

RAPORT

RDH-COMPRESS: COMPRESOARE FĂRĂ PIERDERI CU INSERȚIE REVERSIBILĂ DE DATE

ETAPA III: Elaborare prototip compresor cu insertie reversibila pentru imagini color

Eforturile echipei de cercetare s-au concentrat asupra elaborării prototipului compresorului fără pierderi pentru imagini color. Compresia se realizează prin subeșantionare, iar informația necesară pentru regăsirea fără pierderi a imaginii originale este inserată, prin inserție reversibilă de mare capacitate, în luminanță și în planele de crominanță cu algoritmul dezvoltat în etapa anterioară. Imaginea compresată este salvată bitmap, fiind direct vizibilă, fără nicio altă prelucrare. Inserția reversibilă introduce zgomot în imaginea subeșantionată, iar nivelul de zgomot se controlează reducând rata de compresie. Am considerat trei nivele de compresie pentru calitate bună, medie și slabă. De asemenea, trebuie să menționăm și dezvoltarea unui algoritmul original de inserție în LSB (bitul cel mai puțin semnificativ) cu distorsiuni reduse. Algoritmii dezvoltați au fost testați pe seturi extinse de imagini.

Compresorul fără pierderi pentru imagini color depășește compresoarele PNG și JPEG-LS, și este depășit de JPEG 2000. Astfel, pentru cele 24 de imagini ale setului Kodak, dimensiunea medie a imaginii compresate cu JPEG-LS este de 738,41 kB, cu PNG este 626,40 kB, cu compresia prin inserție reversibilă avem 585,74 kB (calitate bună), 553,34 kB (calitate medie), 534,62 (calitate slabă), iar pentru JPEG 2000 avem 459,61 kB. Ținând cont că această compresie se realizează păstrând vizibilă o imagine perfect inteligibilă, rezultatele sunt remarcabile. Cum imaginile Kodak necompresate au dimensiunea de 1152 kB, compresorul nostru fără pierderi reduce, în medie, dimensiunea la aproximativ jumătate. Algoritmii de substituție LSB operează la distorsiunea medie a algoritmilor LSB *matching* și, fapt remarcabil, îi depășește pe imaginile cu procente semnificative de pixeli saturați.

Obiectivele etapei au fost îndeplinite integral.

Activitatea 3.1. Extensie modul pregătire informație adițională de la nivele de gri la color.

În etapele anterioare au fost testate două metode de reducere a dimensiunii imaginii, respectiv pastrarea centrului imaginii și subeșantionarea uniformă. Prima soluție este eficientă atât din punctul de vedere al capacității de inserție în imaginea păstrată, cât și al reducerii informației pentru reconstrucție, dar are dezavantajul că, fără reconstrucție, nu permite vizualizarea întregii imagini. Din acest motiv ne-am axat doar pe subeșantionare, eliminarea unei linii din n și a unei coloane din n , respectiv păstrarea a $(n-1)^2$ pixeli din n^2 . Reglajul fin a fost îmbunătățit în sensul că adaugarea sau eliminarea de linii și coloane nu se mai face la marginile imaginii, ci tot uniform, prin adaugarea/eliminarea unei linii/coloane din m . Ușoara scădere a ratei de compresie este compensată de afișarea directă, după compresie, a întregii imagini. Procedura a fost extinsă și pentru planele de cromaticitate, extinzând în mod corespunzător informația adițională pentru fiecare plan. Procedura de subeșantionare îmbunătățită a fost implementată în Matlab și testată.

Activitatea 3.2. Elaborare compresor color prin integrare module predicție color și pregătire informație adițională în compresor nivele de gri

Compresorul pentru imagini cu nivele de gri a fost extins prin integrarea modulului pentru subeșantionare imagini color, pregătire informație adițională și a modulului pentru controlul distorsiunilor.

Modulul pentru informație adițională pregătește datele ce urmează a fi inserate în imaginea eșantionată și setul de parametri necesari decodării și recuperării datelor inserate. Atât liniile eliminate cât și coloanele eliminate se concatenează separat ca două subimagini color dreptunghiulare. Fiecare subimagine color este transformată din RGB în YCrCb, planele sunt decorelate prin predicție și compresate fără pierderi cu JPEG 2000. Setul de parametri cuprinde dimensiunea inițială a imaginii, valorile parametrilor de subeșantionare și ajustare, sensul ajustării fine, precum și toate datele suplimentare necesare decodării pentru fiecare plan (praguri, hărți etc.).

