

DEKODOWANIE DETEKCYJNO - KOREKCYJNE KODÓW DWUKROTNIE ITEROWANYCH NA BAZIE KODÓW HAMMINGA

Streszczenie

W pracy analizowano dwie metody dekodowania detekcyjno - korekcyjnego ($t=1, \gamma =7$) i ($t=2, \gamma =6$) kodów dwukrotnie iterowanych na bazie kodów Hamminga lub skróconego kodu Hamminga. Podano algorytmy dekodowania detekcyjno-korekcyjnego umożliwiające poprawną korekcję i detekcję odpowiedniej ilości błędów. Opracowane algorytmy dekodowania bazują na trzech rodzajach korekcji: korekcji na podstawie syndromów kolumn KOR_SK, korekcji na podstawie syndromów wierszy KOR_SW, i korekcji na podstawie liczby syndromów różnych od zera KOR_LS_11. W dwóch pierwszych przypadkach są to klasyczne korekcje błędów dla kodów Hamminga, w których syndrom ciągu wskazuje w NKB korygowaną pozycję. W trzecim przypadku korekcja jest przeprowadzana na pozycji wyznaczonej przez numer wiersza i kolumny, w których syndromy są różne od zera. W algorytmie dekodowania ($t=1, \gamma =7$) występuje jedna faza dekodowania. Po wyznaczeniu wszystkich syndromów wierszy i kolumn przeprowadza się korekcję KOR_LS_11 w sytuacji, jeżeli tylko jeden wiersz i jedna kolumna mają syndromy różne od zera, w pozostałych sytuacjach podejmowana jest decyzja o wykryciu błędu za wyjątkiem przypadku gdy wszystkie syndromy są równe zeru, oznaczającego bezbłędny odbiór lub błędną decyzję dekodera. W algorytmie dekodowania ($t=2, \gamma =6$) występują dwie fazy: w pierwszej wyznacza się wszystkie syndromy wierszy i kolumn oraz oblicza się liczbę wierszy LSw i kolumn LSk z syndromami różnymi od zera. W zależności od wartości LSw i LSk wykonywana jest odpowiednia korekcja lub detekcja błędów. W drugiej fazie dekodowania ponownie wyznacza się wszystkie syndromy wierszy i kolumn i w przypadku, gdy co najmniej jeden syndrom jest różny od zera podejmuje się decyzję o wykryciu błędu.

WSTĘP

Skutki zakłóceń występujące w kanałach transmisyjnych można częściowo ograniczyć stosując w systemie przesyłania informacji kodowe metody zabezpieczenia przed błędami [1]. Wprowadzony nadmiar kodowy umożliwia korekcję lub detekcję błędów, powodując jednocześnie zmniejszenie szybkości transmisji. Zastosowanie kodów łączonych lub kodów iterowanych w systemach przesyłania informacji sprawia, że można w elastyczny sposób kształtować własności detekcyjno-korekcyjne systemu. Idea kodowania 2-krotnie iterowanego polega umieszczeniu kodowanego ciągu informacyjnego w tablicy dwuwymiarowej i użyciu jednego kodu o parametrach (n_1, k_1) i $d_{\min 1}$ do kodowania wierszy tabeli oraz użyciu drugiego kodu o parametrach (n_2, k_2) i $d_{\min 2}$ do kodowania kolumn (ozn. n – długość ciągu kodowego, k – długość ciągu informacyjnego d_{\min} – minimalna odległość Hamminga). W wyniku takich działań uzyskany kod 2-krotnie iterowany posiada parametry będące iloczynem odpowiednich parametrów kodów bazowych $(n_1 \cdot n_2, k_1 \cdot k_2)$ i $d_{\min} = d_{\min 1} \cdot d_{\min 2}$ [2].

Podstawowym parametrem określającym własności detekcyjno-korekcyjne kodu jest minimalna odległość Hamminga d_{\min} [6][7]. Zależność pomiędzy minimalną odległością Hamminga d_{\min} a maksymalną krotnością błędów wykrywanych – γ i korygowanych – t jest następująca [2]

$$d_{\min} = t + \gamma + 1 \quad (1)$$

W artykule [3] przedstawiono opis procedur kodowania i algorytm dekodowania „czysto” korekcyjnego ($t=4, \gamma =4$) systemu przesyłania informacji z kodami dwukrotnie iterowanymi na bazie kodów

