

# Häviöllisten kuvanpakkausmenetelmien vertailu

Viksu-tutkielma

Olli Etuaho

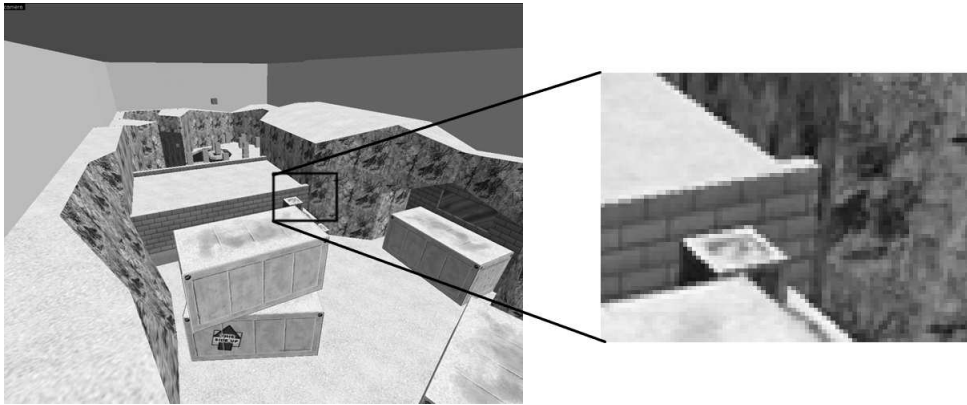
20.11.2003

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimuksen tarkoitus</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Teoriaa</b>	<b>5</b>
3.1	Perustietoja käytettävistä tiedostomuodoista . . . . .	5
3.1.1	JPEG . . . . .	5
3.1.2	GIF . . . . .	5
3.1.3	PNG . . . . .	5
3.2	Häviöllisyyden laskeminen . . . . .	6
3.3	Todellinen kuvanlaatu . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Tutkimuksen suorittaminen</b>	<b>8</b>
4.1	Tutkimusmateriaali . . . . .	8
4.2	Tutkimusmateriaalin käsittely . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Tulokset</b>	<b>10</b>
5.1	Valokuvat . . . . .	10
5.2	3d-grafikka . . . . .	11
5.3	Kaaviot . . . . .	12
5.4	Piirrokset . . . . .	13
5.5	Eri pakkausmenetelmien nopeus . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>15</b>
6.1	Tulosten analysointia . . . . .	15
6.1.1	Valokuvat . . . . .	15
6.1.2	3d-grafikka . . . . .	16
6.1.3	Kaaviot . . . . .	17
6.1.4	Piirrokset . . . . .	18
6.2	Loppuyhteenvedo . . . . .	19
<b>7</b>	<b>Lähteitä</b>	<b>19</b>

# 1 Johdanto

Digitaalinen kuvien tallennus on ollut todellisuutta jo pitkään, ja viime vuosina digitaalikamerat ovat vallanneet alaa tavallisilta kameroilta. Digitaaliset kuvat perustuvat siihen, että tuotetaan approksimaatio analogisesta kuvasta rasterigrafiiikan keinoin. Rasterikuvat ovat ikään kuin kaksiulotteisia taulukoita, joissa jokainen alkio sisältää yhden pikselin eli kuvapisteen väriarvon. Esimerkki mustavalkoisesta rasterikuvasta kuvassa 1. Digitaalisuuden havaitsee kuvaa suurentamalla. Värilliset kuvat ovat muuten samanlaisia kuin mustavalkokuvat, mutta jokainen väriarvo on itse asiassa 3 eri väriarvoa yhdistettynä: Punainen, vihreä ja sininen. Kun käsitellään vain yhtä väriä, puhutaan värikanavista.



*Kuva 1*

Kuvien pakkaus on tullut viimeisen vuosikymmenen aikana ajankohtaiseksi asiaksi Internetin levämisen myötä. Ihmiset haluavat itselleen multimediasisältöä, mutta tämän vieminen pakkaamattomana rajoitetun kaistan yli on liian hidasta. Lisäksi pakkaamattomat kuvat vievät paljon kiintolevytilaa. Kuvanpakkausalgoritmit ovat kehittyneet vastaamaan niihin tarpeisiin. Niitä on kehitetty lukuisia, mutta Internet-ympäristössä on käytössä lähinnä 3: JPEG, GIF ja PNG. Tämän myötä kuvanlaatu on noussut ongelmaksi: PNG on näistä ainoa, jolla voi pakata 24-bittisen täysvärikuvan häviöttömästi (dataa kadottamatta), ja tällöin tiedostokoko kasvaa usein liian suureksi. Lisäksi kuvanpakkauksen tarve on entisestään kasvanut, kun uusiin, kannettaviin, vähätehoisiin ja vähämuistisiin laitteisiin kuten kännyköihin on tullut kuvatiedostoja. Usein on päädytty JPEGin käyttöön, mutta myös muita tiedostomuotoja kannattaa joskus käyttää.