Modulul de control al distorsiunilor controlează rata de inserție și, implicit, aspectul imaginii compresate (prin controlul distorsiunii introduse prin inserție). Reducerea distorsiunilor are ca efect îmbunătățirea calității imaginii compresate, imagine care devine mai puțin zgomotoasă. Reducerea capacității de inserție trebuie corelată cu volumul de date care trebuie inserat. Controlul se realizează, în principal, reglând pragurile de inserție. Reducerea capacității

de inserție nu este uniformă pentru cele 3 plane. Mai precis, reducerea este mai mică pentru luminanță și mai puternică pentru planele de crominanță. Am considerat o reducere în trepte, pe trei nivele de calitate (buna, medie și slabă). Am renunțat la capacitatea maximă de inserție raportată în etapa precedentă din cauza artefactelor supărătoare (zgomot, culori false).

Prototipul compresorului pentru imagini color a fost implementat în Matlab integrând modulul de subeșantionare, modulul pentru pregătirea informației adiționale și modulul de control al distorsiunilor. Împreună cu compresorul, am dezvoltat și decompresorul care extrage informația inserată, reface imaginea subeșantionată, reface liniile și coloanele eliminate și reconstruiește fără eroare imaginea color originală.

Tot în această etapă, pornind de la inserția reversibilă pentru perechi, [1], a fost dezvoltat un algoritm de substituție a bitului cel mai puțin semnificativ (LSB) cu distorsiune scăzută care are aceleași performanțe medii ca algoritmi actuali publicați în literatură, și, în plus, are avantajul că nu generează depășiri pentru pixelii saturați. Astfel, pentru imagini cu un procent semnificativ de pixeli saturați, algoritmul nostru depășește algoritmi publicați în literatură [2,3]. Spre deosebire de algoritmi performanți tip *LSB matching*, [2,3], care ajustează biții cei mai puțin semnificativi ca să se potrivească cât mai bine cu datele care trebuie inserate, algoritmul nostru codează secvența de date astfel încât să se potrivească cu LSB-urile. Algoritmul nostru codează perechi de biți care substituie LSB-urile a 3 pixeli astfel încât, în cazul cel mai rău, să nu modifice mai mult de un LSB. Algoritmul furnizează maximum $2/3$ bpp la o eroare pătrată medie de 0.250. Cu alte cuvinte, la capacitatea maximă, în medie, doar un LSB din 4 este modificat. Până la $2/3$ bpp, algoritmul introduce aceeași distorsiune ca [2]. Limitarea în capacitate la $2/3$ bpp poate fi eliminată inserând, pe același principiu, grupuri de n biți în $n+1$ pixeli. Varianta extinsă este eficientă pentru cazul $n=2m$ și permite inserția a $\frac{n}{n+1}$ bpp la o eroare pătrată medie de $\frac{1}{2} - \frac{1}{2^{2m+1}} C_{2m}^m$, unde C_{2m}^m reprezintă combinații de $2m$ luate câte m . Astfel, pentru $n=4$, algoritmul furnizează 0,8 bpp la o eroare pătrată medie de 0,3125 șamd. Deoarece algoritmul nostru nu generează depășiri, pentru imagini cu procent semnificativ de pixeli saturați, operează la o distorsiune mai mică decât [2,3]. Rezultatele obținute au fost trimise pentru publicare la *IEEE Signal Processing Letters*.

Activitate 3.3 Testare și validare compresor color

Compresorul color și decompresorul aferent au fost testate și rezultatele au fost validate. Prezentăm rezultatele pentru compresie fără pierderi/decompresie pentru setul de test Kodak. Din

teste rezultă că pentru imagini naturale color, este eficientă o subeșantionare prin pastrarea a 2 linii din 3 și a două coloane din 3, ceea ce reprezintă o reducere a dimensiunii imaginii la 4/9, respectiv 44,4%. Ajustarea fină depinde de calitatea dorită și de conținutul imaginii (zone uniforme versus texturi) reflectată în calitatea predicției. Am considerat 3 nivele de calitate (bună, medie, slabă).

