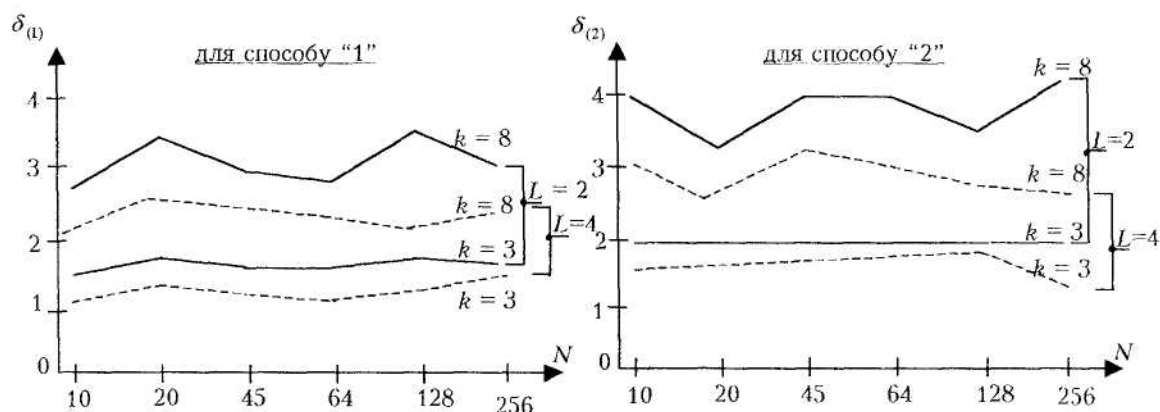


Рис. 3. Коефіцієнт  $\delta$  зростання інформаційної щільності кольорових ЛШК, порівняно з чорно-білими, залежно від кількості використаних кольорів ( $k$ ) для двох способів виділення ШК-знаків з ШК-позначки

### Висновки

Застосування понад двох кольорів для забарвлення ШК-елементів дозволяє істотно збільшити інформаційну щільність подання даних у штрих-кодовому вигляді. Для досягнення якомога вищої інформаційної щільності необхідно вибирати відповідний тип ЛШК – Н, Д, Д<sup>T</sup> – залежно від заданих параметрів.

Таким чином, використання кольорових лінійних штрихових кодів дозволяє істотно збільшити ємність штрих-кодових позначок і є якісно новим кроком у розвитку штрихового кодування інформації.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Арманд В.А., Железнов В.В. Штриховые коды в системах обработки информации. – М.: Радио и связь, 1989. – 92 с.
2. Allais M., David C. Bar code Symbology: Some Observations on Theory and Practice, Internec, Lynnwood, WA, u. s. a., December, 1984.

ДИЧКА Іван Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

- штрихове кодування інформації;
- надійність запам'ятовувальних пристроїв.

Подано 5.02.2002