Hamminga. W niniejszej pracy analizowane są zagadnienia związane z dekodowaniem detekcyjno-korekcyjnym kodów dwukrotnie iterowanych (n_w, n_k) (ozn. n_w – ilość wierszy, n_k – ilość kolumn w kodzie dwukrotnie iterowanym) na bazie kodu Hamminga [8] zarówno dla wierszy jak i kolumn. Jak wiadomo [2] kod Hamminga posiada $d_{\min} = 3$, tak więc kod dwukrotnie iterowany na bazie tego kodu posiada $d_{\min} = 9$. Zgodnie z (1) w zależności od zastosowanej metody dekodowania detekcyjno-korekcyjnego można zbudować trzy różne rodzaje dekodatorów detekcyjno-korekcyjnych:

- korygujący błędy pojedyncze i wykrywający błędy o krotności mniejszej od ośmiu, ($t=1, \gamma =7$),
- korygujący błędy pojedyncze i podwójne oraz wykrywający błędy o krotnościach mniejszej od siedmiu ($t=2, \gamma =6$),
- korygujący błędy pojedyncze, podwójne i potrójne oraz wykrywający błędy o krotnościach cztery i pięć ($t=3, \gamma =5$).

W artykule scharakteryzowano dwa sposoby dekodowania detekcyjno-korekcyjnego ($t=1, \gamma =7$) i ($t=2, \gamma =6$) określając algorytmy działania dekodatorów, dokonując szczegółowej analizy wpływu ilości i rozkładów błędów na podejmowane przez dekodera decyzje. Reguły kodowania informacji są identyczne do tych przedstawionych w artykule [3].

1. DEFINICJA ELEMENTÓW PROCESU DEKODOWANIA

W procesie dekodowania detekcyjno-korekcyjnego będą występowały następujące elementarne działania dekodera:

- wyznaczenie syndromów ciągu odebranego dla wierszy – $\vec{Y}^w(\vec{y})$,
- wyznaczenie liczby syndromów ciągu odebranego dla wierszy różnych od zera – LSw,

- wyznaczenie syndromów ciągu odebranego dla kolumn – $\bar{Y}^k(\bar{y})$,
- wyznaczenie liczby syndromów ciągu odebranego dla kolumn różnych o zera – LSk ,
- korekcja błędów w wierszach – **KOR_SW** (na podstawie $\bar{Y}^w(\bar{y})$),
- korekcja błędów w kolumnach – **KOR_SK** (na podstawie $\bar{Y}^k(\bar{y})$),
- korekcja błędów na pozycjach wyznaczonych przez numery wierszy i kolumn, dla których odpowiednie syndromy są różne od zera – **KOR_LS(LSw)(LSk)**,
- detekcja błędu – **DETEKCJA**.

W pierwszej fazie dekodowania ciąg odebrany \bar{y} umieszczony jest w tablicy dwuwymiarowej (2), i wyznaczane są wszystkie syndromy ciągu odebranego dla wierszy $\bar{Y}^w(\bar{y})$ (3) i kolumn $\bar{Y}^k(\bar{y})$ (4).

$$\bar{y} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & \dots & y_{1j} & \dots & y_{1n_k} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & \dots & y_{2j} & \dots & y_{2n_k} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & \dots & y_{3j} & \dots & y_{3n_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{i1} & y_{i2} & y_{i3} & \dots & y_{ij} & \dots & y_{in_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n_w1} & y_{n_w2} & y_{n_w3} & \dots & y_{n_wj} & \dots & y_{n_wn_k} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \bar{y}_1^w \\ \bar{y}_2^w \\ \bar{y}_3^w \\ \dots \\ \bar{y}_i^w \\ \dots \\ \bar{y}_{n_w}^w \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\downarrow$$

$$\begin{bmatrix} \bar{y}_1^k & \bar{y}_2^k & \bar{y}_3^k & \dots & \bar{y}_j^k & \dots & \bar{y}_{n_k}^k \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}^w(\bar{y}) = \begin{bmatrix} \bar{Y}_1^w(\bar{y}_1^w) \\ \bar{Y}_2^w(\bar{y}_2^w) \\ \bar{Y}_3^w(\bar{y}_3^w) \\ \dots \\ \bar{Y}_i^w(\bar{y}_i^w) \\ \dots \\ \bar{Y}_{n_w}^w(\bar{y}_{n_w}^w) \end{bmatrix}$$

dla $i = 1, 2, 3, \dots, n_w$

$$\bar{Y}_i^w(\bar{y}_i^w) = [\dots Y_{i3}^w Y_{i2}^w Y_{i1}^w]$$

gdzie:

$$Y_{i1}^w = y_{i1} \oplus y_{i3} \oplus y_{i5} \oplus y_{i7} \oplus \dots$$

$$Y_{i2}^w = y_{i2} \oplus y_{i3} \oplus y_{i6} \oplus y_{i7} \oplus \dots$$

$$Y_{i3}^w = y_{i4} \oplus y_{i5} \oplus y_{i6} \oplus y_{i7} \oplus \dots$$

...

