

Michał CZEMARMAZOWICZ, Jacek GRUBER, Ireneusz J. JÓŹWIAK

Politechnika Wrocławska

Wydział Informatyki i Zarządzania

ANALIZA PODPISYWANIA OBRAZÓW CYFROWYMI ZNAKAMI WODNYMI

Streszczenie. W pracy omówiono zagadnienia cyfrowych znaków wodnych. Wprowadzono podział algorytmów osadzania cyfrowego znaku wodnego ze względu na metodę wstawiania znaku, następnie porównano algorytmy oraz metody wstawiania znaku. Zaprezentowano wyizolowane cyfrowe znaki wodne, osadzone za pomocą różnych algorytmów, i przedstawiono ich analizę porównawczą.

ANALYSIS OF SIGNING OF DIGITAL IMAGE WITH WATERMARK

Summary. The paper discusses the issues of digital watermarks. Article establish the division of algorithms embedding digital watermark due to the insertion method of the mark, then the paper compare algorithms and methods for inserting therein. Then the article presents isolated embedded digital watermarks using various algorithms.

1. Wprowadzenie

W związku z szybkim rozwojem świata cyfrowego, zarówno wartość informacji, jak i efektywność jej rozpowszechniania rosną. Informatyzacji ulegają coraz szersze sfery życia codziennego, od bankowości internetowej, przez rozmowy w sieci, aż po cyfrowe profile tożsamościowe. Postęp techniki, którego doświadczamy, niesie ze sobą wiele zalet. Co więcej, nieraz trudno obejść się bez jego zdobyczy. Często jednak nie bierzemy pod uwagę faktu, iż wykonywanie pewnych czynności w świecie cyfrowym jest dużo bardziej podatne na zagrożenia. Użytkownicy sieci domagają się respektowania przysługujących im praw ochrony własności intelektualnej przed nielegalnym rozpowszechnianiem. Wzrasta znaczenie zabezpieczania przesyłanych w sieci internetowej informacji. Kwestia ta dotyczy nie tylko szyfrowania, ale też znakowania i podpisywania informacji. Wraz z przeniesieniem do świata

cyfrowego cząstki codziennej rzeczywistości, transferowi uległy podpisy i znaki wodne, które od wieków zabezpieczają i uwiarygodniają różnego typu własności i dokumenty, chroniąc przed nieautoryzowanym używaniem bądź tworzeniem kopii. W literaturze przedmiotu zauważa się brak prac analizujących algorytmy podpisywania obrazów cyfrowych. W artykułach [1], [2], [4], [5], [6], [9], [10] przedstawia się jedynie te algorytmy. Prace [3], [7], [8] ogólnie opisują tematykę algorytmów podpisywania informacji cyfrowych.

W artykule wprowadzono do tematu cyfrowych znaków wodnych. Opisano podział algorytmów znakowania obrazów cyfrowych według kryterium wstawiania znaku wodnego oraz przedstawiono wyizolowane cyfrowe znaki wodne. Dokonano porównania algorytmów podpisywania obrazów cyfrowych.

Cyfrowy znak wodny to ukryta informacja, ściśle zintegrowana z zawartością danych cyfrowych. Taka informacja może jednoznacznie identyfikować twórcę, nadawcę, przechowywać numer seryjny czy numer ISBN. Dzięki scaleniu z zawartością nie potrzebuje ona dodatkowego pliku, formatu, a w większości przypadków nawet dodatkowego miejsca. Choć prawdą jest, iż cyfrowe znaki wodne powodują pogorszenie jakości, zwłaszcza w przypadku znakowania obrazów lub dźwięku, przy dzisiejszej technologii jest to na tyle subtelny proces, że ludzkie zmysły go nie odbierają.

