

RAPORT

ETAPA II: Noi metode de marcare reversibilă bazate pe algoritmul îmbunătățit de predicție locală

În etapa a doua a proiectului „Marcare reversibilă cu predicție locală - generația a doua,” activitatea de cercetare s-a concentrat pe optimizarea algoritmului de predicție liniară locală, dezvoltarea unor noi metode de marcare reversibilă/insertie reversibilă de date (RDH – Reversible Data Hiding), precum și crearea unor noi aplicații pentru RDH. Rezultatele obținute au fost publicate în trei articole prezentate la conferințe indexate ISI. Două articole se află în revizie pentru publicare în reviste clasificate în Q1 (reviste roșii): *IEEE Transactions on Information Forensics & Security* și *IEEE Signal Processing Letters*. Un articol de revistă este în faza avansată de redactare, un alt articol de revistă deja redactat necesită o etapă de reactualizare (metoda propusă fiind îmbunătățită), iar două articole de conferință și unul de revistă sunt în faza inițială de redactare.

Activitatea 2.1. Management și diseminare.

Directorul de proiect a aplicat în continuare strategia de diseminare a rezultatelor stabilită în etapa precedentă, urmărindu-se participarea la conferințe naționale și internaționale selective. În anul 2019 au fost publicate următoarele articole:

- 1) I.C. Dragoi și D. Coltuc, "Prediction-error-ordering for High-fidelity Reversible Data Hiding," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2019)*, pag. 2652-2656, Brighton, Anglia, 2019.
- 2) I.C. Dragoi și D. Coltuc, "Gradient Based Prediction for High Fidelity Reversible Data Hiding with Pairwise Embedding," *International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS 2019)*, pag 1-4, Iași, România, 2019.

- 3) A. Bobeica, I.C. Dragoi, I. Caciula and D. Coltuc, "Sample Value Ordering for Audio Reversible Data Hiding", *The 6th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE 2019)*, Galați, România, 2019.

Două articole au fost trimise spre evaluare și publicare la reviste clasificate în Q1 (reviste roșii):

- 4) I.C. Dragoi și D. Coltuc, "On the Security of Reversible Data Hiding in Encrypted Images by MSB Prediction," în revizuire la *IEEE Transactions on Information Forensics & Security* (factor de impact 6.211).
- 5) I.C. Dragoi, H.G. Coandă și D. Coltuc, "Prediction Based Sorting for Reversible Data Hiding with Pixel-Value-Ordering," în revizuire la *IEEE Signal Processing Letters* (factor de impact 3.268).

Un articol de revistă este în stare avansată de redactare, urmărindu-se publicarea lui în revistele menționate mai sus. Acesta propune un algoritm RDH optimizat pentru inserția unor cantități mari de date ascunse. Metode curente din domeniu au fost propuse pentru o capacitate maximă de inserție de un bit pe pixel (1 bpp), însă în [1] s-a arătat că pragul maxim de inserție este de aproximativ 3 bpp pentru majoritatea imaginii naturale și 1.5 bpp pentru cele cu texturi complexe (cum ar fi imaginea de test *Mandrill*). Comparativ cu [1], noul algoritm oferă capacități de inserție mai mari (observate pe întregul set de test: 3.2–3.5 bpp pe majoritatea imaginilor și 1.8 bpp pe *Mandrill*), precum și un control optimal al distorsiunii de inserție pentru întregul domeniu de capacitate (un aspect neglijat în [1]). Acest algoritm a fost inițial dezvoltat în etapa I a proiectului, realizându-se o primă versiune a articolului. Pentru a facilita publicarea într-o revistă cu factor de impact mare (*IEEE Transactions on Information Forensics & Security*), s-a decis ca metoda (și implicit articolul) să treacă prin mai multe etape suplimentare de rafinare și optimizare. Față de versiunea precedentă, abordarea îmbunătățită oferă capacități mai mari cu până la 0.2–0.3 bpp, precum și controlul optimal al distorsiunii.