\oplus – suma mod 2

$$\bar{Y}^k(\bar{y}) = [\bar{Y}_1^k(\bar{y}_1^k) \bar{Y}_2^k(\bar{y}_2^k) \dots \bar{Y}_j^k(\bar{y}_j^k) \dots \bar{Y}_{n_k}^k(\bar{y}_{n_k}^k)]$$

dla $j = 1, 2, 3, \dots, n_k$

$$\bar{Y}_j^k(\bar{y}_j^k) = [\dots Y_{j3}^k Y_{j2}^k Y_{j1}^k]$$

gdzie:

$$Y_{j1}^k = y_{1,j} \oplus y_{3,j} \oplus y_{5,j} \oplus y_{7,j} \oplus \dots$$

$$Y_{j2}^k = y_{2,j} \oplus y_{3,j} \oplus y_{6,j} \oplus y_{7,j} \oplus \dots$$

$$Y_{j3}^k = y_{4,j} \oplus y_{5,j} \oplus y_{6,j} \oplus y_{7,j} \oplus \dots$$

...

Analizując otrzymane syndromy $\bar{Y}^w(\bar{y})$ tworzy się pomocniczą dwuwymiarową tabelę \bar{T}^w (5)

$$\bar{T}^w = \begin{bmatrix} nrw_1 & nrw_2 & \dots & nrw_i & \dots & nrw_{LSw} \\ nrk_1 & nrk_2 & \dots & nrk_i & \dots & nrk_{LSw} \end{bmatrix} \quad (5)$$

w której umieszcza się w pierwszym wierszu numery wierszy nrw_i , dla których syndrom $\bar{Y}_i^w \neq \bar{0}$, (LSw – liczba takich wierszy) a w drugim wierszu umieszcza się liczby powstałe z przekodowania syndromów ciągu odebranego dla wierszy $\bar{Y}_{nrw_i}^w \xrightarrow{NKB} nrk_i$. Zgodnie z postulatem Hamminga [2] syndrom ciągu odebranego $\bar{Y}(\bar{y})$ traktowany, jako liczba binarna w naturalnym kodzie binarnym (NKB) wskazuje numer korygowanej pozycji. Liczba nrk_i wskazuje numer pozycji (numer kolumny) w wierszu nrw_i , którą należy skorygować.

Analogicznie analizując otrzymane syndromy $\bar{Y}^k(\bar{y})$ tworzy się pomocniczą dwuwymiarową tabelę \bar{T}^k (6)

$$\bar{T}^k = \begin{bmatrix} nrk_1 & nrk_2 & \dots & nrk_j & \dots & nrk_{LSk} \\ nrw_1 & nrw_2 & \dots & nrw_j & \dots & nrw_{LSk} \end{bmatrix} \quad (6)$$

w której umieszcza się w pierwszym wierszu numery kolumn nrk_j , dla których syndrom $\bar{Y}_j^k \neq \bar{0}$, (LSk – liczba takich kolumn) a w drugim wierszu umieszcza się liczby powstałe z przekodowania syndromów ciągu odebranego dla kolumn $\bar{Y}_{nrk_j}^k \xrightarrow{NKB} nrw_j$. Liczba nrw_j wskazuje numer pozycji (numer wiersza) w kolumnie nrk_j , którą należy skorygować.

Korekcja błędów w wierszach **KOR_SW** polega na skorygowaniu pozycji określonych przez syndromy ciągu odebranego dla wierszy $\bar{Y}_{nrw_i}^w$ ($i = 1, 2, 3, \dots, LSw$).

$$y_{T^w[1,i], T^w[2,i]}^* = y_{T^w[1,i], T^w[2,i]} \oplus 1 \quad (7)$$

dla $i = 1, 2, 3, \dots, LSw$

Analogicznie korekcja błędów w kolumnach **KOR_SK** polega na skorygowaniu pozycji określonych przez syndromy ciągu odebranego dla kolumn $\bar{Y}_{nrk_j}^k$ ($j = 1, 2, 3, \dots, LSk$).

$$y_{T^k[2,j],T^k[1,j]}^* = y_{T^k[2,j],T^k[1,j]} \oplus 1$$

dla $j = 1, 2, 3, \dots, LSk$ (8)

