

Садржај

Садржај	1
Увод.....	2
Алгоритам.....	3
Основна архитектура	3
Трансформација компоненти боје.....	4
Тајлинг (подела на блокове)	5
Дискретна таласна трансформација.....	7
Квантизација.....	13
Кодовање	14
Употреба и карактеристике.....	18
Унапређења у односу на JPEG.....	19
Закључак	22
Литература.....	23

Увод

JPEG¹ је пројекат настао средином осамдесетих година као заједнички напор ITU² и ISO³ због потребе да се направи заједнички међународни стандард за компресију слике. Након тестирања постојећих метода кодовања, 1988. године изабран је метод базиран на дискретној косинусној трансформацији. Као резултат тога 1990. године настао је JPEG стандард који је 1992. године прихваћен као међународни стандард компресије слике.

Развој мултимедијалних и интернет апликација довео је до потребе за развијањем новог стандарда компресије слике. JPEG крајем деведесетих година почиње рад на развоју новог стандарда компресије слике. Стандард JPEG2000 компресије предложио је др Давид Таубман 1998. године под називом EBCOT⁴. 2000. године створен је нови, побољшани, стандард компресије слике - JPEG2000 који, уместо дискретне косинусне трансформације, користи нов начин декомпозиције слике, такозвани *wavelet transformation*.

JPEG2000 стандард компресије се односи на 13 делова (14 ако се рачуна седми део који је искључен из развоја), а у раду је обрађен први део који чини језгро стандарда и описује потребне кораке за компресију и декомпресију слике као и синтаксу кода добијеног компресијом JPEG2000 стандардом. Први део такође дефинише и основну екстензију .j2 која омогућава употребу метаподатака (нпр. информација о простору боја која је потребна за прецизан приказ слике), као и смернице и примере, списак техничких референци и списак компанија које су патентирале овај стандард.

¹ JPEG - Joint Photographic Experts Group

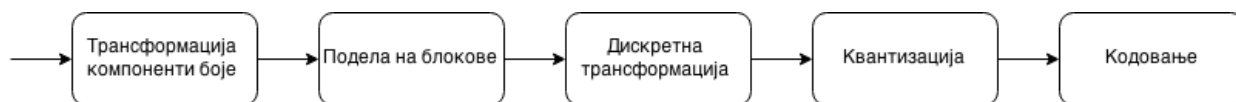
² ITU - International Telecommunication Union

³ ISO - International Organization for Standardization

⁴ EBCOT - Embedded Block Coding with Optimal Truncation

Алгоритам

Основна архитектура



Блок дијаграм JPEG2000 алгоритма

Претходни дијаграм описује алгоритам JPEG2000 компресије. Главна идеја алгоритма је да се на податке оригиналне слике изврши дискретна трансформација. Подаци добијени трансформацијом затим пролазе процес квантизације, затим се кодују и на крају се формира битстрим (bitstream). Поступак декомпресије је потпуно исти поступку компресије само се одвија у супротном смеру. Битстрим се прво декодује, затим се одвија процес деквантизације па процес инверзне дискретне трансформације што резултује реконструисаном сликом.

Пре него што сви кораци алгоритма JPEG2000 компресије буду детаљно објашњени треба нагласити да стандард ради на мањим деловима слике названи *tiles* (плочице, блокови), а процес поделе слике на плочице се назива *tiling*. Мањи делови слике се компресују појединачно, као да су посебне слике. Подела слике на мање делове се врши из разлога смањења меморијске сложености алгоритма и дозвољава реконструкцију одређених делова слике као и операције над сликом као што је сечење дела слике (cropping).

Сваки блок слике може да се посматра као низ целих бројева у бинарној репрезентацији (знак-магнитуда). Сваки низ је описан са неколико равни битова. Раван битова је бинарни низ са по једним битом од сваког коефицијента из низа целих бројева. Прва равна битова садржи битове највеће тежине свих магнитуда, друга равна битова садржи битове мање тежине свих магнитуда, док последња равна битова садржи све битове најмањих тежина свих магнитуда.

Пре дискретне трансформације свим компонентама се помера ниво⁵ одузимањем исте вредности и то само уколико вредности нису предзначне⁶. Померање нивоа се врши пре трансформације компоненти боја.

⁵ level shifting

⁶ предзначни - signed

Трансформација компоненти боје

Како би повећао ефикасност компресије слике JPEG2000 стандард пружа опцију трансформације компоненти боје. Пре трансформације, и то уколико узорци нису предзначни⁷, врши се померање нивоа за 2^{B-1} где је В број битова коришћен за опис сваке компоненте пиксела. Постоје два типа трансформације компоненти боје: повратна (RCT - Reversible Component Transform) и неповратна (ICT - Irreversible Component Transform) трансформација. Повратна трансформација омогућава реконструкцију слике без губитака, док неповратна не гарантује реконструкцију без губитака. Обе трансформације могу да се посматрају као начин преласка из 3 компоненте које садрже хроматске податке (податке о боји - RGB) у две хроматске компоненте и једну компоненту која садржи податке о сјајности.

