



Departamentul Automatică și Informatică Industrială  
Facultatea Automatică și Calculatoare  
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica  
București



# PROIECT – Codificarea informației audio-video cu grad înalt de siguranță

## Standardul JPEG 2000

Coordonator

Prof. Dr. Ing. Daniela Hossu

Studenti

Marius-Andrei Saioc

Maria-Cristina Sima

2024

## CUPRINS

1	Introducere .....	2
2	Cerințe funcționale ale aplicației .....	5
3	Arhitectura funcțională .....	8
4	Bibliografie .....	12

# 1 INTRODUCERE

În contextul actual al tehnologiei informației, în care volumul de date vizuale crește într-un ritm accelerat, eficiența în stocarea și transmiterea imaginilor a devenit esențială pentru diverse aplicații industriale și comerciale. Acesta este un domeniu în care standardul JPEG 2000, introdus de Joint Photographic Experts Group, joacă un rol esențial. Standardul, succesor al popularului format JPEG, a fost dezvoltat cu scopul de a aborda limitările acestuia din urmă și de a răspunde cerințelor tot mai complexe ale utilizatorilor și ale sistemelor moderne.

JPEG 2000 se distinge prin utilizarea transformatei wavelet, în contrast cu transformata discretă a cosinusului (DCT) folosită de predecesorul său [1]. Această abordare permite o mai bună separare și reprezentare a diferitelor niveluri de detalii și texturi dintr-o imagine, facilitând astfel o comprimare mai eficientă și mai adaptabilă. În plus, standardul oferă suport pentru comprimare atât cu pierderi, cât și fără pierderi, oferind utilizatorilor flexibilitatea de a alege între integritatea absolută a datelor și necesitățile de reducere a lățimii de bandă.

O caracteristică remarcabilă a JPEG 2000 este capacitatea sa de a gestiona imaginile într-un mod progresiv sau ierarhic [2]. Acest lucru înseamnă că o versiune de rezoluție mai scăzută a unei imagini poate fi inițial transmisă, urmată de detalii suplimentare care permit reconstrucția progresivă a rezoluției complete. Această proprietate este deosebit de valoroasă în aplicații unde viteza de transmisie a datelor este limitată sau unde utilizatorii necesită un acces rapid la vizualizări preliminare ale conținuturilor de înaltă rezoluție.

Având în vedere aceste aspecte tehnologice, standardul JPEG 2000 a fost adoptat în numeroase domenii, inclusiv în arhivarea digitală, radiologia medicală, și în transmisiile video digitale, unde calitatea și eficiența în gestionarea imaginilor sunt critice. Astfel, standardul nu numai că a evoluat de la necesitățile fundamentale ale stocării imaginilor, dar a și facilitat dezvoltarea de noi aplicații și servicii care depășesc capacitatea standardelor anterioare.

JPEG-2000 cuprinde o gamă completă de caracteristici, printre care se remarcă [2]:

1. Performanțe de ultimă generație în materie de compresie cu rată de biți redusă: Această caracteristică evidențiază capacitatea JPEG-2000 de a obține rate de compresie ridicate, menținând în același timp calitatea imaginii, ceea ce îl face eficient pentru reducerea dimensiunilor fișierelor fără pierderi semnificative de detalii. Cu ratele sale ridicate de compresie, un JPEG 2000 poate comprima o imagine cu până la 200% mai mult decât un JPEG, menținând în același timp aceeași calitate în comparație cu un fișier de aceeași dimensiune [3].
2. Transmiterea progresivă în funcție de calitate, rezoluție sau localitate spațială.
3. Compresie fără pierderi și cu pierderi: compresia cu pierderi sacrifică o anumită calitate a imaginii pentru a obține rapoarte de compresie mai mari, în timp ce compresia fără pierderi păstrează toate detaliile imaginii fără nicio pierdere. Este important de menționat că JPEG-2000 permite decompresia fără pierderi indiferent de tipul de progresie utilizat în timpul compresiei.
4. Pan și zoom (cu decompimarea doar a doar a porțiunilor necesare din data comprimată): JPEG-2000 suportă funcționalitatea interactivă de pan și zoom,

permițând utilizatorilor să vizualizeze diferite părți ale imaginii la diferite niveluri de detaliu.