## 2 Tutkimuksen tarkoitus

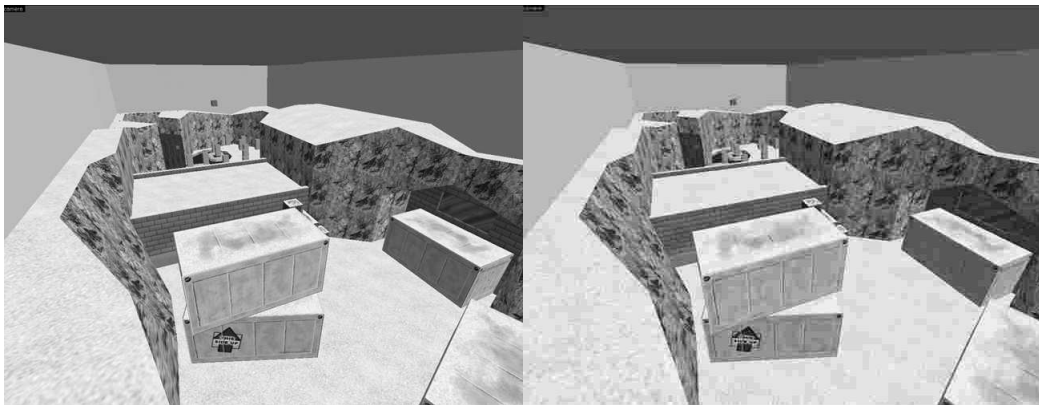
Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, kuinka suurta häviöllisyyttä JPEG-PNG- (8-bittinen) ja GIF-pakkausmenetelmät aiheuttavat 24-bittiseen kuvadataan. Tätä varten täytyy tietenkkin myös määritellä, mitä kuvan häviöllisyys on. Asiaa on tarkoitus lähestyä perinteisestä teknisestä näkökulmasta, mutta myös erilaisten ”oikeaa”kuvanlaatua hieman paremmin mittaavien tapojen kehittäminen ja kokeilu on yksi tutkimuksen tavoitteista. Lisäksi mitataan myös pakkausmenetelmien tehokkuutta käytetyn prosessoriajan suhteen, sillä vaikka prosessoreiden teho kasvaakin jatkuvasti, joskus käytettävissä on vähän tehoa tai pakattavaa materiaalia on paljon. Lopputuloksena saadaan melko kattava yleisten häviöllisten pakkausmenetelmien ja niihin liittyvien asioiden vertailu, joka antaa suuntaviivoja pakkausmenetelmän valinnasta halutun tiedostokoon ja kuvatyypin perusteella.

## 3 Teoriaa

### 3.1 Perustietoja käytettävistä tiedostomuodoista

#### 3.1.1 JPEG

JPEG on kehitetty vuonna 1994, ja se on ollut Internetissä hallitseva kuvatiedostomuoto jo pitkään. Se perustuu perusolettamukselle, että ihmisilmä havaitsee värien muutosta hankalammin kuin kirkkauden muutosta. Näin ollen värejä ei tarvitse tallentaa yhtä tarkasti kuin pikselien kirkkautta. Lisäksi JPEG:ssä on kuvien 8x8 pikselin ruutuihin jakamiseen perustuva pakkausmenetelmä: Vain ruudun ensimmäinen pikseli tallennetaan tarkasti, ja loput johdetaan siitä eri tavoilla. Tästä johtuu JPEG:in aiheuttama kuvan ruuduttuminen korkeilla pakkaustasoilla. Esimerkki JPEG-pakkauksen aiheuttamista ilmiöistä kuvassa 2 (Alkuperäinen vasemmalla). [JPEG]



*Kuva 2*

#### 3.1.2 GIF

GIF on käsiteltävistä tiedostomuodoista vanhin: Siitä julkaistiin muutamia versioita 80-luvun loppupuolella, joista käytetään nykyään lähinnä GIF89:ää. GIF osaa tallentaa vain 8-bittisiä kuvia häviöttömästi, ja 24 bitin tukea siinä ei ole. Tutkimuksessa tutkittiin 24-bittisten kuvien pakkaamista, joten ne piti ensin muuttaa 8-bittiseen palettimuotoon jollakin muulla algoritmilla. GIF perustuu LZW-pakkausalgoritmille. [GIF]