Najistotniejsze dla tej pracy zastosowanie cyfrowych znaków wodnych łączy się głównie z niewidocznym i niedostrzegalnym podpisem, odpornym na próby usunięcia. Jest to istotny sposób ochrony praw autorskich. Nie chroni on bezpośrednio własności intelektualnej przed nielegalnym rozpowszechnianiem, może natomiast pomóc w lokalizacji serwerów bądź stron internetowych, na których własność ta jest nielegalnie trzymana i rozpowszechniana. Stanowi też solidny dowód podczas dochodzenia praw autorskich na drodze sądowej.

2. Znakowanie obrazów cyfrowych

Grafika komputerowa jest obszarem najczęstszego stosowania cyfrowych znaków wodnych. Fakt ten wynika wprost z transferu wycinka rzeczywistości do świata cyfrowego. Pierwotnie znak wodny mógł być bowiem stosowany jedynie na płótnach lub papierze. Cyfrowy znak wodny nie ma już tych ograniczeń. I choć niektóre idee algorytmów można transferować w obie strony, z dziedziny grafiki na dziedzinę audio czy video, najwięcej metod i algorytmów istnieje właśnie do znakowania obrazów cyfrowych.

Istnieje wiele kryteriów podziału cyfrowych znaków wodnych, najważniejszym z nich jest podział ze względu na metodę wstawiania znaku wodnego.

Metoda przestrzenna jest prekursorem w sposobie kodowania cyfrowych znaków wodnych. Możemy potraktować ją jako wprowadzenie do bardziej zaawansowanych

sposobów znakowania obrazów. Prostota algorytmów tej grupy nie oznacza, iż są one całkowicie pozbawione zalet. Bardzo łatwo jest zakodować znak wodny za pomocą metody przestrzennej, co więcej, odczyt oraz odszukanie również nie sprawiają wielu trudności. Problem dotyczy natomiast odporności na przekształcenia. Nawet najmniejsza modyfikacja pikseli przy niektórych metodach powoduje całkowitą utratę zakodowanego znaku. Podstawowe operacje przekształcania zdjęcia oraz kompresja JPEG w większości przypadków spowodują usunięcie znaku wodnego. Dodatkowo, stosowanie tych algorytmów wywołuje zmiany obrazu widzialne dla człowieka.

Algorytmy wstawiania cyfrowego znaku wodnego, korzystające z metody przestrzennej aby zakodować cyfrowy znak wodny, posługują się zmianą koloru bądź jasności pikseli.

Reprezentantami tych algorytmów są [3],[5]:

- a) algorytm najmniej znaczącego bitu LSB (ang. Least Significant Bit),
- b) algorytm modyfikujący średnią jasność bloków,
- c) algorytm modyfikujący luminancję z wykorzystaniem szablonu.

Kolejną metodą wstawiania znaku wodnego jest metoda transformaty cosinusowej (DCT – ang. discrete cosine transform). Cyfrowy znak wodny osadzany jest w obrazie poprzez modyfikację współczynników transformaty, w ten sposób unikamy bezpośrednich modyfikacji wartości pikseli. Proces osadzania realizuje się w trzech krokach [1], [2], [6]:

- a) obraz przekształcany jest za pomocą transformaty cosinusowej,
- b) współczynniki transformaty są odpowiednio modyfikowane,
- c) na koniec stosuje się przekształcenie odwrotne.

W wyniku takiej operacji informacja kodująca znak wodny jest równomiernie rozłożona w całym obrazie, co wpływa na zwiększenie parametru niewidoczności znaku wodnego. Zwłaszcza obszary o wyraźnym teksturowaniu oraz z dużą liczbą detali będą idealnym przedmiotem pracy algorytmów przekształceń DCT. Gorzej będzie się za to prezentować znak osadzony na obrazie jednorodnym, gdyż może on wprowadzać widoczne zniekształcenia.

Największą zaletą algorytmów korzystających z metody transformaty cosinusowej jest odporność osadzonego znaku wodnego na wszelkiego rodzaju modyfikacje, łącznie z kompresją JPEG. Algorytmy reprezentujące dziedzinę transformaty cosinusowej to [1],[2],[6]: algorytm Coxa, algorytm Piva, algorytm blokowy Ruanaidh.

