

RAPORT

ETAPA II: Dezvoltarea de algoritmi de marcare reversibila, dezvoltarea de noi aplicatii si investigarea imbunatatirii compresiei fara pierderi utilizand marcarea reversibila

Eforturile echipei de cercetare în această etapă s-au concentrat în principal asupra dezvoltării algoritmilor de marcare reversibilă, a extinderii lor pentru alte tipuri de imagini si semnale cat si a studiului algoritmilor de compresie fara pierderi. Rezultatele originale au fost publicate in doua articole de reviste cotate ISI Q2, 6 articole la conferinte indexate ISI. Un alt articole este in revizie la conferinta IEEE ICASSP, iar doua articole de revista sunt in faza avansata de redactare. Obiectivele proiectului au fost îndeplinite.

Activitatea 2.1. Management și diseminare.

Directorul de proiect a asigurat coordonarea și a supervizat activitatea de diseminare. Obiectivele echipei au fost sa se asigure diseminarea rezultatelor prin publicarea în reviste recunoscute (reviste Q1, Q2), participare la conferintele selective din domeniu si diseminarea prin site-ul proiectului.

Doua articole au fost publicate in reviste Q2. Articolul “Multiple Moduli Prediction Error Expansion Reversible Data Hiding” ,submis in etapa anterioara si continand rezultate originale obtinute in activitatea 1.3, a fost modificat in conformitate cu recomandarile recenzorilor, a fost resubmis si, in momentul de fata este in curs de aparitie in *Signal Processing: Image Communication*, revista Q2 cu factor de impact 2.073. Articolul “On the Use of Normalized Compression Distances for Image Similarity Detection”, cu rezultate originale obtinute in activitatea 2.3, a fost deja publicat in revista *Entropy*, revista Q2 cu factor de impact 2,305. Pe langa cele doua articole de revista deja publicate, alte doua articole sunt in faza avansata de redactare si urmeaza sa fie trimise la reviste Q1.

Sase articole au fost prezentate la conferinte internationale indexate ISI Proceedings. Patru din cele sase au fost prezentate la conferintele de top din domeniu si anume, o lucrare la *ICASSP*

(cea mai mare conferinta organizata de *IEEE* in domeniul prelucrarii semnalelor/imaginilor), 2 articole la *IEEE ICIP* (cea mai mare conferinta organizata de *IEEE* in domeniul prelucrarii imaginilor) si un articol la *EUSIPCO* (cea mai mare conferinta europeana organizata de *EURASIP* si *IEEE* in domeniile prelucrarii semnalelor si imaginilor). Mentionam si ca directorul de proiect a fost chairman la sesiunea *Information Forensics and Security P1* a *EUSIPCO 2018*.

Articolele publicate in 2018 continand rezultate originale ale proiectului sunt:

- 1) D. Coltuc, M. Datcu, D. Coltuc, "On the Use of Normalized Compression Distances for Image Similarity Detection", *Entropy*, 20(2), 99, doi:10.3390/e20020099, 2018, revista Q2, IF= 2.305.
- 2) I. Caciula, H.G Coanda, D. Coltuc, "Multiple Moduli Prediction Error Expansion Reversible Data Hiding", in curs de publicare in *Signal Processing: Image Communication*, <https://doi.org/10.1016/j.image.2018.11.005>, revista Q2, IF= 2.073.
- 3) I.C. Dragoi, D. Coltuc, "Reversible Data Hiding in Encrypted Color Images Based on Vacating Room After Encryption and Pixel Prediction," *25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Atena, Grecia, 2018.
- 4) I.C. Dragoi, Ion Caciula, D. Coltuc, "Improved Pairwise Pixel-Value-Ordering for High-Fidelity Reversible Data Hiding," *25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Atena, Grecia, 2018.
- 5) I.C. Dragoi, D. Coltuc, "Improved Pairwise Embedding for High-Fidelity Reversible Data Hiding", *IEEE European Signal Processing Conference EUSIPCO'2018*, Rome, Italy, 2018.
- 6) I.C. Dragoi, D. Coltuc, "Reversible Data Hiding in Encrypted Images Based on Reserving Room After Encryption and Multiple Predictors," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Calgary, Canada, 2018.
- 7) F. Albu, "The modified Filtered-x Multichannel Wiener filter", in *Proc. of e 14th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP)*, pp. 158-161, 2018.
- 8) A. Bobeica, I.C. Dragoi, I Caciula, D. Coltuc, F. Albu, F. Yang, "Capacity Control for Prediction Error Expansion Based Audio Reversible Data Hiding", *22nd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, Oct. 10-12, 2018, Sinaia, Romania.