Посматрајући компоненте боје као I_0 , I_1 и I_2 RCT је задата следећим једначинама где су Y_1 и Y_2 хроматске компоненте, а Y_0 компонента сјајности након трансформације:

$$Y_0 = \left\lfloor \frac{I_0 + 2I_1 + I_2}{4} \right\rfloor$$

$$Y_1 = I_2 - I_1$$

$$Y_2 = I_0 - I_1$$

једначине RCT

Инверзна повратна трансформација (IRCT) је задата следећим једначинама једначинама:

$$I_1 = Y_0 - \left\lfloor \frac{Y_1 + Y_2}{4} \right\rfloor$$

$$I_0 = Y_2 + I_1$$

$$I_2 = Y_1 + I_1$$

једначине IRCT

⁷ предзначни - signed

Уколико је губитак информација прохватљив JPEG2000 стандард користи неповратну трансформацију (ICT) која је задата на следећи начин:

$$\begin{pmatrix} Y_0 \\ Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,144 \\ -0,16875 & -0,33126 & 0,5 \\ 0,5 & -0,41869 & -0,08131 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

једначине ICT

Инверзна неповратна трансформација (ИСТ) је задата:

$$\begin{pmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1,1402 \\ 1 & -0,34413 & -0,71414 \\ 1 & 1,1772 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Y_0 \\ Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix}$$

једначине ИСТ

Подела на блокове (tiling)

Тајлинг (подела на блокове, *tile* - плочица) подразумева поделу изворне слике на четвртасте блокове који се не преклапају. Све операције компресије се изводе посебно на сваком блоку као да они чине посебну слику. То смањује меморијску сложеност алгорита и, пошто се блокови реконструишу посебно, могуће је декодовање жељених делова, уместо целе слике. Сви блокови су истих димензија, осим, можда, оних на доњој и десној ивици. Димензија блокова може бити произвољна, све до величине целе слике (у том случају цела слика се посматра као један блок). Блокови су постављени релативно у односу на референтни координатни систем (тзв. платно - *canvas*) што осигурава просторну конзистентност код реконструкције слике.

Обзиром да се сваки блок кодује посебно, повећање броја блокова доводи до смањења квалитета реконструисане слике што се види на следећем примеру (слика 1). Прва слика је кодована без употребе блокова (односно коришћен је само један блок који је покрио целу слику), средња слика је кодована употребом блокова димензија 256·256, а трећа употребом блокова димензије 128·128 пиксела. Неправилности које су видљиве на слици узроковане су настанком артефакта⁸ (*tiling artifact*).

⁸ Пошто се блокови кодују независно прелази између њих постају видљиви



слика 1

	Без трансформације простора боја	Са ICT
Без блокова	23,5	25,07
Блокови димензије 256·256	23,26	24,7
Блокови димензије 128·128	22,8	23,91

табела 1

Табела 1 је још један пример утицаја броја блокова на квалитет слике (слика 1) где видимо да вредности PSNR⁹ опадају повећањем броја блокова. Такође нам приказује везу између коришћења трансформације простора боја и квалитета слике. У овом примеру коришћење ICT резултовало је повећањем PSNR за приближно 1,5 децибела.

PSNR или критеријум верности репродукције¹⁰ представља објективну меру вредности у децибелима. Једначина PSNR је задата:

$$PSNR(dB) = 10 \log \frac{x_{peak}^2}{\sigma^2}$$

⁹ PSNR - Peak Signal To Noise Ratio, однос снаге сигнала и шума (већа вредност PSNR значи бољи квалитет реконструисане слике)

¹⁰ др Десимир Ж. Вучић, Компресија података (презентација), 2014., лекција 7, слајд 13

Интерпретација PSNR:

- за $0,5dB \leq PSNR \leq 1dB$ разлика између оригиналне и реконструисане слике је очигледна,
- за $25dB \leq PSNR \leq 30dB$ за реконструисану слику се каже да је солидна,
- за $35dB \leq PSNR \leq 40dB$ не види се разлика између оригиналне и реконструисане слике.

Дискретна таласна трансформација

Након поделе слике на блокове (описано у претходном поглављу) блокови се дискретном таласном трансформацијом¹¹ деле на различите нивое декомпозиције. Нивои декомпозиције садрже подопсеге (subbands) који су сачињени од коефицијената који описују хоризонталне и вертикалне карактеристике оригиналног блока слике. Таласна трансформација код JPEG2000 стандарда је по природи једнодимензионална, међутим пошто се примењује у два смера, хоризонтално и вертикално, формира дводимензионалну трансформацију. Резултат су четири нова блока и то:

- један ниске резолуције (LL),
- један високе вертикалне а ниске хоризонталне резолуције (HL),
- један ниске вертикалне а високе хоризонталне резолуције (LH) и
- један високе вертикалне и хоризонталне резолуције (HH).

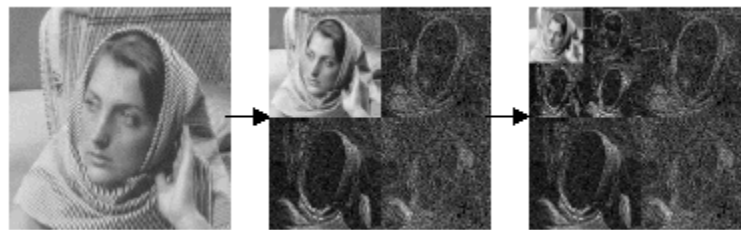
Блок високе хоризонталне а ниске вертикалне резолуције садржи податке о хоризонталним ивицама оригиналног блока, блок високе вертикалне а ниске хоризонталне резолуције садржи податке о вертикалним ивицама, блок високе хоризонталне и високе вертикалне резолуције садржи податке о дијагоналним ивицама оригиналног блока, док блок ниске резолуције садржи податке о остатку (без ивица).

Овај процес примењивања једнодимензионалних филтера у оба правца се понавља на блоку ниске резолуције при чему се добијају нова четири блока и то се понавља произвољан број пута (или док се не додје до једног пиксела). Овај поступак се назива дијадична декомпозиција (број новонасталих блокова је 2), а пример декомпозиције је представљен на примеру слике где је цела слика посматрана као један блок.

¹¹ DWT – Discrete Wavelet Transformation

3LL	3HL	2HL	1HL
3LH	3HH		
2LH		2HH	
1LH			1HH

Диадична декомпозиција



Декомпозиција слике

DWT се врши тако што се једнодимензиони опсег пропусти кроз филтер ниских и филтер високих фреквенција при чему се добијају узорци високих и сет ниских фреквенција. Сет узорака ниских фреквенција представља мањи блок лошије резолуције од оригиналног блока, док сет узорака високих фреквенција представља остатке, детаље, који су потребни за реконструкцију блока.