Osadzanie cyfrowego znaku wodnego przy wykorzystaniu metody transformaty Fouriera (DFT – ang. discrete Fourier transform) jest zbliżone do osadzania go metodą DCT. Zastosowanie innej transformaty powoduje to, iż widmo amplitudowe nie jest zależne od przesunięcia obrazu. Oznacza to, że znak wodny będzie możliwy do odczytania, nawet jeśli zdjęcie zostanie poddane przesunięciu, skalowaniu, obracaniu lub wręcz odcięciu kawałka obrazu. Znak wodny może jednak nie być możliwy do odczytania po zastosowaniu kompresji

JPEG na obrazie oznakowanym. Algorytmy reprezentujące metodę transformaty Fouriera to [5], [6]: algorytm Ruanaidh, algorytm Siatki DFT, algorytm Digimarc.

Osadzanie cyfrowego znaku wodnego przy wykorzystaniu metody dyskretnej transformaty falkowej (DWT – ang. discrete wavelet transform) różni się znacznie od opisanych wcześniej metod transformat cosinusowej oraz Fouriera, pod względem procesowania obrazów. W przypadku transformaty falkowej obraz dzielony jest na podobrazy, różniące się dziedziną i częstotliwością. Obliczenie transformaty polega na przejściu sygnału wejściowego przez bank filtrów dolno- i górnoprzepustowych. Na początku obraz jest przekształcany dyskretną transformatą falkową, następnie dzielony jest na cztery podobrazy, z wyróżnieniem obszaru o niskiej częstotliwości – LL1, oraz trzech o wysokich częstotliwościach – HL1, LH1, HH1 (przy czym L to filtr dolnoprzepustowy, a H filtr górnoprzepustowy). Proces o najmniejszej częstotliwości może być rekurencyjnie podzielony na kolejne cztery części – LLi, LHi, HLi, HHi, gdzie $i = 1 \dots n$ w zależności od stopnia rekurencji.

Falkowa transformata uwzględnia właściwości lokalne obrazu. Oznacza to, że znak wodny będzie mniej dostrzegalny aparatem wzrokowym człowieka. Wadą znaków osadzonych korzystających z metody dyskretnej transformaty falkowej jest słaba odporność na przekształcenia geometryczne. Algorytmy reprezentujące metodę transformaty falkowej to [4], [9], [10]:

- a) algorytm Dugad,
- b) algorytm Kundura,
- c) algorytm Xia,
- d) algorytm Xie.

3. Izolowanie cyfrowych znaków wodnych

Proces izolowania cyfrowych znaków wodnych polega na osadzeniu danym algorytmem cyfrowego znaku wodnego, a następnie wykonaniu procesu odejmowania obrazów. Odejmowanie obrazów polega na nałożeniu na siebie obrazu oryginalnego i obrazu z osadzonym cyfrowym znakiem wodnym, a następnie odjęciu od siebie wartości reprezentującej kolor poszczególnych pikseli. Przykład osadzenia cyfrowego znaku wodnego pokazują rys. 1.1, 1.2, 1.3. Rysunek 1.1 przedstawia oryginalny obraz testowy, rys. 1.2 przedstawia obraz oznaczony znakiem wodnym, a rys. 1.3 wyizolowany znak po odpowiednio zmodyfikowanych parametrach jasności, kontrastu oraz poziomu kolorów. Poszczególne rysunki, prezentujące wyizolowane cyfrowe znaki wodne, zostaną podpisane nazwami algorytmów, które były użyte do osadzenia danego znaku.