#### 3.1.3 PNG

PNG:n versio 1.0 julkaistiin vuonna 1996 GIF:n korvaajaksi. PNG on GIF:ää monilta osin huomattavasti hienostuneempi ja sisältää tuen useille eri värisyvyyksille: 8 bitin palettigrafiikalle, 24 bitille, 32 bitille, 48 bitille ja 64 bitille. PNG

on häviötön pakkausalgoritmi. Tässä tutkimuksessa kohteena on lähinnä 8-bittinen PNG, joka muistuttaa eniten GIFä. 24-bittinen PNG toimii kyllä verkossa ihan hyvin, ja 32-bittinen tarjoaa jopa läpikuultavuuden, mutta ne tuottavat joskus käytännössä aivan liian suuria tiedostoja. [PNG]

### 3.2 Häviöllisyyden laskeminen

Tarkastellaan ensin häviöllisyyttä teknisestä näkökulmasta. Kuvadataa katsotaan suoraan pikselitasolla, ja virhe lasketaan yksinkertaisesti pakatun kuvan ja alkuperäisen kuvan pisteiden välisestä värierosta. Tähän käytetään perinteisiä tilastollisia menetelmiä. Tässä tutkimuksessa käytetyn algoritmin nimi on keskihajontaa vastaava RMSE (Root Mean Square Error), eli virheiden neliöiden keskiarvon neliöjuuri. Sillä saadaan laskettua yhden värikanavan sisältämä virhe, ja kokonaisvirhe saadaan värikanavien virheiden keskiarvona. Mitä suurempi RMSE on, sitä suurempi on virhe ja sitä pienempi kuvanlaatu. [PSNR]

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{\sum [F(i,j) - f(i,j)]^2}{n}}$$

Kaavassa  $f(i,j)$  on pakatun kuvan pikselin väriarvo kohdassa  $i,j$ ,  $F(i,j)$  pakkaamattoman kuvan pikselin väriarvo kohdassa  $i,j$  ja  $n$  pikseleiden määrä kuvassa.

Koska RMSE:n arvot vaihtelevat hyvin paljon, on kätevää saada pakatun kuvan virhe myös helpommin käsitettävällä logaritmisella asteikolla. Tähän on kehitetty ns. PSNR-luku (Peak Signal-to-Noise Ratio). Vaikka mitään varsinaista standardia asiasta ei olekaan, PSNR on alalla hyvin yleisesti käytössä. Tyypilliset PSNR-arvot vaihtelevat välillä 20-40, ja suurempi PSNR ilmaisee parempaa kuvanlaatua. PSNR:n yksikkönä käytetään desibeliä. [PSNR]

$$PSNR = 20 \lg\left(\frac{255}{RMSE}\right)$$

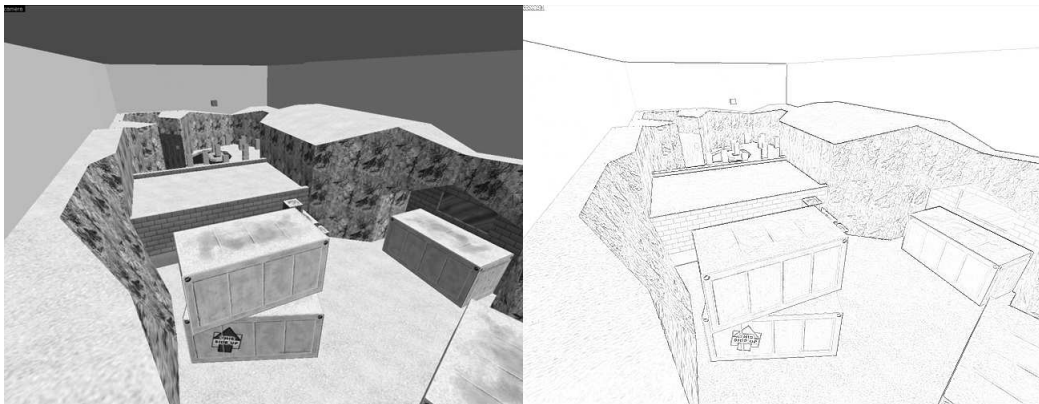
255 on tässä väriarvon maksimi 24-bittisessä värijärjestelmässä (8 bittiä per värikanava,  $2^8 - 1 = 255$ ). Jos käytössä olisi 48-bittinen väri, luku olisi  $2^{16} - 1 = 65535$  (16 bittiä per värikanava).