5. Procesarea în domeniu comprimat (de exemplu, rotație și decupare).
6. Codificarea regiunii de interes prin progresie: această caracteristică permite codificarea și decodificarea unor regiuni de interes specifice din cadrul imaginii la diferite niveluri de detaliu, oferind flexibilitate în prioritizarea anumitor zone pentru o reprezentare de calitate superioară.
7. Implementare cu memorie limitată: conceput pentru a se adapta la sistemele cu resurse de memorie limitate, ceea ce îl face potrivit pentru utilizarea în mediile în care constrângerile de memorie reprezintă o preocupare, cum ar fi sistemele embedded sau dispozitivele mobile. Pentru aceeași calitate subiectivă a imaginii, fișierele de imagine JPEG2000 tind să fie cu 20 până la 50% mai mici decât echivalentele lor JPEG, în funcție de tipul de imagini [4].

JPEG2000 funcționează printr-o serie de etape descrise în procesul de codificare [5]: Standardul JPEG 2000 propune un encoder, care în timpul codării, împarte o imagine în structuri rectangulare numite plăci (tiles), tratate și codate separat ca imagini diferite.

În primul rând, fiecare placă este supusă unei transformări wavelet, împărțind-o în subbenzi wavelet, folosind filtrul (5,3) pentru codarea fără pierderi și (9,7) pentru cea cu pierderi.

Transformarea discretă a undelor (DWT) descompune imaginea în subbenzi de înaltă și joasă frecvență. Urmează cuantificarea, unde coeficienții wavelet sunt cuantificați scalar în funcție de nivelul de compresie dorit. Această etapă implică o cuantificare scalară uniformă cu o zonă moartă la origine, asigurând o compresie cu pierderi și menținând în același timp calitatea vizuală.

În continuare, subbenzile cuantificate sunt împărțite în blocuri de cod pentru codificarea entropică. Codificarea prin entropie se realizează cu ajutorul algoritmului EBCOT (Embedded Block Coding with Optimized Truncation). EBCOT exploatează redundanțele în interiorul și între planurile de biți pentru a genera în mod eficient fluxul de cod. Rezultatul este apoi prelucrat în continuare de către Binary Arithmetic Coder (BAC) pentru a genera fluxul de biți comprimat final.

Formatarea fișierului și formarea straturilor se realizează prin ajustarea distorsiunii pentru diverse rate de biți, creându-se un flux de biți final bazat pe ratele disponibile, astfel încât chiar dacă rezoluția necesară sau rata nu sunt cunoscute în timpul codării, se generează cea mai bună imagine posibilă la o rată de biți dată.

Filtrele LeGall 5/3 și Daubechies 9/7 sunt componente cheie ale standardului JPEG2000, servind ca transformări wavelet pentru compresie [6]. Aceste filtre au fost alese în mod special pentru a fi incluse datorită proprietăților lor matematice unice și a adecvării lor la sarcinile de compresie a imaginilor.

Filtrul LeGall 5/3 se remarcă prin lungimea sa scurtă și prin natura sa biortogonală simetrică. Acesta oferă doi factori de regularitate, ceea ce îl face foarte potrivit pentru

compresia reversibilă sau fără pierderi. Funcția sa de scalare de sinteză este o funcție liniară B-spline, ceea ce contribuie la eficiența sa în păstrarea calității imaginii în timpul compresiei.

Pe de altă parte, filtrul Daubechies 9/7 se remarcă prin caracteristicile sale apropiate de ortogonalitate și designul simetric. În ciuda performanțelor asimptotice ceva mai puțin optime în comparație cu alte wavelets cu patru momente de dispariție, oferă proprietăți de aproximare excelente și limite Riesz strânse. Acest lucru îl face foarte eficient pentru sarcinile de compresie cu pierderi.

Ambele filtre au fost supuse unei evaluări riguroase în cadrul teoriei undelor pentru a se asigura că sunt adecvate pentru standardul JPEG2000.

Într-un studiu cuprinzător [7] care a evaluat diverse codec-uri de imagine și video, inclusiv JPEG, JPEG LS, JPEG XR, JPEG 2000, JPEG XT, HEVC, VVC și EVC, eficacitatea fiecărui codec a fost evaluată cu ajutorul unor parametri de calitate, cum ar fi PSNR și SSIM. În mod interesant, JPEG 2000 s-a dovedit a fi extrem de competent în ceea ce privește compresia imaginilor în tonuri de gri, depășind toate celelalte codec-uri în ceea ce privește calitatea imaginii de ieșire.

