

Grzegorz PŁONKA

Instytut Elektroniki  
Politechniki Śląskiej

## PODSTAWY DWUWYMIAROWYCH KODÓW PASKOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono genezę dwuwymiarowych kodów paskowych. Wprowadzono także pojęcie gęstości informacyjnej kodu paskowego, a także porównano dwie grupy dwuwymiarowych kodów paskowych ze względu na ten parametr. Korzystając z przykładów prostych kodów opracowanych w Instytucie Elektroniki zawarto również podstawy kodowania przy użyciu tych kodów.

## BASICS OF TWO -DIMENSIONAL BAR CODES

**Summary.** The paper presents an origin of two- dimensional bar codes. It also discusses the concept of code information density and compares two groups of two-dimensionla bar codes with respect to this parameter. By presenting simple bar codes designed at Institute of Electronics, the paper discusses methods of information coding in two dimmensional bar codes.

### 1. Wstęp

Kody paskowe służą do zapisania na papierze(lub podobnym nośniku), w sposób łatwy do odczytania przez urządzenie elektroniczne przy użyciu prostych skanerów, pewnej porcji informacji w postaci pionowych pasków o różnej grubości. Rysunek 1 przedstawia kod EAN 13. Kod ten składa się z pewnej liczby pasków i przerw o różnej grubości. Wzajemny układ tych pasków zawiera informacje o trzynastu cyfrach dziesiętnych. Wysokość pasków nie niesie ze sobą żadnej informacji, zapewnia ona tylko niezbędną nadmiarowość potrzebną przy odczytywaniu częściowo uszkodzonych kodów. Wadą kodów paskowych jest mała ilość przenoszanej informacji. Zazwyczaj możliwe jest zakodowanie tylko do kilkunastu cyfr lub znaków.



Rys. 1. Jednowymiarowy kod paskowy EAN 13  
 Fig. 1. One-dimensional bar code EAN 13

wych. Kody te umożliwiają zapis od kilkudziesięciu do kilkuset, a nawet kilku tysięcy cyfr lub znaków, co pozwala na zawarcie znacznie większej ilości informacji, np. dokładniejszych danych o produkcie, zamieszczenie wyników doświadczeń lub nawet zakodowane zdjęcie.

Artykuł przedstawia ogólnie genezę dwuwymiarowych kodów paskowych, ich budowę, rodzaje i sposób zapisu informacji. Sformułowanie jest przy tym podstawowe pojęcie gęstości informacyjnej kodu oraz porównano ze względu na ten parametr dwie grupy kodów. Dla lepszego zrozumienia posłużono się przykładami prostych kodów opracowanych w Instytucie Elektroniki.

## 2. Dwuwymiarowe kody paskowe

Najprostszym rozwiązaniem pozwalającym na zwiększenie ilości informacji przynoszonej przez kod paskowy jest zwiększenie jego długości. Rozwiązanie to ma jednak swoje wady: zwiększa powierzchnię zajmowaną przez kod, powoduje poważne trudności przy konstrukcji skanerów do odczytania bardzo długich kodów oraz kłopoty z równomiernością prędkości odczytywania w przypadku ręcznych skanerów.

W czasie ostatnich kilku lat zostały wprowadzone nowe formy kodów paskowych o dużo większej gęstości informacyjnej niż kody na co dzień spotykane w sklepach. W kodach tych nośnikiem informacji jest także wymiar pionowy i dlatego noszą one nazwę *dwuwymiarowych kodów paskowych*.

$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	...	...	...	...	...	$S_{1,q}$
$S_{2,1}$	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	$S_{i,j}$	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
$S_{p,1}$	...	...	...	...	...	...	$S_{p,q}$

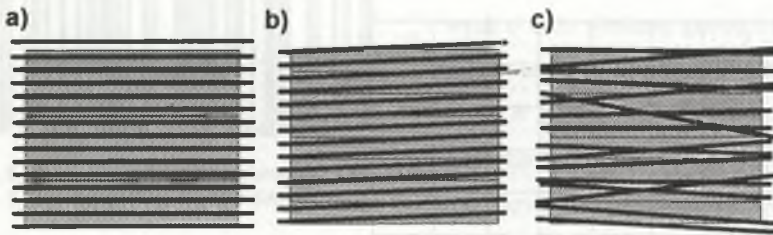
Rys.2. Kod paskowy jako tablica pojedynczych słów kodowych  
 Fig. 2. Bar code as table of code words

Innym sposobem zwiększania pojemności jest umieszczenie kilku sekwencji kodów jeden nad drugim. Kody takie nazywamy kodami spiętrzonymi (ang. *stacked*).

