

Miki Salmela

**Häviöllisten pakkausmenetelmien käyttö lääketieteellisessä
kuvantamisessa**

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

5. toukokuuta 2023

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Miki Salmela

Yhteystiedot: miksama@student.jyu.fi

Ohjaaja: Antti-Jussi Lakanen

Työn nimi: Häviöllisten pakkausmenetelmien käyttö lääketieteellisessä kuvantamisessa

Title in English: Usage of Lossy Compression Methods in Medical Imaging

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 23+0

Tiivistelmä: Lääketieteellisessä kuvantamisessa syntyviä digitaalisia kuvia voidaan pakata monilla pakkausmenetelmillä, joista jotkin hävittävät kuvien sisältämää tietoa. Nämä häviölliset pakkausmenetelmät ovat tehokkaampia kuin menetelmät, jotka eivät hävitä tietoa pakkauksessa. Tässä kandidaatintutkielmassa tutkitaan, mitä häviöllisiä pakkausmenetelmiä käytetään lääketieteellisessä kontekstissa, miten häviöllisesti pakattujen kuvien laatua tarkastellaan, sekä perehdytään lääketieteellisessä kontekstissa useimmin käytettyyn häviölliseen JPEG-pakkausmenetelmään.

Avainsanat: pakkausmenetelmät, lääketieteellinen kuvantaminen, häviöllinen pakkaaminen

Abstract: Digital images produced in medical imaging can be compressed with many compression methods, many of which lose information from the images. These lossy methods are more efficient than the methods that don't lose information in the compression process. This Bachelor's Thesis studies the kinds of lossy compression methods used in medical imaging, how the quality of these images is evaluated and finally looks deeper into the most used lossy compression method in the medical imaging context, the JPEG.

Keywords: compression methods, medical imaging, lossy compression

Kuviot

Kuvio 1. Tietojen pakkausprosessi (Fitriya, Purboyo ja Prasasti 2017)	2
Kuvio 2. Lääketieteellinen kuvantamisjärjestelmä käsitteellisellä tasolla (Kasban, El-Bendary ja Salama 2015)	5
Kuvio 3. Häviöllisen JPEG-algoritmin vaiheet (Al-Ani ja Awad 2013)	11
Kuvio 4. DCT-kertoimien kvantisointi (Al-Ani ja Awad 2013)	12

Taulukot

Taulukko 1. Yleisten lääketieteellisten kuvantamistyyppien kuvaulottuvuuksia ja pakkaamattomia tiedostokokoja. (Liu ym. 2017)	6
Taulukko 2. Kuvien laatukriteerien luokittelu (Smutek 2005).....	8
Taulukko 3. Keskimääräiset hyväksyttävät pakkaussuhteet häviöllisille JPEG ja JPEG 2000 -algoritmeille. (Koff ja Shulman 2006)	10

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	TIEDON PAKKAAMINEN.....	2
	2.1 Häviötön ja häviöllinen tiedon pakkaaminen	2
	2.2 Häviöllisten menetelmien käyttökohteista	3
3	LÄÄKETIETEELLINEN KUVANTAMINEN	5
4	LÄÄKETIETEELLISTEN KUVIEN LAADUN ARVIOINTI	7
	4.1 Objekttiivinen vai subjektiivinen?.....	7
5	HÄVIÖLLINEN PAKKAAMINEN LÄÄKETIETEELLISESSÄ KUVANTAMI- SESSA.....	9
	5.1 Käytettyjä pakkausmenetelmiä	9
	5.2 JPEG	11
6	YHTEENVETO.....	14
	LÄHTEET	16

1 Johdanto

Nykypäivän lääketiede nojaa vahvasti erilaisiin kuvantamismenetelmiin, joilla saadaan tärkeää tietoa erilaisten kudosten rakenteesta ja toiminnasta. Näistä tärkeinä nimeltä mainotakoon röntgenkuvantaminen, magneettikuvantaminen ja erilaiset radioaktiivisiin merkkiaineisiin perustuvat kuvantamismenetelmät, kuten gammakuvantaminen.

Koska näitä kuvia käsitellään nykyään usein digitaalisina tiedostoina, on hyödyllistä miettiä, kuinka tietojenkäsittely auttaa kuvien käsittelyssä. Binäärisinä tiedostoina tallennetut kuvat voidaan tiivistää pakkausalgoritmeilla (engl. *compression algorithm*) aivan kuten mitkä tahansa muutkin digitaaliset kuvat. Pienempään kokoon pakatut kuvat luonnollisesti vievät vähemmän tilaa kiintolevyiltä, siirtyvät nopeammin verkon yli, sekä ovat nopeampia ladata muistista. (Dennison ja Ho 2014)

Vuonna 2016 pelkästään Yhdysvalloissa suoritettiin n. 691 miljoonaa radiologista, TT-, hammaslääketieteellistä ja isotooppilääketieteellistä tutkimusta. Koko maailman osalta luku oli noin 4,2 miljardia, eikä se sisällä kaikkia kuvantamisen keinoja. (Mahesh ym. 2022). Myös vuonna 2003 12,8 % yli 65-vuotiaiden sairaalakäynneistä johti kuvantamiseen. (Liu ym. 2017)

Tässä tutkielmassa tutkitaan kuinka häviöllistä pakkausta käytetään hyödyksi lääketieteellisessä kuvantamisessa. Luvussa 2 käsitellään pakkausalgoritmeja, niiden jaottelua ja käyttökohteita yleisesti. Luvussa 3 syvennytään lääketieteelliseen kuvantamiseen, luvussa 4 on asiaa kuvantamisen laadunarvioinnista ja luvussa 5 taas häviöllisten menetelmien käytöstä lääketieteellisessä kuvantamisessa. Luku 6 on yhteenveto tutkielmasta.