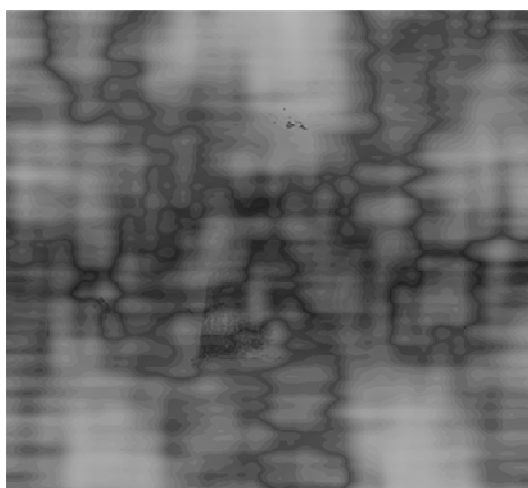


Rys. 1.1. Obraz oryginalny
Fig. 1.1. Original picture

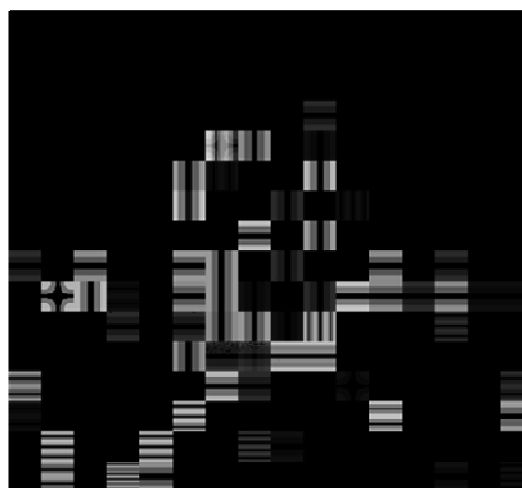
Rys. 1.2. Obraz podpisany
Fig. 1.2. Signed picture

Rys.1.3. Wyizolowany znak wodny
Fig. 1.3. Isolated watermark

Przykłady wyizolowanych cyfrowych znaków wodnych, osadzonych metodą transformaty cosinusowej, prezentują rys. 1.4 oraz 1.5. Do wyizolowania cyfrowego znaku wodnego na rys. 1.4 posłużył algorytm Coxa, natomiast na rys. 1.5 algorytm blokowy Ruanaidh.



a) Algorytm Coxa

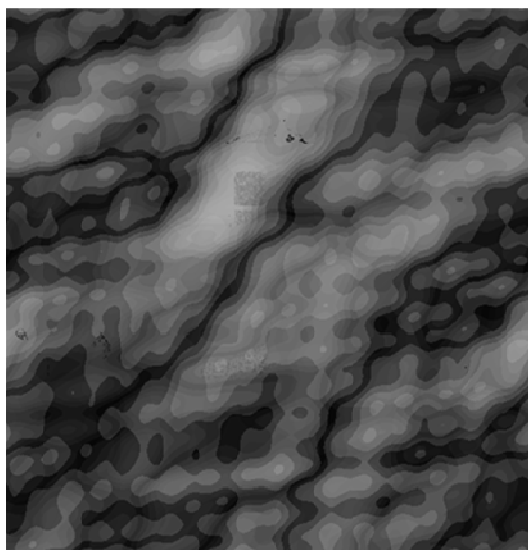


b) Algorytm blokowy Ruanaidh

Rys. 1.4. Algorytm Coxa
Fig. 1.4. Cox' algorithm

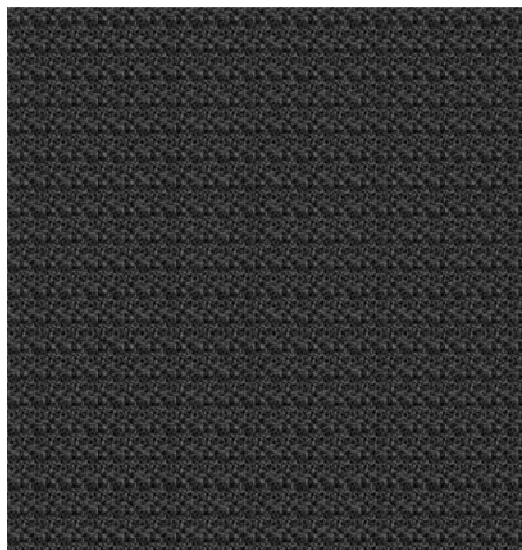
Rys. 1.5. Algorytm blokowy Ruanaidh
Fig. 1.5. Ruanaidh's block algorithm

