

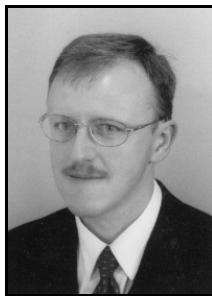
Wojciech ZAJĄC

UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki

Optimalizacja algorytmu maskowania błędów transmisji cyfrowego obrazu stałego

Dr inż. Wojciech ZAJĄC

Autor ukończył studia na kierunku Informatyka i Metrologia na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze. W roku 2000 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. Zainteresowania naukowe autora obejmują szereg zagadnień cyfrowego przetwarzania danych wizyjnych.



e-mail: W.Zajac@iie.uz.zgora.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad optymalizacją algorytmu maskowania błędów bitowych, występujących w procesie transmisji obrazu stałego, transformowanego powszechnie używaną transformata kosinusową. Opisano skrótowo ideę działania algorytmu, jego parametry i sposób prowadzenia optymalizacji oraz przedstawiono wyniki badań symulacyjnych.

Słowa kluczowe: maskowanie błędów transmisji, dyskretna transformata kosinusowa, DCT.

Optimisation of the digital still image concealment algorithm**Abstract**

The paper present results of research on optimization of error concealment algorithm for still images. The algorithm is described, parameters are discussed, research method and results are described and discussed.

Keywords: transmission error concealment, discrete cosine transform, DCT.

1. Wstęp

Cyfrowe przetwarzanie i transmisja obrazów cyfrowych jest przedmiotem wielu prac badawczych. Wiele uwagi poświęca się zagadnieniu zapewnienia odpowiedniej jakości sygnału przesłanego do odbiornika, czyli zwalczaniu błędów transmisji.

Klasykne metody zwalczania zakłóceń transmisji sygnałów cyfrowych obejmują: retransmisję uszkodzonych danych oraz stosowanie algorytmów i kodów korygujących. Alternatywnym rozwiązaniem jest wykorzystanie techniki maskowania błędów transmisji.

W artykule przedstawiono zagadnienie optymalizacji opracowanego wcześniej algorytmu maskowania błędów transmisji danych obrazu monochromatycznego, kodowanego z wykorzystaniem dyskretnej transformacji kosinusowej.

2. Zwalczanie zakłóceń transmisji obrazu

Jak już wspomniano, praktyczne techniki zwalczania zakłóceń transmisyjnych obejmują trzy kategorie: retransmisję uszkodzonych danych, zastosowanie kodów korygujących oraz maskowanie błędów transmisji. Pierwsza z technik, stosunkowo najprostsza w swej idei jest stosunkowo łatwa w implementacji, jednak posiada szereg wad:

- konieczność implementacji mechanizmów kontroli poprawności odebranego sygnału (w tym celu niezbędne jest dodanie pewnych informacji do sygnału użytecznego);

- w przypadku powtórnego wystąpienia zakłóceń - konieczność kolejnego powtórzenia transmisji lub zastosowania specjalnych zabiegów, by z dwóch uszkodzonych porcji danych uzyskać dane niezakłócone (prowadzi to do istotnego wydłużenia czasu transmisji);
- konieczność ustanowienia kanału sprzężenia zwrotnego do przesyłania żądania retransmisji.

Przysparza to szeregu problemów: zwiększenie kosztu budowy i eksploatacji takiego systemu, niemożliwość zastosowania w szeregu klas rozwiązań (np. systemy transmisji czasu rzeczywistego, systemy archiwizacji i dystrybucji danych, etc.), konieczność transmisji sygnału sprzężenia zwrotnego w takim samym środowisku jak sygnał użyteczny, co z kolei powoduje, że poddany jest tego samego rodzaju zakłóceniom.

Istnieją pewne ulepszenia poprzedniej metody, polegające na dodaniu do sygnału słów synchronizacji, występujących w sygnale periodycznie, w określonej pozycji w pakiecie danych [6]. Słowa te pozwalają wykryć i zlokalizować zakłócenia, prócz tego ograniczają propagację błędów do pojedynczego pakietu danych. Korzyści płynące z takiego rozwiązania to możliwość bardziej precyzyjnej lokalizacji błędów oraz zawężenie ich wpływu, dzięki czemu możliwe jest żądanie retransmisji ściśle określonej porcji danych. W rozwiązaniu tego rodzaju nadal pozostaje krytyczny problem ustanowienia i ochrony kanału sprzężenia zwrotnego.