DWT може бити повратна и неповратна. Код повратне трансформације коефицијенти филтера су целобројне вредности, док су код неповратне трансформације коефицијенти филтера реалне вредности и дозвољен губитак података узрокованих заокруживањем бројева. Неповратна трансформација се врши коришћењем 9/7 филтера, док се за повратну трансформацију користи 5/3 филтер, а коефицијенти ових филтера задати су у следећим табелама ($g[k]$ – филтер ниских фреквенција, $h[k]$ – филтер високих фреквенција):

k	$g[k]$	$h[k]$
0	0.6029490182363579	1.115087052456994
± 1	0.2668641184428723	-0.5912717631142470
± 2	-0.07822326652898785	-0.05754352622849957
± 3	-0.01686411844287495	0.09127176311424948
± 4	0.02674875741080976	

Коефицијенти 9/7 филтера

k	$g[k]$	$h[k]$
0	1.115087052456994	0.6029490182363579
± 1	-0.5912717631142470	0.2668641184428723
± 2	-0.05754352622849957	-0.07822326652898785
± 3	0.09127176311424948	-0.01686411844287495
± 4		0.02674875741080976

Коефицијенти инверзног 9/7 филтера

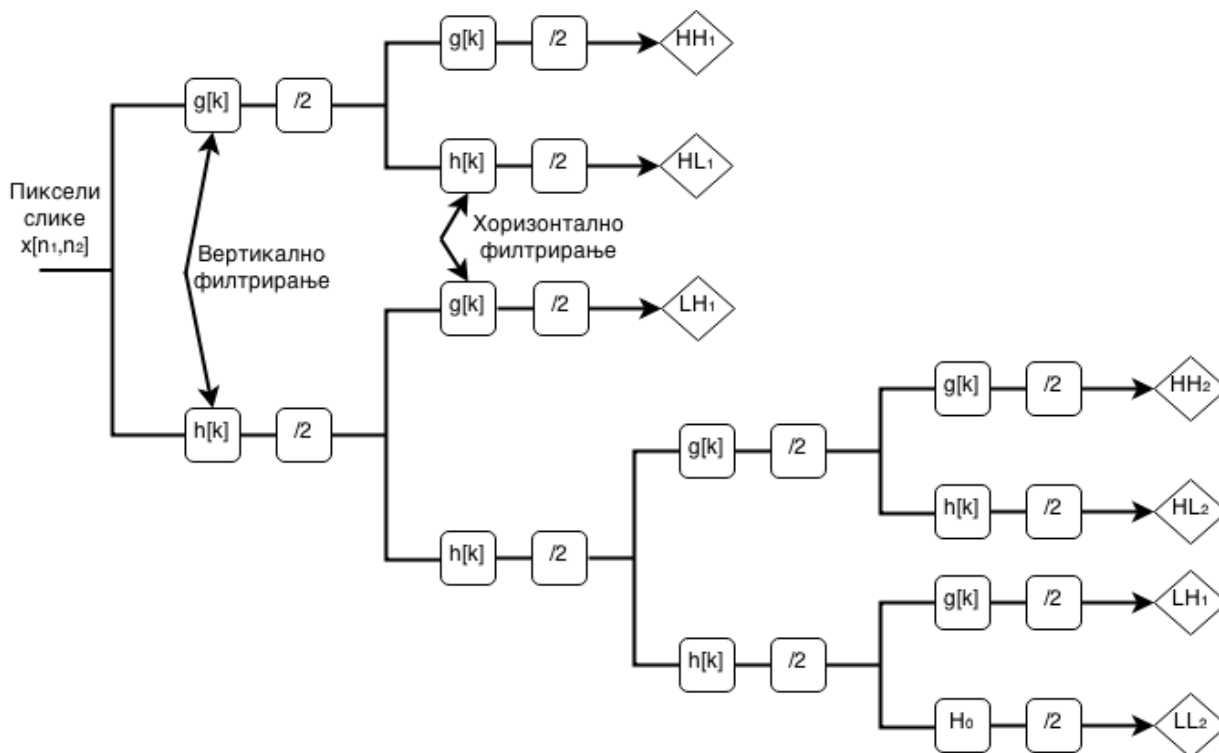
	Коефицијенти 5/3 филтера		Коефицијенти инверзног 5/3 филтера	
k	$g[k]$	$h[k]$	$g[k]$	$h[k]$
0	3/4	1	1	3/4
± 1	1/4	-1/2	1/2	-1/4
± 2	-1/8			-1/8

Коефицијенти 5/3 филтера

JPEG2000 стандард подржава два типа филтрирања: конволуцијско филтрирање и лифтинг филтрирање које је и описано у овом раду. Конволуцијско филтрирање користи 9/7 филтер и неповратно је док лифтинг филтрирање користи 5/3 филтер и могуће је реконструисати слику без губитака. У оба случаја сигнал прво мора бити проширен. Проширење сигнала се врши симетрично и периодично на његовим границама и осигурава филтрирање од настанка грешака узрокованих операцијама на границама сигнала (филтрирање захтева да сигнал постоји и ван граница филтрираног сигнала).