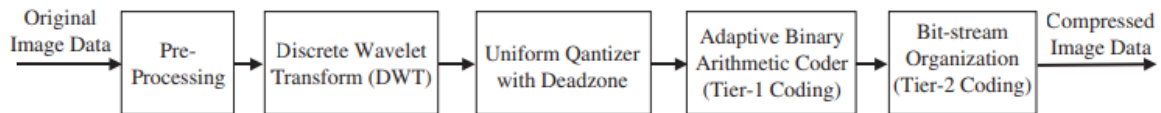
În ciuda calității superioare a imaginii și a capacităților sale de compresie, JPEG2000 nu a fost niciodată adoptat pe scară largă din mai multe motive [8]. În primul rând, nu era compatibil cu formatul JPEG original, necesitând investiții semnificative în noi standarde de codare și infrastructură. În plus, manipularea fișierelor JPEG2000 necesita mai multe resurse, necesitând mașini cu memorie și putere de procesare mai mare, ceea ce a reprezentat o provocare la începutul anilor 2000, când resursele informatice erau mai limitate. Ca referință, un calculator obișnuit avea pe atunci în jur de 64 MB de memorie.

În plus, dilema de tipul "oul sau găina" a împiedicat acceptarea sa. Producătorii de aparate foto și site-urile web au ezitat să adopte formatul până când acesta nu a devenit foarte popular, în timp ce consumatorii au fost reticenți în a-l adopta până când nu a fost susținut pe scară largă. Acest impas a blocat progresul JPEG2000 și, chiar și în prezent, principalele platforme de partajare a fotografiilor, precum Flickr și 500px, nu suporta formatul.

În concluzie, în timp ce JPEG2000 a oferit îmbunătățiri semnificative față de formatul JPEG original, problemele de incompatibilitate și lipsa unui suport larg răspândit l-au limitat la un statut de nișă. În ciuda potențialului său, JPEG2000 rămâne un format în pericol de dispariție, în așteptarea unei potențiale revoluții în domeniul imaginii care i-ar putea schimba soarta.

## 2 CERINȚE FUNCȚIONALE ALE APLICAȚIEI

Aplicația destinată procesării imaginilor conform standardului JPEG2000 este proiectată pentru a îndeplini o serie de funcții critice care includ citirea, preprocesarea, compresia, decompresia și afișarea datelor imagistice. Aceasta trebuie să poată gestiona imagini care includ canale alfa, adaptându-le adecvat pentru procesare. De asemenea, aplicația trebuie să permită utilizatorilor să vizualizeze imaginile inițiale și rezultatele procesării prin intermediul unei interfețe grafice.



Etapile principale ale procesării unei imagini în cadrul standardului JPEG2000 sunt:

### a) Preprocesare

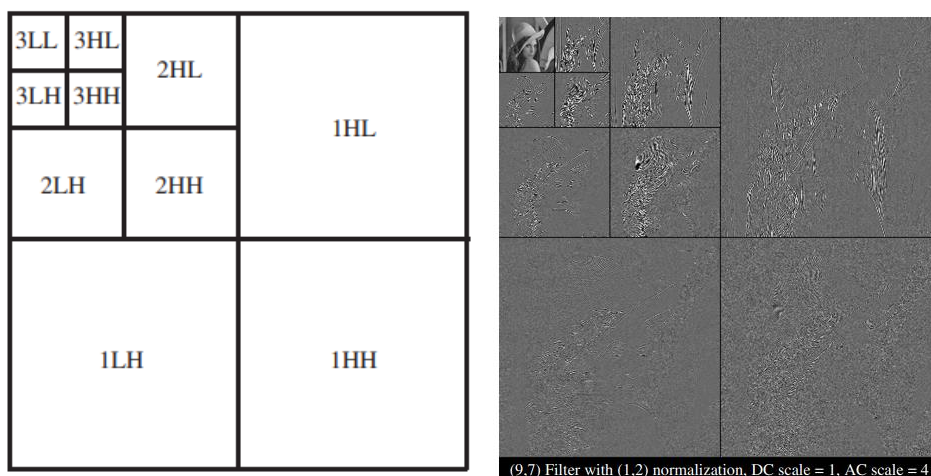
Un pas important în preprocesare este ajustarea valorilor fiecărui component al imaginii, cunoscut sub numele de corecție DC, unde se scade o valoare fixă (de obicei  $2^8-1$ ) pentru a centra valorile în jurul zero, facilitând astfel procesarea ulterioară. Această ajustare simplifică implementarea ulterioară, deoarece elimină problemele de reprezentare numerică care pot apărea în calculul standard JPEG2000.