Korekcja błędów na pozycjach wyznaczonych przez numery wierszy i kolumn, dla których odpowiednie syndromy są różne od zera – **KOR_LS(LSw)(LSk)** polega na korekcji wszystkich pozycji określonych przez numery wierszy występujące w tabel \bar{T}^w i numery kolumn występujące w tabel \bar{T}^k . W tej metodzie dekodowania nie są wykorzystywane wartości syndromów, czyli elementy z drugich wierszy tabel \bar{T}^w i \bar{T}^k . W algorytmach dekodowania będzie wykorzystywana tylko korekcje **KOR_LS_11** ($LSw=1, LSk=1$) zgodnie z zależnością (9).

$$\bar{T}^w[1] = [nrw_1] \quad \bar{T}^k[1] = [nrk_1]$$

$$y_{nrw_1, nrk_1}^* = y_{nrw_1, nrk_1} \oplus 1$$
 (9)

2. ALGORYTMY DEKODOWANIA DETEKCYJNO-KOREKCYJNEGO

Głównym zadaniem dekodera detekcyjno-korekcyjnego jest wykrycie i skorygowanie części błędów powstałych w czasie transmisji. Na rysunku 1. przedstawiono algorytm dekodowania detekcyjno-korekcyjnego ($t=1, \gamma=7$) kodu dwukrotnie iterowanego na bazie kodów Hamminga. Wszystkie zerowe syndromy wierszy i kolumn ($LSw=0$ i $LSk=0$) oznaczają, że w ciągu odebranych \bar{y} nie ma błędów lub są, ale mają one postać jednego z dozwolonych ciągów kodowych \bar{s} , i wówczas podejmowana jest decyzja ostateczna $\bar{s}^* = \bar{y}$ (w pierwszej sytuacji jest to bezbłędny odbiór, w drugiej błąd decyzji).

Jeżeli tylko jeden syndrom wiersza i jeden syndrom kolumny jest różny od zera ($LSw=1$ i $LSk=1$) wówczas przeprowadzana jest korekcja typu **KOR_LS_11**. Taka sytuacja będzie miała miejsce, jeżeli wystąpi jeden błąd, który zostanie poprawnie skorygowany lub co najmniej osiem błędów odpowiednio położonych, które będą prowadziły do błędnej decyzji dekodera. W tej ostatniej sytuacji położenie błędów będzie takie, że w wyniku korekcji zostanie wprowadzony jeszcze jeden błąd i wówczas błędy będą odtwarzać dozwolone ciągi kodowe kodu Hamminga zarówno w wierszach jak i w kolumnach. W pozostałych przypadkach dekodera będzie podejmował decyzję o detekcji błędów.

W tabeli 1. przedstawiono analizę działania algorytmu z rys 1. dla różnych krotności błędów. Podsumowując wnioski z przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że przedstawiony algorytm poprawnie koryguje błędy pojedyncze, poprawnie wykrywa błędy o krotnościach większych od jeden i mniejszych od osiem, oraz przy błędach o krotnościach większych od siedmiu zdecydowana większość błędów jest wykrywana, ale występują sytuacje, które prowadzą do błędnej decyzji dekodera (jeżeli $LSw=1$ i $LSk=1$).

Na rysunku 2. przedstawiono algorytm dekodowania detekcyjno-korekcyjnego ($t=2, \gamma=6$) kodu dwukrotnie iterowanego na bazie kodów Hamminga. Algorytm ten przeprowadza korekcję lub detekcję błędów w zależności od liczby syndromów różnych od zera dla wierszy LSw i kolumn LSk . W I etapie dekodowania korygowane są błędy metodą **KOR_SW** lub **KOR_SK** w zależności od relacji pomiędzy LSk i LSw . (**KOR_SW** jeżeli $LSw > LSk$). Na tym etapie dekodowania wykrywane są również układy błędów o krotności większej od dwóch jeżeli ($LSw=3$ i $LSk=0$) lub ($LSw=3$ i $LSk=2$) lub ($LSw=0$ i $LSk=3$) lub, ($LSw=2$ i $LSk=3$) lub ($LSw=3$ i $LSk=3$).

Jeżeli w I etapie dekodowania przeprowadzana jest korekcja typu **KOR_SK** to w II etapie dekodowania sprawdzane są syndromy wierszy, i w przypadku znalezienia chociaż jednego syndromu różnego od zera podejmowana jest decyzja o detekcji błędu. Podobnie, jeżeli w I etapie dekodowania przeprowadzana jest korekcja typu **KOR_SW** to w II etapie dekodowania sprawdzane są syndromy kolumn, i w przypadku znalezienia chociaż jednego syndromu różnego od zera podejmowana jest decyzja o detekcji błędu.

