

**MINISTERUL EDUCATIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII  
MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Facultatea Electronică și Telecomunicații**

**Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice**

Admis la susținere

Șefă departament:

Tîrșu Valentina, conf. univ., dr.

---

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024

**Analiza și dezvoltarea algoritmilor de  
compresie a datelor pentru îmbunătățirea  
calității datelor video transmise prin canalele  
de comunicație**

**Teză de master**

**Student:** Silosiev Dumitru, SISRC-221M

**Conducător:** Sestacova Tatiana, conf. univ., dr.

**Colsultant :** Sorochin German, conf. univ., dr.

**Chișinău, 2024**

## ADNOTARE

**Autor:** Silosiev Dumitru, SISRC-221M

**Tema:** “ Analiza și dezvoltarea algoritmilor de compresie a datelor pentru îmbunătățirea calității datelor video transmise prin canalele de comunicație ”.

**Structura lucrării:** Lucrarea constă din rezumat, introducere, 3 secțiuni, concluzie și bibliografie.

**Cuvinte chei:** metode de compresie, transformare wavelet complexă, compensarea mișcării, funcție de cost.

**Domeniu de cercetare:** Analiza influenței metodelor de compresie și de compensare a mișcării asupra calității imaginilor reconstruite în timpul transmiterii pe canale de comunicație.

**Scopul lucrării:** Analiza și dezvoltarea algoritmilor de compresie a datelor pentru îmbunătățirea calității datelor video transmise pe canalele de comunicație pentru optimizarea capacității rețelelor de transmisie video.

**Obiective:**

1. Analiza metodelor clasice de compresie.
2. Studierea și analiza caracteristicilor principale ale sistemelor de transmisie digitală a datelor.
3. Cercetarea metodelor de compensare a mișcării.
4. Analiza transformată complexă wavelet.
5. Elaborarea unui algoritm de compresie a imaginilor pentru a îmbunătăți calitatea datelor video.
6. Evaluarea comparativă a algoritmilor de compresie existenți și propuși.

**Metodele utilizate:** Caracteristicile de răspuns în frecvență a filtrelor wavelet investigate au fost analizate cu ajutorul instrumentului SPTool din Matlab (secțiunea "Filters") și pachetului IPT (Image Processing Toolbox), precum și a interfeței grafice a utilizatorului (GUI) pentru analiza secvențelor video de test în funcție de metoda aleasă de compensare a mișcării.

**Rezultatele obținute:** Pe baza analizei metodelor și algoritmilor clasici de compresie a datelor, bazate pe metodele de compensare a mișcării și transformarea complexă wavelet, a fost dezvoltat un algoritm de comprimare a imaginilor pentru îmbunătățirea calității datelor video transmise prin canalele de comunicație.

Metoda propusă oferă realizarea cu energie predicției reziduală redusă. S-a demonstrat că, în cazul în care deviația între cadrul curent și cel de referință este redusă, metoda propusă câștigă în comparație cu metodele standarte cu de la 0,2 până la 0,5 dB PSNR predicției reziduală. La aceeași calitate a cadrelor restaurate, metoda propusă reduce volumul fluxului comprimat pentru restul de predicție cuantizat în cazul 2 imagini: cu de la 20 până la 25% pentru video „720p\_city” și cu de la 6 până la 8% pentru video „720p\_stockholm”.

Prin urmare, metoda propusă este mai potrivită pentru compresia informației decât metodele standarte și poate fi recomandată pentru aplicarea practică în procesarea și transmiterea imaginilor.

## ANNOTATION

**Author:** Silosiev Dumitru, SISRC-221M

**Topic:** "Analysis and development of data compression algorithms to improve the quality of video data transmitted through communication channels".

**Structure:** The paper consists of summary, introduction, 3 sections, conclusion and bibliography.

**Keywords:** compression methods, complex wavelet transform, motion compensation, cost function.

**Research field:** Analysis of the influence of compression and motion compensation methods on the quality of reconstructed images during transmission over communication channels.

