

Dekorelacija 3D nizova morfološkim wavelet transformacijama

Dragana Sandić-Stanković, IRITEL AD Beograd

Sadržaj — Multirezoluciona dekompozicija je veoma pogodna za progresivno kodovanje slike i omogućuje skalabilnost rezolucije i kvaliteta. Implementirane su neredundantne 3D morfološke wavelet dekompozicije koje omogućuju dobru dekorelaciju 3D nizova. Efikasnost dekorelacije za rekonstrukciju bez gubitaka ostvarene morfološkim wavelet transformacijama je približna sa efikasnošću celobrojne 5/3 wavelet transformacije koja je implementirana u standardu za kodovanje slika JPEG2000. Vreme izračunavanja 3D morfološke wavelet transformacije je oko 3 puta kraće od vremena izračunavanja 5/3 wavelet transformacije.

Ključne reči — kompresija bez gubitaka, lifting šema, matematička morfologija, multirezolucija, nelinearna morfološka wavelet transformacija.

I. UVOD

TEHNIKE kompresije se mogu klasifikovati kao lossless, bez gubitaka, ili lossy, sa gubicima. Tehnike kompresije bez gubitaka omogućuju rekonstrukciju slike jednaku originalnoj. Lossy tehnikama se postiže veći stepen kompresije ali uz degradaciju rekonstruisane slike. Za medicinske slike potrebna je kompresija bez gubitaka jer i najmanje izobličenje u rekonstruisanoj slici može dovesti do grešaka u dijagnozi ili interpretaciji podataka. U medicinskim i naučnim istraživanjima oprema za slike generiše sve veću količinu volumetrijskih podataka. Moćna tehnologija za kompresiju tih podataka je važna za efikasno pohranjivanje i prenos, slučajni pristup, skalabilnost rezolucije i kvaliteta, brzo interaktivno pretraživanje velikih volumetrijskih nizova. S druge strane koncept kao što je progresivni prenos omogućuje brz uvid u sadržaj velikih nizova slika koje se prenose preko kanala ograničenog propusnog opsega.

Transformaciono kodovanje je najpopularniji algoritam za kompresiju slike i videa. Kompresija nizova podataka sadrži 3 koraka: transformaciju, kvantizaciju i entropijsko kodovanje. Svrha transformacije je dekorelacija izvorne slike, tj. koncentracija energije na relativno mali broj koeficijenata koji se koduju. Transformacije koje se najviše koriste su diskretna kosinusna transformacija, DCT i diskretna wavelet transformacija, DWT.

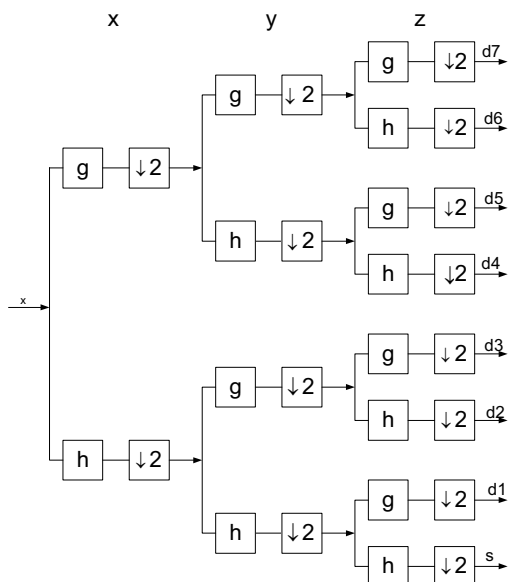
Metode zasnovane na talasicama, wavelets, daju bolje

rezultate kod kompresije medicinskih slika od algoritama zasnovanih na Furijeovoj transformaciji kao što je DCT. U poređenju sa DCT, wavelet ima bolju sposobnost kompakcije energije. DWT omogućuje skalabilnost kvaliteta i rezolucije. DWT se koristi za dekorelaciju podataka u standardu JPEG2000 [1] za kodovanje mirnih slika. Visok kvalitet slike, odsustvo blok efekta čini JPEG2000 idealnim za high definition aplikacije. Part10 standarda JPEG2000, poznat kao JP3D [2] koji je proglašen internacionalnim standardom u decembru 2008. godine omogućuje odlične performanse kodovanja trodimenzionih volumetrijskih podataka kao što su medicinske slike, biološke slike, podaci o vremenu i podaci za nauku.