TABEL 1. Rezultate compresor color

Imagine	Calitate buna [kB]	Calitate medie [kB]	Calitate slaba [kB]	JPEG-2000 [kB]	PNG [kB]	JPEG-LS [kB]
Kodim01	620.18	587.60	573.23	498.44	719.24	866.60
Kodim02	569.53	534.75	511.99	439.81	603.51	686.88
Kodim03	504.03	474.67	455.57	388.40	491.10	593.85
Kodim04	569.53	534.75	511.99	449.26	622.49	716.67
Kodim05	664.40	638.98	616.79	519.20	767.20	870.14
Kodim06	587.60	554.85	536.27	460.37	604.45	747.17
Kodim07	534.75	503.04	484.37	408.18	553.05	639.52
Kodim08	672.98	635.68	625.07	534.67	769.99	922.42
Kodim09	540.90	507.99	488.74	434.55	569.24	674.75
Kodim10	549.67	514.50	497.09	442.48	579.55	682.65
Kodim11	578.53	549.67	528.63	446.00	606.47	735.87
Kodim12	532.20	499.08	483.40	415.56	518.58	631.04
Kodim13	696.11	683.34	658.71	569.31	803.43	931.00
Kodim14	620.18	587.60	573.23	487.71	675.98	788.53
Kodim15	569.53	536.79	516.01	431.84	598.22	697.42
Kodim16	533.72	503.02	487.27	421.18	521.73	663.07
Kodim17	559.56	528.63	507.00	441.24	587.97	700.10
Kodim18	664.40	631.23	617.42	533.99	762.64	839.06
Kodim19	587.60	549.67	531.18	471.44	655.74	781.35
Kodim20	522.05	484.37	465.08	387.68	480.92	594.68
Kodim21	596.73	559.56	540.90	468.58	622.12	743.80
Kodim22	620.18	587.60	564.79	484.51	685.52	774.78
Kodim23	532.20	492.16	477.54	408.22	544.53	631.63
Kodim24	631.23	600.53	578.53	488.03	689.84	808.91
Medie	585.74	553.34	534.62	459.61	626.40	738.41

Rezultatele numerice sunt prezentate în tabelul 1. Impreună cu rezultatele obținute cu compresorul nostru la cele trei calitati (coloanele 2-4), prezentăm rezultatele obținute cu JPEG-LS

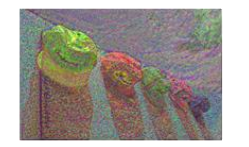
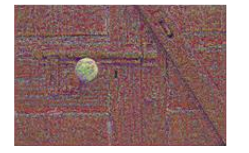
(col. 5), PNG (col. 6) și JPEG 2000 (col. 7). După cum se poate vedea, rezultatele noastre depășesc cele obținute cu JPEG-LS și PNG și se situează sub JPEG 2000.

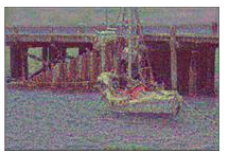
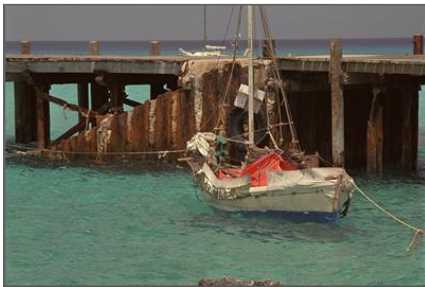
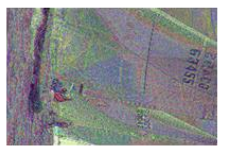
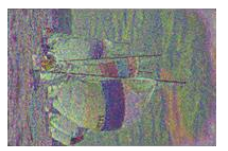
Față de compresia fără pierderi PNG, în medie, dimensiunea la compresia de calitate bună este cu 6.9% mai mică. Castigul cel mai mare este de 15,97% (Kodim01), iar cel mai mic este 7,88% (Kodim20). Pentru varianta de calitate slabă, câștigul mediu este de 19,24%, cu câștig maxim 25,47% (Kodim01) și minim 3,40% (Kodim13). Rezultatele față de compresia cu JPEG-LS sunt și mai bune. Anume un câștig mediu de 26,06% pentru varianta de calitate bună și de 38,11% pentru versiunea de calitate slabă.