Druga rodzina metod, kodowanie korygujące (kody Hamminga, Reed-Solomona, splotowe i inne) jest obecnie najszerzej stosowaną techniką, choć obciążoną istotnymi wadami. Idea takiego rodzaju kodowania polega na skonstruowaniu takiej reprezentacji informacji wejściowej, by możliwa była detekcja przekłamań transmisyjnych, lub też, przy znacznym wydłużeniu słów o elementy nadmiarowe, detekcja i korekcja elementów błędnych. Niestety koszt w postaci dodatkowej informacji, pobocznej względem sygnału użytecznego, jest znaczny, szczególnie w przypadku kodów korekcyjnych wyższego rzędu.

Najmłodsza odmiana technik zwalczania zakłóceń transmisyjnych jest maskowanie błędów, polegające na akceptacji obecności błędów w sygnale i podjęciu działań, prowadzących do minimalizacji ich wpływu. Techniki te z natury muszą opierać się na wiedzy o sposobie przetwarzania sygnału w urządzeniach kodujących i są zazwyczaj dedykowane do konkretnej klasy systemów transmisyjnych.

Techniki maskowania posiadają wielce korzystną cechę braku konieczności realizacji kanału sprzężenia zwrotnego, dzięki czemu nadają się doskonale do stosowania w systemach czasu rzeczywistego oraz w archiwizacji i dystrybucji danych. Dzięki wspomnianemu położeniu w toku przetwarzania możliwa jest konstrukcja systemów korekcji danych zarchiwizowanych w przeszłości, kiedy ze względu na brak możliwości technicznych lub nieodpowiedni poziom wiedzy nie było możliwe stosowanie metod ochrony danych przed przekłamaniami.

Metody tego rodzaju są często stosowane, przede wszystkim ze względu na korzystne położenie w toku przetwarzania sygnału – operacjom poddaje się sygnał wyjściowy dekodera kanału, dzięki czemu możliwe są ulepszenia istniejących systemów transmisyjnych bez konieczności ingerencji w działanie urządzeń nadawczych, które często są najdroższym elementem systemu.

Przedmiotem badań, prezentowanych w niniejszym artykule jest algorytm maskowania błędów bitowych, występujących w transmisji obrazu monochromatycznego, kodowanego z wykorzystaniem dyskretnej transformacji kosinusowej. Badania dotyczą

podniesienia wydajności detekcji i korekcji algorytmu, opisanego w [7]. Zostanie on skrótowo opisany poniżej.

3. Algorytm maskowania błędów transmisji

Znane z literatury [2, 4, 5, 10] metody maskowania błędów transmisyjnych opierają swe działanie albo na operacji na sygnale w dziedzinie częstotliwościowej, albo na odtworzonym do postaci przestrzennej obrazie. Analizowany algorytm nazywany jest hybrydowym, ponieważ zarówno detekcja, jak i korekcja dokonywane są dwustopniowo, w dziedzinie sygnału częstotliwościowego i w dziedzinie sygnału przestrzennego, dzięki czemu łączy on najkorzystniejsze elementy operacji w obu dziedzinach zarówno do detekcji jak i korekcji błędów. Działanie algorytmu można podzielić na następujące etapy:

- filtracja dolnoprzepustowa sygnału wejściowego (operacja w dziedzinie częstotliwościowej),
- generacja mapy błędów w oparciu o analizę wstępnie odtworzonego obrazu (operacja w dziedzinie przestrzennej),
- uzupełnienie mapy błędów na drodze detekcji niespodziewanie dużych wartości różnic poszczególnych współczynników względem ich odpowiedników z sąsiednich bloków DCT (operacja w dziedzinie częstotliwości),
- korekcja danych w postaci współczynników DCT, oparta o mapę błędów (operacja w dziedzinie częstotliwościowej) oraz właściwe odtworzenie obrazu,
- końcowa korekcja odtworzonego obrazu, eliminująca wyróżnialne błędy poziomu jasności bloków danych (błędy takie nie dają się wykryć na poprzednich etapach) - operacja w dziedzinie przestrzennej.