Multirezoluciona dekompozicija omogućuje skalabilnost rezolucije i kvaliteta. Multirezoluciona reprezentacija se može ostvariti piramidalnim šemama zasnovanim na Laplasovoj piramidi koje generišu veći broj uzoraka od originalnog signala i filter bankama koje generišu podopsege sa brojem uzoraka jednakim broju uzoraka u originalnom signalu. Multirezolucione šeme zasnovane na Laplasovoj piramidi sa morfološkim filtrima analizirane su u radu [3]. U ovom radu su analizirane neredundantne multirezolucione šeme sa morfološkim wavelet transformacijama za dekorelaciju 3D nizova.

II. MULTIREZOLUCIONA 3D WAVELET REPREZENTACIJA

3D medicinski podaci su izotropni po svim pravcima. Pošto su pixeli korelisani po sva 3 pravca, za niz preseka dobijen skeniranjem objekta koji se tretira kao 3D niz treba uraditi dekorelaciju po sva 3 pravca. 3D wavelet transformacijom se uklanja redundantnost i unutar preseka i između preseka. 3D wavelet dekompoziciju je predstavio Muraki [4] kao tenzorski proizvod 1D baznih funkcija, Sl_2 . U jednom nivou dekompozicije signal se razlaže separabilno primenom 1D wavelet transformacija po sve 3 ose x, y i z na signal aproksimacije s i 7 signala detalja $d1-d7$. Dimenzije ovih 8 signala su po svakoj osi 2 puta manje od dimenzija originalnog signala. Signal aproksimacije s se dekomponuje u sledećem nivou dekompozicije na isti način. Nakon dekompozicije ukupan broj koeficijenata u podopsezima jednak je broju uzoraka originalnog niza. Wavelet dekompozicijom ostvaruje se neredundantna reprezentacija signala za razliku od dekompozicije Laplasovom piramidom.



Sl. 1. Separabilna 3D wavelet dekompozicija.

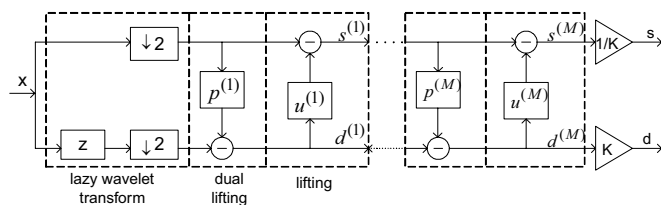
Wavelet transformacija se može implementirati na 2 načina: konvolucijom i prema lifting šemi. Za oba načina signal treba periodično proširiti zbog filtriranja na ivicama. Broj dodatnih uzoraka zavisi od dužine filtra. Wavelet transformacija prema lifting šemi je jednostavnija.

A. Lifting šema

Daubechies i Sweldens [5] su pokazali da se svaka DWT može izračunati pomoću lifting šeme koja je računski jednostavnija u poređenju sa standardnim algoritmom filtriranja. Lifting šema omogućuje jednostavnu konstrukciju i linearne i nelinearne DWT. Prema lifting šemi, Sl.2, najpre se izračunava trivijalna wavelet transformacija, lazy wavelet, podelom originalnog niza x na 2 niza: jednog sa parnim i drugog sa neparnim uzorcima. Ova 2 niza su veoma korelisana tako da se jedan od njih, može koristiti za predikciju drugog. Oduzimanjem signala predikcije p od originalnog dobija se signal razlike $d^{(1)}$. Za dobar prediktor, signal razlike ima male vrednosti uzoraka pa mu je entropija prvog reda mala. Pošto srednja vrednost niza sa parnim uzorcima nije jednaka srednjoj vrednosti originalnog signala, radi se drugi lifting korak u kome se izračunava korekcija signala $s^{(1)}$ update operatorom u nad signalom $d^{(1)}$. Zatim se rade naizmenično dual lifting i lifting koraci i na kraju nakon skaliranja koeficijentom $1/K$ i K dobijaju se signal aproksimacije s i signal detalja d . Kod DWT koeficijenti $p(k)$ i $u(k)$ se izračunavaju faktorizacijom polifazne matrice. Lifting faktorizacija nije jedinstvena. Karakteristika lifting šeme je da bez obzira kakvi su operatori predikcije i update, šema je uvek invertibilna i vodi ka kritično uzorkovanoj filter banci perfektno rekonstrukcije. Lifting omogućuje implementaciju bez alokacije dodatne memorije. Lifting formalizam garantuje invertibilnost šeme i originalni uzorci se izračunavaju primenom istih lifting koraka u obrnutom redosledu sa suprotnim znacima.