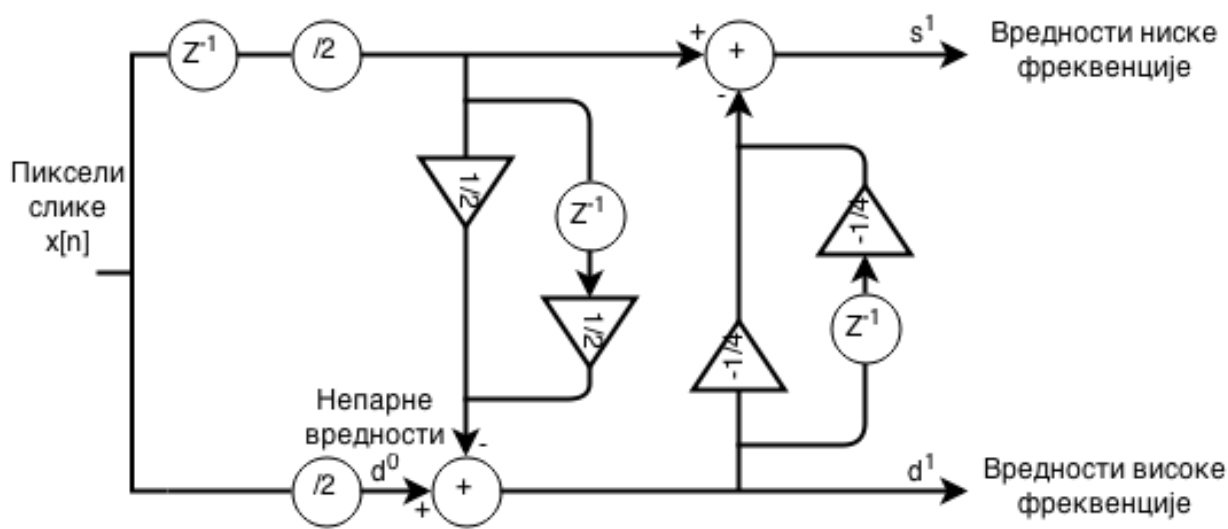


Проширење сигнала



Пирамидална дводимензионална декомпозиција (конволциони филтер)

Конволуцијско филтрирање (конвенцијалан начин извођења DWT) је вршење пирамидалне декомпозиције улазних података (приказано у претходној слици). Међутим код лифтинг филтрирања филтери високих и ниских фреквенција нису потпуно независни један од другог, што је и приказано у следећој слици.



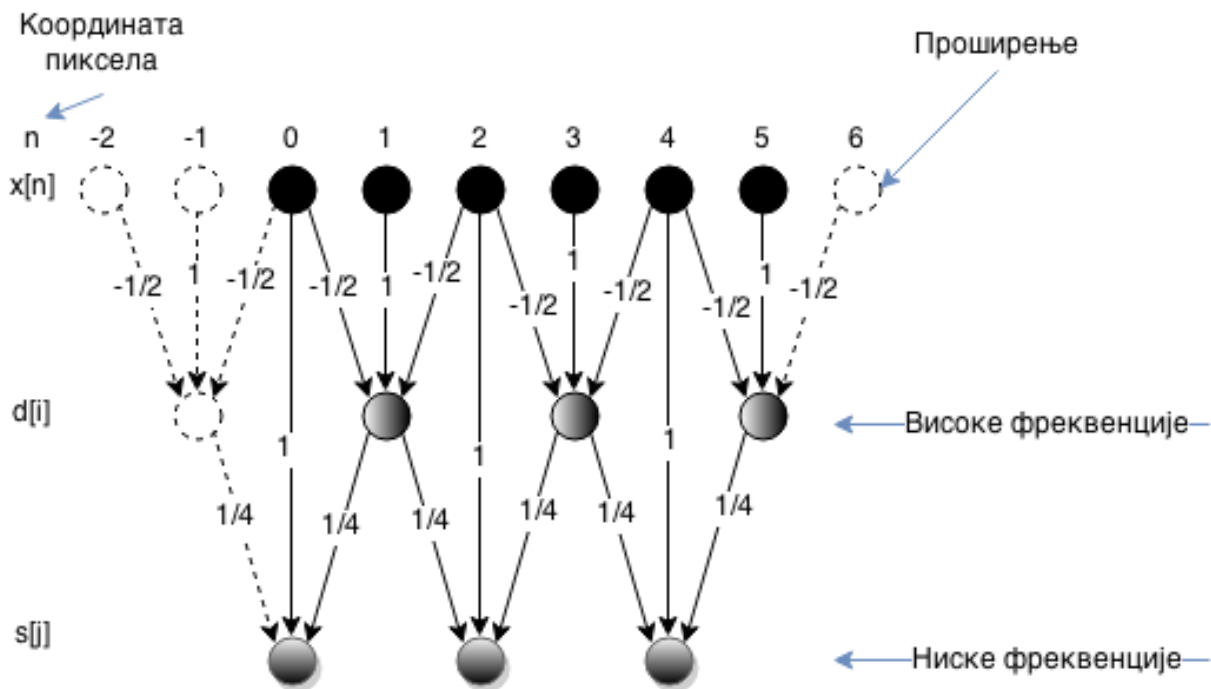
Дијаграм једнодимензионог 5/3 лифтинг филтера

Улазни подаци се прво деле на парне и непарне¹². Непарне вредности су означене са d^0 како би се назначило да су они још увек на нултом нивоу декомпозиције, а слично томе излазни подаци d^1 и s^1 се налазе на првом нивоу декомпозиције. Након поделе на парне и непарне вредности одвија се филтрирање које је приказано следећим једначинама:

$$\text{ниске фреквенције: } s_n^1 = s_n^0 + \frac{1}{4}(d_{n-1}^1 + d_n^1)$$

$$\text{високе фреквенције: } d_n^1 = d_n^0 - \frac{1}{2}(s_n^0 + s_{n+1}^0)$$

Где је n индекс узорка, s представља излаз ниске фреквенције, а d представља излаз високе фреквенције. Следећа слика илуструје процес 5/3 филтрирања са погледом на имплементацију. Приметити пикселе беле боје који су додати ван граница због раније објашњеног проблема, пиксели на местима -1 и -2 имају исте вредности као пиксели на местима 1 и 2, а слично томе пиксел на месту 6 има исту вредност као пиксел на месту 4. Такође приметити вредности множилаца приказаних уз одговарајућу стрелицу.