În plus, o componentă esențială în preprocesarea datelor imagistice pentru JPEG2000 este conversia spațiului de culoare din RGB (Red, Green, Blue) în YCbCr. Această transformare este crucială deoarece separă informațiile de luminanță (Y) de cele de crominanță (Cb și Cr), permițând o compresie mai eficientă. Luminanța, care reprezintă intensitatea luminii, poartă majoritatea informațiilor vizuale percepute de ochiul uman, în timp ce crominanța descrie informații despre culoare care sunt mai puțin sensibile la schimbările de detaliu. Prin urmare, în JPEG2000, această descompunere permite aplicarea unor rate diferite de compresie între luminanță și crominanță, optimizând astfel performanța generală a compresiei în funcție de caracteristicile perceptive ale sistemului vizual uman. Conversia este efectuată folosind o matrice de transformare specifică, care ajustează fiecare componentă RGB în valorile corespunzătoare YCbCr, pregătind astfel imaginea pentru etapele ulterioare de procesare și compresie.

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.16875 & -0.33126 & 0.500 \\ 0.500 & -0.41869 & -0.08131 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

### b) Transformata Discretă Wavelet (DWT)

DWT este utilizată pentru a descompune imaginea în sub-benzile de frecvență, oferind o reprezentare multirezoluție a imaginii. Procesul implică filtrarea succesivă a rândurilor și coloanelor imaginii, generând coeficienți pentru frecvențe joase (LL) și înalte (LH, HL, HH) la fiecare nivel de descompunere. Această transformare permite o separare eficientă a informațiilor importante ale imaginii de cele mai puțin semnificative, facilitând compresia eficientă prin focalizarea pe detalii semnificative.



### c) Cuantizator Uniform cu Deadzone

În cadrul procesului JPEG2000, cuantizarea joacă un rol esențial, utilizându-se un cuantizator uniform cu zonă moartă pentru a eficientiza compresia. Acest tip de cuantizator este proiectat astfel încât să includă o zonă moartă centrală, caracteristică esențială pentru a minimiza impactul erorilor de cuantizare pe coeficienții de mică valoare, care sunt de obicei mai puțin relevanți pentru percepția umană a calității imaginii. Zona moartă, poziționată în jurul valorii zero, ignoră micile variații ale coeficienților, ceea ce reduce efectiv numărul de biți necesari pentru a descrie aceste variații minore.

Acest cuantizator este conceput să funcționeze prin ajustarea dimensiunii zonei moarte în funcție de fiecare subbandă de coeficienți procesată. Prin aplicarea unei dimensiuni variabile a zonei moarte, cuantizatorul poate fi mai sensibil acolo unde coeficienții reflectă detalii importante ale imaginii și mai puțin sensibil în zonele unde detaliile sunt mai puțin vizibile. Aceasta permite o mai bună adaptare a coeficienților cuantizați la importanța lor percepută și la caracteristicile specifice ale fiecărui subband de frecvențe.

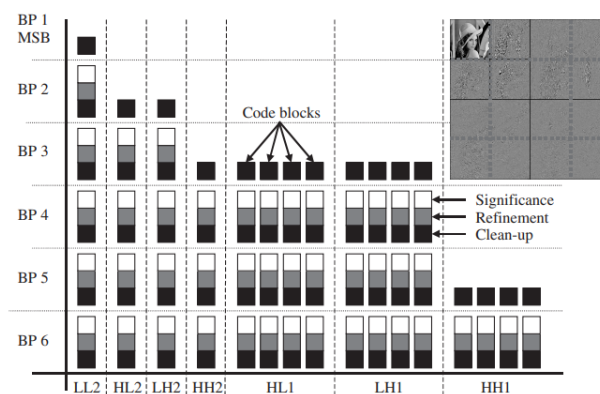
Utilizarea unui cuantizator cu zonă moartă contribuie semnificativ la eficiența compresiei prin reducerea spațiului de stocare necesar și prin optimizarea ratei de transfer al datelor, fără a sacrifica în mod semnificativ percepția calității de către utilizator. Această metodă de cuantizare este esențială pentru atingerea unui echilibru optim între compresie și calitate, facilitând utilizarea JPEG2000 în aplicații unde eficiența compresiei și calitatea imaginii sunt critice.