Rozwiązanie takie sprawia trudności z rozpoznawaniem przypadkowych interferencji pasków w różnych wierszach, np. gdy linia skanowania przecina kilka wierszy lub gdy próbuje się odczytać wiersze w zmienionej kolejności. Kody umożliwiające odczytywanie z równoczesną kontrolą kolejności wierszy nazywamy *dwuwymiarowymi kodami paskowymi* [1].

Przedstawiając wiersz jako ciąg pól kodowych [2], całość możemy przedstawić jako tablicę o określonej liczbie kolumn i wierszy, której elementy zawierają układ pionowych pasków odpowiadających słowu kodowemu  $S_{ij}$  (rys.2). Wprowadzenie do komputera takiego kodu wymaga zastosowania odpowiedniego skanera.

Założmy, że mamy dwuwymiarowy kod paskowy przedstawiony na rysunku 3. Zakreśkowane pola przedstawiają wiersze kodu, a grube czarne paski oznaczają linie skanowania. Rysunki a) i b) obrazują przebieg skanowania za pomocą skanerów stacjonarnych wszystkie linie są równoległe, ze stałym skokiem przesuwu pionowego. Rysunek c) przedstawia linie skanowania wykonane ręcznym skanerem. Mogą one być wzajemnie położone w sposób przypadkowy i mogą się przecinać.



Rys.3. Przykład skanowania  
Fig. 3. Example of scanning process

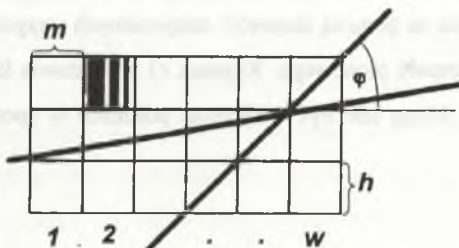
Dwuwymiarowe kody paskowe z założenia są przystosowane do współpracy ze skanerami ręcznymi. Problem dekodowania informacji z takiego źródła jest bardzo skomplikowany i w ogólnym przypadku nierozwiązalny. Dlatego konieczne staje się narzucenie pewnych dodatkowych wymagań dotyczących dopuszczalnego kąta nachylenia linii skanowania do poziomu.

Ze względu na te wymagania kody dzielimy na dwie grupy:

**niezszywalne** - zapewniające poprawne odczytanie tylko w przypadku, gdy dla każdego wiersza istnieje linia skanowania zawierająca ten wiersz w całości,

**zszywalne** - umożliwiające zdekodowanie, gdy każde pole jest pokryte przynajmniej jedną zeskanowaną linią.

Nawiązując do rys. 2 i 3 skanowanie dwuwymiarowego kodu paskowego można przedstawić jak na rys. 4.



Rys.4. Graniczne warunki poprawnego sposobu skanowania  
Fig.4. Boundary conditions for proper scanning process

Załóżmy, że w wierszu występuje  $w$  słów kodowych o wysokości  $h$  i długości  $m$ . Rozmiary te wyraża się w modułach. Moduł jest to najmniejsza używana przez kod grubość paska lub przerwy (zazwyczaj utożsamiana z grubością piksela, czyli najmniejszej części obrazu o jednakowej barwie). Grubość wszystkich pasków i przerw zazwyczaj jest wielokrotnością modułu.