Процес 5/3 лифтинг филтрирања

¹² Вредности индекса, такозвана лења трансформација (lazy transform)

Лифтинг филтрирање осигурава да непарне вредности постану вредности високих фреквенција, а да парне вредности постану вредности ниских фреквенција и ти излази се чувају одвојено. Релације између коефицијената филтера претходно приказаних у табели и множилаца приказаних на слици задате су у следећим једначинама:

$$d[0] = -\frac{1}{2}x[0] + x[1] - \frac{1}{2}x[2]$$

$$d[1] = -\frac{1}{2}x[2] + x[3] - \frac{1}{2}x[4]$$

Коефицијенти који су коришћени у овим једначинама се поклапају са коефицијентима задатим у табели коефицијената 5/3 филтера. У следећој једначини приказан је процес филтрирања ниских фреквенција:

$$s[0] = x[2] + \frac{1}{4}d[0] + \frac{1}{4}d[1]$$

$$= -\frac{1}{8}x[0] + \frac{1}{4}x[1] + x[2] - \frac{2}{8}x[2] + \frac{1}{4}x[3] - \frac{1}{8}x[4]$$

$$= -\frac{1}{8}x[0] + \frac{1}{4}x[1] + \frac{3}{4}x[2] + \frac{1}{4}x[3] - \frac{1}{8}x[4]$$

Да би се остварио целобројни рачун једначине:

$$\text{ниске фреквенције: } s_n^1 = s_n^0 + \frac{1}{4}(d_{n-1}^1 + d_n^1)$$

$$\text{високе фреквенције: } d_n^1 = d_n^0 - \frac{1}{2}(s_n^0 + s_{n+1}^0)$$

се записују на другачији начин, и то:

$$\text{ниске фреквенције: } s_n^1 = s_n^0 + \left[\frac{1}{4}(d_{n-1}^1 + d_n^1) + \frac{1}{2} \right]$$

$$\text{високе фреквенције: } d_n^1 = d_n^0 - \left[\frac{1}{2}(s_n^0 + s_{n+1}^0) \right]$$

Заокруживање вредности се мора извршити јер је дошло до дељења у процесу филтрирања. У једначини филтера ниске фреквенције додаје се $\frac{1}{2}$ како заокруживање не би увек било на мањи број јер је дошло до дељења са $\frac{1}{4}$. Иако изгледа да је у овом случају дошло до губитка информације то није случај што се види из инверзних једначина:

$$s_n^0 = s_n^1 - \left\lfloor \frac{1}{4}(d_{n-1}^1 + d_n^1) + \frac{1}{2} \right\rfloor$$

$$d_n^0 = d_n^1 + \left\lfloor \frac{1}{2}(s_n^0 + s_{n+1}^0) \right\rfloor$$

Информација у овом процесу није изгубљена јер је сума или разлика два цела броја увек паран или непаран број, стога бит најмање тежине може да се занемари јер се његова вредност чува у операцијама сабирања и/или одузимања целих бројева.

Квантизација

Након дискретне трансформације сви коефицијенти се квантизују у процесу скаларне квантизације. Квантизација представља пресликавања једног скупа вредности (могуће бесконачног) на мањи скуп вредности¹³. Циљ квантизације је уклањање непотребних вредности, односно у процесу квантизације врши се смањење прецизности коефицијената. JPEG2000 стандард користи скаларну квантизацију. Операција квантизације је неповратна, осим у случају када је величина корака квантизације $\Delta_b = 1$ и уколико су коефицијенти цели бројеви добијени 5/3 филтрирањем. Сви коефицијенти добијени дискретном трансформацијом $a_b(u, v)$ подопсега b се квантизују у вредности $q_b(u, v)$ према формули:

$$q_b(u, v) = \text{sign}(a_b(u, v)) \left\lfloor \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} \right\rfloor \Delta_b$$

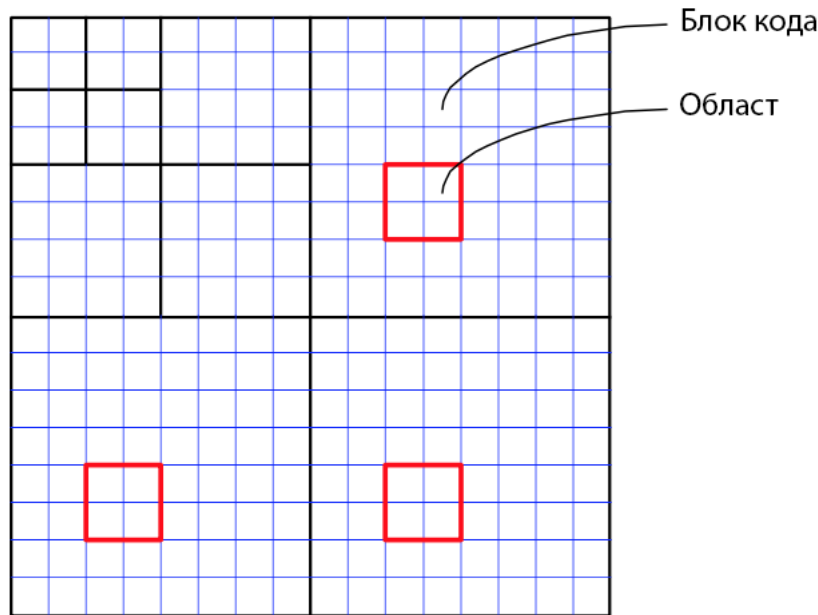
¹³ др Десимир Ж. Вучић, Компресија података (презентација), 2014., лекција 8, слајд 3

Реконструисана вредност $\hat{a}_b(u, v)$ се добија од квантизоване вредности по једначини, где је δ_b вредност из интервала $[0,1)$ и обично се узима вредност 0,5:

$$\hat{a}_b(u, v) = q_b(u, v) + \delta_b$$

Кодовање

Након квантизације подопсези се деле у блокове кода (code-blocks). Групе околних блокова кода се називају области. Подсетимо се назива алгоритма JPEG2000 стандарда под називом EVCOT који у буквалном преводу гласи „*уграђено блок кодирање са оптималним скраћивањем*“, дакле улаз у кодер су управо блокови кода.