**The purpose of the work:** Analysis and development of data compression algorithms to improve the quality of video data transmitted on communication channels to optimize the capacity of video transmission networks.

**Objectives:**

1. Analysis of classical compression methods.
2. Study and analysis of the main characteristics of digital data transmission systems.
3. Researching motion compensation methods.
4. Complex wavelet transform analysis.
5. Development of an image compression algorithm to improve the quality of video data.
6. Comparative evaluation of existing and proposed compression algorithms.

**Methods used:** The frequency response characteristics of the investigated wavelet filters were analyzed using the SPTool tool in Matlab ("Filters" section) and the IPT (Image Processing Toolbox) package, as well as the graphical user interface (GUI) for the analysis of video sequences of the test depending on the chosen motion compensation method.

**Results obtained:** Based on the analysis of classical data compression methods and algorithms, based on motion compensation methods and complex wavelet transformation, an image compression algorithm was developed to improve the quality of video data transmitted through communication channels.

The proposed method provides the realization with reduced residual prediction energy. It has been shown that, if the deviation between the current frame and the reference frame is small, the proposed method wins compared to standard methods by 0.2 to 0.5 dB residual prediction PSNR.

At the same quality of the restored frames, the proposed method reduces the volume of the compressed stream for the quantized prediction residual in the case of 2 images: by 20 to 25% for video "720p\_city" and by 6 to 8% for video "720p\_stockholm" .

Therefore, the proposed method is more suitable for information compression than standard methods and can be recommended for practical application in image processing and transmission.

## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	
<b>1 ANALIZA METODELOR CLASICE DE COMPRESIE DATELOR</b> .....	
1.1 Conceptul de redundanță în teoria compresiei datelor .....	
1.2 Redundanța codului.....	
1.3 Redundanță între elemente .....	
1.4.Redundanță psihovizuală.....	
1.5 Redundanță temporală.....	
1.6 Clasificarea metodelor de compresie.....	
1.7 Metode de compresie fără pierderi.....	
1.8 Metode de compresie cu pierderi.....	
1.9 Algoritm de compresie JPEG.....	
1.10 Prezentare generală a metodelor de compresie a imaginilor în mișcare	
<b>2 ANALIZA ȘI DEZVOLTAREA ALGORITMILOR DE COMPRESIE A IMAGINILOR ÎN REȚELELE DE COMUNICATII</b> .....	
2.1 Principalele caracteristici ale sistemelor digitale de transmisie a datelor.....	
2.2 Circuit de codificare video Dirac.....	
2.3. Dezvoltarea unui algoritm de compresie bazat pe transformarea wavelet complexă	
2.4. Transformată wavelet complexă.....	
<b>3 DEZVOLTAREA UNUI ALGORITM DE COMPRESIE IMAGINII PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII DATELOR VIDEO TRANSMISE PE CANALE DE COMUNICARE</b>	
3.1 Dezvoltarea unei metode de compensare a mișcării.....	
3.2 Compararea eficacității metodelor de compensare a mișcării.....	
<b>CONCLUZIE</b> .....	
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	

## INTRODUCERE

În prezent, există un interes considerabil pentru diversele metode de prelucrare și comprimare a imaginilor și datelor video digitale. Aceasta este legat de dezvoltarea domeniilor științei și tehnicii, cum ar fi cercetarea universului apropiat și îndepărtat, grafica pe calculator, activitățile de aplicare a legii, televiziunea digitală, etc., în care informația are caracteristici atât de imagini statice, cât și în mișcare. În acest context, diversele fluxuri video trebuie să fie stocate și transmise prin canale de comunicare cu o lățime de bandă limitată. Prin urmare, este necesar să se aplice diferite algoritme eficiente de comprimare a datelor, cu scopul de a economisi spațiu pe suporturile fizice de stocare a informației și de a reduce cerințele pentru canalele de transmitere a informațiilor utilizate. În plus, odată cu dezvoltarea televiziunii digitale, crește interesul pentru standardele de comprimare care funcționează în timp real, pentru transmiterea datelor video în direct.