Odpowiednie etapy realizowane są przez kolejne bloki algorytmu:

- wejściowy filtr dolnoprzepustowy,
- blok detekcji wzorców błędów,
- blok detekcji uszkodzonych współczynników transformaty,
- blok korekcji (maskowania) błędów,
- wyjściowy filtr wygładzający.

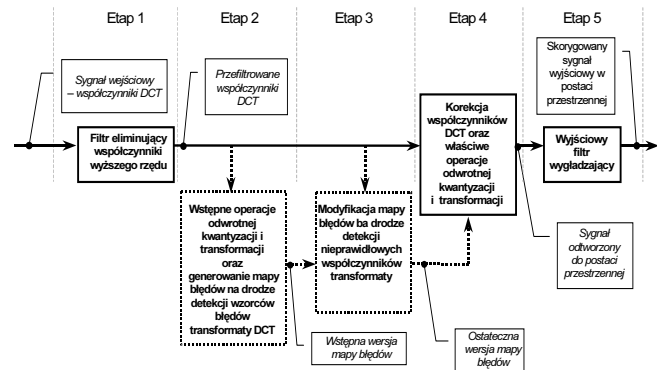
Omawiany algorytm w szczegółach opisany został w [7], omówienie istoty jego funkcjonowania zostanie tu przedstawione w dużym skrócie.

Sygnal wejściowy, po wstępnym filtrowaniu przesyłany jest do modułu detekcji wzorców błędów, gdzie dokonywane jest generowanie tzw. mapy błędów. Następnie zarówno przefiltrowany sygnał, jak i mapa błędów przesyłane są do modułu analizy wartości współczynników transformaty, gdzie mapa błędów jest uzupełniana. Tak przygotowana mapa błędów oraz przefiltrowany sygnał wejściowy przesyłane są do modułu korekcji, gdzie dokonuje się operacja maskowania błędów. Osiągana jest ona na drodze zastępowania współczynników transformaty uznanych za uszkodzone przez wartości uzyskane z uśrednienia wartości odpowiednich współczynników z sąsiednich bloków (tylko tych, które nie zostały uznane za błędne). W przypadku, gdy wszystkie współczynniki potrzebne do obliczeń zostały uznane za uszkodzone, pod uwagę bierze się odpowiednie dane z dalszego sąsiedztwa. Jeśli zajdzie wysoce nieprawdopodobna sytuacja, że także dalsze sąsiedztwo bloku danych nie zawiera ani jednego poprawnego współczynnika o odpowiednim rzędzie, odbudowywany współczynnik jest zerowany. Należy podkreślić, że sytuacja taka jest ogromnie nieprawdopodobna – wymaga zbiegu okoliczności, w którym błędy bitowe uszkodziłyby ten sam współczynnik w dziewięciu blokach obrazu, położonych w kwadracie 3×3 bloki.

Ostatnim krokiem algorytmu jest zastosowanie wyjściowego filtru wygładzającego, zaprojektowanego tak, by usuwał błędy pochodzące od zakłócenia współczynnika DCT niosącego informację o składowej stałej sygnału (w sygnale niosącym dane obrazu składowa stała odpowiada za jasność bloku). Błędy tego rodzaju są generalnie trudne do wykrycia, w szczególności zaś ich

detekcja przed ostatecznym odtworzeniem obrazu do postaci przestrzennej jest często niemożliwa.

Rys. 1 przedstawia schematyczną strukturę przepływu sygnału w omawianym algorytmie.



Rys. 1. Przepływ sygnału w hybrydowym algorytmie maskowania; przepływ sygnału właściwego i sterowania zaznaczono odpowiednio linią ciągłą i kropkowaną

Fig. 1. Signal flow in Error Concealment Algorithm scheme; the flow of main and auxiliary signal is indicated by solid and dashed lines, respectively

Obecne prace mają na celu optymalizację skuteczności jego działania na drodze przebadania wpływu parametrów bloku detekcji uszkodzeń współczynników DCT.