2 Tiedon pakkaaminen

Tietokoneet, poislukien kvanttietokoneet, suorittavat prosessor(e)illaan binääristä koodia ja tallentavat tiedostot pohjimmiltaan bitteinä, ykkösinä ja nollina erilaisiin muisteihin. Tällaisessa binäärisessä tiedossa on usein toisteisuutta, (engl. *redundancy*) mikä mahdollistaa tiedon tiivistämisen, jolloin sama tieto vie vähemmän tallennustilaa. Tällä tavalla syntyneet tiedostot ovat myös nopeampia siirtää verkossa.



Kuvio 1. Tietojen pakkausprosessi (Fitriya, Purboyo ja Prasasti 2017)

Lelewer ja Hirschberg (1987) määrittelevät tiedon pakkaamisen (engl. *data compression*) informaatioteorian haarana, jossa päätavoitteena on minimoida lähetettävän tiedon koko. Itse tiedon pakkaaminen heidän mukaan vähentää toisteisuutta tallennetussa tai lähetettävässä tiedossa, ja näin saa aikaan tiiviimpää tietoa ja tiedostoja.

2.1 Häviötön ja häviöllinen tiedon pakkaaminen

Pakkausmenetelmät jaotellaan häviöttömiin ja häviöllisiin menetelmiin. Häviötön tiedon pakkaaminen tarkoittaa, että pakatusta tiedosta on mahdollista palauttaa alkuperäisen, pakkaamattoman tiedon kanssa identtinen tieto. Näin ollen tiedon laatu ei muutu pakkauksen yhteydessä, minkä takia häviöttömiä menetelmiä käytetään erityisesti tekstitiedostojen pakkaamisessa. Myös videota, ääntä ja kuvia voidaan pakata häviöttömästi. Yleisiä häviöttömiä pakkausmenetelmiä ovat esimerkiksi Huffmanin koodaus, (engl. *Huffman coding*) ja jakson pituuden koodaus (engl. *run-length encoding*)

Häviöllinen pakkaus, jota tässä tutkielmassa käsitellään, taas nimensä mukaisesti tarkoittaa, että tiedon pakkauksessa *häviää* tietoa. Tällöin pakattu tieto ja alkuperäinen tieto eivät ole-

kaan identtisiä kuten häviöttömässä pakkaamisessa. Vaikka tällä tavalla tietoa menetetäänkin, johtaa häviöllisyys (Koff ja Shulman 2006) mukaan parempaan tiedon pakkaussuhteeseen (engl. *compression ratio*).

Fitriya, Purboyo ja Prasasti (2017) mukaan pakkaussuhde voidaan esittää kaavalla

$$\text{Tiedon pakkaussuhde} = \frac{\text{bittien määrä ennen pakkausta}}{\text{bittien määrä pakkauksen jälkeen}}$$

Häviöttömillä pakkausmenetelmillä saavutetaan tyypillisesti vaatimattomia, noin 2:1:stä 3:1:een pakkaussuhteita, kun taas häviöllisillä menetelmillä saatetaan päästä jopa 1:50-suuruusluokan pakkaussuhteisiin esimerkiksi lääketieteellisissä pysäytyskuvissa, (Smutek 2005) ja joissain tapauksissa jopa 1:100 pakkaussuhteet ovat mahdollisia (Moura ym. 1996).

Yleisesti voidaan sanoa, että mitä suurempi on tiedon/tiedoston pakkaussuhde, sitä huonolaatuisempi on uusi pakattu tieto tai tiedosto. (Smutek 2005)

2.2 Häviöllisten menetelmien käyttökohteista

Häviöllisiä pakkausmenetelmillä (engl. *lossy compression methods*) on monia käyttökohteita, kuten kuvien ja videoiden (Mantiuk, Myszkowski ja Seidel 2006), sekä äänen (Mansour ja Tewfik 2001) pakkaaminen tiiviimpään muotoon.

Yleisimmin vastaan tulevia häviöllisesti pakattuja tiedostomuotoja ovat esimerkiksi

- JPEG kuvatiedostoissa
- MP3 ja AAC äänitiedostoissa
- AVC ja MPEG videotiedostoissa.