Orice sistem de comunicare și transmiterii de date include un transmițător, un canal de comunicație și un receptor, iar canalul de comunicație trebuie să ofere o viteză necesară de transfer a informației. Pentru a reduce lățimea de bandă necesară canalului de comunicație, este necesar să se elimine redundanța datelor sursă prin comprimarea acesteia înainte de transmisie. Cu cât datele sunt comprimate mai eficient, cu atât costurile sunt mai mici pentru a le transmite și cu atât mai multe programe pot fi transmise pe un anumit canal de comunicație cu lățime de bandă limitată. Echipamentele de procesare a informațiilor se dezvoltă rapid, ceea ce permite creșterea capacității canalului de comunicație. Cu toate acestea, cerințele utilizatorilor serviciilor de comunicații cresc rapid, ceea ce se explică, printre altele, prin apariția formatelor de imagine de ultra-înaltă definiție 4K și 8K. Deci problema comprimării datelor sursă pentru sistemele de televiziune și sistemele de telecomunicații rămâne relevantă. Problema comprimării imaginilor statice și în mișcare este relevantă și pentru crearea centrelor de stocare a imaginilor și videoclipurilor în formă digitală, formate în scopuri medicale, în timpul studiilor spațiale, implementate cu ajutorul senzorilor și camerelor sistemelor de monitorizare. Rezolvarea acestei probleme vă permite să reduceți cantitatea de informație care este stocată pe medii.

Dezvoltarea rapidă a algoritmilor și echipamentelor corespunzătoare pentru compresia digitală a imaginilor statice și în mișcare pentru transmiterea acestora pe canalele de comunicație a asigurat crearea unui număr de rezultate semnificative în dezvoltarea algoritmilor de compresie pentru astfel de imagini standard larg utilizate: JPEG, JPEG-2000, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 (video), H.261, H.262, H.263, H.264 (AVC), H.265 (HEVC) etc.

Aceste standarde definesc strict sintaxa unui flux digital de date codificate și descriu principiile cele mai generale ale formării acestuia. Cu toate acestea, există un potențial mare pentru o procesare mai eficientă a semnalului în cadrul acestor standarde.

În dezvoltarea algoritmilor de comprimare și transmitere a datelor video în sistemele de comunicații mobile, se pot distinge două domenii principale de cercetare: transmiterea pe canale de comunicații cu viteză redusă pe distanțe lungi (de exemplu, în sistemele de difuzare a televiziunii digitale DVB-H, EGPRS). tehnologia de transmitere a datelor pentru rețelele mobile GSM, tehnologie WiMAX etc.) și transmiterea de date video de înaltă rezoluție cu latență scăzută pe canale de comunicare de mare viteză pe distanțe scurte (de exemplu, în sisteme bazate pe tehnologii WiFi, UWB etc.). Prima direcție este caracterizată sarcina de a dezvolta algoritmi care preved creșterea în continuare a gradului de compresie a datelor video transmise. A doua direcție este caracterizată de sarcina de a dezvolta algoritmi care țin cont de limitările complexității de calcul și ale capacității de memorie a dispozitivelor mobile.

În plus, internetul este în prezent una dintre tehnologiile cu cea mai rapidă creștere, conținutul video ocupând o mare parte din trafic mondial. Conform statisticilor de la Cisco , în 2017, videoclipurile online reprezentau 75% din tot conținutul de pe Internet; conform previziunilor, până în 2023 acest număr va crește la 86%. Deci, dezvoltarea algoritmilor de compresie a datelor video este un domeniu actual de cercetare.

**Scopul lucrării:** Analiza și dezvoltarea algoritmilor de compresie a datelor pentru îmbunătățirea calității datelor video transmise pe canalele de comunicație pentru optimizarea capacității rețelelor de transmisie video.