Warunkiem koniecznym, aby dekodery potrafił zdekodować kod niezszywalny, jest, aby wśród zeskanowanych linii znajdowały się takie, które zawierają w całości pojedyncze wiersze. Warunek ten jest spełniony, gdy kąt odchylenia linii od poziomu nie przekracza pewnej granicznej wartości  $\varnothing$  takiej, że:

$$\tan \varnothing = \frac{h}{mw} \quad (1)$$

Podobny warunek, dotyczący tylko pojedynczych słów kodowych, a nie całych wierszy, można sformułować dla kodów zszywalnych. W tym przypadku kąt graniczny spełnia poniższe równanie:

$$\tan \varnothing = \frac{h}{m} \quad (2)$$

Ze wzorów (1) i (2) wynika, że kod zszywalny o tych samych parametrach  $h, m, w$  posiada większy kąt graniczny.

Ponieważ kąt nachylenia linii do poziomu jest niezależny od kodu (na jego wielkość mają wpływ drgania ręki, konstrukcja mechaniczna skanera oraz stan ranności skanowania), celowa wydaje się odpowiedź na pytanie, jaka powinna być wysokość wiersza, aby możliwe było zdekodowanie przy danym dopuszczalnym odchyleniu. Odpowiedź otrzymujemy poprzez proste przekształcanie wzorów (1) i (2):

$$h = mw \tan \varnothing \quad \text{dla kodów niezszywalnych} \quad (3)$$

$$h = m \tan \varnothing \quad \text{dla kodów zszywalnych} \quad (4)$$

Wprowadźmy pojęcie gęstości informacyjnej kodu, wyrażanej w bitach na piksel (czyli prostokąta o rozmiarach jednego modułu), jako stosunek ilości informacji przypadającej na słowo kodowe do powierzchni zajmowanej przez to słowo wyrażonej w pikselach:

$$H = \frac{S}{hm}, \quad (5)$$

gdzie  $S$  oznacza ilość informacji przypadającą na słowo kodowe ( $S = \log_2 N$ , gdzie  $N$  jest liczbą używanych słów kodowych). Podstawiając za  $h$  wartości wyliczone ze wzorów (3) i (4) możemy obliczyć maksymalną graniczną gęstość informacyjną kodu możliwą do uzyskania przy założeniu dopuszczalnego kąta nachylenia linii równego  $\emptyset$ . Otrzymujemy odpowiednio:

$$H(\emptyset) = \frac{S}{w m^2 \tan \phi} \quad \text{dla kodów niezszywalnych} \quad (6)$$

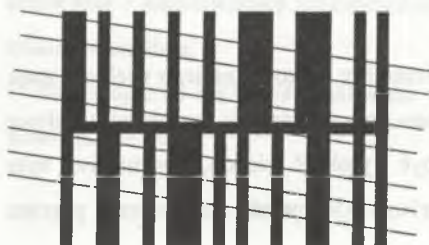
$$H(\emptyset) = \frac{S}{m^2 \tan \phi} \quad \text{dla kodów zszywalnych} \quad (7)$$

Ponieważ  $w$  jest liczbą naturalną, z powyższych wzorów wynika, że kody zszywalne umożliwiają osiągnięcie większej gęstości od kodów niezszywalnych. Niestety, w praktyce jest to okupione znacznym wzrostem komplikacji algorytmu dekodowania.

Podczas dekodowania dwuwymiarowych kodów paskowych występują dwa problemy:

Synchronizacja pozioma, obecna także przy dekodowaniu tradycyjnych kodów, polegająca na rozpoznaniu pól kodowych tak, aby możliwe było zdekodowanie nawet przy znacznie różniących się prędkościach skanowania.

Synchronizacja pionowa, polegająca na rozpoznawaniu kolejności odczytywanych linii oraz na rozpoznawaniu przecięcia przez linie skanowania różnych wierszy.



Rys.5. Idea kodu niezszywalnego  
Fig. 5. The idea of unistichable code

Nie zmienia się także liczba pasków w danym polu, a więc i sumaryczna liczba pasków w całym wierszu jest również stała. Podobnie nie zmienia się także długość wiersza. Ponieważ parametry te są znane dekodownikowi, możliwe jest przeliczenie odpowiednich zeskanowanych wartości i zsynchronizowanie dekodera [2].

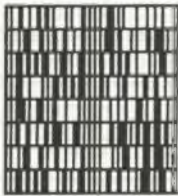
Rozwiązanie drugiego problemu jest różne dla różnych grup kodów i jest omówione w dwóch następujących rozdziałach.