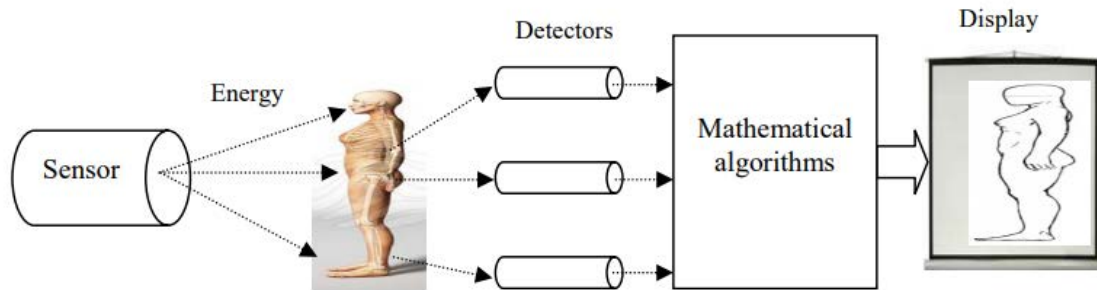
Tämä tutkielma käsittelee näiden häviöllisten menetelmien käyttöä lääketieteellisen kuvantamisen kontekstissa. Se tarkoittaa sitä, että erilaisilla kuvantamismenetelmillä syntyneitä kuvia, joita käytetään diagnosoinnissa ja hoidon tukena, pakataan keinoilla, joissa näistä kuvatiedostoista häviää tietoa. Al-Ani ja Awad (2013) mukaan kuvatiedostoissa (joita lääketieteellisen kuvantamisen tuotokset ovat) esiintyy kolmea *perustoisteisuutta*, joita pakkaamalla saavutetaan pienempiä tiedostokokoa. Nämä toisteisuuden lajit ovat koodauksen toisteisuus,

pikselienvälinen toisteisuus ja psykoviisuaalinen toisteisuus.

Koodauksen toisteisuus tarkoittaa, että tieto on esitetty tehottomasti, ja se vie enemmän tilaa kuin sen tarvitsisi. **Pikselienvälinen toisteisuus** tarkoittaa, että kuvatiedostossa on pikseleitä, jotka ovat lähes tai kokonaan identtisiä. Viimeinen toisteisuuden perustyyppi, **psykoviisuaalinen toisteisuus** kuvaa tilannetta, jossa kuvatiedostossa on ihmisen havainnointikyvyn kannalta epäolennaista tietoa. Kaikkia näitä toisteisuuden tyyppejä huomioimalla voidaan saada aikaan pienempiä kuvatiedostoja, jotka on nopeampi ladata tietokoneelle, ja jotka vievät vähemmän tilaa muistista.

Seuraavassa luvussa käsitellään lääketieteellistä kuvantamista ja siitä syntyneiden kuvien erityispiirteitä.

3 Lääketieteellinen kuvantaminen



Kuvio 2. Lääketieteellinen kuvantamisjärjestelmä käsitteellisellä tasolla (Kasban, El-Bendary ja Salama 2015)

Lääketieteelliset kuvantamismenetelmät (engl. *Medical Imaging Techniques (MIT)*) ovat ei-invasiivisia keinoja, joilla saadaan tietoa vartalon sisäisestä tilasta ilman kirurgisia toimenpiteitä. Niitä käytetään erilaisten sairauksien hoidossa sekä apuvälineinä diagnosoinnissa. (Kasban, El-Bendary ja Salama 2015)

Lääketieteellinen kuvantaminen on ihmisten terveydelle merkittävä edistysaskel, sillä tutkimusten mukaan sillä on yhteys muun muassa alentuneeseen kuolleisuuteen, alentuneeseen tarpeeseen suorittaa kirurgisia toimenpiteitä, lyhyempiin sairaalassaolemisjaksoihin ja korkeampaan elinajanodotteeseen. (Liu ym. 2017)

Lääketieteen kuvantamisen katsotaan alkaneen vuonna 1895, kun Wilhelm Röntgen keksi röntgensäteet (engl. *X-ray*) laboratoriossaan Saksan Würzburgissa. Hän huomasi katodisädeputken avulla, että jotkin näkymättömät säteet pystyivät läpäisemään ihmiskehon osia paremmin kuin kovempia materiaaleja, kuten luuta tai metallia. Myöhemmin 1940-luvulla röntgensäteiden avulla kehitettiin rintasyöpien seulonnassa käytetty mammografia, ja 1950-luvulla kuvantamisessa alettiin käyttää radioaktiivisten aineiden hajoamisesta aiheutuvaan säteilyyn perustuvia kuvantamismenetelmiä (Bradley 2008). Bercovich ja Javitt (2018) mukaan lääketieteellisen kuvantamisen digitaalstuminen on syrjäyttänyt vanhanaikaiset "filmit". Tämä mahdollistaa hänen mukaansa esimerkiksi sen, että radiologi voi työskennellä fyysisesti kaukana potilaasta, eikä suuria kirjastoja joihin vanhanaikaisia filmejä tallennettiin enää tarvita.

(Bradley 2008) mukaan tulevaisuudessa kuvantamismenetelmät ovat aiempaa haitattomia ja sairauksia voidaan havaita aikaisempaa nopeammin; esimerkiksi syöpä pystytään tulevaisuudessa havaita muutoksista aineenvaihdunnassa ennen kuin se aiheuttaa anatomisia muutoksia.