Pe langa cele 8 articole publicate/acceptate pentru publicare in 2018, mai mentionam si:

- 9) I.C. Dragoi, D. Coltuc, "Prediction-Error-Ordering for High-Fidelity Reversible Data Hiding," in recenzie la *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2019.

De asemenea, un articol asupra insertiei in imagini color este în fază finală de redactare și urmează a fi trimis spre evaluare și publicare la revista *IEEE Transactions on Information, Forensics and Security*, iar un alt articol asupra insertiei cu debit ridicat este in faza avansata de redactare si intentionam sa fie trimis spre evaluare tot la o revista Q1 (fie *IEEE Transactions on Information, Forensics and Security*, fie *IEEE Transactions on Image Processing*). Menționăm că ambele reviste sunt clasificate în Q1 (reviste roșii) cu factori de impact 5.824 și 5.071.

Activitatea 2.2. Extinderea algoritmilor multibit pentru alte tipuri de imagini

In aceasta etapa a lucrarilor au fost intreprinse cercetari pentru imbunatatirea algoritmilor multibit si pentru extinderea lor la alte tipuri de semnale/imagini. In acest sens, o prima serie de cercetari s-au concentrate pe reducerea dimensiunii hartii modulelelor, harta care consuma mai mult de o treime din capacitatea de insertie oferita de expandarea multibit propusa in activitatea 1.3. Au fost abordate doua directii de cercetare. O prima directie a mers catre investigarea unor tehnici de cuantizare suboptimala a hartii care sa tina seama de structura 2D a hartii pentru o compresare eficienta. Intentionam sa publicam rezultatele obtinute intr-un articol de conferinta.

O alta directie de cercetare este inlocuirea compresiei fara pierderi a hartii prin compresie cu pierderi cu controlul semnelui erorii de compresie. Ideea este interesanta, foarte originala si, credem ca are interes teoretic. Dificultatea cu care ne confruntam este controlul erorii de compresie in sensul ca harta reconstruita sa fie peste tot mai mica decat harta originala. Rezultatele obtinute inca nu sunt concludente, insa consideram ca cercetarile merita continuate.

O a treia directie de cercetare abordata urmareste eliminarea hartii si estimarea ei, la detectie, prin inversarea ecuatiei de marcare multibit. Problema revine la a prezice, la detectie, si modulul de expansiune. Rezultatele obtinute pana in prezen sunt foarte bune. A fost inceputa redactarea unui articol pe acest subiect, articol pe care intentionam sa-l submitem la o revista Q1.

Pe langa aceste cercetari pentru imbunatatirea algoritmilor multibit, mai trebuie mentionate testarile si modificarile la articolul "Multiple Moduli Prediction Error Expansion

Reversible Data Hiding” submis in etapa 1.3, articol in curs de aparitie in *Signal Processing: Image Communication*.

Cercetarile privind extinderea algoritmilor multibit la alte tipuri de semnale s-au concentrat pe imaginile color si semnale audio. Pentru imaginile color o prima problema cu care ne-am confruntat este problema depasirilor, mult mai severa decat la imaginile cu nivele de gri. Acest fapt se datoreaza distributiei diferite la imaginile cu nivele de gri fata de planurile de culoare la imaginile RGB. Astfel, imaginile cu nivele de gri au, in general, un numar mic de pixeli negri (valori apropiate de zero) sau albi (valori apropiate de 255). La imaginile color, prezenta unei regiuni intr-o culoare primara se traduce prin prezenta in planul respectiv a pixelilor apropiati de 255, iar in celelalte doua plane a pixelilor de nivel zero (absenta celorlalte doua culori). Concentrarile de pixeli in cele 3 plane spre 0 si 255 conduc la depasiri si implicit, la o scadere a capacitatii de insertie. Acest efect este si mai puternic in cazul algoritmilor multibit din cauza utilizarii modulelor de insertie mai mari ca 2. La problema depasirilor experimentam o solutie originala: preprocesarea histogramei fiecarui plan inainte de insertie pentru minimizarea riscului de depasiri, urmata de preprocesarea inversa (dupa insertie) care sa reduca distorsiunile introduce de aceasta preprocesare. Rezultatele sunt bune si speram ca ne vor conduce la un articol de revista Q1.