#### d) Codor Aritmetic Binar Adaptiv

Codificarea aritmetică binară adaptivă este o componentă centrală a procesului de compresie JPEG2000, oferind o eficiență remarcabilă în reducerea datelor. Această metodă de compresie entropică se distinge prin capacitatea sa de a modela și ajusta probabilitățile simbolurilor individuale în timp real, pe măsură ce fluxul de date este procesat. Spre deosebire de alte forme de codare, cum ar fi Huffman, codificarea aritmetică nu necesită dezvoltarea de coduri separate pentru fiecare simbol, ci ajustează probabilitățile de codare în funcție de frecvența apariției simbolurilor pe parcursul secvenței de date.

În cadrul JPEG2000, codorul aritmetic adaptiv este utilizat pentru a comprima coeficienții cuantizați, transformându-i într-un flux de biți extrem de compact. Acest codor își adaptează continuu estimările de probabilitate pe baza valorilor curente din secvență, oferind o compresie mai eficientă decât codificările tradiționale. Un avantaj semnificativ al acestei abordări este că permite codificarea coeficienților la o rată de biți foarte scăzută, minimizând astfel dimensiunea finală a fișierului comprimat fără a compromite semnificativ calitatea imaginii reconstruite.

Adaptabilitatea codorului aritmetic este deosebit de valoroasă în tratamentul coeficienților cuantizați din subbenzile de frecvență joasă, unde precizia și retenția detaliilor sunt esențiale pentru calitatea perceptuală a imaginii. Prin ajustarea probabilităților de codare în funcție de contextul specific al datelor imagistice, codorul asigură o eficiență optimă în compresie, reducând substanțial redundanța datelor și maximizând performanța algoritmului de compresie JPEG2000. Această abordare nu doar că îmbunătățește rata de compresie, dar și eficientizează procesul de decodificare, esențial pentru aplicații în timp real și pentru dispozitivele cu resurse limitate de procesare.



#### e) Organizarea fluxul de biți

Organizarea fluxului de biți în JPEG2000 este complexă și oferă flexibilitate în gestionarea datelor comprimate. Aceasta include structuri care permit accesul aleator, codarea regiunilor de interes și scalabilitatea rezoluției sau calității. Fluxul de biți este organizat în pachete și straturi, permițând reconstrucția parțială a imaginii din părți ale fluxului de biți, fără a necesita descărcarea întregului set de date. Aceasta facilitează utilizarea eficientă în medii unde lățimea de bandă sau capacitatea de stocare este limitată.



### 3 ARHITECTURA FUNCȚIONALĂ

Ca inspirație în procesul de implementare s-a folosit în principal Capitolul 1 din cartea "THE JPEG 2000 SUITE" [9], în care este descris pe larg sistemul de codare de bază al standardului JPEG2000 (Part 1 ISO/IEC, 2004a), așa cum a fost publicat în anul 2000.

Procesul începe cu citirea imaginii de pe disc, utilizând funcția `read_image`. Această funcție încarcă imaginea folosind biblioteca `skimage`, eliminând canalul alfa, dacă este prezent, pentru a simplifica manipularea ulterioară.

Următorul pas este preprocesarea, în care imaginea RGB este convertită în spațiul de culoare YCbCr prin funcția `preprocess_image`. Conversia este necesară pentru a descompune imaginea în componente care reprezintă luminozitatea (Y) și cromaticitatea (Cb și Cr), facilitând compresia eficientă prin tratament diferit aplicat componentelor. Normalizarea este realizată prin scăderea valorii 128 de la fiecare element al matricei, pregătind datele pentru transformările wavelet.