Kuvantamistyyppi	Rakenne	Ulottuvuudet (x, y, z, t)	Bittisyvyys	Koko
Radiografia	rinta	(2000, 2500, -, -)	10-16	10 MB
Tietokonetomografia	vatsa	(512, 512, 500, -)	12-16	250 MB
	aivot	(512, 512, 300, -)	12-16	150 MB
	sydän	(512, 512, 100, 20)	12-16	1 GB
Rintojen tomosynteesi	rinta	(2457, 1890, 50, -)	10-16	0,4 GB
Magneettiresonanssi	vatsa	(512, 512, 100, -)	12-16	50 MB
	aivot	(512, 512, 200, -)	12-16	100 MB
	sydän	(256, 256, 20, 25)	12-16	250 MB
Ultraääni	sydän	(512, 512, -, 50)/s	24 (värillinen)	38 MB/s
PET-kuvaukset	aivot	(256, 256, 50, -)	16	6 MB
	sydän	(128, 128, 40, 16)	16	1 MB
Digitaalinen patologia	solut	(30 000, 30 000, -, -)	24 (värillinen)	2,5 GB

Taulukko 1. Yleisten lääketieteellisten kuvantamistyyppien kuvaulottuvuuksia ja pakkaamattomia tiedostokokoa. (Liu ym. 2017)

Kuten Taulukosta 1 voidaan huomata, on useiden yleisten lääketieteellisten kuvien pakkaamaton koko satoja megatavuja, jopa gigatavuja. Tämä yhdistettynä siihen, että Mahesh ym. (2022) mukaan maailmassa kuvannetaan miljardeja lääketieteellisiä kuvia vuosittain näyttää että näiden kuvien pakkaaminen on hyödyllistä. Myös Zuo ym. (2015) mukaan sairaalat ja terveyskeskukset tuottavat päivittäin valtavia määriä digitaalisia kuvia. Näitä lääketieteellisiä kuvia pakataankin, myös häviöllisesti ja tätä aihealuetta käsittelee tarkemmin Luku 5.

4 Lääketieteellisten kuvien laadun arviointi

Lääketieteellisissä sovellutuksissa ei yleensä ole hyväksyttävää menettää informaatiota, ja siksi usein niissä suositetaan häviöttömiä menetelmiä. Kuitenkin lääketieteellisissä kuvissa on usein sisäsyntyistä kohinaa, mikä mahdollistaa häviöllisten pakkausmenetelmien käytön (Rebelo ym. 1993).

Tämän lisäksi yksinkertaisesti häviöllisten menetelmien tehokkuus on nostanut kiinnostusta niiden hyödyntämiseen. Digitaalisten lääketieteellisten kuvien optimaalinen tallennus ja lähetys verkossa on aito ongelma. (Moura ym. 1996)

Seuraavassa aliluvussa tutkitaan, miten voidaan arvioida kuvan laatua, kun on käytetty menetelmää jossa häviää tietoa pakkaamisen yhteydessä.

4.1 Objektiivinen vai subjektiivinen?

Smutek (2005) mukaan lääketieteellisten kuvien laatua voi arvioida kvantitatiivisesti ja subjektiivisesti. **Kvantitatiivisiin keinoihin** jakautuvat edelleen hänen mukaansa

- arvioitavien kuvien määrän mukaan
- arvioinnin tyypin mukaan, onko arviointimenetelmä numeerinen vai graafinen.

Ensimmäinen, a-kohta jakautuu edelleen univariaatti ja bivariaatti -kohtiin, univariaattiarviointi käsittelee yhtä kuvaa kvantitatiivisesti ja bivariaatti vertailee kahta kuvaa kvantitatiivisesti.

Näiden, kvantitatiivisten, keinojen lisäksi on siis myös **subjektiivisiä keinoja**, joissa esimerkiksi asiantuntija antaa tietylle kuvalle arvosanan asteikolla, tai arvostelee joukon kuvia huonoimmasta parhaimpaan.

Tärkeä kysymys häviöllisen pakkauksen käytössä tallennus- ja kuvansiirtovaatimusten täyttämiseksi on prosessoitujen lääketieteellisten kuvien monipuolisten vääristymien asianmukainen karakterisointi ja mittaus. Häviöllisiä kuvakoodereita käytetään lisäämään kuvanhallinnan tehokkuutta, mutta hyväksyttävä vääristymistaso on usein avoin kysymys lääketie-

teellisissä sovelluksissa. (Przelaskowski 2004).

Taulukko 2. Kuvien laatukriteerien luokittelu (Smutek 2005).

Subjektiiivinen	Objektiivinen Numeerinen	Objektiivinen Graafinen
Absoluuttinen	Keskimääräinen neliövirhe	Visuaalisten erojen ennustaja
Vertailullinen	Lp-normi "Power spectrum" Muut	Histogrammit Hosakan kuvaajat Eskioglun kaaviot

Smutek (2005) mainitsee tutkimuksessaan useita numeerisia menetelmiä kuvien laadun arviointiin lääketieteellisessä kontekstissa, joista muutamia on mainittu Taulukossa 2. Näiden menetelmien lisäksi on olemassa muitakin menetelmiä, esimerkiksi Rakenteellisen samankaltaisuuden indeksi (engl. *Structural Similarity Index, SSIM*), jota käytetään useilla eri tieteenaloilla laajasti. (Nilsson ja Akenine-Möller 2020) Esimerkiksi (Pambrun ja Noumeir 2015) mukaan keskimääräinen neliövirhe (engl. *Mean Square Error, MSE*) korreloi huonosti ihmisen kuvan laadun havainnoinnin kanssa, ja Sara, Akter ja Uddin (2019) tutkimuksen mukaan SSIM olisi parempi numeerinen menetelmä kuvien laadun arviointiin.