Articolul ce necesită o etapă de reactualizare tratează inserția de date în imaginile RGB. Varianta inițială a metodei propuse nu lua în considerare posibilitatea de a selecta un plan de culoare derivat (cum ar fi $U=R-G$) pentru inserția în două plane de culoare (R și G). Dacă U a fost selectat, acesta era utilizat pentru inserția în R, inserția în G fiind tratată independent.

Versiunea îmbunătățită a metodei obține rezultate mai bune când predicția din U (sau alt plan derivat) este mult mai bună decât în planele de culoare din care a fost derivat. Noua metode se compară mult mai favorabil față de [2] (articolul cu cele mai bune rezultate raportate în literatură).

Cele două articole de conferință aflate în stare inițială de redactare investighează realizarea unor noi algoritmi RDH. Se urmărește susținerea lor la conferința *ASPAI 2020 (Second International Conference on Advances in Signal Processing and Artificial Intelligence)* ce are loc la Berlin, Germania. Algoritmii propuși sunt discutați în secțiunile 2.2–2.3.

Articolul de revistă în stare inițială de redactare propune o nouă aplicație pentru metodele RDH în domeniul prelucrărilor de imagini: specificarea reversibilă de histogramă. Această nouă aplicație este discutată în secțiunea 2.4.

Activitatea 2.2. Dezvoltarea algoritmilor de predicție locală bazați pe IRLS (Iteratively Reweighted Least Squares)

Predictorul liniar local folosește un bloc de învățare creat în jurul pixelului curent pentru a determina coeficienții de predicție pentru pixeli vecini dintr-un context predefinit care au obținut eroarea minimă pe blocul de învățare. Acești coeficienți sunt apoi folosiți pentru a prezice valoarea pixelului curent pe baza vecinilor săi ce formează contextul de predicție.

Performanțele predictorului local sunt afectate în principal de cei doi parametri de predicție (dimensiunea blocului de învățare și forma contextului de predicție, optimizarea lor a fost investigată în etapa anterioară a proiectului). Un alt factor ce contribuie la eficiența unui predictor liniar este metoda folosită pentru a determina coeficienții ce oferă eroarea minimă. Predicția liniară bazată pe IRLS oferă o predicție mai bună comparativ cu regresia liniară când blocul de învățare este foarte mare (predicția liniară pe întreaga imagine sau pe regiuni ale imaginii). Însă testele efectuate au arătat că pe un bloc de învățare local, informația oferită de fiecare pixel din blocul de învățare este la fel de importantă. Astfel, reactualizarea coeficienților oferită de IRLS nu aduce contribuții semnificative față de abordarea clasică pe imagini de test naturale. Blocul de învățare este prea mic, nepermițând o selecție eficientă a pixelilor. Alte tipuri de imagini ar putea influența diferit metodele de regresie liniară (cum ar fi cele cu texturi fine, ce prezintă variații puternice și în interiorul blocurilor de învățare). Dezvoltarea pentru imagini

texturate a unui algoritm RDH cu predicție locală bazată pe IRLS va fi discutată într-un articol de conferință care se află în faza inițială de redactare.

Activitatea 2.3. Dezvoltarea de noi algoritmi RDH

Insertia reversibilă de date bazată pe sortarea valorilor pixelilor (PVO – Pixel Value Ordering) propusă inițial în [3] și rafinată în [4–6] a fost intens cercetată în domeniul RDH. Majoritatea algoritmilor propuși recent (cum ar fi [7]) sunt bazați pe această abordare. În această etapă a proiectului de cercetare s-au determinat trei algoritmi ce au la bază metoda PVO, publicându-se două articole de conferință (susținute la *ICASSP 2019* și *ISEEE 2019*), al treilea articol (cel de revistă) fiind în etapa de recenzie pentru publicarea în *IEEE Signal Processing Letters*. În primul articol (*ICASSP 2019*) se propune folosirea insertiei PVO în erorile de predicție. Imaginea gazdă este împărțită în două grupe disjuncte (formând distribuția de tablă de șah din [8]), apoi pixeli sunt procesați pe blocuri (fiecare bloc având un număr egal de pixeli din fiecare grup). Insertia de date se realizează în două etape, un bloc conținând 4, 2 sau 0 biți ascunși (selecția propusă în [9]). Al doilea articol (*ISEEE 2019*) adaptează metoda PVO pentru insertia reversibilă în fișiere audio. Eșantioanele audio sunt procesate ca blocuri, iar insertia de date se realizează fie prin translatore de histogramă [9], fie prin noua metodă (Sample Value Ordering).