Glavni impuls razvoju nelinearne wavelet transformacije

je dat predstavljanjem lifting šeme. Tipičan primer su celobrojne wavelet transformacije [6] koje su važne za kodovanje bez gubitaka. U lifting šemi celobrojne wavelet transformacije dodati su kvantizeri nakon svakog predict i update koraka jer se linearnom wavelet transformacijom generišu necelobrojni uzorci. Primena celobrojnih wavelet transformacija za kompresiju 3D nizova predstavljena je u radu [7].



Sl. 2. 1D wavelet dekompozicija prema lifting šemi.

Morfološka wavelet transformacija se dobija primenom lifting šeme u kojoj su lifting i dual lifting koraci implementirani nelinearnim morfološkim operatorima. Morfološke wavelet transformacije su predstavljene u radu Heijmansa i Goutsiasa [8]. Oni su prikazali primere 1D i 2D morfoloških wavelet dekompozicija. Lifting šema sa morfološkim operatorima ne sadrže kvantizaciju što je korisna osobina za kompresiju bez gubitaka. U ovom radu implementirana je separabilna 3D morfološka wavelet transformacija prema lifting šemi sa nekoliko morfoloških operatora u predict i update koraku.

III. 1D WAVELET TRANSFORMACIJE

Morfološka Harova min i max transformacija i morfološka min i max lifting transformacija su predstavljene u radu [8] gde su implementirane u 2D separabilnoj dekompoziciji. U ovom radu su implementirane u 3D separabilnoj dekompoziciji. Za poređenje su implementirane celobrojna Harova wavelet transformacija i celobrojna 5/3 wavelet transformacija koja se koristi u standardu JPEG2000.

A. Harova wavelet transformacija

Linearna Harova wavelet transformacija je jedna od najjednostavnijih WT. 1D Harovom wavelet dekompozicijom signal se razlaže na signal aproksimacije koji se izračunava usrednjavanjem po 2 susedna pixela originalnog signala i signal razlike koji se izračunava kao razlika srednje vrednosti 2 susedna uzorka originalnog signala i jednog od ta 2 uzorka. Primenom lifting šeme izračunavaju se signal razlike $d[n]$ i signal aproksimacije $s[n]$ celobrojne Harove wavelet transformacije [7]:

$$d[n] = x[2n+1] - x[2n]. \quad (1a)$$

$$s[n] = x[2n] + \left\lfloor \frac{1}{2} d[n] \right\rfloor. \quad (1b)$$

Operator $\lfloor \cdot \rfloor$ označava zaokruživanje na celobrojnu vrednost.

B. Morfološke Harove wavelet transformacije

Morfološka Harova wavelet transformacija se razlikuje od linearne Harove transformacije u načinu izračunavanja

signala aproksimacije koji se izračunava kao maksimum ili minimum 2 susedna uzorka a kod linearne Harove wavelet transformacije se izračunava zbir 2 susedna uzorka. I kod operatora sinteze se primenjuje operacija min ili max.