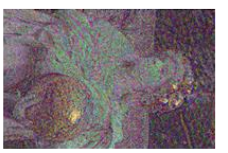
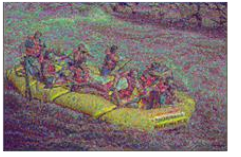
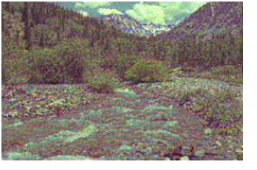
JPEG 2000 are rezultate mai bune decât compresorul propus. Astfel, față de JPEG-2000, în medie, dimensiunea la compresia de calitate bună este cu 21% mai mare. Diferența maximă este de 25,74% (Kodim20), iar cea minimă de 18,22% (Kodim13). Pentru varianta de calitate slabă, diferența medie este de 14%, cu diferența maximă 16,64% (kodim20) și minimă 10,99% (Kodim13). Pe de altă parte, trebuie să accentuăm faptul că, imaginile compresate sunt perfect inteligibile, conținutul lor fiind vizibil fără nicio prelucrare.

Prezentăm în continuare imaginile originale și imaginile compresate pentru evaluarea artefactelor vizuale. In prima coloană sunt prezentate originalele, imaginile compresate la calitate bună în coloana a doua, la calitate medie în coloana a treia și la calitate slabă în ultima coloană. Imaginile sunt reprezentate la scară, în funcție de numărul de linii și coloane rămas după subeșantionare și ajustare fină. După cum se poate observa, imaginile compresate sunt perfect inteligibile și reprezintă copii la dimensiune redusă ale imaginilor originale. Din punctul de vedere al conținutului, întreaga informație din imaginile originale se regăsește în imaginile compresate.

De asemenea, se observă prezența zgomotului și a artefactelor de culoare, supărătoare în special la calitate slabă (de exemplu, la Kodim03, Kodim04, Kodim20 etc.). In cazul compresiei la calitate medie, artefactele și zgomotul sunt prezente, însa, în general, sunt mai puțin supărătoare. In cazul compresiei la calitate bună, nici zgomotul și nici artefactele de culoare nu deranjează. Inlocuirea versiunii slabe cu cea medie conduce la o pierdere medie în compresie (o creștere a dimensiunii cu 3,5%), dar la o îmbunătățire semnificativă a calitații imaginii. La înlocuirea versiunii slabe cu cea bună pierderea este ceva mai mare, 9,56%, dar câștigul în calitate este semnificativ.









Activitatea 2.9. Diseminare.

Un articol a fost prezentat la 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence-ECAI, 2022, conferinta indexata ISI, un articol a fost trimis spre evaluare pentru publicare la revista *IEEE Signal Processing Letters*, revista Q1. Astfel:

1. An improved automatic periodic noise removal algorithm for microscopic images, M.G. Ionita, H.G. Coanda, 14th Intl. Conf. on Electronics, Computers and Artificial Intelligence-ECAI, 2022
2. Low Distortion LSB Replacement, D. Coltuc, articol trimis la *IEEE Signal Processing Letters*.

Bibliografie

- [1] B. Ou, X. Li, Y. Zhao, R. Ni and Y.-Q. Shi, "Pairwise Prediction-Error Expansion for Efficient Reversible Data Hiding", *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 22, no. 12, pp. 5010–5021, 2013.
- [2] J. Mielikainen, "LSB matching revisited", *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 13, no. 5, pp. 285–287, 2006.
- [3] X. Li, B. Yang, D. Cheng and Zeng, "A generalization of LSB matching", *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 16, no. 2, pp. 69–72, 2009.
- [4] I. Caciula, H.G Coanda and D. Coltuc, "Multiple Moduli Prediction Error Expansion Reversible Data Hiding", *Signal Process.: Image Comm.*, vol.71, pp. 120-127, 2019.
- [5] I.-C Dragoi and D. Coltuc, "Local-Prediction-Based Difference Expansion Reversible Watermarking", *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 23, no. 4, pp. 1779–1790, 2014.
- [6] X. Li, B. Yang and T. Zeng, "Efficient Reversible Watermarking Based on Adaptive Prediction-Error Expansion and Pixel Selection", *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 20, no. 12, pp. 3524–3533, 2011.

Director proiect,
prof. dr. ing. Dinu COLTUC