Aby umożliwić synchronizację poziomą, każdy rodzaj kodu umieszcza puste przestrzenie, wolne od napisów i innych znaków, po obu stronach kodu (tzw. marginesy). Dzięki temu dekodownik może dość łatwo rozpoznać w zeskanowanej linii początek i koniec kodu. Ponadto rozmiary poszczególnych pól kodowych są zawsze stałe dla danego kodu.

### 3. Kody niezszywalne

Wszystkie kody niezszywalne używają do synchronizacji pionowej poziomego czarnego paska o grubości jednego modułu, rozdzielającego poszczególne wiersze kodu (rys.5). Pozioma czarna kreska jest widziana jako bardzo szeroki pasek, gdy linia skanowania przecina ją pod małym kątem i na tej podstawie dekodery odrzuca tę linię.

Do najpopularniejszych kodów niezszywalnych należą: kod 49, kod 16 K oraz Identcode MLC-2D. W czasie pracy autora nad kodami dwuwymiarowymi w Instytucie Elektroniki został opracowany prosty kod niezszywalny [3], który zostanie teraz dokładniej omówiony.



1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234

Rys.6. Przykład zaprojektowanego kodu niezszywalnego

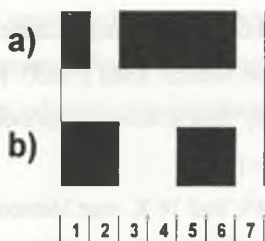
Fig. 6. An example of unistichable code

Przykład zaprojektowanego kodu przedstawiono na rys.6. Kod umożliwia zakodowanie 64 cyfr dziesiętnych. Składa się z ośmiu wierszy, w których znajduje się po jednoślicie słów kodowych (por.rys. 2):

- słowo początku - „101” ;
- cztery „lewe” słowa kodowe;
- słowo centralne - „01010”;
- cztery „prawe” słowa kodowe;
- słowa końca - „101”.

Stosując zapis zerojedynekowy, przyjmujemy jedynekę, gdy odpowiedni moduł słowa jest czarny i zero, gdy jest biały.

Kod używa alfabetu kodowego kodu  $\delta(7,2,4)$ , który posiada 40 różnych słów kodowych. Kod  $\delta(n,k,l)$  (rys.7) [4] jest to kod paskowy, który posiada słowa kodowe w postaci  $k$ -pasków i  $k$ -przerw, których maksymalna szerokość wynosi  $l$  modułów. Suma szerokości wszystkich pasków i przerw wynosi  $n$  modułów.



Rys. 7. Budowa słowa kodu  $\delta(7,2,4)$

- a) słowo parzyste
- b) słowo nieparzyste

Fig.7. Construction of code word  $\delta(7,2,4)$

- a) even word
- b) odd word

a O nieparzyste, ang. *Odd*). Podczas dekodowania określana jest grupa kodowa każdego słowa w pojedynczej zskanowanej linii, a następnie poprzez porównanie z tab.2 określany jest numer wiersza.

Należy zwrócić uwagę, że podczas gdy skanowania długość jakiegoś paska lub przerwy zostanie zmieniona o jeden moduł, to zmieni się parzystość danego słowa na przeciwną, powodując zmianę wzoru parzystości na taką, której nie ma w tab.2. Zatem jest to kod nadmiarowy, umożliwiającą detekcję pojedynczego przekłamania.

Łącznie wiersz ma długość 67 modułów i zawiera 22 paski oraz 21 przerw.

Słowa kodowe zostały podzielone na „lewe” i „prawe”, które z kolei dzielą się na parzyste i nieparzyste. Słowa „lewe” są to słowa, które zaczynają się przerwą, a „prawe” paskiem. Słowa parzyste są to, słowa dla których suma grubości wszystkich czarnych pasków jest parzysta (rys.7 b), a słowa nieparzyste, gdy suma ta jest nieparzysta (rys.7 a). Łącznie istnieją cztery grupy kodowe (tab.1).