B1. Morfološka Harova min wavelet transformacija

$$d[n] = x[2n+1] - x[2n]. \quad (2a)$$

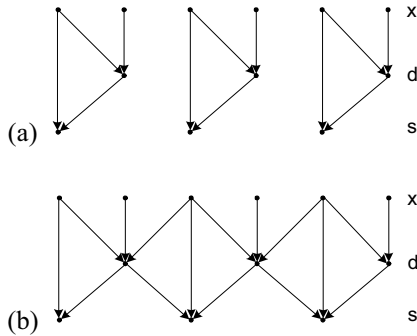
$$s[n] = x[2n] + \min(0, d[n]). \quad (2b)$$

B2. Morfološka Harova max wavelet transformacija

$$d[n] = x[2n+1] - x[2n]. \quad (3a)$$

$$s[n] = x[2n] + \max(0, d[n]). \quad (3b)$$

I kod linearne i kod morfološke Harove wavelet transformacije signal razlike d se izračunava na isti način. Signal aproksimacije s se izračunava na osnovu istih uzoraka signala x i d , Sl. 3a, ali različitim operatorima.



Sl. 3. Izračunavanje signala aproksimacije s i signala razlike d prema lifting šemi kod (a) Harove linearne i morfološke wavelet transformacije (b) linearne 5/3 i morfološke min i max lifting wavelet transformacije.

C. Reverzibilna 5/3 wavelet transformacija

U standardu za kodovanje 3D medicinskih slika JPEG2000 Part10 za dekorelaciju kod kodovanja bez gubitaka se primenjuje reverzibilna 5/3 biortogonalna WT poznata i kao (2, 2) wavelet transformacija [9]:

$$d[n] = x[2n+1] - \left\lfloor \frac{1}{2}(x[2n] + x[2n+2]) \right\rfloor. \quad (6a)$$

$$s[n] = x[2n] + \left\lfloor \frac{1}{4}(d[n-1] + d[n]) + \frac{1}{2} \right\rfloor. \quad (6b)$$

D. Morfološke min i max lifting wavelet transformacije

Za izračunavanje morfoloških min i max lifting transformacija koriste se po 3 uzorka, kao kod izračunavanje linearne 5/3 wavelet transformacije, Sl. 3b, samo se nad njima primenjuju morfološki operatori umesto linearnih.

D1. Morfološka min lifting wavelet transformacija

$$d[n] = x[2n+1] - \min(x[2n], x[2n+2]). \quad (4a)$$

$$s[n] = x[2n] + \min(0, d[n], d[n-1]). \quad (4b)$$

D2. Morfološka max lifting wavelet transformacija

$$d[n] = x[2n+1] - \max(x[2n], x[2n+2]). \quad (5a)$$

$$s[n] = x[2n] + \max(0, d[n], d[n-1]). \quad (5b)$$

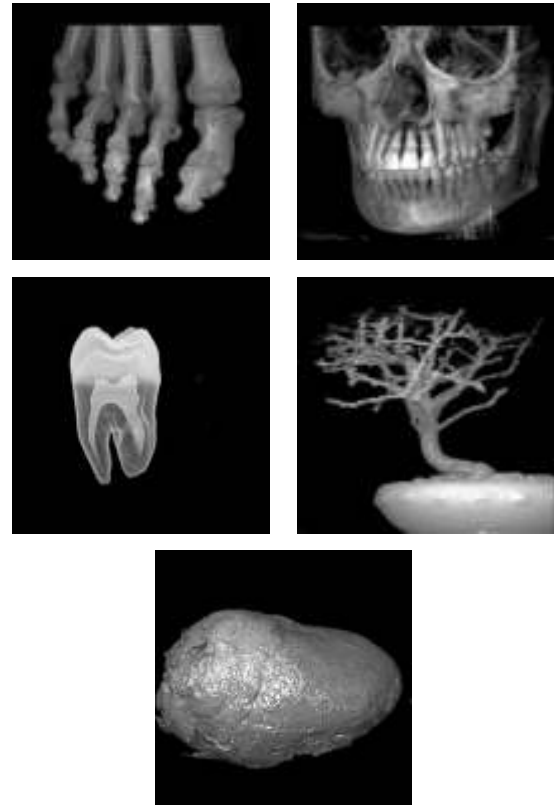
Ilustracija 1D max lifting šeme je prikazana u radu [10]. Min i max lifting šema ima dobru osobinu da čuva lokalni minimum odnosno maximum signala kroz više skala.

