

**JANNE E. KORHONEN**  
**JPEG vs JPEG2000**

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Heikki Huttunen  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty xxxxxxxx  
tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
xx.xx.xxxx

# TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Signaalinkäsittelyn ja tietoliikennetekniikan koulutusohjelma

**JANNE E. KORHONEN: JPEG vs. JPEG2000**

Kandidaatintyö, xx sivua, x liitesivua

Xxxxxxkuu 2014

Pääaine: Signaalinkäsittely ja multimedia

Tarkastajat: Heikki Huttunen

Avainsanat: JPEG, JPEG2000, MSE, PSNR

Ensimmäinen kappale

Toinen kappale

# ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön tekemisiin on mennyt enemmän aikaa kuin piti.

# SISÄLLYS

1. Johdanto . . . . .	1
2. JPEG ja JPEG2000 kuvaformaatit . . . . .	2
2.1 Pakkaus . . . . .	2
2.1.1 DCT ja DWT . . . . .	2
2.2 JPEG ja JPEG2000 välisiä eroavaisuuksia . . . . .	3
2.2.1 Pieni tiedostokoko . . . . .	3
2.2.2 ROI . . . . .	3
2.2.3 Progressive transmission . . . . .	4
2.2.4 Robustness to bit errors . . . . .	4
2.2.5 Suojaus . . . . .	4
3. Testikuvat ja laskennallinen toteutus . . . . .	5
3.1 Testikuvat käytännössä . . . . .	5
3.2 Laskennallinen toteutus . . . . .	6
3.3 MSE/PSNR . . . . .	6
3.4 SSIM . . . . .	6
4. Tulokset . . . . .	7
4.1 Pakkausaika . . . . .	7
4.2 Tiedostonkoko . . . . .	7
4.3 Subjektiivinen laatu . . . . .	7
4.4 Objektiivinen laatu . . . . .	7
5. Yhteenveto . . . . .	8
A. Liitteitä . . . . .	10

# TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

SNR                      Signaali-kohinasuhde (engl.: Signal to Noise Ratio)

JPEG

JPEG2000

MSE                      (eng.:Mean Square Error)

PSNR                    Huippu signaali-kohinasuhde (eng.: Peak Signal to Noise Ratio)

SSIM                    Rakenteellinen samannäköisyys (eng.: Structural Similarity)

HVS                      (eng.: Human Visual system)

# 1. JOHDANTO

Nykyaikana kuvia käytetään yhä enemmän ja enemmän tiedon tallentamiseen ja sen esittämiseen. Pelkästään Instagram.comiin lisätään keskimäärin kuusikymmentä miljoonaa kuvaa kuukaudessa.[3]

Yhä kasvavat laskentanopeudet ja halventunut tallennustila ovat viime aikoina olleet ratkaisevammassa asemassa kuvien pakkaamisessa kuin kehittyvät formaatit. Tämän todistaa JPEG:n yhä yleinen käyttö kuvien tallentamiseen vaikka teknisesti parempiakin ratkaisua kuten JPEG2000, joka on myös tämä kandidaatintyön aihe, on ollut tarjolla jo pitkään.

Kuitenkin on olemassa tilanteita joissa kuvien nopea tallentaminen on tärkempää kuin pieni tallennuskoko kuten esimerkiksi reaaliaikasovellukset, konenäön tulosten tallentaminen kokoonpanolinjalle tai sarjakuvaus. Välillä mahdollisuus pakata vain oleellinen tieto kuten esimerkiksi rekisterikilpiä tunnistavassa järjestelmässä jossa tallennetaan vain kilven osuus paremmalla laadulla ja muu osa kuvasta voidaan pakata huonommalla voi olla merkitsevämpää kuin nopea tallennus.

Tässä kandidaatintyössä käsitellään JPEG ja JPEG2000 välisten kuvaformaattien etuja, haittoja ja ominaisuuksia toisiinsa nähden. Kuvien ominaisuuksia tarkastellaan laskennallisillisten tulosten kautta PSNR:n ja SSIM:n avulla.