Aplicația implementează apoi Transformarea Discretă Wavelet (DWT) folosind biblioteca `pywt`. Funcția `dwt_image` aplică DWT pe fiecare canal al imaginii YCbCr utilizând filtrul 'bior4.4'. Această transformare produce patru seturi de coeficienți (LL, LH, HL, HH) pentru fiecare canal, reprezentând aproximații și detalii la diferite niveluri de frecvență. În cadrul proiectului s-a folosit doar primul nivel de descompunere, lucrându-se doar cu primele patru seturi de coeficienți.

Cuantizarea, conform funcției `quantize` din cod, este esențială pentru reducerea numărului de biți necesari pentru stocarea coeficienților wavelet. Acest pas implică aplicarea unor praguri de cuantizare asupra fiecărui set de coeficienți (LL, LH, HL, HH) pentru fiecare canal de culoare al imaginii. Pragurile sunt stabilite astfel încât să diminueze precizia coeficienților într-o manieră controlată, ceea ce permite reducerea volumului de date fără a compromite semnificativ calitatea vizuală a imaginii reconstruite. Fiecare coeficient este ajustat prin scăderea unui prag și apoi împărțirea la pasul de cuantizare, urmată de înmulțirea cu semnul original al coeficientului. Această abordare asigură că numai variațiile semnificative ale coeficienților sunt păstrate, optimizând astfel raportul dintre compresie și pierderea de calitate.

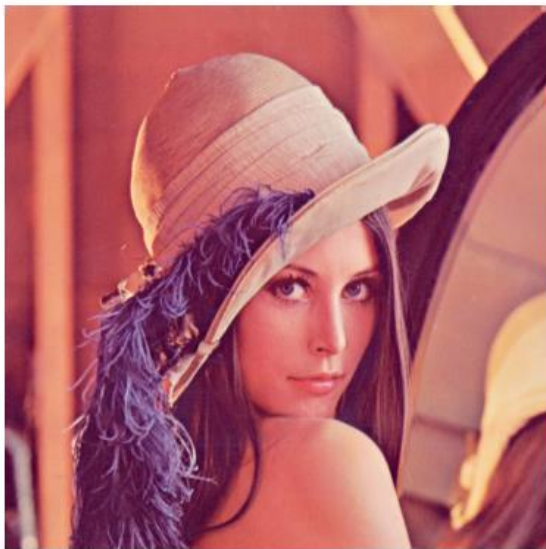
Codificarea entropică, realizată prin funcția `entropy_encode`, convertește coeficienții cuantizați într-un flux de biți compact folosind un codor aritmetic binar adaptiv. Acest pas este crucial pentru eficientizarea compresiei deoarece permite stocarea informațiilor în cel mai redus format posibil. În practică, codorul aritmetic evaluează fiecare coeficient cuantizat, codificându-i magnitudinea și semnul. Magnitudinea fiecărui coeficient este codificată ca o serie de biți, unde fiecare bit reprezintă o unitate de magnitudine până când întreaga valoare este transmisă. Această metodă de codificare este foarte eficientă pentru coeficienții cu valori mari, deoarece compresează informația într-un număr mic de biți, reflectând distribuția probabilităților coeficienților care apare în imagini naturale.

La finalul procesului de compresie, fluxul de biți este organizat conform specificațiilor JPEG2000, care include crearea unor antete adecvate pentru stream și organizarea datelor într-

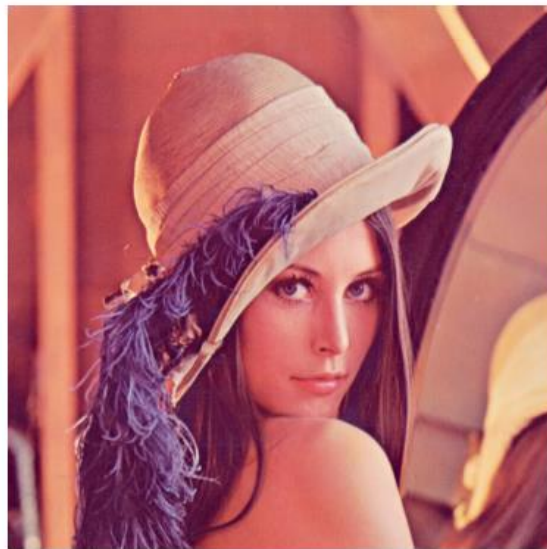
un format structurat. Această organizare facilitează decodarea și accesul eficient la informații în etapele de decompresie.