### 3.3 Todellinen kuvanlaatu

Näin yksinkertaisesti lasketut arvot eivät kerro koko totuutta, sillä ihminen kokee kuvanlaadun merkittävästi eri tavalla kuin kone. Tätä asiaa tutkivat tällä hetkellä useat tutkimusryhmät ympäri maailman, ja tulevaisuudessa tuloksina mahdollisesti saatavat algoritmit voivat olla hyvinkin monimutkaisia. Tässä tutkimuksessa ongelmaa on kuitenkin pyritty yksinkertaistamaan, jotta tuloksia saataisiin järkevällä aikavälillä. Tulokset saattavat siis yhä erota ihmisen kokemasta.

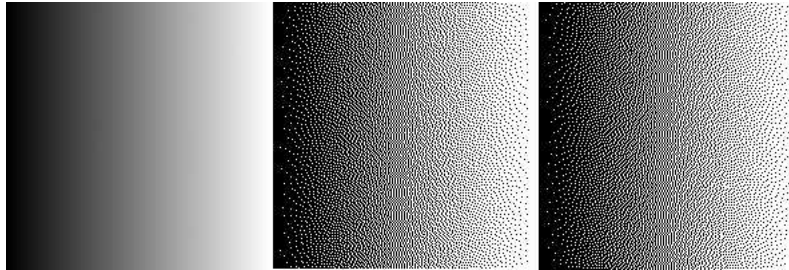
Ihmisen verkkokalvo ja sen takana olevat näköhermon osat havaitsevat kolme asiaa: kaksi niistä ovat valon voimakkuus ja väri, mutta koska esineiden erottaminen toisistaan on näköaistin kannalta tärkeää, aivojen näköalueet ovat kehittyneet havaitsemaan myös värien rajoja. Tämä toimii siten, että vierekkäisten verkkokalvon aistinsolujen signaalit yhdistetään, ja aistinsignaalien ero vaikuttaa eteenpäin lähtevän hermosignaalin voimakkuuteen [NÄKO]. Siksi on järkevää, että kuvaa käsitellään suoran pikseleiden vertailun lisäksi myös sen sisältämien ääriviivojen sekä yhtenäisesti väritettyjen alueiden kannalta. Näitä saadaan kuvista paremmin esille joillakin modernien kuvankäsittely-ohjelmien toiminnoilla.

Määritellään tutkimusta varten ensisijaisesti kuvien raja-alueita vertaileva luku, EPSNR (Edge PSNR). EPSNR lasketaan siten, että otetaan PSNR-luku jollakin kuvan sisältämät ääriviivat esille tuovalla algoritmilla käsitellyistä kuvista. Tässä tutkimuksessa valittiin käyttöön GIMP:n Edge/Laplace-suodatin, lähinnä ratkaisun avoimuuden ja siten varman toistettavuuden takia. Mustavalkokuva 3d-mallista ennen ja jälkeen Laplace-käsittelyn kuvassa 3. Kuten kuvasta voi jokainen havaita, Laplace-suodatin erottaa esineet toisistaan jotakuinkin samalla tavalla kuin ihmisen näköaisti, eli muistuttaa tarkkaa viivapiirrosta tilanteesta. Niinpä sillä käsiteltyjen kuvien vertailu on perusteltua oikeaa kuvanlaatua määritettäessä.



*Kuva 3*

Määritellään toinen uusi vertailuluku, PPSNR (Posterized PSNR), joka perustuu kuvien karkeaan jakamiseen suunnilleen saman värisiin alueisiin ennen PSNR:n laskemista, vähän samaan tapaan kuin ihminen jakaa näköaistimuksen samanvärisiin alueisiin. Tähänkin käytetään GIMP:n suodinta, tällä kertaa Posterizea Levels-arvolla 5 (jakaa jokaisen värikanavan 5:een tasoon). Lisäksi käytetään vielä kuvan sumennusta, jotta ditheröinnin aiheuttama efekti ei olisi liian voimakas. Ihminen havaitsee kuitenkin ditheröidyt alueet suunnilleen samanlaisina riippumatta ditheröintitavasta, joten toisenlainen menetely voisi aiheuttaa ei-vertailukelpoisia tuloksia. Esimerkkinä ditheröinnistä kuva 4, jossa on 8-bittinen harmaasävykuva ja vieressä sama kuva mustavalkoisena 2 eri ditheröinnillä. Eroa ditheröityjen kuvien välillä on hankala huomata, ja kaukaa katsottuna kaikki kuvat näyttävät suunnilleen samalta.