W tabeli 2. przedstawiono wyniki szczegółowej analizy działania algorytmu z rys 2. dla różnych krotności błędów. Błędy pojedyncze i podwójne w dowolnym położeniu będą poprawnie korygowane w I etapie dekodowania metodą **KOR_SW** lub **KOR_SK**. Błędy trzykrotne położone w jednym wierszu w takim układzie, że nie tworzą jednego z dozwolonych ciągów kodowych kodu Hamminga będą poprawnie korygowane metodą **KOR_SK**, ponieważ w takiej sytuacji w każdej kolumnie znajduje się co najwyżej jedna pozycja błędna, i analogicznie błędy trzykrotne położone w jednej kolumnie w takim układzie, że nie tworzą jednego z dozwolonych ciągów kodowych kodu Hamminga będą poprawnie korygowane metodą **KOR_SW**, ponieważ w takiej sytuacji w każdym wierszu znajduje się co najwyżej jedna pozycja błędna. Błędy trzykrotne tak położone, że po wyznaczeniu syndromów w wierszach i kolumnach otrzymamy jeden z układów: ($LSw=3$ i $LSk=0$) lub ($LSw=3$ i $LSk=2$) lub ($LSw=0$ i $LSk=3$) lub, ($LSw=2$ i $LSk=3$) lub ($LSw=3$ i $LSk=3$) mogłyby być poprawnie korygowane jak to opisano powyżej, ale wówczas błędy sześciokrotne prowadzące do wyżej przedstawionych układów prowadziłyby do błędnej decyzji dekodera. Ponieważ analizowany dekodera detekcyjno-korekcyjny ma wykrywać wszystkie możliwe kombinacje błędów o krotności mniejszej od siedmiu i korygować błędy pojedyncze i podwójne można przyjąć, że błędy trzykrotne o analizowanych układach będą jedynie wykrywane a nie korygowane co pozwoli wykrywać również błędy sześciokrotne o tych układach. Błędy o krotnościach od czterech do sześciu, jeżeli wszystkie są położone w jednym wierszu lub w jednej kolumnie, będą poprawnie korygowane metodą **KOR_SW** lub **KOR_SK**. W pozostałych sytuacjach będzie poprawna detekcja błędów w I lub II etapie dekodowania. Dopiero błędy o krotności większej od sześciu mogą prowadzić do błędnej decyzji dekodera, w sytuacji gdy wprowadzony w wyniku korekcji **KOR_SK** błąd i pozostałe błędy odtworzą ciągi Hamminga w wierszach i kolumnach.