5 Häviöllinen pakkaaminen lääketieteellisessä kuvantamisessa

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) on kansainvälinen standardi, joka määrittää hyväksytyt formaatit kullekin lääketieteelliselle kuvausmenetelmälle, ja se on vallitseva standardi lääketieteellisessä kuvantamisessa. Tämän lisäksi myös eri maiden lait ja radiologiset yhdistykset määrittelevät, missä tapauksissa häviöllisiä menetelmiä on soveliasta käyttää. (Liu ym. 2017)

Vaikka olemassa on edellämainittujen kaltaisia instituutioita ja standardeja, on aihealueessa myös epäselkeyttä, sillä vaikka esimerkiksi Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto kieltää digitaalisten mammografiakuvien häviöllisen pakkaamisen, on Saksan radiologiyhdistys julkaissut sille hyväksyttävät pakkaussuhteet. (Radiologists 2020)

5.1 Käytettyjä pakkausmenetelmiä

Kuinka häviöllisiä pakkausmenetelmiä sitten tosiasiaassa sovelletaan lääketieteellisen kuvantamisen kontekstissa? Alan tieteellisessä kirjallisuudessa mainitaan seuraavia menetelmiä:

- Eri JPEG-variaatiot, (JPEG, JPEG 2000 ym.) (Koff ja Shulman 2006), (Iyriboz ym. 1999)
- Aallokemuunnoksiin perustuvat (engl. *Wavelet compression*) (Koff ja Shulman 2006)
- Diskreetti kosinimuunnos (engl. *Discrete Cosine Transform, DCT*) (Rebelo ym. 1993)

Lyhyesti sanottuna näistä ensimmäinen, JPEG-variaatiot ovat useimmille tietokoneista tuttuja häviöllisiä kuvatiedostojen pakkausmenetelmiä. Niitä hallinnoi JPEG, Joint Photographic Experts Group, joka on kansainvälinen komitea, joka kehittää pakkausstandardeja. (Iyriboz ym. 1999)

Aallokemuunnokset kuuluvat muunnospohjaisiin pakkausmenetelmiin (engl. *transform-based compression methods*). Tähän luokkaan kuuluu myös esimerkiksi Diskreetti Fourier-muunnos (engl. *Discrete Fourier Transform*). Lyhyesti sanottuna aallokemuunnoksissa muunnetaan kuvatiedosto kerroinmatriisiksi, jonka jälkeen poistaa halutu(i)lla kriteer(e)illä kertoimista

toisteista tietoa. (Welstead 1999)

Diskreetti kosinimuunnos on keino purkaa signaali alkeistaajuuskomponenteiksi, ja sillä on laajoja käyttökohteita kuvien lisäksi myös äänen pakkaamisessa. (Watson ym. 1994)

Yllä oleva jako on hieman keinotekoinen, sillä esimerkiksi tavallinen JPEG-pakkausalgoritmi jakaa kuvan 8x8:n kokoiisiin lohkoihin, ja suorittaa jokaiselle lohkolle diskreetin kosinimuunnoksen. (Erickson ym. 1998) Myös esimerkiksi uudehko JPEG 2000-algoritmi käyttää aalokemuunnoksia. (Skodras, Christopoulos ja Ebrahimi 2001)

Taulukko 3. Keskimääräiset hyväksyttävät pakkaussuhteet häviöllisille JPEG ja JPEG 2000 -algoritmeille. (Koff ja Shulman 2006)

Kuvantamismenetelmä tai kehonosa	JPEG	JPEG 2000
Rinnan TR/DR	20:1	50:1
Muskuloskelet. TR/DR	20-25:1	Ei testattu
Tietokonetomografia	10:1	10:1
Ultraääni	9-10:1	Ei testattu
Magneettiresonanssi	10:1	10-:1
Angiografia	6:1	Ei testattu
Mammografia	20:1	20-25:1
Isotooppikuvantaminen	Ei testattu	Ei testattu
Hammas	9-12:1	9-12:1

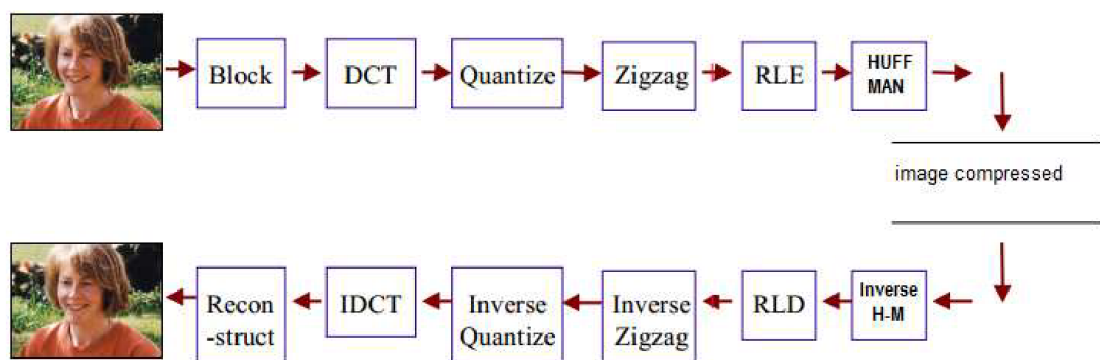
(TR=tietokoneradiografia, DR=digitaalinen radiografia, JPEG=Joint Photographic Experts Group)

Kirjallisuudessa esitellään myös muita häviöllisiä pakkausmenetelmiä, joita voidaan käyttää lääketieteellisessä kuvantamisessa, esimerkiksi fraktaalipakkaus. (Bhavani ja Thanushkodi 2013)

Seuraavassa aliluvussa käsitellään tarkemmin lääketieteellisessä kontekstissa yleisimmin käytettyä *häviöllistä* pakkausmenetelmää, JPEG:iä.