блокови кода и области

Индивидуалне равни бита које садрже коефицијенте након квантизације се кодирају у неколико пролаза. У сваком пролазу скупљају се контекстуални подаци о коефицијентима. Декодер користи те податке како би декодовао компресовани ток података. Прво се свако код блока подели на подблокове. Уколико подблок садржи макар један значајан коефицијент ставља се у групу значајних подблокова. Коефицијент c_{ij} је значајан на нивоу n уколико је $|c_{ij}| > 2^n$. Уколико значајност подблока B_i на нивоу n

означимо са $\sigma^n(B_i)$, тада је $\sigma^n(B_i) = 1$ уколико је подблок значајан и $\sigma^n(B_i) = 0$ уколико подблок није значајан на нивоу n . Вредности $\sigma^n(B_i)$ се кодирају применом квартернарног стабла (стабла чији чворови имају тачно четири подчвора). Подблокови су идентификовани листовима, четири суседна подблока су представљени као четири подчвора унутрашњег чвора који представља унију ова четири блока. Уније су, слично тако, организоване у суседне четворке и тако даље. За чвор стабла се каже да је значајан на неком нивоу уколико постоји барем један његов подчвор који је значајан. Значајне вредности чворова се кодују почевши од корена користећи MQ кодер, а значајне вредности које се могу закључити на основу претходно искодованих вредности се не кодују (на пример ако је значајна вредност неког чвора 0 онда су и значајне вредности све његове деце такође 0 и оне се не кодују и уколико је чвор родитељ прозван значајним а три подчвора незначајним онда четврти подчвор сигурно мора бити значајан и његова вредност се не мора кодирати).

Свака равна битова се кодује у три фазе и то:

- фаза кодирања значајности,
- фаза пречишћавања магнитуда и
- фаза чишћења.

У свакој фази коефицијенти се кодују RLE¹⁴ алгоритмом кодовања или ZC¹⁵ алгоритмом. Када коефицијент постане значајан кодује знак му се кодује предиктивним кодовањем. Вредности добијени након ове три фазе се кодују MQ кодером са 18 различитих контекста. 9 контекста се користи за аритметичко кодовање, 5 за кодовање знака, 3 за пречишћавање магнитуда и 1 за RLE, а свака равна битова се кодује само једном.

У фази кодирања значајности користи се само ZC кодовање. Контексти се добијају посматрањем значајних вредности свих 8 суседа коефицијента који тренутно кодујемо. Кодују се само коефицијенти који имају значајног суседа, са идејом да ће они ускоро постати значајни у следећем нивоу. Сваки коефицијент се кодује као значајан или незначајан у одговарајућем контексту. Уколико се коефицијент кодује као значајан, након статуса значајности коефицијента предиктивним кодовањем кодује се његов знак. Предикција се врши на основу знакова хоризонталних и вертикалних суседних коефицијената. Знакови два хоризонтална и два вертикална суседа се кодују у по једну вредност и то по следећем правилу (где може бити за хоризонталне и за вертикалне суседе):

$$s_x = \begin{cases} 1 & \text{ако су оба суседа позитивна или ако је један позитиван а други непознат} \\ -1 & \text{ако су оба суседа негативна или ако је један негативан а други непознат} \\ 0 & \text{у сваком другом случају} \end{cases}$$

¹⁴ RLE - Run Length Encoding

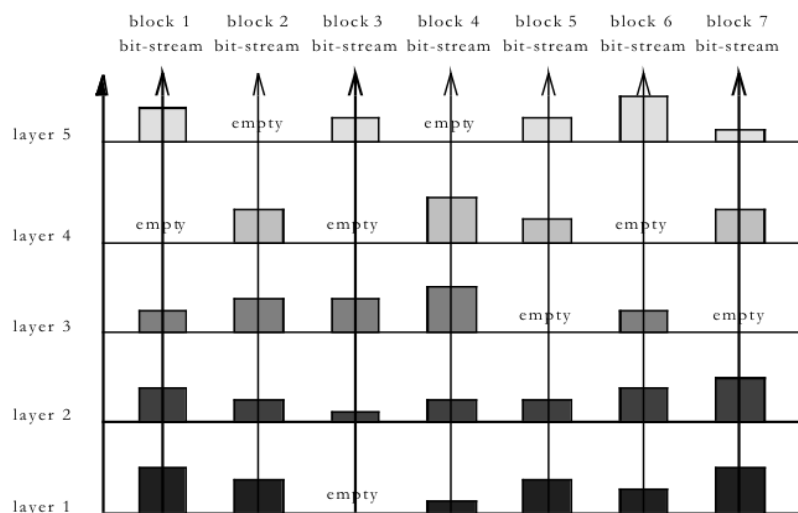
¹⁵ ZC – Zero Coding

Вредности γ и δ се касније користе како би се генерисали контексти и предикцију знака. Уколико је предикција тачна кодује се 0 у одговарајући контекст знака, а уколико није кодује се 1. Треба нагласити да се у овом пролазу претходно проглашени значајни коефицијенти не кодују.