Täten tuloksista voidaan nähdä miten objektiivinen ja subjektiivista (SSIM) matkiva algoritmi korreloivat omien havaintojen kanssa. Lisäksi tarkastellaan myös pakkaamisen kuluvaa aikaa ja tiedostokoa ja näiden välistä suhdetta. Testikuvien ottaminen ja niiden määrittäminen ovat osa työtä.

Työn rakenne noudattaa kaavaa jossa luvussa 2 tutustuaan JPEG ja JPEG2000 formaattien toimintaan, ominaisuuksiin ja niiden eroavaisuuksiin teorian kautta. Luku 3 käsittelee testikuvien määrittelyn ja esittelee niiden ottamiseen kuuluvat järjestelyt sekä esitellään tulosten laskennallinen toteutus MatLabin avulla Luvussa 5 esitellään testikuvista laskennallisen toteuksen avulla saadut tulokset ja verrataan niitä luvussa kaksi esiteltyihin teoreettiseen tuloksiin. Luku 6 on yhteenveto koko työstä.

## 2. JPEG JA JPEG2000 KUVAFORMAATIT

JPEG on vuonna 1992 julkaistu kuvaformaatti joka oli aluksi ITU-T suositus T.81 ja vuonna 1994 se hyväksyttiin ISO 10918-1 standardiksi. JPEG on lyhenne sanoista Joint Photographic Experts Group ja se on ITU-T: ja ISO/IEC JTC1 yhteisryhmä josta sana Joint tulee. Molemmat tahot aloittivat kuvien koodaamisen liittyvän kehitystyön 1980-luvun puolivälissä ja yhdistetty komitea muodostettiin vuonna 1986 jolloin myös JPEG:n kehitystyö alkoi.

JPEG2000:n ensimmäisen osan kehitystyö alkoi vuonna 1997. Tämä osa valmistui vuonna 2000 ja siitä myös looginen nimi uudelle standardille. Ensimmäisen osa sisältää kuvan pakkaamisen ja purkamisen perusteiden ja tämä kandidaatintyökin perustaa suurimmaksi osaksi sen tarjoamien palveluiden hyödyntämiseen. Tämä ensimmäinen osa tunnetaan myös nimellä ISO 15444-1. JPEG2000:sen kehittämisen lähtökohtina oli säilyttää hyvä signal-to-noise suhde varsinkin pienissä kuvissa ja pakkauksen joustavuus jonka avulla kuva voidaan pakata usealla eri tavalla. Tämän ajeltiin hyödyttävän varsinkin kuvien katsomista mobiililaitteilla jolloin dataa ei tarvitse siirtää niin paljon, että saadaan aikaan yhtä hyvälaatuiselta näyttävä kuva.

Tässä luvussa esitellään JPEG2000 pakkausominaisuudet, sen muita ominaisuuksia ja esitellään myös sen tulevaisuuden näkyviä. Pakkauksen osalta käyn lävitse hie-  
man miten JPEG:n pakkaaminen tapahtuu diskreetin kosinimuunnoksen kautta ja sen jälkeen käyn lävitse miten JPEG2000 suorittaa oman pakkauksensa diskreetin waveletmuunnoksen avulla. Kun nämä kuvan mahdollisuuksiin vaikuttavat elementit on käsitelty käyn lävitse yleisellä tasolla JPEG2000 mukanaan tuomia uusia ominaisuuksia. Luvun lopussa käyn lävitse syitä miksi JPEG2000 ei ole yleistynyt ja mitä tulevaisuuden näkymiä kuvaformaattilla on.

### 2.1 Pakkaus

#### 2.1.1 DCT ja DWT

Kun JPEG:n pakkaaminen perustuu diskreettiin kosinimuunnokseen jossa yleensä  $8 \times 8$  kokoiset blokit muutetaan ensin taajustason esitykseen ja sen jälkeen kuvan arvot muutetaan niin, että ne ovat nollan ympärillä. Koska kuva voi saada arvoja väliltä  $[0, 255]$  on siis keskimäinen arvo 128 ja tämä luku vähennetään kaikista blokin arvoista, jotta arvot saadaan tasapainoitettua nollan ympärille. Seuraavaksi jokai-

selle blokin pisteelle lasketaan kaksiulotteinen diskreettikosinimuunnos seuraavalla kaavalla

kuva [8x8x blokki]

jossa

kuva [8x8x blokki dct:n jälkeen]