5.2 JPEG

JPEG on yleisimmin käytetty häviöllinen pakkausmenetelmä lääketieteellisen kuvantamisen kontekstissa. (Liu ym. 2017) Se pohjautuu diskreettiin kosinimuunnokseen, ja se tuottaa äärimmäisen tehokkaan kuvanpakkauksen minimaalisella kuvanlaadun alenemalla. (Al-Ani ja Awad 2013) Siitä on olemassa useita varianteja, sekä myös häviötön menetelmä, mutta tässä yhteydessä tutkitaan häviöllisen perättäisen JPEG-menetelmän toimintaa, jossa on Al-Ani ja Awad (2013) mukaan 6 vaihetta:



Kuvio 3. Häviöllisen JPEG-algoritmin vaiheet (Al-Ani ja Awad 2013)

- Lohkojen valmistelu (engl. *Block*)
- Diskreetin kosinimuunnoksen (DCT) käyttö
- Kvantisointi (engl. *quantization*)
- (0, 0)-arvon muuttaminen joka lohkossa
- Linearisointi ja RLE
- Huffman-koodaus

Lohkojen valmistelussa Kuvan sisältämä pikselitieto muunnetaan RGB-värimallista YCbCr-muotoon, sillä YCbCr-muoto mahdollistaa paremman pakkauksen (Al-Ani ja Awad 2013). Tästä syntyy kolme matriisia, yksi luminanssille, yksi siniselle krominanssille ja yksi punaiselle krominanssille. Sen jälkeen kahden jälkimmäisen matriisin, sinisen ja punaisen krominanssin arvot muunnetaan niiden neljän pikselin keskiarvoiksi, jolloin matriisien koko pienenee tavalla, jota ihmissilmä ei Al-Ani ja Awad (2013) mukaan juurikaan huomaa. Tämän jälkeen kaikki kolme matriisia jaetaan 8*8-kokoisiksi lohkoiksi.

Diskreetin kosinimuunnoksen käytössä (kuvassa 2. vaihe, DCT) jokainen 1. vaiheessa muodostettu 8*8:n pikselin lohko käsitellään diskreetillä kosinimuunnoksella, joka on teoreettisesti häviötön vaihe, mutta käytännössä DCT:n tuottamassa kosinikerroinmatriisissa syntyy hieman tiedon häviämistä lukujen pyöristämisten takia.

Kvantisointi (engl. *Quantization*) on JPEG-algoritmin kolmas vaihe, kvantisointi, jossa epäolennaisia DCT-kertoimia hävitetään. Tässä vaiheessa 8*8:n kokoiisiin lohkoihin jaetut kuvan osat, jotka on käsitelty diskreetillä kosinimuunnoksella, jaetaan halutunlaisella *kvantisointitaulukolla*. Kvantisointitaulukko on matriisi, jossa on lukuja, joilla kunkin lohkon arvot jaetaan. Jos kvantisointitaulukossa on jokaisessa kentässä arvo 1, ei kvantisointi tee mitään. Jos taas DCT-kertoimia kvantisoidaan isoilla luvuilla, häviää kuvasta paljon tietoa. (Al-Ani ja Awad 2013) Alla oleva taulukko havainnollistaa kertoimien kvantisoinnista syntyneitä uutta kerroinmatriisia.

DCT-kertoimet								Kvantisointitaulukko								Kvantisoidut kertoimet							
150	80	40	14	4	2	1	0	1	1	2	4	8	16	32	64	150	80	20	4	1	0	0	0
92	75	36	10	6	1	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	92	75	18	3	1	0	0	0
52	38	26	8	7	4	0	0	2	2	2	4	8	16	32	64	26	19	13	2	1	0	0	0
12	8	6	4	2	1	0	0	4	4	4	4	8	16	32	64	3	2	2	1	0	0	0	0
4	3	2	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	16	32	64	1	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1	1	0	0	0	0	16	16	16	16	16	16	32	64	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	32	32	32	32	32	32	32	64	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	64	64	64	64	64	64	64	64	0	0	0	0	0	0	0	0

Kuvio 4. DCT-kertoimien kvantisointi (Al-Ani ja Awad 2013)

(0, 0)-arvon muuttaminen joka lohossa pienentää (0, 0)-arvoa sen verran, kuinka paljon se poikkeaa edellisen lohkon vastaavasta elementistä.

Linearisointi ja RLE linearisoi 64 elementtiä ja suorittaa Run-Length Encoding -pakkauksen.

Viimeinen JPEG-pakkauksen vaihe, **Huffman-koodaus** asettaa usein toistuville luvuille pienemmän koodin ja harvoin toistuville luvuille pidemmän koodin. Tämä on häviötön pakkausmenetelmä, ja se valmistaa kuvatiedoston lähettämistä tai tallentamista varten. (Al-Ani ja Awad 2013)

Näiden vaiheiden jälkeen digitaalinen kuva on pakattu häviöllisesti. Kuten Kuvio 3:sta voi

nähdä, jotta pakattu tieto voidaan rakentaa takaisin kuvaksi, suoritetaan jokainen 6 vaihetta pakkauksen käänteisillä operaatioilla. Esimerkiksi kvantisoinnille on käänteinen kvantisointi ja diskreetille kosinimuunnokselle on käänteinen diskreetti kosinimuunnos.