У фази пречишћавања магнитуда кодују се сви коефицијенти који су постали значајни у претходном пролазу. Кодују се сви коефицијенти који су значајни осим оних који су постали значајни у претходном пролазу. Контексти се одређују сумирањем значајности хоризонталних, вертикалних и дијагоналних суседа и то стања која су тренутно позната кодеру, а не она настала пре претходне фазе. Такође битно је и да ли је ово први пут да се врши друга фаза, односно да ли постоје неки битови након битова значајности и знака.

Трећа фаза је фаза чишћења. У овој фази кодују се сви коефицијенти који до сада нису искодовани (сви коефицијенти који нису значајни и они чија је вредност након прве фазе била 0).

Ток битова JPEG2000 стандарда је организован у низ слојева. Сваки слој садржи коефицијенте појединачног блока (број коефицијената је варијабилан). За сваки блок кода ствара се посебан ток битова и у том току битова не постоје информације о другим блоковима кода. Следећа слика приказује коефицијенте блокова кода у слојевима тока битова, због поједностављења приказано је 5 слојева са 7 блокова кода.



Токови битова са коефицијентима блокова кода

Када се цела слике компресује следи операција постпроцесуирања која пролази све компресоване блокове кода. Операција одређује колико ће сваки блок кода бити скраћен како би се достигао жељени степен компресије. Један од начина контролисања степена компресије је путем квантизације, односно одвија се у току компресије слике. Што је корак квантизације већи, то је степен компресије који се остварује аритметичким кодирањем већи. Међутим то није једини начин контроле степена компресије у JPEG2000 стандарду. Једна од карактеристика JPEG2000 стандарда је пост-компресионо дефинисање степена

компресије (PCRD¹⁶), које омогућује да се након кодирања изврши оптимална алокација бита за сваки блок кода у оквиру ограничења задатих траженим степеном компресије. Оптимална алокација подразумева одсецање кодираног стрима података тако да се оствари тражени степен компресије (bit rate).

PCRD оптимизација покушава да дефинише тачке одсецања низа бита тако да се одсецањем уведе најмања грешка у кодирани низ бита, тј. Тако да се смањи дисторзија резултујућег кода за задати степен компресије. Једно од могућих локација за одсецање кодираног стрима је почетак низа бита следећег пролаза аритметичког кодирања. Ако се кодирани низ бита одсече после N -те равни до равни бита која садржи најмање значајне битове добија се ефекат компресије као да је изабран $2^N \cdot \Delta_b$ корак квантизације. Сваки блок кода може се скратити на број места, при чему свако одсецање генерише низ бита дужине који задовољавају следећи услов:

$$0 = L_i^0 < L_i^1 < \dots < L_i^Z$$

L_i^Z представља дужину тока података пре извршења.

Укупна дисторзија слике се може дефинисати као сума дисторзија сваког блока кода:

$$D = \sum D_i^Z$$

Пошто се блокови кода кодирају независно један од других, могу се примењивати и независне стратегије одсецања низа бита, за сваки блок кода посебно. Ако се предпостави да је фактор компресије максимална дужина кодираног тока, тада се локације за скраћење низа бита сваког блока кода морају бирати тако да задовоље следећи критеријум:

$$\sum L_i^Z \leq L_{max}$$

У случају када је ток података подељн на нивое квалитета одсецање се одвија у сваком нивоу посебно. Подела на нивое квалитета се остварује тако да одређени ниво оствари жељени фактор компресије, а да слика буде презентована одређеним квалитетом. Назив уграђени у „*уграђено блок кодирање са оптималним скраћивањем*“ потиче од тога што су нижи нивои квалитета уграђени у више нивое.

¹⁶ PCRD – Post-Compression Rate-Distorsion

Употреба и карактеристике

Број области у којима се JPEG2000 стандард је велики и свакодневно се повећава, како се повећава употреба и разноликост употребе дигиталних фотографија у свету. Интернет је главна област коришћења овог стандарда и како сада изгледа још дуго ће тако остати. Послови који се одвијају преко интернета као што су интернет куповина такође су нагло напредовале у последње време. Да би корисник купио производ, он претходно жели да види слику тог производа. JPEG2000 стандард омогућава да различити људи дигиталној слици приступе у различитим резолуцијама и величинама, притом одржавајући само једну датотеку о слици. На пример приликом посете некој веб страници кориснику се слике прикажу у малом формату (thumbnails) које корисник може да увећа како би их боље проучио. Пре JPEG2000 стандарда, ове слике, мала и велика, морале су да се чувају у две одвојене датотеке различитих резолуција. То је доводило до непотребне употребе вишка меморије где год је било потребно приказати слику у различитим резолуцијама. Такође свеукупни квалитет слика је побољшан у JPEG2000 стандарду.

Пошто су JPEG2000 датотеке толико адаптивне, може се организовати начин преноса слике који највише одговара корисницима. На пример корисницима слика може да се стримује почевши од ниске резолуције, док би се временом резолуција повећавала. На овај начин корисник може брже да дође до жељених података јер не мора да чека да се пренесе цела слика. Ово директно утиче на количину протока података јер корисник када види слику ниске резолуције може да одлучи да ли жели да настави са пребацивањем слике високе резолуције, а чак и уколико корисник одлучи да погледа слику високе резолуције проток података је мањи у односу на JPEG стандард због већег односа компресије код JPEG2000 стандарда.

Такође JPEG2000 стандард наилази на широку употребу у пољу медицине. Медицинске фотографије се користе на разне начине. Углавном фотографије се сликају фотографије пацијената како би се лакше утврдила дијагноза. Пошто су детаљи јако битни у медицинској фотографији чување слика високог квалитета је од великог значаја, стога се користи опција компресије без губитака. Исто тако докторима је битно да изуче део слике још детаљније, у том случају користи се опција реконструкције дела од интереса. Још једна примена компресије без губитака може се наћи код дигиталних фотоапарата. Фотоапарати могу чувати фотографије које су компресоване без губитака све док се меморија не попуни. У тренутку када се попуни слике могу бити компресоване са губицима и тада се у меморију апарата може уписати још велики број слика.