Extinderea la semnale audio este motivate de interesul crescand in literatura de specialitate pentru disimularea informatiei in astfel de semnale. Pentru echipa proiectului, a fost si prima incercare de insertie in semnale audio si au implicat familiarizarea cu domeniul (scala diferita, predictie 1D, utilizarea ODG, samd). Rezultatele originale, un algoritm cu doua praguri care asigura un control mai bun al capacitatii de insertie, au fost prezentate la o conferinta *IEEE* de traditie in Romania, *International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)* 2018. Probleme privind filtrarea Wiener a semnalului audio/video au fost publicate la *IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP)* 2018. Alte rezultate privind imbunatatirea predictiei, controlul capacitate/distorsiune pentru semnalele audio vor constitui obiectul unui articol de revista Q2.

Activitate 2.3. Studiu algoritmi de compresie fara pierderi

Aceasta activitate este un prim pas in vederea executarii activitatilor 3.2 si 3.3, prevazute pentru anul 2019. In aceasta etapa am considerat o serie de programe de compresie, atat de uz

general (WINZIP, WINRAR, GZIP, 7Z, FPAQ0f, LPAQ1, PAQ8, PAQ9), cat si dedicate compresiei imaginilor (JPEG, JPEG2000) sau, in mod echivalent, formate de imagini care utilizeaza compresie fara pierderi (PNG, TIF). Pornind de la compresoare, am ajuns la distanta normalizata de compresie (NCD), [1,2], gandita ca o metrica universala, unde universalitatea trebuie inteleasa in sensul ca nu este destinata unei aplicatii specifice. NCD este inspirata de teoria complexitatii a lui Kolmogorov, mai exact, ofera o varianta calculabila a distantei NID (normalized information distance) [1]. Daca NID se bazeaza pe complexitatea Kolmogorov, NCD aproximeaza complexitatea Kolmogorov prin dimensiunea secventei de date compresate cu un compresor fara pierderi standard. Generalitatea metricilor bazate pe compresie este foarte atractiva in special pentru aplicatiile din domeniul mineritului datelor (*data mining*). Teoretic astfel de distante pot fi utilizate "fara schimbari la diferite aplicatii si chiar la colectii de obiecte din diferite aplicatii" pentru a evidentia in mod automat "similitudinile dominante intre fiecare doua obiecte" [2].

Daca NCD furnizeaza rezultate interesante pentru text, serii temporale, programe pentru calculator etc, rezultatele pentru imagini nu sunt multumitoare. Un aspect mai subtil este faptul ca, de regula, cand imaginile sunt comparate, e necesara o robustete la prelucrările tipice de imagini gen imbunatatire de contrast, filtrare, compresie cu pierderi, schimbare de scala, decupare, rotatii mici etc. Cu alte cuvinte, la imagini ne intereseaza nu integritatea datelor ci a continutului. Rezultatele din literatura [3,4,5] sugereaza ca utilizarea NCD pentru a evidentia similaritatea intre imagini afectate de prelucrari de imagini uzuale este inefficienta.

In cercetarile noastre am ajuns la concluzia ca pe baza NCD putem obtine semnături de imagini foarte robuste la prelucrari uzuale de imagini si transformari geometrice. Principiul de baza este de a considera secvente de transformari geometrice simple si de a calcula NCD-ul intre imaginile originale si cele transformate. Cu alte cuvinte, semnăturile propuse se bazeaza pe similaritatea intre original si imaginile transformate. Daca transformarea poate evidentia structura intrinseca 2D, semnatura va contine informatii despre continutul imaginii. Chiar daca distantele NCD intre original si imaginile transformate nu sunt identice cu cele intre imaginile prelucrate si transformatele lor, ne asteptam totusi sa regasim o oarecare similaritate a formei semnăturilor. In acest sens, am propus un cadru general pentru generarea de semnături ale imaginilor digitale bazate pe compresie. Se defineste o secventa de transformari geometrice ale imaginii, iar semnatura imaginii se calculeaza cu distanta bazata pe compresie dintre imaginea

originala si secventa de imagini transformate. Transformarile (translatii in directie orizontala, verticala, diagonale si rotatii) urmaresc extragerea informatiei continuta in imagini. Obtinerea de semnaturi robuste este de interes in aplicatii de clasificare, CBIR, deduplicare de imagini etc. Calculul semnaturii revine la a calcula un sir de distante tip NCD. Pe de alta parte, dupa ce semnatura a fost calculata, se utilizeaza in locul imaginii. In mod evident, distanta Pearson intre doua semnaturi are complexitate mult mai reduca decat calculul distantei bazate pe compresie intre doua imagini.