IV. REZULTATI

U simulacijama su korišćeni 3D nizovi podataka dobijeni skeniranjem stopala, lobanje, zuba čoveka, drveta bonsai i srca ovce. Nizovi podataka bonsai, foot i skull su preuzeti sa interneta [11] a tooth i sheep heart [12]. Nizovi foot, skull, tooth i bonsai su generisani pomoću CT skenera. Niz sheep heart je dobijen skeniranjem srca ovce magnetnom rezonancom. Kod svih nizova je razmak preseka 1 mm i razmak pixela unutar preseka po 1mm duž obe ose. Dimenzije nizova prikazane su u tabeli 1. Slike vizuelizacije izračunate tehnikom direct volume rendering pomoću softvera preuzetog sa sajta [13] prikazane su na Sl. 4.

TABELA 1: DIMENZIJE 3D NIZA.

3D niz	dimenzije
foot	256x256x256
skull	256x256x256
tooth	256x256x161
bonsai	256x256x256
sheep heart	352x352x256



Sl. 4. Slike vizuelizacije 3D nizova: foot, skull, tooth, bonsai, sheep heart.

Implementirana je 3D separabilna wavelet transformacija uzastopnom primenom 1D wavelet transformacija po sve tri ose: x, y, z. Implementirane su wavelet transformacije sa morfološkim filtrima prema šemama: morfološki Har minimum, morfološki Har maximum, morfološki min lifting i morfološki max lifting. Takođe su implementirane celobrojna Har wavelet transformacija i celobrojna 5/3 wavelet transformacija koja se koristi u standardu za kompresiju bez gubitaka JPEG2000 jer je to savremeni standard za širok opseg aplikacija uključujući kompresiju i prenos medicinskih

slika. Efikasnost dekorelacije za kompresiju bez gubitaka je izmerena izračunavanjem ekvivalentne entropije wavelet reprezentacije koja estimira bitski protok za prenos 3D niza bez gubitaka [14]. U tabeli 2 su prikazane entropije multirezolucione wavelet reprezentacije 3D nizova sa 2 nivoa dekompozicije.

TABELA 2: ENTROPIJA 3D WAVELET REPREZENTACIJE.

wavelet transform.	foot	skull	tooth	bonsai	sheep heart
originalni 3D niz	2.81	5.16	3.99	2.169	5.67
celobr. Har	2.57	3.83	3.14	1.896	4.31
m. Har min.	2.5	3.91	3.24	1.62	4.4
m. Har max	2.7	4.03	3.27	1.96	4.52
min lifting	2.44	3.79	3.17	1.519	4.25
max lifting	2.77	3.93	3.22	1.93	4.37
5/3	2.55	3.4	2.987	1.757	3.76

Na osnovu rezultata simulacije najefikasniji morfološki dekorelator za rekonstrukciju bez gubitaka za sve 3D nizove je min lifting. Za nizove foot i bonsai min lifting je efikasniji dekorelator od 5/3 za 4% odnosno 15% a za nizove skull, tooth, sheep hart on je manje efikasan od 5/3 za 9%, 5%, 12%.

Izmereno je vreme izračunavanja 3D wavelet dekompozicije u 2 nivoa za sve wavelet transformacije. Simulacija je urađena na PC računaru sa procesorom 1.83 GHz i 1024 MB RAM. Rezultati su prikazani u tabeli 3. Najkraće traje izračunavanje dekompozicije sa morfološkim Har wavelet transformacijama a najduže sa celobrojnom 5/3 wavelet transformacijom. Vreme izračunavanja wavelet reprezentacije u 2 nivoa sa morfološkim filtrima prema min lifting šemi je oko 3 puta manje od vremena izračunavanja prema šemi sa 5/3 wavelet filtrima.

TABELA 3: VREME IZRAČUNAVANJA [s] 3D WAVELET TRANSFORMACIJE U 2 NIVOVA

wavelet transform.	foot	skull	tooth	bonsai	sheep heart
celobr. Har	2.84	2.86	1.79	2.91	4.73
m. Har min.	0.91	1.05	0.59	0.91	1.23
m. Har max	0.91	1.02	0.59	0.87	1.25
min lifting	1.76	2.03	1.23	1.76	2.34
max lifting	1.86	2.11	1.19	1.87	2.44
5/3	5.81	5.86	3.62	5.86	9.64

Nelinearne morfološke multirezolucione šeme su brze u izračunavanju jer koriste jednostavne operacije (sabiranje, oduzimanje, max, min). Ako ulazni signal sadrži celobrojne uzorke i izlazni će bez korišćenja kvantizera.