Tämän muunnoksen seurauksena sijoittuvat suurimmat arvot blokin vasempaan ylälaitaan. Koska ihmissilmä havaitsee paremmin xx kuin xx voidaan saadut lukuarvot kvantisoida. Tämä on ainut tilanne missä kohti tapahtuu häviötä. Kaikki aikaisemmat kohdat olisi voitu toteuttaa käänteisesti ja päästä takaisin alkuperäiseen tulokseen. Kvantisoinnin jälkeen tehty käänteisoperaatio ei tuota täysin alkuperäistä vastaavaa kuvaa.

Kvantisoinnin seurauksena suuret taajudet ovat muuttuneet nolliksi ja muut taajudet ovat pienempiä positiivisiä tai negatiivisiä kokonaislukuja. Täten saadaan aikaan pakkaus eli aikaisemmin esitetty data voidaan esittää pienemmässä tilassa pienin muutoksin.

kuva [8x8x kvantisointiblokki]

kuva [8x8x tulos]

JPEG2000:n pakkaaminen perustuu diskreetin kosinimuunnoksen sijaan waveletteihin

kuva miten jakautuu waveletteihin

## 2.2 JPEG ja JPEG2000 välisiä eroavaisuuksia

### 2.2.1 Pieni tiedostokoko

JPEG2000 ominaisuuksiin kuuluu hyvä kuvanlaatu varsinkin suurella pakkaussuhteella. Tämä alkaa tulle esiin kun saavutetaan taso jossa käytetään 0.25 bittiä tietoa per pikseli. Tämä johtuu JPEG2000:n plaa plaa mistä se nyt oikeasti johtuukaan.

Esimerkkinä itse ottamani esimerkkikuvat esitettynä taulukossa jossa on vasemmalla puolella normaali JPEG tiedosto ja vastaavasti pakattu JPEG2000 pakattu tiedosto oikealla puolella. Erot varsinkin kun kuvan bittisyys on luokkaa 0.25 bittiä per pikseli. tinku s.136

### 2.2.2 ROI

Region of interest, jatkossa ROI, on JPEG2000:n ominaisuus joka mahdollistaa kuvien pakkaamisen siten, että osa kuvasta on pakattu suuremmalla pakkaussuhteella ja osa kuvasta taas pienemmällä pakkaussuhteella. ROI kuuluu JPEG2000:sen ensimmäisen osan ominaisuuksiin.



Ominaisuus on hyödyllinen kun kaikki tieto kuvassa ei ole yhtä oleellista. Esimerkiksi nopeusvalvontakameran ottamasta kuvasta voitaisiin ensimmäiseksi tunnistaa rekisterinumero ja pakata kuva sen jälkeen siten, että rekisterinumeron osa on pakattu pienemmällä pakkaushteella kun taas loppuosa on pakattu suuremmalla. Tämän avulla kaikki oleellinen informaatio saadaan säilytettyä, mutta kuva saadaan pakattua pienempään tiedostokokoon.

### **2.2.3 Progressive transmission**

Progressiivinen lähetys on ominaisuus joka mahdollistaa kuvan kokoamisen esimerkiksi internettiä selatessa siten, että ensimmäiseksi kuvasta näytetään pienikokoinen kuva ja kun tietoa on saatu siirrettyä lisää näytetään kuvasta jo keskikokoinen kuva ja lopuksi kun kaikki tieto on saatu siirrettyä näytetään lopullinen täysikokoinen kuva. Tämä onnistuu JPEG2000:ssa DWT:n ansiosta.

Progressiivinen lähetys on kätevä ominaisuus esimerkiksi mobiililaitteilla tai huonon verkkoyhteyden ääressä internettiä selatessa, koska jo pienillä tietomäärillä saadaan nähtäväksi pienikokoinen kuva. JPEG:ssä pitäisi ladata koko kuva, että kuva voidaan esittää.