4. Parametry bloku detekcji uszkodzonych współczynników

Niech dany będzie blok danych w postaci współczynników DCT Y_{kl} , leżący w k -tym wierszu i l -tej kolumnie bloków danych w obrazie. Obierzmy współczynnik y_{mn} , leżący w tym bloku w m -tym wierszu i n -tej kolumnie. Obierzmy wartość progową p_{mn} leżącą w m -tym wierszu i n -tej kolumnie macierzy wartości progowych P (sposób uzyskania wartości tej macierzy opisano później). Niech N oznacza liczbę współczynników, wziętych do sumy (nie uwzględnia się współczynników, które w poprzednim etapie pracy algorytmu zostały uznane za uszkodzone).

$$p_{mn} < \frac{\sum_k \sum_l (y_{mn})_{k,l}}{N} \quad \begin{cases} k \in \{-1, 0, 1\} \\ l \in \{-1, 0, 1\} \\ (k, l) \neq (0, 0) \end{cases} \quad (1)$$

Jeśli badany współczynnik y_{mn} leżący w bloku Y_{kl} spełnia nierówność (1), w mapie błędów w bloku k, l , w koordynatach m, n wstawiana jest wartość zero, oznaczająca wykrycie uszkodzonego współczynnika.

Dla każdego z sześćdziesięciu czterech współczynników w bloku został ustalony próg różnicy, powyżej którego dana uznawana jest za zakłóconą. Do ustalenia progu posłużył zbiór obrazów testowych, na którym przeprowadzona została operacja wyszukiwania maksymalnej wartości różnicy między wartością współczynnika y_{mn} położonego w bloku znajdującym się w k -tym wierszu i l -tej kolumnie bloków danych a wartością średnią współczynników o takich samych koordynatach wewnątrzblokowych m i n z ośmiu bloków otaczających blok badany. Utworzona została w ten sposób macierz progów P dla poszczególnych współczynników. Próg p_{mn} oznacza największą poprawną wartość różnicy współczynnika y_{mn} z danego bloku i wartości średniej odpowiednich współczynników z bloków sąsiednich.

Warto zauważyć, iż na krawędziach obrazu brakuje danych do porównywania, gdyż istnieje tylko ograniczona liczba bloków sąsiednich. W takich przypadkach tworzone jest sztuczne sąsiedz-

two na drodze lustrzanego skopiowania istniejących bloków w miejsce brakujących. Prowadzi to do zmniejszenia dokładności analizy, jest to jednak nieuniknione.

Badania wykazały, że skuteczność detekcji błędów, a tym samym skuteczność całego algorytmu maskowania jest funkcją czułości progowania współczynników S . Przeprowadzono analizę tej skuteczności, dokonując symulacji transmisji obrazów testowych przy różnym poziomie zakłóceń.

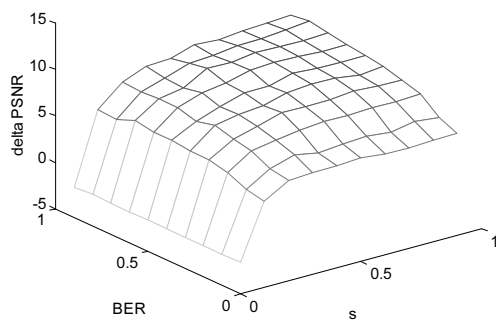
Badania symulacyjne prowadzono wg następującego schematu:

- dla obrazu testowego nr K wygenerowano tablicę wartości współczynnika progowania S do przebadania, o wartościach skuteczność zakresu $\langle 0,1 \rangle$ oraz tablicę wartości stopy zakłóceń BER o wartościach z zakresu $\langle 0,1 \rangle$;
- dla kolejnych wartości S i BER dokonano 50-krotnej symulacji transmisji obciążonej zakłóceniami o stopie określonej parametrem BER; dla każdego z przypadków mierzono poprawę jakości obrazu testowego ΔPSNR , wnoszoną przez zastosowanie omawianego algorytmu maskowania zakłóceń; wyniki w grupie 50 symulacji uśredniono; skuteczność korekcji, dokonywanej przez algorytm obliczono jako różnicę współczynnika PSNR, wyrażonego równaniem (2), między jakością obrazu przed korekcją i po niej;

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{x_{\max}^2 N^2}{\sum_{\text{obrazu}} (x - x')^2} \text{ dB} \quad (2)$$

gdzie: x_{\max} – maksymalna wartość elementu obrazu,
 N^2 – liczba elementów obrazu,
 x – oryginalny element obrazu,
 x' – odtworzony element obrazu.