**Obiective:**

1. Analiza metodelor clasice de compresie.
2. Studiarea și analiza caracteristicilor principale ale sistemelor de transmisie digitală a datelor.
3. Cercetarea metodelor de compensare a mișcării.
4. Analiza transformată complexă wavelet.
5. Elaborarea unui algoritm de compresie a imaginilor pentru a îmbunătăți calitatea datelor video.
6. Evaluarea comparativă a algoritmilor de compresie existenți și propuși.

## BIBLIOGRAFIE

1. Krasilnikov N.N., Procesarea digitală a imaginii. - M.: Carte universitară, 2001.
2. Gallagher R. Teoria informației și comunicarea de încredere. M., Radio sovietică, 1974.
3. Gonzalez R., Woods R., Procesarea digitală a imaginii. M., Tehnosfera, 2005.-1072s.
4. Formate de compresie a imaginilor și algoritmi în acțiune. J. Miano. Editura „Triumph”, Moscova, 2003.
5. Dvorkovich V.P., Dvorkovich A.V. Sisteme informatice video digitale (teorie și practică). Moscova: Tehnosfera, 2012. – 1008 p. ISBN 978-5-94836-336-3.
6. Metode de compresie pentru imagini, semnale audio și video. A.Yu. Tropchenko, A.A. Tropchenko. Universitatea de Stat de Tehnologii Informaționale, Mecanică și Optică din Sankt Petersburg, 2009.
7. Comunicare digitală. Bernard Sklar. Fundamente teoretice și aplicare practică. – M.: Editura Williams, 2003. – 1104 p..
8. Comprimarea datelor, imaginilor și sunetului. D. Salomon. „Tehnosferă”, Moscova, 2004. - 368s.
9. Metode de compresie a datelor. Dispozitiv de arhivare, compresie de imagini și video. Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Yukin V. „Dialog - MEFH”, 2003 - 384 p..
10. Codificare video eficientă în noul standard H.264/AVC. - Dvorkovich A.V. Proceedings of NIIR, 2005.
11. Revizuirea analitică a algoritmilor de compresie a informațiilor digitale. V. V. Kirichenko. Institutul comun de probleme de informatică al Academiei Naționale de Științe din Belarus, Minsk, 2016
12. Krapivenko A.V. Interpolarea încrucișată a datelor video. – M.: Cartea universitară, 2000. – 77 p.
13. J. Magarey și N. G. Kingsbury, „Motion Estimation Using a Complex Valued Wavelet Transform”, IEEE Trans. on Signal Processing, 46(4):1069-1084, 1998
14. B. Belzer, J. M. Lina, and J. Villasenor. Complex, linear-phase filters for efficient image coding // IEEE Transactions on Signal Processing, 40(4):2425–2427
15. Egorova E.V., Aksyaitov M.Kh., Rybakov A.N. Metode de creștere a eficienței transformărilor wavelet la procesarea, comprimarea și restabilirea semnalelor radio: Monografie. Ministerul Educației și Științei din Rusia, Universitatea Tehnologică Rusă. Tambov: Firma de consultanță Ucom, 2019. 84 p.
16. Teoria și practica transformării wavelet. Vorobiev V.I., Gribunin V.G. VUS, Sankt Petersburg, 1999. -204 p.