Przykłady wyizolowanych cyfrowych znaków wodnych, osadzonych metodą transformaty Fouriera prezentują rys. 1.6 oraz rys. 1.7. Do wyizolowania cyfrowego znaku wodnego na rys. 1.6 posłużył algorytm Ruanaidh, natomiast na rys. 1.6 algorytm siatki DFT.



a) Algorytm Ruanaidh

Rys. 1.6. Algorytm Ruanaidh
Fig. 1.6. Ruanaidh's algorithm



b) Algorytm Siatki DFT

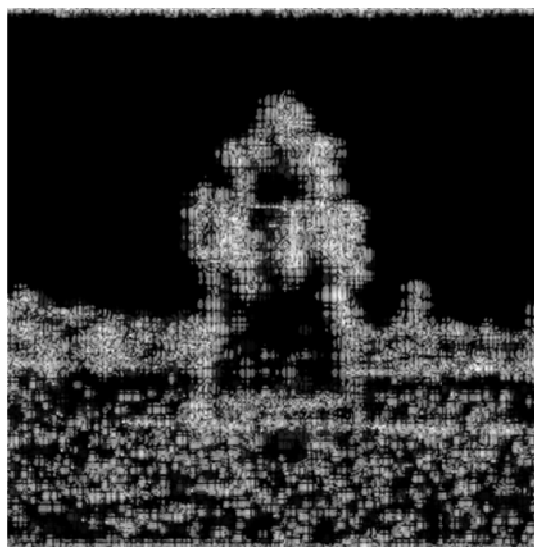
Rys. 1.7. Algorytm siatki DFT
Fig. 1.7. Web DFT's algorithm

Przykłady wyizolowanych cyfrowych znaków wodnych, osadzonych metodą transformaty falkowej, prezentują rys. 1.8 oraz rys. 1.9. Do wyizolowania cyfrowego znaku wodnego, na rys. 1.8 posłużył algorytm Xia, natomiast na rys. 1.9 algorytm Dugad.



a) Algorytm Xia

Rys. 1.8. Algorytm Xia
Fig. 1.8. Xia's algorithm



b) Algorytm Dugad

Rys. 1.9. Algorytm Dugad
Fig. 1.9. Dugad's algorithm

4. Podsumowanie

W artykule przeprowadzono porównanie algorytmów osadzania znaków. Do procesu badania przekształceń przeprowadzono test obrotu wraz ze skalowaniem podpisanego obrazu, do procesu badania deformacji przeprowadzono test małych losowych zniekształceń, a do procesu kompresji zastosowano test kompresji JPEG. W procesach przekształceń i deformacji najbardziej odporny okazał się algorytm Digimarc. Algorytm ten okazał się natomiast przeciętny w kwestii odporności na kompresję. W przypadku kompresji JPEG najbardziej odporne okazały się te algorytmy, które najbardziej zniekształcają obraz oryginalny, czyli algorytm Coxa i Xie oraz algorytm blokowy Ruanaidh, który zniekształca zdecydowanie mniej. Algorytm Coxa okazał się być najbardziej odporny z niekomercyjnych algorytmów, choć również najbardziej ze wszystkich wpływał na zdjęcie oryginalne, zmieniając odcień kolorów. Znaki osadzone za pomocą algorytmów Xia i Ruanaidh okazały się najmniej odporne. Warte uwagi okazały się algorytmy Siatki DFT, Dugada oraz Kundura, ponieważ, pomimo iż znaki osadzone za ich pomocą nie wykazywały największej odporności na różnego rodzaju przekształcenia, efekty ich osadzenia były najbardziej niedostrzegalne. Jeśli więc priorytetem byłoby nienaruszenie oryginalnych zdjęć, algorytmy Siatki DFT oraz Kundura są dobrymi propozycjami.