Każda grupa zawiera dziesięć słów kodowych odpowiadających cyfrom dziesiętnym. Sposób używania słów parzystych jest określony numerem i jest przedstawiony w tab.2 (E oznacza słowa parzyste, ang. *Even*,



Tabela 1

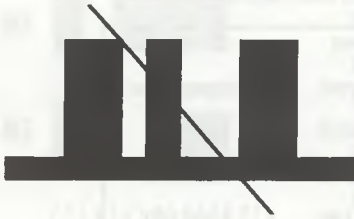
Zestawienie wszystkich słów kodowych kodu  $\delta$  (7,2,4)

cyfra	lewe		prawe	
	parzyste	nieparzyste	parzyste	nieparzyste
0	0100111	0001101	1110010	1011000
1	0110011	0011001	1100110	1001100
2	0011011	0010011	1101100	1100100
3	0100001	0111101	1000010	1011110
4	0011101	0100011	1011100	1100010
5	0111001	01110001	1001110	1000110
6	0000101	0101111	1010000	1111010
7	0010001	0111011	1000100	1101110
8	0001001	0110111	1001000	1110110
9	0010111	0001011	1110100	1101000

Tabela 2

Sposób używania słów parzystych i nieparzystych

Wiersz	Wzór parzystości
1	OEEEOOOO
2	EOEOEEEE
3	OEEEOOOO
4	EEOEOEEE
5	OEOEOOOO
6	EOEOEEEE
7	EOOOEEEO
8	EEEOEOOO



Rys.8. Ilustracja przypadku, gdy w kodzie niezszywalnym pozioma linia jest nierozróżnialna dla kątów skanowania

Fig. 8. The horizontal bar is unrecognizable when the aspect ratio is large

Wysokość pojedynczego wiersza wynosi 8 modułów. Cały kod umożliwia zakodowanie 64 cyfr. Uwzględniając jednomodułowy poziomy czarny pasek oddzielający wiersze oraz nadmiar wprowadzony przez słowa początku, centralne i końca ze wzoru (5) po odpowiednich przeliczeniach otrzymujemy średnią gęstość informacji:

$$H^0 = 0.044 \text{ bit / piksel/}, \quad (8)$$

przy  $\phi \approx 7^\circ$ .

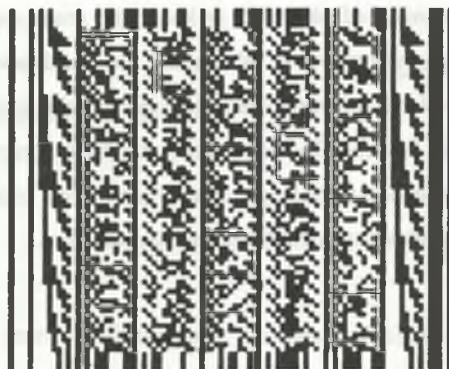
#### 4. Kody zszywalne

Potrzeba zawarcia linii skanowania w pojedynczym wierszu ogranicza gęstość informacji. Ponadto grube linie, używane do odgradzania wierszy kodu, nie różnią się znacznie od pasków, jeżeli kąt skanowania jest duży (rys.8), co może powodować błędy przy dekodowaniu.

Wad tych pozbawione są kody zszywalne. Chcąc ocenić możliwości tych kodów zaprojektowano prosty kod zszywany (rys.?? fig:podst) [3]. Pozwala on na zapisanie 350 znaków składających się z dużych i małych liter, cyfr, niektórych znaków interpunkcji oraz znaków przerwy (SP) i końca linii (CR).

Kod składa się z 70 wierszy o numerach od 0 do 69. Każdy zawiera w kolejności:

- słowo początku „10001”,
- słowo numeru wiersza składające się z tych przerw i dwóch pasków o łącznej grubości dziewięciu modułów,
- pięć słów kodowych utworzonych z czterech pasków i trzech przerw, o łącznej grubości 13 modułów, z tym że słowa drugie i czwarte są przedstawione w postaci negatywnej, tzn. każdemu paskowi (przerwie) oryginału odpowiada przerwa (pasek) o tej samej grubości,



Najprostszym rozwiązaniem pozwalającym na zwiększenie ilości informacji przenoszonej przez kod paskowy jest zwiększenie jego długości. Rozwiązanie to jednak ma swoje wady – zwiększa powierzchnie zajmowane przez kod, powoduje poważne trudności przy konstrukcji skanerów do odczytywania bardzo długich kodów lub kłopoty z równomiernością predkości od

Rys.9. Przykład zaprojektowanego kodu zszywalnego. Tekst pod rysunkiem jest tekstem zakodowanym za pomocą tego kodu

Fig. 9. An example of stichabl code. The text below the figure is encoded in the code

- słowo numeru wiersza (takie samo jak drugie słowo w wierszu),
- słowo końca „11101”.