Articolul de revistă derivat din PVO introduce o sortare inițială bazată pe predicție. Imaginea este împărțită în două grupe (ca în [8]), iar seturile sunt marcate pe rând. Se calculează complexitatea locală și valoarea prezisă pentru fiecare pixel dintr-o grupă folosindu-se valorile din cealaltă grupă. Pixeli dintr-o grupă cu complexitatea locală mai mică decât un prag sunt apoi sortați în funcție de valoarea lor prezisă. Grupa sortată este apoi împărțită în două sau mai multe subgrupe. Pentru fiecare subgrupă se poate determina dimensiunea blocului ideal pentru insertia PVO. Această insertie se realizează pe baza valorilor reale ale pixelilor, blocul este resortat. Sortarea inițială după valoarea prezisă oferă o corelație mai mare între pixelii din bloc (doi pixeli cu aceeași valoare prezisă tind să fie mai corelați decât doi pixeli vecini unul cu altul). Pe lângă acest aspect, sortarea după valorile prezise face ca imaginea să fie procesată ca un vector. Selecția unor blocuri de diverse dimensiuni, o abordare extrem de dificilă pentru metodele PVO, devine una simplă și eficientă. Determinarea unei împărțiri pe blocuri de dimensiuni diferite (folosind criterii reversibile) este dificilă pentru o matrice (necesitând sacrificii semnificative la

regula de selecție [10]). În schimb, este foarte simplă pentru un vector (folosind valorile precalculate de complexitatea locală și predicție). Articolul propus aduce o contribuție semnificativă metodelor RDH bazate pe PVO, reprezentând o schimbare de paradigmă pentru astfel de metode.

În această etapă a proiectului s-a propus și o versiune îmbunătățită a metodei RDH bazate pe perechi adaptive de pixeli introdusă în [11]. Abordările precedente consideră de aceeași importanță predicția și selecția perechilor [11] sau favorizează selecția perechilor [12]. În articolul prezentat la *ISSCS 2019* s-a investigat optimizarea predicției în defavoarea calității perechilor. Imaginea este împărțită în cinci grupe, permițând astfel folosirea unui predictor cu ponderi adaptive pe contextul romb de distanță 2 (figura 1). Selecția perechilor se realizează într-un mod simplificat (pe baza complexității locale).

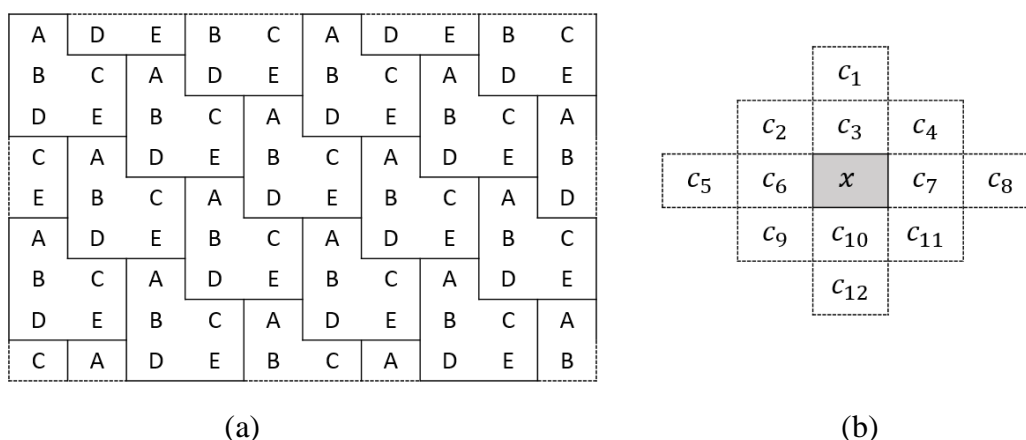


Figura 1. Gruparea pixelilor (a) ce permite folosirea contextului romb de distanță 2 (b)