Vaikka JPEG on käytetyin häviöllinen pakkausmenetelmä lääketieteellisen kuvantamisen kontekstissa (Liu ym. 2017), häviää se siitä kehitetylle aallokemuunnospohjaiselle JPEG2000-menetelmälle Haseeb ja Khalifa (2006) tutkimuksen mukaan useissa vertailukohtissa. Heidän mukaansa kaikissa pakkaussuhteissa JPEG antaa huonompia arvoja esimerkiksi keskimääräisen neliövirheen mittarilla, mutta myös signaali-kohinasuhteessa. Heidän mukaansa myös siinä missä 1:50-pakkaussuhteella JPEG2000:n ja alkuperäisen kuvan havaittavat erot ovat mitättömiä, on ne JPEG:llä pakatuissa kuvissa havaittavissa.

6 Yhteenveto

Lääketieteellinen kuvantaminen on muuttunut digitaalistumisen myötä, ja nykyään lääketieteellisiä kuvia tallennetaan ja siirretään verkossa. Tässä tutkielmassa tehtiin kirjallisuuskatseaus siitä, miten näitä digitaalisia kuvia pakataan häviöllisillä menetelmillä. Myös näiden häviöllisten menetelmien tuottamien kuvien laadunarviointiin tutustuttiin, ja huomattiin että arviointimenetelmiä on useita. Jotkin arviointimenetelmät ovat subjektiivisia, jotkin objektiivisia. Lopuksi käytiin läpi lääketieteellisessä kontekstissa useimmiten käytetty digitaalisten kuvien häviöllinen pakkausmenetelmä, JPEG.

Tutkielmassa huomattiin, että häviöllinen tiedon pakkaaminen on tehokkaampaa kuin häviötön, mikä onkin IT-alalla yleisesti tiedetty tosiasia. Kirjallisuus paljasti, että useampia häviöllisiä kuvanpakkausmenetelmiä käytetään tosielämässä. Pakkausmenetelmissä on eroa esimerkiksi siinä, miten pieneen tilaan ne voi hyväksytysti pakata, sekä miten eri menetelmillä pakatut kuvat suoriutuvat laadunarviointimittauksista.

Alan kirjallisuus näytti, että esimerkiksi kuvien laadunarviointi ei ole aina yksioikoista, ja esimerkiksi numeeriset menetelmät kuten keskimääräinen neliövirhe ja rakenteellisen samankaltaisuuden indeksi saattavat antaa erilaisia arvioita kuvan objektiivisesta laadusta, vaikka ne mittaavat ainakin teoriassa samaa asiaa, kahden kuvan samankaltaisuutta. Myöskään häviöllisestä pakkaamisesta päättäminen ei ole selkeää. Tutkimuksessa huomattiin, että esimerkiksi Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto on eri mieltä mammografiakuvien häviöllisestä pakkauksesta, ja pakkaamista sääntelee muutenkin useat toimijat, kansalliset ja kansainväliset.

Tulevaisuutta ajatellen on mahdoton sivuuttaa tekoälyn huikeaa kehitystä. Esimerkiksi kuvantunnistus kehittyy jatkuvasti, ja sen täyttää potentiaalia ja sovelluskohteita on luultavimmin mahdotonta ennustaa. Se on esimerkiksi antanut lupaavia näyttöjä rintasyövän tunnistamisessa (Houssami ym. 2019), ja tekoälyn sovellutuksia pystytään yleisestikin käyttämään hyödyksi esimerkiksi mikroskooppisessa kuva-analyysissä ja diagnostisessa suunnittelussa (Mandal, Greenblatt ja An 2018). Kun tekoäly oppii vaikkapa tunnistamaan sairauksia kuvista äärimmäisen tarkasti, oppimaan itse lisää materiaaleista ja mahdollisesti suunnittele-

maan itse algoritmeja esimerkiksi tässä tutkielmassa käsiteltyihin pakkausmenetelmiin ja laadunarviointiin, lienee mahdollisuuksia suurillekin mullistuksille.

Lähteet

- Al-Ani, Muzhir Shaban, ja Fouad Hammadi Awad. 2013. “The JPEG image compression algorithm”. *International Journal of Advances in Engineering & Technology* 6 (3): 1055–1062.
- Bercovich, Eyal, ja Marcia C Javitt. 2018. “Medical imaging: from roentgen to the digital revolution, and beyond”. *Rambam Maimonides medical journal* 9 (4).
- Bhavani, Sridharan, ja Kepanna Gowder Thanushkodi. 2013. “Comparison of fractal coding methods for medical image compression”. *IET image Processing* 7 (7): 686–693.
- Bradley, William G. 2008. “History of Medical Imaging”. *Proceedings of the American Philosophical Society* 152 (3): 349–361. ISSN: 0003049X. <http://www.jstor.org/stable/40541591>.
- Dennison, Don, ja Kinson Ho. 2014. “Informatics challenges—lossy compression in medical imaging”. *Journal of Digital Imaging* 27 (3): 287–291.
- Erickson, Bradley J, Armando Manduca, Patrice Palisson, Kenneth R Persons, F Earnest 4th, Vladimir Savcenko ja Nicholas J Hangiandreou. 1998. “Wavelet compression of medical images.” *Radiology* 206 (3): 599–607.
- Fitriya, L Anjar, Tito Waluyo Purboyo ja Anggunmeka Luhur Prasasti. 2017. “A review of data compression techniques”. *International Journal of Applied Engineering Research* 12 (19): 8956–8963.
- Haseeb, Shariq, ja Othman O Khalifa. 2006. “Comparative performance analysis of image compression by JPEG 2000: a case study on medical images”. *Information Technology Journal* 5 (1): 35–39.
- Houssami, Nehmat, Georgia Kirkpatrick-Jones, Naomi Noguchi ja Christoph I. Lee. 2019. “Artificial Intelligence (AI) for the early detection of breast cancer: a scoping review to assess AI’s potential in breast screening practice”. *Expert Review of Medical Devices* 16 (5): 351–362. <https://doi.org/10.1080/17434440.2019.1610387>.