Procesul de decompresie urmează etapele inverse. Începând cu parsarea bitstream-ului pentru extragerea datelor codificate, urmată de decodificarea aritmetică a coeficienților, aplicarea cuantizării inverse, transformarea wavelet inversă și în final reconversia în spațiul de culoare RGB. În toate aceste etape, se pune accent pe recuperarea fidelă a imaginii originale, cât și pe menținerea unei eficiențe ridicate a procesului.

Ca rezultate, aplicația reușește codificarea și decodificarea JPEG2000 pentru primul nivel de decompoziție. Este de menționat faptul că, în cazul cuantizării și al organizării fluxului de biți s-au folosit versiuni simplificate față de procedurile standard JPEG2000. Astfel s-au simulat codificarea și decodificarea imaginii color Lenna, rezoluție 512x512, folosind o compresie cu pierderi.



Imagine originală



Imagine reconstruită

Ulterior fost efectuată o comparație între rezultatele obținute în proiect și standardul obișnuit JPEG.

- **PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio):**

- **JPEG2000:** PSNR = 37.732 dB
- **JPEG:** PSNR = 33.209 dB

PSNR este o măsură a calității reconstrucției unei imagini comprimate și este exprimată în decibeli (dB). Cu cât valoarea PSNR este mai mare, cu atât imaginea reconstruită este mai fidelă celei originale. În cazul proiectului, JPEG2000 a obținut un PSNR mai mare (aproximativ 38 dB) față de JPEG (aproximativ 33 dB), indicând că JPEG2000 a păstrat mai multă informație și a produs o imagine reconstruită cu o calitate vizuală mai bună.

- **MSE (Mean Squared Error):**

- **JPEG2000:** MSE = 10.959
- **JPEG:** MSE = 31.056

MSE măsoară media pătrată a diferenței între valorile fiecărui pixel din imaginea originală și valorile pixelilor din imaginea reconstruită. O valoare mai mică a MSE indică o discrepanță mai mică între imaginile originală și cea reconstruită. În cazul nostru, MSE-ul pentru JPEG2000 (aproximativ 11) este semnificativ mai mic decât cel pentru JPEG (aproximativ 31), ceea ce arată că JPEG2000 a reușit să minimizeze eroarea de reconstrucție în comparație cu JPEG.

- **Standard Deviation of Difference** (Deviația standard a diferenței):

- **JPEG2000:** Std Difference = 116.1299
- **JPEG:** Std Difference = 123.5582

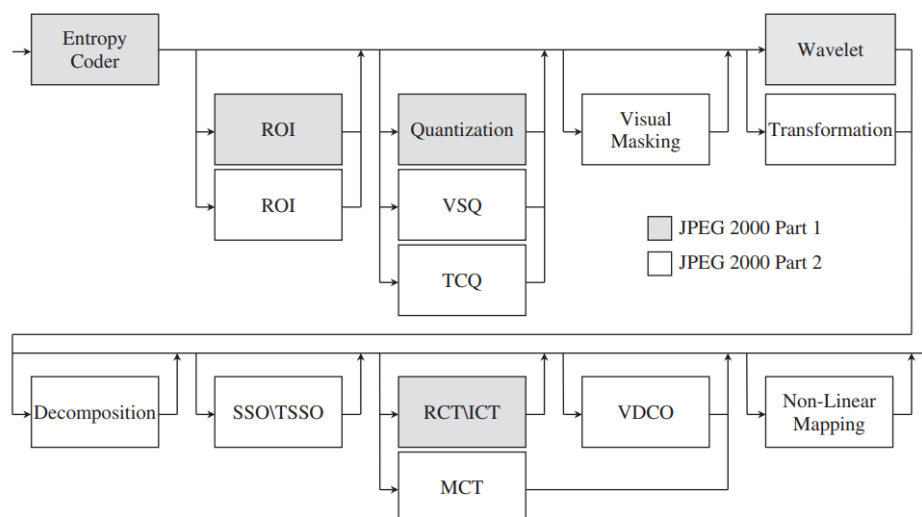
Această măsură exprimă dispersia diferențelor dintre pixelii imaginii originale și cei din imaginea reconstruită. O valoare mai mică indică o reconstrucție mai precisă. În cazul nostru, deviația standard pentru JPEG2000 (aproximativ 116) este mai mică decât cea pentru JPEG (aproximativ 123.5), ceea ce sugerează că JPEG2000 a obținut o mai mare coerență în diferențele dintre pixeli decât JPEG.