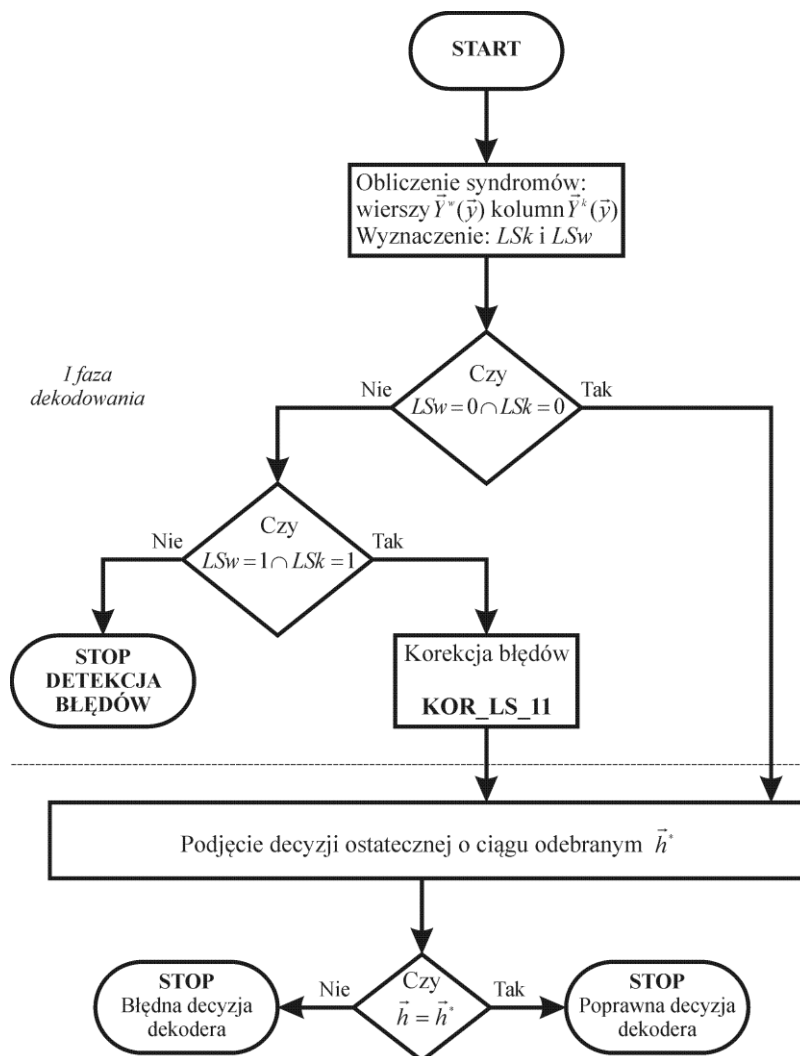
PODSUMOWANIE

W artykule analizowano dwa algorytmy dekodowania detekcyjno – korekcyjnego ($t=1, \gamma=7$) i ($t=2, \gamma=6$) kodu dwukrotnie iterowanego (n_w, n_k) na bazie kodu Hamminga (n_w i n_k są liczbami postaci $2^i - 1$ $i=2, 3, 4 \dots$) lub skróconego kodu Hamminga (n_w, n_k są różne od liczb podanych dla kodu Hamminga) do kodowania zarówno wierszy jak i kolumn. Opracowane algorytmy dekodowania bazują na trzech rodzajach korekcji: korekcji na podstawie syndromów kolumn **KOR_SK**, korekcji na podstawie syndromów wierszy **KOR_SW** i korekcji na podstawie liczby syndromów różnych od zera **KOR_LS_11**. W dwóch pierwszych przypadkach są to klasyczne korekcje błędów dla kodów Hamminga, w których syndrom ciągu wskazuje w NKB korygowaną pozycję. W trzecim przypadku korekcja jest przeprowadzana na pozycji wyznaczonej przez numer wiersza i kolumny, w których syndromy są różne od zera. Szczegółowa analiza działania dekodera detekcyjno-korekcyjnego dla wszystkich możliwych rozkładów błędów wykazuje poprawność algorytmu dekodowania: dla dekodera ($t=1, \gamma=7$) – błędy pojedyncze są korygowane a błędy o krotności od dwóch do siedmiu są wykrywane, błędne decyzje dekodera pojawiają się dopiero przy

błędach o krotności osiem, dla dekodera ($t=2, \gamma=6$) – błędy pojedyncze i podwójne są korygowane a błędy o krotności od trzech do sześciu są wykrywane, błędne decyzje dekodera pojawiają się dopiero przy błędach o krotności siedem, co jest zgodne z zależnością (1), ponieważ ten kod dwukrotnie iterowany posiada $d_{\min}=9$.

Dobre własności detekcyjne tego kodu dają możliwość wykorzystania go do transmisji danych w systemach ze sprzężeniem