- powyższe kroki powtarzano dla kolejnych obrazów testowych do wyczerpania zbioru; uzyskane wyniki przedstawia wykres z rys. 2.



Rys. 2. Wyniki badań wpływu współczynnika progowania S i stopy błędów BER na skuteczność korekcji wnoszonej przez zastosowanie badanego algorytmu maskowania błędów

Fig. 2. Results of research on influence of thresholding severity S and bit error rate BER on efficiency of error concealment algorithm

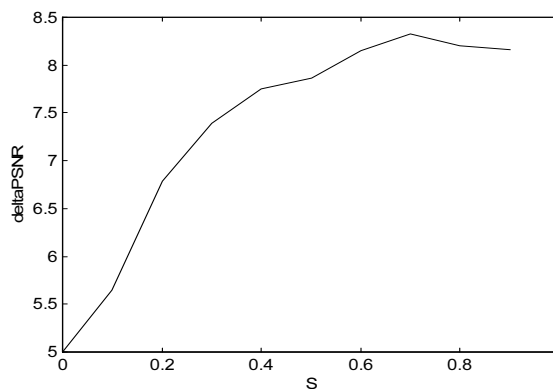
- uzyskane wyniki uśredniono po BER, przy stałym współczynniku S ; wynik przedstawiono na rys. 3.

Uzyskane wyniki prowadzą do wniosku, że największa średnia skuteczność korekcji bitowych błędów transmisji wynosi 8,33 dB i jest osiągnięta dla $S=0,72$.

5. Podsumowanie

Przedstawiony hybrydowy algorytm detekcji i korekcji zakłóceń błędów transmisji należy do klasy rozwiązań, skierowanych

do stosowania w zasadniczo dowolnym systemie transmisyjnym, jeśli tylko opiera on swoje działanie na transformacji kosinusowej DCT. Przeprowadzone badania wprowadziły do podniesienia jego skuteczności.



Rys. 3. Uśrednione po BER wyniki badań wpływu współczynnika progowania S na skuteczność korekcji wnoszonej przez zastosowanie badanego algorytmu maskowania błędów

Fig. 3. Results of research on influence of thresholding severity S on efficiency of error concealment algorithm, average over the BER

6. Literatura

- [1] Ahmed N. Discrete Cosine Transform. IEEE Transactions on Computers, 1974
- [2] Hemami S. S., Meng T. H.-Y. Transform Coded Image Reconstruction Exploiting Interblock Correlation. In IEEE Transactions on Image Processing, vol. 4, no. 7, July 1995
- [3] Kisilewicz J., Zajac W. An Improved Method of Error Concealment in Digital Image Transmission. W: Modelling and simulation of system. Proceedings of the conference. Ostrava (Cz) 1999
- [4] Lam W. M., Reibman A. R. An Error Concealment Algorithm for Images Subject to Channel Errors. In IEEE Transactions on image processing, vol. 4, no 5, May 1995
- [5] Mitchell O. R., Tabatabai A. J. Channel Error Recovery for Transform Image Coding. In IEEE Transactions on Communications, vol. COM-29, no. 12, Dec. 1981
- [6] Redmill D. W., Kingsbury N. G. The EREC: An Error-Resilient Technique for Coding Variable-Length Blocks of Data. In IEEE Transactions on Image Processing, vol. 5, No. 4, April 1996
- [7] Zajac W. An Error Concealment Algorithm for Digital Image Transmission. Proceedings of XIV International Symposium on Computer and Information Sciences, Kusadasi Turcja, October 1999
- [8] Zajac W. A hybrid error concealment algorithm for digital image transmission. Proceedings of The Second International Workshop on Multidimensional (nD) Systems. NDS-2000. Czochoa Castle, Poland, June 27-30, 2000. Zielona Góra: Technical University Press [2000], p. 263-268
- [9] Zajac W. Nieoptymalna technika dekorelacji w cyfrowym przetwarzaniu obrazu W: Informatyka - sztuka czy rzemioslo - KNWS' 05: II Konferencja Nukowa, Zlotniki Lubańskie, Polska, 2005.- Zielona Góra, 2005
- [10] Zeng W. Liu B. Geometric-structure-based Directional Filtering For Error Concealment in Image/Video Transmission. In SPIE Wireless Data Transmission at Information Systems/Photonics East'95, vol. 2601, Oct. 1995