### **2.2.4 Robustness to bit errors**

Robustness to bit errors, eli virheensietokyky on JPEG2000:ssa huomattavasti parempi kuin JPEG:ssä. Tämä on saavutettu siten, että JPEG2000 on koodattu paketteina, jotka ovat lyhyitä ja jokaisessa paketissa on synkkausmerkkijakso jonka avulla voidaan päätellä paketin alkaneen/loppuneen. Täten virheen sattuessaa pääsee se vaikuttamaan vain pieneen osaan kuvasta. Lisäksi jos kuvasta menee jokin osa vialliseksi voidaan kuvasta progressiivisen lähetyksen ansiosta näyttää pienempi kuva virheettömänä jos näin halutaan.

Tämä ominaisuus on hyödyllinen esimerkiksi langattomassa viestinnässä jossa lähetys- ja vastaanottovirheitä syntyy usein. Lähde Ebrahimi

### **2.2.5 Suojaus**

### 3. TESTIKUVAT JA LASKENNALLINEN TOTEUTUS

Kuten aikaisemmassa teoriaosassa tuli ilmi löytyy tarkasteltavien kuvaformaattien väliltä eroja koodauksen toteuttamisessa ja sitä kautta kuvaformaattit myös käsittelevät erilaisia kuvia hieman eri tavalla. Tässä työssä valittavat testikuvat on pyritty valitsemaan niin, että formaattien väliset erot saataisiin selville ja todennettua.

Testikuvien määräksi valikoitui viisi, jolla saadaan mallinnettua erilaisia tilanteita ja ilmennettyä kuvaformaattien heikkouksia ja eroavaisuuksia. Nämä tilanteet ovat kontrastikuva, virallinen testikuva, ISO-kuvapari, mv-kuva.

JPEG:n kuvaformaatti ei ole erityisen hyvä pakkaamaan tarkkoja linjoja ja niiden muutoksia plaaplaa. Tämän vuoksi yksi kuvista on valittu niin, että kuvassa olisi paljon voimakkaita kontrastieroja ja toisiaan leikkaavia linjoja. [sisäinen viite teoria] ja myös tarkkoja yksityiskohtia.

Kuvan oikeellisuuden varmistaminen on aina tärkeää ja siksi yksi kuvista on otettu virallisesta testikuvaustaustasta[T42 tms. viite siihen lätkään]. Koska kuvauskohteen värit tiedetään tarvittavan suurella varmuudella sekä Siemens-tähtien tarkkuudet ovat tiedossa voidaan näin pakkausten kautta saatua tulosta verrata ideaalikohteeseen tai tässä tapauksessa formaattien välillä joka paljastaa meille hyvin eroavaisuuksia.

Johtuen kuvaformaattien erilaisesta tavasta käsitellä normaalijakautunutta kohinaa on yksi kuvapari otettu samasta paikasta, mutta käyttäen kännykkäkameran ISO luvun muuttamista jolloin kuvien välillä ollaan saatu kohinaeroa. Toinen kuva on otettu iso100 ja toinen iso1600 arvoa käyttäen. Kuvakohde on myös valittu siten, että se kuvastaisi yleisestä esimerkiksi turistimatalla tapahtuvaa tilannetta.

Viides kuva on mustavalkoinen kuva, jotta voin mallintaa mustavalkoisuuden vaikutusta pakkaukseen kuvaformattien välillä.

#### 3.1 Testikuvat käytännössä

Kuvat on otettu käyttäen Nokia Lumia 1020 matkapuhelimen kameraa. Kameran sa on 41 megapixelin BSI-kenno ja järjestelmäkameroiden tapaan kaikki kameran parametrit kuten valotusaika, aukko ja iso luku ovat täysin käyttäjän valittavissa. Lisäksi kamera mahdollistaa kuvien ottamisen RAW-formaatissa jolloin saadaan talteen kaikki kennolle tuleva informaatio.

Lyhyt kuvaus jokaisen kuvan ottamisesta.

ISO-kuvaparia varten otin kaksi kuvaa samasta kohteesta käyttäen jalustaa, jotta kuvien välinen on saatu minimoitua. Kuvat on otettu käyttäen kameran Shutter-value ohjelmaa joka valotuksen tai tässä tapauksessa ISO-luvun muuttamisen jälkeen muuttaa ainoastaan kameran valotusajan pituutta. ISO100 kuvan valotusaika oli 1/30s ja aukko f8.0. Kun kennon herkyyttä nostetaan ISO1600 asti muodostuu viiden? aukon ero valotukseen jolloin valotusaika lyhenee aikaan 1/640s. Aukko ja tarkennus pidettiin molempien kuvien välillä samana.