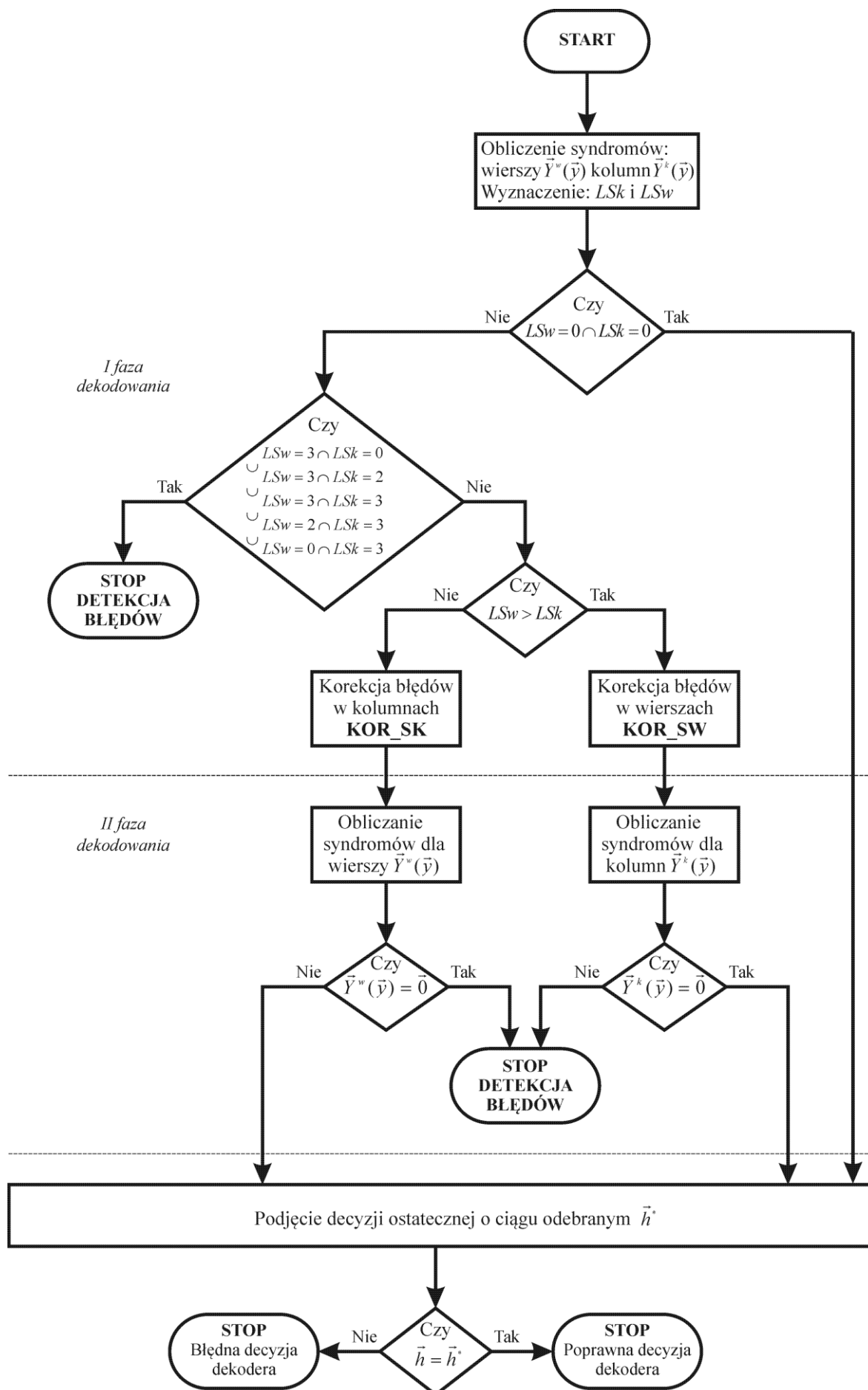
zwrotnym decyzyjnym dla kanałów, w których występują duże zakłócenia. Próby zastosowania do dekodowania kodów iterowanych reguł rozmytych [4][5] nie przyniosły pozytywnych rezultatów ze względu na probabilistyczny charakter tych reguł.



Rys. 1. Algorytm dekodowania kodu dwukrotnie iterowanego na bazie kodów Hamminga ($t=1, \gamma=7$).

Tab. 1. Analiza działania algorytmu dekodowania detekcyjno-korekcyjnego ($t=1, \gamma=7$).

Liczba błędów	LSw	LSk	Działanie dekodera	Ocena decyzji dekodera
0	0	0		Poprawna (Bez błędny odbiór)
1	1	1	KOR_LS_11	Poprawna (Korekcja błędu)
2	dowolne		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
3	dowolne		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
4	dowolne		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
5	dowolne		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
6	dowolne		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
7	dowolne		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
>7	1	1	KOR_LS_11	Błędna (Błędna decyzja dekodera)
	pozostałe		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)



Rys. 2. Algorytm dekodowania kodu dwukrotnie iterowanego na bazie kodów Hamminga ($t=2, \gamma=6$)

Tab. 2. Analiza działania algorytmu dekodowania detekcyjno-korekcyjnego ($t=2, \gamma=6$).