Słowa kodowe oparte są na kodzie *delta*. Zbiór słów został podzielony na trzy rozdzielne grupy. Każdy wiersz używa tylko jednej grupy. Grupa jest wykorzystywana sekwencyjnie co trzy wiersze. Ponieważ sąsiednie wiersze wykorzystują różne grupy, dekodery potrafi wykryć zmianę wiersza podczas skanowania i poprawnie zdekodować sygnał. Ponadto każdy wiersz zawiera identyfikator wiersza (drugie i przedostatnie słowo), który jest wykorzystywany do określenia położenia zeskanowanej linii względem kodu.

Łączna długość całego wiersza wynosi 93 i składa się z 26 pasków oraz 25 przerw. Wysokość wiersza wynosi jeden moduł. Obliczając ze wzoru (5) gęstość informacyjną kodu, podstawiając odpowiednie dane i uśredniając przy uwzględnieniu znaków początku, numerów linii końca (które nie niosą informacji), otrzymujemy gęstość informacyjną kodu:

$$H^0 = 0.3295 \text{ bit/piksel} \quad (9)$$

przy  $\phi \approx 4^\circ$ .

Zaprojektowany kod nie posiada żadnych możliwości korekcyjnych i dlatego nie nadaje się bezpośrednio do zastosowania, jednak widać, że kody z tej grupy dają znacznie większą gęstość informacyjną niż kody niezszywalne. W artykule nie przedstawiono dokładniejszej specyfikacji kodu, gdyż został on zaprezentowany jedynie w celu lepszego zobrazowania zasad kodowania tego rodzaju kodami. Do zastosowania kodów tej grupy należą kody PDF 417 i Maxi Code. Ponieważ jednak technologia dwuwymiarowych kodów paskowych jest dopiero rozwijana, dokładna budowa tych kodów jest trudno dostępna.

## 5. Podsumowanie

Dwuwymiarowe kody paskowe stanowią rozszerzenie zwykłych kodów paskowych, zapewniają zwiększenie ilości przenoszonej informacji. Odbywa się to jednak kosztem zwiększenia komplikacji dekodera. Technologia ta jest dopiero rozwijana i nie istnieją jeszcze powszechne standardy, a symboliki już powstałych kodów są trudno dostępne. Wydaje się jednak, że w najbliższym czasie staną się bardziej popularne głównie ze względu na możliwość osiągnięcia znacznych gęstości informacyjnych oraz mały koszt wykorzystywanych skanerów.

## LITERATURA

1. Pavlidis T., Swartz J., Wang P.Y.: *Information Encoding with Two-Dimensional Ba Codes*, Computer, June 1992
2. Płonka G.: *Symboliki popularnych kodów paskowych* ZN Pol.Śl. s.Elektronika z.7, Gliwice
3. Płonka G.: *Praca dyplomowa: Dwuwymiarowe kody paskowe Oprogramowanie kodera i dekodera*. Instytut Elektroniki Pol.Śl., Gliwice 1994

4. Swartz J., Wang P.Y., Pavlidis T.: *Fundamentals of Bar Code Information Theory*,  
Computer April 1990

Recenzent: Prof. dr inż. Antoni Pach

Wpłynęło do Redakcji 28.09.1994 r.

### Abstract

In the last few years two-dimensional machine-readable code dramatically improved current bar-code technology.

This paper presents the genesis of these codes, which have originated from ordinary bar codes. It discusses the main properties of handheld scanners and derives from them the requirements for two dimensional bar codes, dividing them into two groups: stichable and unistichable.

It also introduces the concept of information density of the code and compares the groups of codes.

Finally it presents examples of simple two dimensional bar codes developed at Institute of Electronics.