În [13] este introdusă o metodă de inserție reversibilă de date în imagini criptate bazată pe substituția celui mai semnificativ bit (MSB – Most Significant Bit). Înainte de criptare, se determină dacă predictorul ales poate să prezisă corect stratul MSB. Pixeli sunt împărțiți în blocuri, memorându-se pozițiile blocurilor ce conțin pixeli cu valoarea MSB prezisă greșit. După criptare, se folosesc biți de semnalizare în jurul blocurilor cu erori de predicție. Biții de semnalizare sunt inserați în imagine prin substituție de MSB. Informația ascunsă este și ea inserată prin aceeași metodă în blocurile fără erori sau biți de semnalizare. Algoritmul de decriptare se folosește de biți de semnalizare pentru a identifica blocurile cu erori și de predictor pentru a recupera valorile MSB din blocurile fără erori. Această metodă a fost rafinată în [14] și

[15], însă toate aceste abordări prezintă probleme de securitate. Problema principală este că pozițiile biților de semnalizare pot fi identificate printr-o simplă analiză statistică a stratului MSB criptat. Aceste poziții indică blocurile cu erori, erori ce sunt predominant în zone de texturi și de contururi. Astfel, se pot extrage informații despre conținutul original al imaginii din versiunea criptată fără a se folosi cheile de criptare (figura 2). În articolul ce se află în revizie pentru publicare în *IEEE Transactions on Information Forensics & Security* s-au prezentat toate problemele de securitate întâlnite în [13] și în metodele derivate din acesta ([14] și [15]). Tot în acest articol s-au propus și soluții la problema principală prezentată mai sus (bazate pe hărți de poziții și criptarea integrală a stratului MSB).

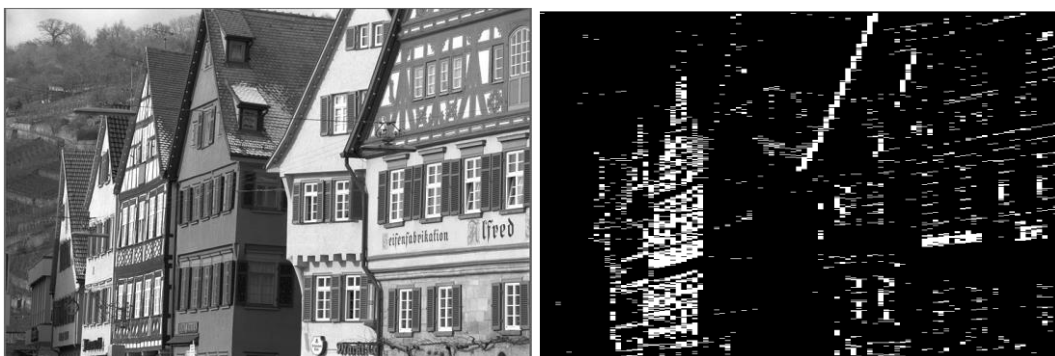


Figura 2. Imaginea originală și contururile extrase din stratul MSB criptat cu [11].