Liczba błędów	Etap dekodowania						Ocena decyzji dekodera
	I			II			
	LSw	LSk	Działanie dekodera	LSw	LSk	Działanie dekodera	
0	0	0					Poprawna (Bez błędny odbiór)
1	1	1	KOR_SK	0			Poprawna (Korekcja błędów)
2	2	1	KOR_SW		0		Poprawna (Korekcja błędów)
	1,2	2	KOR_SK	0			Poprawna (Korekcja błędów)
3	3	1	KOR_SW		0		Poprawna (Korekcja błędów)
	1	3	KOR_SK	0			Poprawna (Korekcja błędów)
	3	0,2	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	0,2,3	3	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	2	2	KOR_SK	3		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
4	4	0,1,2,3	KOR_SW		0		Poprawna (Korekcja błędów)
	0,1,2,3,4	4	KOR_SK	0			Poprawna (Korekcja błędów)
	3	2	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	2,3	3	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	3	1	KOR_SW		3	DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	1	3	KOR_SK	3		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	2	2	KOR_SK	3		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
5	5	1,2,3,4	KOR_SW		0		Poprawna (Korekcja błędów)
	1,2,3,4,5	5	KOR_SK	0			Poprawna (Korekcja błędów)
	4	1,2,3	KOR_SW		3	DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	1,2,3,4	4	KOR_SK	3		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	3	2	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	2,3	3	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	2	2	KOR_SK	3		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
6	6	1,2,3,4,5	KOR_SW		0		Poprawna (Korekcja błędów)
	1,2,3,4,5,6	6	KOR_SK	0			Poprawna (Korekcja błędów)
	5	1,2,3,4	KOR_SW		3	DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	1,2,3,4,5	5	KOR_SK	3		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	4	1,2,3	KOR_SW		>0	DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	1,2,3,4	4	KOR_SK	>0		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	3	0,2	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	0,2,3	3	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
k>6	2	2	KOR_SK	3		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	k	1,2,...,k-1	KOR_SW		0		Poprawna (Korekcja błędów)
	1,2,3,...,k	k	KOR_SK	0			Poprawna (Korekcja błędów)
	k-1	1,2,...,k-2	KOR_SW		>0	DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	1,2,...,k-1	k-1	KOR_SK	>0		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	KOR_SW lub KOR_SK	>0	>0	DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	3	0,2	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	0,2,3	3	DETEKCJA				Poprawna (Detekcja błędów)
	2	2	KOR_SK	>0		DETEKCJA	Poprawna (Detekcja błędów)
	2	2	KOR_SK	0			Błędna (Błędna decyzja dekodera)
	2	1	KOR_SW		0		Błędna (Błędna decyzja dekodera)
	1	2	KOR_SK	0			Błędna (Błędna decyzja dekodera)
1	1	KOR_SK	0			Błędna (Błędna decyzja dekodera)	

BIBLIOGRAFIA

1. Baran Z., *Podstawy transmisji danych*, WKiŁ, Warszawa 1982.
2. Drózd J., *Podstawy kodowania nadmiarowego*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1980.
3. Baran R., Fijałkowski M., *Dekodowanie korekcyjne kodów dwukrotnie iterowanych na bazie kodów Hamminga*. Logistyka 2014, nr 6.
4. Gorzalczyński MB, *Interval-valued fuzzy inference involving uncertain (inconsistent) conditional propositions*. Fuzzy Sets and Systems, tom 29, 1989.
5. Gorzalczyński MB, *A method of inference in approximate reasoning based on interval-valued fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, tom 21, 1987.
6. Haykin S., *Systemy telekomunikacyjne*. WKiŁ, Warszawa 2004.
7. Li FW., Yue Q., Li CJ., *The Minimum Hamming Distances of Irreducible Cyclic Codes*. Finite Fields and Their Applications, Vol. 29, 2014.
8. Wen GZ., *(7,4) Binary Hamming Code For Data Transition Of Spread Spectrum Communications*. Information Technology Applications in Industry II, PTS 1-4, 2013.

syndromes are determined during the first above phase. Depending on LSw and LSk amounts, an appropriate error correction or error detection is performed. All the column and row syndromes are determined once again during the second phase. Decision of error detection is made when there is at least one nonzero syndrome.

Autorzy:

dr inż. **Marek Fijałkowski** – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki, Katedra Informatyki Elektroniki i Elektrotechniki, Zakład Informatyki i Elektroniki, m.fijalkowski@tu.kielce.pl

dr inż. **Remigiusz Baran** – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki, Katedra Informatyki Elektroniki i Elektrotechniki, Zakład Informatyki i Elektroniki, r.baran@tu.kielce.pl

DETECTION-CORRECTION DECODING OF HAMMING-BASED DOUBLE ITERATED CODES

Abstract

*Two methods for detection-correction decoding, respectively denoted as $(t=1, \gamma=7)$ and $(t=2, \gamma=6)$, are presented in the paper. Both presented algorithms ensure an accurate detection and correction of a proper number of errors. They have been founded on Hamming-based double iterated codes and on three different schemes of error correction. Above-mentioned schemes of error correction are as follows: the column syndrome correction (**KOR_SK**), the row syndrome correction (**KOR_SW**) and the correction based on a number of nonzero syndromes (**KOR_LS_11**). The two former schemes are typically applied for Hamming codes. They use the syndrome polynomial to determine position of the bit to correct. In turn, bit at the position given by these row's and column's numbers for which the respective syndromes are nonzero is corrected in the third scheme. There is one decoding phase in the case of $(t=1, \gamma=7)$ method. The **KOR_LS_11** correction is carried out when there is only one row and only one column with nonzero syndromes. Otherwise, decision of error detection is made. An exception to above rules is when all the syndromes are zero. In that case either wrong decoder decision was made or there were no errors received. As opposed to the $(t=1, \gamma=7)$ one, there are two decoding phases in the case of $(t=2, \gamma=6)$ algorithm. All the column and row syndromes as well as amounts of rows (LSw) and columns (LSk) with nonzero*