Rezultatele noastre au fost publicate in articolul “On the Use of Normalized Compression Distances for Image Similarity Detection”, in *Entropy*, 20(2), 99, doi:10.3390/e20020099, 2018. Pe langa aspectul teoretic al generarii unei metrice robuste plecand de la o metrica fragila si al investigarii compresoarelor in vederea realizarii activitatilor urmatoare, cercetarile noastre ne-au sugerat si ideea de a investiga implementarea unei metrice pe filozofia NCD, dar inlocuind compresia fara pierderi cu marcarea reversibila. In momentul de fata suntem in faza de implementare a acestei metrice si testarii pe imagini digitale.

Activitatea 2.4 Investigare aplicatii marcare reversibila pentru imagini cunivele de gri

Cercetarile noastre s-au concentrat in principal pe doua directii, insertia reversibila in imagini criptate de interes pentru aplicatii tip *cloud* si insertia cu distorsiuni reduse (*high-fidelity*) de interes in aplicatii de imagistica medicala, aplicatii de steganografie, etc. Cercetarile originale din activitatea 2.4 au constituit deja subiectele a 4 articole publicate sau submise la conferinte repute din domeniu (*IEEE ICIP 2018*, *EUSIPCO 2018*, *IEEE ICASSP 2018*), un articol aflat in recenzie la *ICASSP 2019* si un articol de revista in faza avansata de redactare.

Cu privire la insertia reversibila in imagini criptate, mentionam rezultatele prezentate la *IEEE ICIP 2018* din articolul „Reversible Data Hiding in Encrypted Color Images Based on Vacating Room After Encryption and Pixel Prediction”. La fel ca la *IEEE ICASSP 2018*, am considerat cazul imaginilor criptate cu secvente pseudo-aleatoare generate de chei secrete prin SAU exclusiv pentru scenariul dificil al rezervarii spatiului pentru insertie dupa etapa de criptare. Spre deosebire de rezultatele prezentate la *ICASSP 2018*, abordam imagini color RGB. Metoda simpla de insertie in imagini color ar fi de a utiliza algoritmi pentru imagini cu nivele de gri si de a insera independent in fiecare plan, respectiv de a aplica de 3 ori acelasi algoritm.

Abordarea noastra introduce un element de originalitate prin exploatarea corelatiei dintre planele de culoare pentru imbunatatirea predictiei in vederea refacerii imaginii originale. Schema de predictie propusa ne obliga sa limitam insertia de la 3 plane la numai 2 plane (cel de-al treilea plan de culoare este pastrat intact). Aspectul cel mai interesant al metodei noastre este ca, prin imbunatatirea predictiei putem reduce dimensiunea grupelor in care se insereaza acelasi bit, ceea ce ne permite sa inseram in doua plane o capacitate mai mare decat in 3 plane cu metodele pentru imagini monocrome. Mai exact, depasim si rezultatele obtinute cu metoda de referinta [6], dar si cu metodele imbunatatite de noi publicate la *EUSIPCO* 2017, [7], sau la *ICASSP* 2018.

Din seria de cercetari asupra metodelor de insertie de mare fidelitate, o mentiune speciala o merita metoda de insertie in perechi de pixeli, „Improved Pairwise Embedding for High-Fidelity Reversible Data Hiding”, prezentata la *EUSIPCO* 2018. Insertia in perechi de pixeli, propusa de Ou et al. [8], a venit cu ideea originala de a reduce capacitatea de insertie, dar de a compensa pierderea reducand semnificativ distorsiunea corespunzatoare. Mai exact, la insertia intr-o pereche de pixeli se pastreaza doar 3 din cele 4 combinatii de biti posibile, „00”, „01” si „10”, eliminandu-se combinatia „11”. Desi capacitatea scade de la 2 biti la $\log_2 3$ biti, se pastreaza distorsiunea la maximum un nivel de gri. Metoda are si un dezavantaj, respectiv necesitatea codarii secventelor binare in alfabetul cu 3 simboluri cauzat de restrictia la 3 perechi. Metoda noastra elimina dezavantajul codarii printr-o schema originala care insereaza ori un bit, ori 2 biti (toate 4 combinatiile), insa cu pastrarea distorsiunii la maximum un nivel de gri. Metoda propusa aduce si un castig in capacitate inserand 2 biti in cele doua clase cele mai populate ale histogramei 2D a erorilor de predictie si doar un bit in a treia si a patra. Aceasta strategie se dovedeste mai eficienta decat insertia a $\log_2 3$ biti in fiecare din cele 4 clase. Metoda noastra poate fi adaptata cu usurinta la marea parte a algoritmilor de insertie in perechi, [9-14], aducand avantajele simplitatii (prin eliminarea codarii cu 3 simboluri) si cu avantajul suplimentar al unui castig de capacitate. Pe langa imbunatatirea la insertia in perechile de pixeli, mai mentionam si cercetarile pentru imbunatatirea metodelor de insertie de mare fidelitate tip PVO, ale caror rezultate au fost prezentate la *ICIP'18* si sunt in curs de revizie la *ICASSP* 2019.