## 3.2 Laskennallinen toteutus

Työn tarkoituksena on selvittää lähinnä laskennalliseen tehokkuuteen liittyviä eroavaisuuksia kuvien välillä. Tätä tarkoitusta varten tutkin muutamien ohjelmien kuten Kakadun, GIMP:n ja Imagemagicin käyttämistä. Kuitenkin esteiksi nousivat joko ohjelmistojen hinta, huono dokumentointi ja mittausdatan kerääminen vaikka itse pakkaus hyvin onnistuisikin. Siksi valitsinkin käytännön toteuttamista varten MATLAB 2010b:n.

Kooditoteutus jakautuu kolmeen osaa. Ensimmäinen osa toteuttaa laskennallisten arvojen suorittamisen kuten kuvan koon, pakkaukseen kuluvan ajan ja MSE:n laskemisen. Kaksi muuta osaa toteuttavat tulosten graafisen tulokinnan. MSE:n laskemiseen käytetyn koodin on toteuttanut David S. Smith ja koodin mukana seuraavan lisenssiehdon mukaan koodin käyttäminen on mahdollista tieteelliseen tarkoitukseen.

## 3.3 MSE/PSNR

Mean Square Error on kätevä ja havainnollinen tapa verrata eroa alkuperäisen ja muutetun, tässä työssä pakatun, kuvan eroa.

## 3.4 SSIM

## 4. TULOKSET

Tulokset näyttävät noudattavan teoriaosuudessa ennustettuja arvoja, vaikka erot MSE:lle mitattuna ovatkin pieniä, mutta havaittavia. Suurimmat erot syntyvätkin pakkausajassa joka JPEG2000:n kohdalla on huomattavasti suurempi kuin JPEG:n kohdalla. Tämä voi myös johtua kirjoittamiseen kuluva ajasta. Tarkemmat analyysit tuloksista jokaisen testin kohdalla.

### 4.1 Pakkausaika

Tähän viisi? kuvaajaa jossa kaikissa x-akselilla pakkausparametri ja y-akselilla aika. Samana kuvaan siis jpeg ja jpeg 2000

Vai kuvaaja per formaatti?

### 4.2 Tiedostonkoko

Tähän viisi? kuvaajaa jossa kaikissa x-akselilla tiedostonkoko ja y-akselilla aika. Samana kuvaan siis jpeg ja jpeg 2000

Vai kuvaaja per formaatti?

### 4.3 Subjektiiivinen laatu

Tähän hieman malli(osa)kuvia esim. laadulla 1, 10, 50, 100 ja pienet selostukset muista teoria viite jpeg2000

### 4.4 Objektiivinen laatu

Tähän sit SSIM ja MSE tulosten vertailua

## 5. YHTEENVETO

Tähän kirjoittelen sitten yhteenvedon koko hommasta kunhan olen tehnyt monta monta muuta asiaa.

Tässä ovat kaikki viitteet listattuna, että saan ne näkyviin sisällysluetteloon [3]  
[1] [2] [5] [4] [2] [6]

# KIRJALLISUUTTA

- [1] T. Acharya and P.S. Tsai. *JPEG2000 Standard for Image Compression: Concepts, Algorithms and VLSI Architectures*. Wiley, 2005.
- [2] Vasudev Bhaskaran and Konstantinos Konstantinides. *Image and Video Compression Standards: Algorithms and Architectures*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 2nd edition, 1997.
- [3] Instagram. Statistics, August 2014. Viitattu 17.9.2014.
- [4] Tampere University of Technology. Tty:n opinnäytteiden kirjoitustyöohje, September 2014. Viitattu 26.9.2014.
- [5] G.K. Wallace. The jpeg still picture compression standard. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 38(1):xviii–xxxiv, Feb 1992.
- [6] Z. Wang, E.P. Simoncelli, and AC. Bovik. Multiscale structural similarity for image quality assessment. In *Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on*, volume 2, pages 1398–1402 Vol.2, Nov 2003.

## A. LIITTEITÄ