17. Țurcanu Dinu. Modelul calității serviciilor QoS în rețelele de comunicații multifuncționale, Partea 1, Meridianul ingineresc nr.2. UTM. Chișinău, 2009. – p.43-47.
18. Țurcanu Dinu. Modelul calității serviciilor QoS în rețelele de comunicații multifuncționale, Partea 2, Meridianul ingineresc nr.4. UTM. Chișinău, 2009. – p.64-70.
19. Dam Chong Nam. Compensarea mișcării folosind transformarea wavelet complexă în problema compresiei video // A 20-a Conferință internațională „Procesarea semnalului digital și aplicațiile sale - DSPA 2018”, relatează Moscova, Rusia. Volumul 2. Art. 578-583.
20. A. B. Sergienko, Procesarea digitală a semnalului. - Sankt Petersburg: Peter, 2002. - 608 p. ISBN 5-318-00666-9.
21. Țurcanu D.N., Nistiriuc P.P., Alexei A.S., Baxan L.V., Bejan N.P., Nistiriuc A.P., Iazlovețchi M.L., Finciuc S.I., Chihai A.Gh., Țurcanu T.P. Modelele matematice a calității rețelelor de comunicații multifuncționale și serviciilor. 4th International Conference “Telecommunications, Electronics and Informatics” ICTEI 2012. pp.33-42.
22. Kozin I.D., Fedulina I.N. Metode de compresie a informațiilor video: Manual (pentru masteranzi la specialitatea „Inginerie Radio, Electronică și Telecomunicații”) / I.D. Kozin, I.N. Fedulina – Almaty: AUES, 2015. – 80 p.
23. Kostkin I.V. Algoritm de compresie Wavelet pentru imagini digitale statice // Buletinul RGRTA. Problema 20. Ryazan, 2007. - p. 110-113. ISBN 978-5-7722-0272-2.
24. Dvorkovich V.P., Dvorkovich A.V. Calculul bancilor de filtre cu transformare wavelet discrete si analiza caracteristicilor acestora // DSP. 2006. Nr. 2.
25. Blatter K. Analiza wavelet. Bazele teoriei. M.: Tehnosferă. 2004.- 280 s.
26. Batura V.A., Tropchenko A.Yu., Tropchenko A.A. Procesarea imaginilor în MATLAB: lucru de laborator – Sankt Petersburg: Universitatea ITMO, 2019. – 41 p..
27. Open source video codec Dirac // <https://sourceforge.net/projects/dirac/>  
<https://lwn.net/Articles/298755/>
28. Open source video codec Theora // <https://github.com/xiph/theora>,  
<https://www.theora.org/downloads/>
29. Open source video codec x.265 // <https://www.videolan.org/developers/x265.html>,  
<http://x265.org/>
30. Open source video codec x.264, <http://developers.videolan.org/x264.html>.
31. Richardson Y. Codare video H.264 și MPEG-4 - standarde de nouă generație // - M. - Technosphere. – 2005. - 368c.
32. ITU-T. Recommendations: H Series: H.261–Video codec for audiovisual services at p x 64 kbit/s, 1993.



33. ITU-T. Recommendations: H Series: H.262–Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video, 2000.
34. ITU-T. Recommendations: H Series: H.263–Information technology — Video coding for low bit rate communication, 1995.
35. ITU-T. Recommendations: H Series: H.264–Information technology — Advanced video coding for generic audiovisual services, 2004.
36. ITU-T Recommendation H.265 (Series H: audiovisual and multimedia systems. Infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video). High efficiency video coding. 04/2013.
37. ISO/IEC 11172-1: Information technology — Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s — Part 1: Systems. /Ed.1, JTS 1/ SC 29, 1993.
38. ISO/IEC 11172-2: Information technology — Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s — Part 2: Video. /Ed.1, JTS 1/ SC 29, 1993. (МПЕГ-1)
39. ISO/IEC 13818-1. Information Technology — Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information. Part 1: Systems. /Ed.1, JTS 1/ SC 29, 1994.
40. ISO/IEC 13818-5. Information Technology — Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information. Part 5: Technical Report. /Ed.1, JTS 1/ SC 29, 1995.
41. ISO/IEC 14496-2: Information technology — MPEG-4/Coding of audiovisual objects — Part 2: Visual, Advanced Simple Profile (ASP)/ JTC1/SC29/WG11, 2004.
42. Test videos // <http://media.xiph.org/video/derf/>
43. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 // <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking> .