Activitate 2.5 Implementare, testare, validare algoritmi marcare reversibila

Au fost implementati (MatLab) si testati algoritmi originali dezvoltati in activitatile 2.3 si 2.4. De asemenea, au fost implementati si testati algoritmi 2D si algoritmi PVO cu care am

comparat rezultatele. Implementările pentru compresoarele din A2.2 sunt după cum urmează: pentru JPEG2000, JPEG, PNG, TIFF, GZIP am utilizat implementările furnizate de Matlab, pentru WinZip am utilizat versiunea 19.5 (<http://www.winzip.com>), pentru WinRar vers. 5.2.1 (<http://www.rarlab.com/>), pentru 7z vers. 9.38 beta de la <http://www.7-zip.org/>. Compresoarele PAQ8, PAQ9, LPAQ1 și FPAQ0f sunt disponibile la adresa <http://mattmahoney.net/dc/>.

Activitate 2.6 Achiziție echipamente și materiale

Achizițiile s-au desfășurat conform prevederilor contractului și anume, sistem achiziție date video, microprocesor server, sistem microfoane wireless, HDD extern, SSD PC Desktop (7 buc), RAM 4GB pentru PC Desktop (7 buc), publicații și acces IEEE, audit.

Bibliografie

- [1] M. Li, X. Chen, X. Li, B. Ma and P. Vitanyi, "The similarity metric", *IEEE Trans. Information Theory*, vol 50, no. 12, pp. 3250-3264, 2004.
- [2] R. Cilibrasi and P. Vitanyi, "Clustering by compression" *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 51, no. 4, pp. 1523-1545, 2005.
- [3] N. Tran, "A perceptual similarity measure based on smoothing filters and the normalized compression distance", *IS&T SPIE Electronic Imaging*, pp. 75270-75270, 2010.
- [4] P.-P. Vazquez and J. Marco, "Using normalized compression distance for image similarity measurement: an experimental study" *The Visual Computer*, vol. 28, no. 11, pp. 1063-1084, 2012.
- [5] J. Mortensen, J.J. Wu, J. Furst, J. Rogers and D. Raicu, "Effect of image linearization on normalized compression distance" *Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 106-116, 2009.
- [6] X. Wu and W. Sun, "High-capacity reversible data hiding in encrypted images by prediction error", *Signal Processing*, pp. 387–400, 2014.
- [7] I.C. Dragoi, H.G. Coanda and D. Coltuc, "Improved Reversible Data Hiding in Encrypted Images Based on Reserving Room After Encryption and Pixel Prediction", in *Proc. 25th Eur. Conf. Signal. Process. (EUSIPCO)*, pp. 2250–2254, 2017.
- [8] B. Ou, X. Li, Y. Zhao, R. Ni and Y.-Q. Shi, "Pairwise prediction-error expansion for efficient reversible data hiding," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 22, no. 12, pp. 5010–5021, 2013.

- [9] I.C. Dragoi, D. Coltuc and I. Caciula "Horizontal pairwise reversible watermarking," *Proc. 23rd Eur. Signal Process.*, pp. 56–60, 2015.
- [10] S. Cai, X. Li, J. Liu and Z. Guo, "A new reversible data hiding scheme exploiting high-dimensional prediction-error histogram," *IEEE Intl. Conf. on Image Processing (ICIP)*, pp. 2732–2736, 2016.
- [11] B. Ou, X. Li and J. Wang, "High-fidelity reversible data hiding based on pixel-value-ordering and pairwise prediction-error expansion," *J. Vis. Commun. Image R.*, vol. 39, 12–23, 2016.
- [12] I.-C. Dragoi and D. Coltuc, "Adaptive pairing reversible watermarking," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 25, no. 5, pp. 2420–2422, 2016.
- [13] B. Ou, X. Li, J. Wang and F. Peng, "High-fidelity reversible data hiding based on geodesic path and pairwise prediction-error expansion," *Neurocomputing*, vol. 226, pp. 23–34, 2017.
- [14] I.C. Dragoi, D. Coltuc and H.G. Coanda, "Adaptive pairwise reversible watermarking with horizontal grouping," *International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, pp. 1–4, 2017.