Поред ових области коришћења JPEG2000 стандард наилази на широку употребу у многим другим областима као што су метеорологија, војска, штампање, скенирање, обрада фотографија и др.

Унапређења у односу на JPEG

JPEG2000 стандард нуди бројне предности у односу на JPEG стандард од којих ће неке бити описане у овом раду. Главна предност JPEG2000 стандарда је у томе што компресија слике може бити без губитака и са губицима, док JPEG стандард углавном имплементира компресију са губицима. JPEG стандард подржава компресију без губитака међутим део стандарда који се бави компресијом без губитака је одвојен од дела компресије са губицима, што није случај код JPEG2000 стандарда, и ретко се користи. Стога, када је квалитет слике у питању, JPEG2000 стандард је далеко испред JPEG стандарда и, због начина на који JPEG2000 стандард врши компресију слике, крајњи продукт је много квалитетнија слика, чак и у случају када је компресија са губицима.

Друга предност JPEG2000 стандарда је у томе што је однос компресије са губицима већи него код JPEG стандарда. Статистички подаци говоре да је однос компресије JPEG2000 стандарда 20% до 200% већи него код JPEG стандарда. Критеријум верности репродукције (PSNR) JPEG2000 стандарда су такође бољи у односу на JPEG стандард. У следећој табели јасно се виде разлике PSNR вредности ова два стандарда. Резултати показују да је однос компресије JPEG2000 дупло бољи у односу на JPEG стандард, узимајући у обзир да су вредности PSNR логаритамске. Однос компресије JPEG2000 стандарда приликом компресије без губитака износи око 2,5:1, док је код JPEG стандарда однос компресије је близу 1:1. Однос компресије представља однос искоришћене меморије пре и после компресије.

Битова по пикселу	0,125	0,5	2
Слика 1 JPEG	24,42	31,17	35,15
Слика 1 JPEG2000	28,12	32,95	37,35
Слика 2 JPEG	22,60	28,92	35,99
Слика 2 JPEG2000	24,85	31,13	38,8

PSNR вредности JPEG2000 и JPEG стандарда

JPEG2000 стандард пружа могућност реконструкције слике у различитим резолуцијама и величинама, док је код JPEG могуће реконструисати слику у само једној резолуцији и величини. Пошто је JPEG2000 стандард базиран на DWT подаци добијени након компресије могу бити делимично реконструисани како би се добила слика ниже резолуције од оригинала. У следећих неколико слика приказана је могућност реконструисања слике у различитим резолуцијама и величинама (све слике су настале од исте оригиналне слике).



Слика исте резолуције и величине као оригинал



Слика исте резолуције али дупло мање величине



Слика исте величине али десет пута мање резолуције

Још једна предност JPEG2000 стандарда у односу на JPEG стандард је могућност реконструкције само оних делова слике који су нам од интереса¹⁷. Коришћење DWT омогућава бирање одређених делова слике који ће бити приказани у високој резолуцији док се остатак слике приказује у ниској резолуцији. Ово кориснику омогућава да види само потребан део слике уместо целе слике, и то знатно доприноси смањењу потребне меморије за складиштење слике и смањењу времена потребног за приступ слици.

Поред других, многобројних, предности у односу на JPEG стандард вредно је поменути још и да JPEG2000 стандард пружа и високу отпорност на грешке. Отпорност на грешке представља могућност стандарда компресије да избегне да грешке које су настале позадинским шумом (на пример приликом преузимања слике са интернета) утичу на квалитет реконструисане слике. JPEG2000 стандард пружа далеко већу отпорност на грешке од JPEG стандарда и много је мања вероватноћа да ће квалитет слике бити доведен у питање приликом настанка малих грешака у току података.

¹⁷ ROI – Region Of Interest

Закључак

Приказани стандард пружа бројне предности у односу на друге стандарде компресије слике, укључује могућност компресије са губицима и без губитака, слике компресоване JPEG2000 стандардом су бољег квалитета и бољег односа компресије и могуће је из исте датотеке реконструисати слике различитих резолуција и величина, такође могуће је реконструисати одређене делове слике (регије од интереса) у већој резолуцији од остатка слике.

JPEG2000 стандард користи таласну трансформацију за компресију слике што омогућава ефикаснију компресију са мање грешака него други стандарди. Тренутно JPEG2000 стандард користи један начин трансформације са 9/7 филтером за компресију са губицима, и други начин са 5/3 филтером за компресију без губитака. У будућности нови начини трансформације могу бити уведени у стандард што би резултовало још ефикаснијом компресијом у областима за које би те трансформације биле формиране.

Многбројне области коришћења JPEG2000 стандарда укључују интернет, медицину, војску, штампу, дигиталну фотографију, мобилне апликације и друге. Такође постоје други делови JPEG2000 стандарда задужени за филм, тродимензионалне апликације, бежичне апликације, као и други део JPEG2000 стандарда које је проширење описаног првог дела и који користи квантизацију и који дозвољава кориснику да осмисли свој начин дискретне трансформације користећи своје таласиће. Све то говори да ће JPEG2000 стандард наилазити на све већу примену и да ће постати један од главних, ако не и главни стандард компресије слике.

Литература

1. Khalid Sayood, *Introduction to Data Compression*, fourth edition, 2012.
2. др Десимир Ж. Вучић, Компресија података (презентације), 2014.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/JPEG_2000
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Joint_Photographic_Experts_Group
5. <http://www.jpeg.org/jpeg2000/index.html>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_wavelet_transform
7. <http://old.jpeg.org/.demo/FAQJpeg2k/EBCOT-coding.htm>