Activitatea 2.4. Dezvoltarea de noi aplicații: specificarea reversibilă de histogramă

Specificarea de histograma permite îmbunătățirea aspectului unei imagini prin modificarea contrastului. Imaginea obținută după specificare are distribuția valorilor pixelilor dată de histograma dorită. Îmbunătățirea contrastului facilitează recunoașterea contururilor și permite evidențierea unor detalii ascunse. Specificarea de histograma este o transformare ireversibilă, necesitând informație suplimentară pentru a determina valorile originale ale pixelilor. Pornindu-se de la un algoritm de specificare exactă de histogramă, s-a dezvoltat o nouă metodă de specificare de histogramă care permite restaurarea exactă a imaginii prin memorarea histogramei originale și a valorilor problemă care nu pot fi recuperate prin specificare inversă, acestea fiind stocate într-o hartă de poziții. Procesul de realizare a hărții a fost optimizat, harta fiind apoi compresată fără pierderi. Datele necesare pentru reversibilitate sunt inserate în

imaginea transformată prin expandarea erorii de predicție și predicție liniară locală, algoritmul necesitând o capacitate de inserție de 0.1–0.4 bpp (etapa de specificare exactă de histogramă îngreunează predicția, astfel un predictor clasic nu poate genera întotdeauna capacitatea dorită). Un articol pe această temă pentru o revistă clasificată în Q1 este în stadiul inițial de redactare.

Bibliografie

- [1] I. Caciula, H.G. Coanda, D. Coltuc, "Multiple moduli prediction error expansion reversible data hiding," *Signal Processing: Image Communication*, 71, pp. 120-127, 2019.
- [2] H. Yao, C. Quin, Z. Tang, Y. Tian, "Guided filtering based color image reversible data hiding," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 43, pp. 152--163, 2017.
- [3] X. Li, J. Li, B. Li and B. Yang, "High-fidelity reversible data hiding scheme based on pixel-value-ordering and prediction-error expansion", *Signal Process.*, 93 (1), pp. 198–205, 2013.
- [4] F. Peng, X. Li and B. Yang, "Improved PVO-based reversible data hiding", *Digit. Signal Process.*, 25, pp. 255–265, 2014.
- [5] B. Ou, X. Li and J. Wang, "Improved PVO-based reversible data hiding: A new implementation based on multiple histograms modification", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 38, pp. 328–339, 2016.
- [6] I. C. Dragoi, I. Caciula and D. Coltuc, "Improved Pairwise Pixel-Value-Ordering for High-Fidelity Reversible Data Hiding," *25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 1668-1672, 2018.
- [7] D. Wang, X. Zhang, C. Yu, Z. Tang, "Reversible Data Hiding by Using Adaptive Pixel Value Prediction and Adaptive Embedding Bin Selection", *IEEE Signal Processing Letters*, 26(11), pp. 1713–1717, 2019.
- [8] V. Sachnev, H.J. Kim, J. Nam, S. Suresh and Y.Q. Shi, "Reversible Watermarking Algorithm Using Sorting and Prediction", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 19, pp. 989–999, 2009.
- [9] W. Hong, T.-S. Chen, C.-W. Shiu. Reversible data hiding for high quality images using modification of prediction errors. *Journal of Systems and Software*, 82(11): 1833–1842, 2009.
- [10] F. Di, M. Zhang, X. Liao and J. Liu, High-fidelity reversible data hiding by Quadtree-based pixel value ordering, *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-17, 2018.

- [11] I.C. Dragoi and D. Coltuc, "Adaptive pairing reversible watermarking," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 25, no. 5, pp. 2420–2422, 2016.
- [12] I.-C. Dragoi, D. Coltuc and H.G. Coanda, "Adaptive pairwise reversible watermarking with horizontal grouping," *International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS 2017)*, pp. 1–4, 2017.
- [13] P. Puteaux and W. Puech, "An efficient MSB prediction-based method for high-capacity reversible data hiding in encrypted images", *IEEE Trans. Inf. Forensics Security*, 7, pp. 1670-1681, 2018.
- [14] Y. Puyang, Z. Yin and Z. Qian, "Reversible Data Hiding in Encrypted Images with Two-MSB Prediction", *IEEE Intl. Workshop Inf. Forensics Security (WIFS)*, 2018.
- [15] K. Chen and C.-C. Chang, "High-capacity reversible data hiding in encrypted images based on extended Run-Length coding and block-based MSB plane rearrangement", *JVCI*, 58, pp. 334-344, 2019.