- Iyriboz, Tunc A, Matthew J Zukoski, Kenneth D Hopper ja Paul L Stagg. 1999. “A comparison of wavelet and Joint Photographic Experts Group lossy compression methods applied to medical images”. *Journal of digital imaging* 12 (Suppl 1): 14.
- Kasban, Hany, MAM El-Bendary ja DH Salama. 2015. “A comparative study of medical imaging techniques”. *International Journal of Information Science and Intelligent System* 4 (2): 37–58.
- Koff, David A, ja Harry Shulman. 2006. “An overview of digital compression of medical images: can we use lossy image compression in radiology?” *Journal-Canadian Association of Radiologists* 57 (4): 211.
- Lelewer, Debra A., ja Daniel S. Hirschberg. 1987. “Data Compression”. *ACM Comput. Surv.* (New York, NY, USA) 19, numero 3 (syyskuu): 261–296. ISSN: 0360-0300. <https://doi.org/10.1145/45072.45074>.
- Liu, Feng, Miguel Hernandez-Cabronero, Victor Sanchez, Michael W Marcellin ja Ali Bilgin. 2017. “The current role of image compression standards in medical imaging”. *Information* 8 (4): 131.
- Mahesh ym. 2022. “Patient Exposure from Radiologic and Nuclear Medicine Procedures in the United States and Worldwide: 2009–2018”. *Radiology*, 221263.
- Mandal, Subhamoy, Aaron B. Greenblatt ja Jingzhi An. 2018. “Imaging Intelligence: AI Is Transforming Medical Imaging Across the Imaging Spectrum”. *IEEE Pulse* 9 (5): 16–24. <https://doi.org/10.1109/MPUL.2018.2857226>.
- Mansour, M.F., ja A.H. Tewfik. 2001. “Audio watermarking by time-scale modification”. Teoksessa *2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No.01CH37221)*, nide 3, 1353–1356 vol.3. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2001.941179>.
- Mantiuk, Rafał, Karol Myszkowski ja Hans-Peter Seidel. 2006. “Lossy compression of high dynamic range images and video”. Teoksessa *Human Vision and Electronic Imaging XI*, 6057:311–320. SPIE.

- Moura, Lincoln, Sergio S Furuie, Marco A Gutierrez, Umberto Tachinardi, Marina S Rebelo, Paulo Alcocer ja Candido P Melo. 1996. “Lossy compression techniques, medical images, and the clinician.” *MD Computing: Computers in Medical Practice* 13 (2): 155–9.
- Nilsson, Jim, ja Tomas Akenine-Möller. 2020. “Understanding ssim”. *arXiv preprint arXiv:2006.13846*.
- Pambrun, Jean-François, ja Rita Noumeir. 2015. “Limitations of the SSIM quality metric in the context of diagnostic imaging”. Teoksessa *2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2960–2963. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2015.7351345>.
- Przelaskowski, Artur. 2004. “Vector quality measure of lossy compressed medical images”. *Computers in biology and medicine* 34 (3): 193–207.
- Radiologists, The Royal Australian New Zealand College of. 2020. “Guideline for the Use of Image Compression in Diagnostic Imaging”, <https://www.ranzcr.com/documents/document-library-2/document-library-3/574-a-guideline-for-the-use-of-image-compression-in-diagnostic-imaging>.
- Rebelo, MS, SS Furuie, AC Munhoz, L Moura ja CP Melo. 1993. “Lossy compression in nuclear medicine images.” Teoksessa *Proceedings of the Annual Symposium on Computer Application in Medical Care*, 824. American Medical Informatics Association.
- Sara, Umme, Morium Akter ja Mohammad Shorif Uddin. 2019. “Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study”. *Journal of Computer and Communications* 7 (3): 8–18.
- Skodras, Athanassios, Charilaos Christopoulos ja Touradj Ebrahimi. 2001. “The JPEG 2000 still image compression standard”. *IEEE Signal processing magazine* 18 (5): 36–58.
- Smutek, D. 2005. “Quality measurement of lossy compression in medical imaging”. *Prague medical report* 106 (1): 5–26.
- Watson, Andrew B, ym. 1994. “Image compression using the discrete cosine transform”. *Mathematica journal* 4 (1): 81.
- Welstead, Stephen T. 1999. *Fractal and wavelet image compression techniques*. Nide 40. Spie Press.

Zuo, Zhiyong, Xia Lan, Lihua Deng, Shoukui Yao ja Xiaoping Wang. 2015. “An improved medical image compression technique with lossless region of interest”. *Optik* 126 (21): 2825–2831. ISSN: 0030-4026. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.07.005>.