**Îmbunătățiri ulterioare:** În cadrul proiectului s-a explorat reconstruirea standardului JPEG2000 (Part 1), așa cum a apărut în forma sa inițială. Pentru finalizarea acestei etape este nevoie de îmbunătățiri la nivelul cuantizorului și organizării fluxului de biți. De asemenea, algoritmul trebuie extins pentru a suporta n niveluri de descompunere. În plus, Codificarea Regiunii de Interes (ROI) și rezistența la erori sunt caracteristici adiționale care fac parte tot din core-ul JPEG2000.

Așa cum se observă în Capitolul 2 [9], standardul JPEG2000 din prezent cuprinde și o multitudine de extensii, apărute ulterior, îndeplinind diverse cerințe din piață, cum ar fi:

- Cuantificarea scalară variabilă (VSQ)
- Descompunere wavelet arbitrară
- Transformare cu componente multiple
- Manipulare geometrică
- Suprapunerea eșantionului unic (SSO/TSSO)
- Regiune de interes extinsă

- Format de fișier extins/metadate (JPX)



## 4 CONCLUZIE

Proiectul realizat a investigat capacitățile tehnologiei JPEG 2000 în contextul actual al creșterii volumului de date vizuale și a necesităților diverse din domeniul stocării și transmiterii eficiente a imaginilor.

Proiectul a demonstrat procesul de codificare JPEG 2000, de la citirea și preprocesarea imaginilor, până la transformarea wavelet, cuantizare și codificare entropică. Implementarea a reușit să simuleze codificarea și decodificarea unei imagini color Lenna, folosind o compresie cu pierderi și evidențiind beneficiile și complexitățile tehnologiei JPEG 2000.

Pentru îmbunătățirea performanței, este necesară rafinarea cuantizorului și a organizării fluxului de biți, extinderea suportului pentru mai multe niveluri de descompunere, și integrarea unor funcționalități suplimentare. Aceste îmbunătățiri vor aduce aplicația mai aproape de standardele moderne ale JPEG2000 și vor permite exploatarea extensiilor apărute ulterior.

## 5 BIBLIOGRAFIE

- [1] Rabbani, M., & Joshi, R. (2002). An overview of the JPEG 2000 still image compression standard. *Signal processing: Image communication*, 17(1), 3-48.
- [2] Marcellin, M. W., Gormish, M. J., Bilgin, A., & Boliek, M. P. (2000, March). An overview of JPEG-2000. In *Proceedings DCC 2000. Data compression conference* (pp. 523-541). IEEE.
- [3] JPEG vs. JPEG 2000: Which is better? | Adobe. (n.d.). <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/comparison/jpeg-vs-jpeg-2000.html>
- [4] Christopoulos, C., Skodras, A., & Ebrahimi, T. (2000). The JPEG2000 still image coding system: an overview. *IEEE transactions on consumer electronics*, 46(4), 1103-1127.
- [5] Andra, K., Chakrabarti, C., & Acharya, T. (2003). A high-performance JPEG2000 architecture. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for video technology*, 13(3), 209-218.
- [6] Unser, M., & Blu, T. (2003). Mathematical properties of the JPEG2000 wavelet filters. *IEEE transactions on image processing*, 12(9), 1080-1090.
- [7] Kumar, S. N., Bharadwaj, M. V., & Subbarayappa, S. (2021, April). Performance Comparison of Jpeg, Jpeg XT, Jpeg LS, Jpeg 2000, Jpeg XR, HEVC, EVC and VVC for Images. In *2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)* (pp. 1-8). IEEE.
- [8] Archambault, M. (2022, June 22). JPEG 2000: The Better Alternative to JPEG That Never Made it Big. PetaPixel. <https://petapixel.com/2015/09/12/jpeg-2000-the-better-alternative-to-jpeg-that-never-made-it-big/>
- [9] Schelkens, P., Skodras, A., & Ebrahimi, T. (2009). *The JPEG 2000 suite*. Wiley.