

Postupak ocjene doktorskog rada

DOKTORAND/ICA:	Petar Branislav Jelušić, mag. ing. techn. graph.
----------------	--

NASLOV RADA na hrv. jeziku:	ROBUSTNA STEGANOGRAFSKA METODA PRILAGOĐENA PROCESU TISKA
NASLOV RADA na engl. jeziku:	ROBUST IMAGE STEGANOGRAPHY METHOD SUITED FOR PRINTING

SAŽETAK:
U ovoj doktorskoj dizertaciji prezentirana je robustna steganografska metoda razvijena i prilagođena za tisak. Osnovni cilj metode je pružanje zaštite od krivotvorenja ambalaže. Zaštita ambalaže postiže se umetanjem više bitova informacije u sliku pri enkoderu, a potom maskiranjem informacije kako bi ona bila nevidljiva ljudskom oku. Informacija se pri dekoderu detektira pomoću infracrvene kamere. Preliminarna istraživanja pokazala su da u relevantnoj literaturi nedostaje metoda razvijenih za domenu tiska. Razlog za takav nedostatak jest činjenica da razvijanje steganografskih metoda za tisak zahtjeva veću količinu resursa i materijala, u odnosu na razvijanje sličnih domena za digitalnu domenu. Također, metode za tisak često zahtijevaju višu razinu kompleksnosti, budući da se tijekom reprodukcije pojavljuju razni oblici procesiranja koji mogu kompromitirati informaciju u slici [1]. Da bi se sačuvala skrivena informacija, metoda mora biti otporna na procesiranje koje se događa tijekom reprodukcije. Kako bi se postigla visoka razina otpornosti, informacija se može umetnuti unutar frekvencijske domene slike [2], [3]. Frekvencijskoj domeni slike možemo pristupiti pomoću matematičkih transformacija. Najčešće se koriste diskretna kosinusna transformacija (DCT), diskretna wavelet transformacija (DWT) i diskretna Fourierova transformacija (DFT) [2], [4]. Korištenje svake od navedenih transformacija ima određene prednosti i nedostatke, ovisno o kontekstu razvijanja metode [5]. Za metode prilagođene procesu tiska, diskretna Fourierova transformacija je optimalan odabir, budući da metode bazirane na DFT-u pružaju otpornost na geometrijske transformacije koje se događaju tijekom reprodukcije [5], [6]. U ovom istraživanju korištene su slike u cmyk prostoru boja. Svaka slika najprije je podijeljena u blokove, a umetanje informacije vrši se za svaki blok pojedinačno. Pomoću DFT-a, k kanal slikovnog bloka se transformira u frekvencijsku domenu, gdje se vrši umetanje informacije. Akromatska zamjena koristi se za maskiranje vidljivih artefakata nastalih prilikom umetanja informacije. Primjeri uspješnog korištenja akromatske zamjene za maskiranje artefakata mogu se pronaći u [7] i [8]. Nakon umetanja informacije u svaki slikovni blok, blokovi se ponovno spajaju u jednu, jedinstvenu sliku. Akromatska zamjena tada mijenja vrijednosti c,m i y kanala slike, dok kanal k, u kojemu se nalazi umetnuta informacija, ostaje nepromijenjen. Time nakon maskiranja akromatskom zamjenom označena slika posjeduje ista vizualna svojstva kao i slika prije označavanja. U eksperimentalnom dijelu rada koristi se 1000 slika u cmyk prostoru boja. U digitalnom okruženju provedeno je istraživanje otpornosti metode na slikovne napade specifične za reproduksijski proces - skaliranje, blur, šum, rotaciju i kompresiju. Također, provedeno je istraživanje otpornosti metode na reproduksijski proces, koristeći tiskane uzorke. Objektivna metrika bit error rate (BER) korištena je za evaluaciju. Mogućnost optimizacije metode testirala se procesiranjem slike (unsharp filter) i korištenjem error correction kodova (ECC). Provedeno je istraživanje kvalitete slike nakon umetanja informacije. Za evaluaciju su korištene objektivne metrike peak signal to noise ratio (PSNR) i structural similarity index measure (SSIM). PSNR i SSIM su tzv. full-reference metrike. Drugim riječima, potrebne su i neoznačena i označena slika istovremeno, kako bi se mogla utvrditi razina sličnosti između slika [9], [10]. Subjektivna analiza provedena je na 36 ispitanika, koristeći ukupno 144 uzorka slika. Ispitanici su ocijenjivali vidljivost artefakata na skali od nula (nevidljivo) do tri (vrlo vidljivo). Rezultati pokazuju da metoda posjeduje visoku razinu otpornosti na reproduksijski proces. Također, metoda se uistinu optimizirala korištenjem unsharp filtera i ECC-a. Kvaliteta slike ostaje visoka bez obzira na umetanje informacije, što su potvrdili rezultati eksperimenata s objektivnim metrikama i subjektivna analiza. Ključne riječi: steganografija, skrivanje informacije, krivotvorenje, ambalaža, tisak, Fourierova transformacija, akromatska zamjena

ABSTRACT:
In this thesis, a robust image steganography method suited for printing is developed. The method aims to protect packaging products against counterfeiting without compromising the product's visual design. The motivation for the research lies in the fact that there exists a need for more print domain-based research in the relevant state-of-the-art literature. The steganography method presented in this thesis does not require any additional processes or materials during reproduction. Thus, the method can seamlessly be integrated into a reproduction process. The presented method

successfully combines high capacity, robustness to the print-scan reproduction channel, and high imperceptibility. As no such techniques are found in the relevant literature, the method developed in this thesis presents a significant scientific contribution.

The presented image steganography method is tested for robustness against image processing throughout the reproduction channel and for image quality. Experiments are conducted using 1000 images in CMYK color space. Additionally, a subjective survey is conducted to test the method for image quality. A total of 36 observers participated in the survey, and a dataset of 144 images is used. The results show that the method can sustain the reproduction channel image processing, proving that the method is indeed suited for the reproduction process. Even after embedding information using strong signals, image quality stays consistently high.

Keywords: steganography, data hiding, counterfeiting, packaging, print-scan, Discrete Fourier Transform, Grey Component Replacement

Zagreb, 15.05.2023.