Morfološki operatori koji se primenjuju za izračunavanje signala aproksimacije garantuju da će rang signala aproksimacije biti isti kao rang originalnog signala.

V. ZAKLJUČAK

Implementirana je 3D nelinearna morfološka wavelet transformacija. Izračunata je efikasnost dekorelacije

morfoloških wavelet transformacija 3D nizova i upoređena sa celobrojnom 5/3 wavelet transformacijom koja se koristi u standardu JPEG2000. Za 2 od 5 analiziranih 3D nizova ostvarena je bolja dekorelacija morfološkim wavelet transformacijama a za ostale nizove zaostatak u odnosu na 5/3 wavelet transformaciju je mali. Brzna izračunavanja 3D morfološke min lifting dekompozicije je oko 3 puta veća od brzine izračunavanja 5/3 wavelet transformacije. Nelinearni morfološki filtri dobro očuvaju ivice i oblike u slici. U daljem radu analiziraću 3D morfološku wavelet dekompoziciju prema šemi sa neseeparabilnim uzorkovanjem.

LITERATURA

- [1] A. Skodras, C. Christopoulos, T. Ebrahimi, "The JPEG 2000 Still Image Compression Standard," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 36-58, September 2001
- [2] T. Bruylants, A. Munteanu, A. Alecu, R. Deklerck, P. Schelkens, "Volumetric image compression with JPEG2000," *SPIE Newsroom: Biomedical Optics & Medical Imaging*, 2007
- [3] D. Sandić-Stanković, "Poređenje morfoloških piramida za vizuelizaciju 3D nizova," *ETRAV*, Srbija, 2009
- [4] S. Muraki, "Volume Data and Wavelet Transforms," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 13(4), 50-56, 1993.
- [5] I. Daubechies, W. Sweldens, "Factoring wavelet transforms into lifting steps," *Journal of Fourier Analysis and Applications*, vol.4, num. 3, pp. 247-269, 1998.
- [6] A. R. Calderbank, I. Daubechies, W. Sweldens, "Wavelet transforms that map integers to integers," *Applied and Computational Harmonic Analysis*, vol.5, pp. 332-369, 1998.
- [7] A. Bilgin, G. Zweig, W. Marcellin, "Three-dimensional image compression with integer wavelet transforms," *Applied Optics*, vol.39, No. 11, pp. 1799-1814, April 2000
- [8] H. Heijmans, J. Goutsias, "Multiresolution signal decomposition schemes-Part2: Morphological wavelets," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, Nov. 2000, pp. 1897-1913.
- [9] M. Adams, R. Ward, "Wavelet transforms in the JPEG-2000 standard," in *Proceedings of the IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computing and Signal Processing*, Rim, 2001, vol.1, pp.160-163.
- [10] H. Heijmans, J. Goutsias, "Constructing Morphological Wavelets with the Lifting Scheme," *International Conference on Pattern Recognition and Information Processing*, pp. 65-72, Belarus, 1999
- [11] <http://www.gris.uni-tuebingen.de/edu/areas/scivis/volren/datasets/datasets.html>
- [12] <http://www9.informatik.uni-erlangen.de/External/vollib>
- [13] <http://graphics.stanford.edu/software/volpack>
- [14] M. Goldberg, L. Wang, "Comparative Performance of Pyramid Data Structures for Progressive Image Transmission," *IEEE Transactions on Communications*, vol 39, no. 4, April 1991

ABSTRACT

Multiresolution decomposition allows progressive coding, resolution and quality scalability. Non-redundant 3D morphological wavelet decomposition allowing good decorrelation is implemented. Morphological 3D decorrelation efficiency is similar to 5/3 wavelet decomposition efficiency implemented in the standard JPEG2000 and the calculation time of the decomposition with morphological filters is about 3 times shorter.

DECORRELATION OF 3D IMAGES BY MORPHOLOGICAL WAVELETS

Dragana Sandić-Stanković