W dalszych badaniach można zaproponować transfer technologii podpisywania cyfrowych obrazów na muzykę. Można również dopracować algorytm Digimarc, zwiększając bloki, z których składa się cyfrowy znak wodny, co mogłoby zwiększyć odporność znaków osadzonych tym algorytmem w przypadku kompresji.

Bibliografia

1. Barni M., Bartolini F., Cappellini V., Piva, A.: Robust watermarking of still images for copyright protection. Digital Signal Processing Proceedings, 1997. DSP 97, 1997 13th International Conference, Vol. 2, 2-4 July 1997, Digital Object Identifier 10.1109/ICDSP.1997.628384.
2. Cox I.J., Kilian J., Leighton F.T., Shamoon T.: Secure spread spectrum watermarking for multimedia, Image Processing, IEEE Transactions, Vol. 6, Issue 12, Dec. 1997, Digital Object Identifier 10.1109/83.650120.
3. Horwat J.: Analiza cyfrowych znaków wodnych. Politechnika Wrocławska, Wydział Informatyki i Zarządzania, Wrocław 2010.
4. Kundur D., Hatzinakos D.: Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition. Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1998. ICASSP '98. Proceedings

- of the 1998 IEEE International Conference Vol. 5, 12-15 May 1998, Digital Object Identifier 10.1109/ICASSP.1998.678149.
5. Liber A., Kurek W.: Nietostrzegalne sygnatury cyfrowe obrazów rastrowych odporne na procesy drukowania i skanowania, [w:] Współczesne problemy informatyki. Problemy analizy i projektowania sieci komputerowych. Lebidewej S. i Libera A. (red.) Wydawnictwo Wyższej Szkoły Menedżerskiej, Legnica 2005, s. 175-200.
 6. O'Ruanaidh J.J.K., Dowling W.J., Boland F.M.: Watermarking digital images for copyright protection. *Vision, Image and Signal Processing, IEE Proceedings*, Vol. 143, Issue 4, Aug. 1996.
 7. Stanosek M.: Cyfrowe znaki wodne dla obrazów w formacie JPEG2000. Uniwersytet Wrocławski, Wydział Matematyki i Informatyki, Instytut Matematyczny, 2007.
 8. Tkacz F.: Niewidoczne i nieostrzegalne znaczenie i podpisywanie informacji. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
 9. Xia X.G., Boncelet C.G., Arce G.R.: A multiresolution watermark for digital images, *Image Processing, 1997. Proceedings., International Conference*, Vol. 1, 26-29 Oct. 1997, Digital Object Identifier 10.1109/ICIP.1997.647971.
 10. Xie L., Arce G.R.: Joint wavelet compression and authentication watermarking. *Image Processing, 1998. ICIP 98. Proceedings. 1998 International Conference*, Vol. 2, 4-7 Oct. 1998, Digital Object Identifier 10.1109/ICIP.1998.723409.

Abstract

The work concerns a comparative analysis of signing digital images using digital watermarks. It consists of four parts: the introduction to the subject matter, a detailed description of algorithms for image marking, the part of the demonstration and conclusion. At the beginning paper discusses the origins and classification of digital watermarks. Algorithms embed digital watermarks, described in third chapter, have been divided into four areas of insertion of the watermark: spatial domain, the field of discrete cosine transform, discrete Fourier transform domain and the discrete wavelet transform domain. The work presents the isolated watermarks photos visuals. In the last part tools, tests and the tests results of digital watermarks resistance on the transformation, distortion and compression are presented. In conclusion, discussed the findings and identifies directions for further research.