*Kuva 4*

Voidaan laskea lisäksi myös näiden kahden suotimen yhdistelmä (Ensin Posterize ja sitten Edge/Laplace), jolloin pakkauksen aiheuttama kuvan rakenteen muutos korostuu entisestään. Nimetään yhdistelmä EPPSNR:ksi (Edges of Posterized image PSNR). Etenkin kuvan rakennemuutokset, kuten rajun JPEG-pakkauksen aiheuttama häiritsevä kuvan ruuduttuminen korostuvat hyvin, kun kuvalle suoritetaan sekä Posterize- että Edge-toiminto.

GIMP:n lähdekoodi on ladattavissa osoitteesta <http://www.gimp.org/download.html> Tutkimuksessa käytettiin GIMP:n versiota 1.3.22.

## 4 Tutkimuksen suorittaminen

### 4.1 Tutkimusmateriaali

Tutkimusmateriaalin tulee olla mahdollisimman kattava, joten tutkimuksessa otettiin käyttöön suuri määrä erilaista lähdemateriaalia. Harmaasävykuvia ei käytetty, sillä GIF pakkaa alle 257 värin kuvat häviöttömästi, ja sen häviöllisyys syntyykin itse asiassa vain 256-väriseksi muuttamisesta. Tutkimuksessa tutkittiin seuraavanlaisia kuvia:

- Valokuvia

- Renderöityä 3d-grafiikkaa
- Kaavioita eri tekniikan aloilta
- Piirroksia

Jokaisesta kategoriasta valittiin 10 mahdollisimman erilaista kuvaa, jotka kuitenkin sopivat hyvin kategorian määritelmään, eivätkä muistuta liikaa minkään toisen kategorian kuvia.

## 4.2 Tutkimusmateriaalin käsittely

Tutkimuksen varsinainen suorittaminen kullekin kuvakategorialle hoidettiin siten, että jokaisesta kuvasta generoitiin noin 5-, 10-, 20-, ja 40-kertaisesti pakattu kuva alkuperäiseen verrattuna eri pakkausmenetelmillä. JPEG:issä kokeiltiin kahta eri sumennustasoa (0.25 ja 0.5 pikselä), kun se on korkeammilla pakkaustasoilla tarpeellista. Joissain tapauksissa kaikkia tallennusmenetelmiä ei voitu välttämättä käyttää jollain pakkaustasolla. Tuloksena saatuja kuvia vertailtiin sitten alkuperäisen kanssa kaikilla neljällä tutkimuksen esittelemällä tavalla: tavallisella PSNR:llä, EPSNR:llä, PPSNR:llä sekä EPPSNR:llä. Tulokset taulukoitiin, ja niistä tehtiin graafisia esityksiä, joiden perusteella voitiin arvioida eri pakkausmenetelmien käyttäytymistä erilaisilla pakkaustasoilla.

GIF- ja PNG-pakkausissa käytetään korkean ditheröintitason tuottavaa algoritmia paletin muuttamiseen 8-bittiseksi (tai suurilla pakkaustasoilla pienemmäksi), paitsi jos sitä pitää muuttaa suuremman pakkautuvuuden aikaansaamiseksi.

## 5 Tulokset

### 5.1 Valokuvat

Tähän kategoriaan luettiin kuuluvaksi kaikki valokuvat, joita ei ole juuri-kaan editoitu. Kuvia valittiin eri aihealueilta: Maisemakuvia, henkilökuvia ja kuvia teknisistä laitteista. Yhteistä kategorian kuville ovat etenkin runsas värien määrä, yksityiskohtaisuus sekä tarkkuus. Tulokset taulukossa 1.

Menetelmä	PSNR	EPSNR	PPSNR	EPPSNR
5x-pakkaus				
JPEG	38.80	30.00		19.17
GIF	34.32	27.20	25.34	20.50
PNG	31.75	25.53	23.90	19.47
10x-pakkaus				
JPEG	34.38	27.27	24.91	19.84
GIF	27.87	22.79	21.51	17.80
PNG	24.09	19.85	19.15	16.20
20x-pakkaus				
JPEG	30.71	24.33	23.13	17.55
GIF	22.90	18.60	18.57	15.31
PNG	19.48	14.48	17.34	13.64
40x-pakkaus				
JPEG	27.87	22.03	21.81	15.88
GIF	16.85	10.70	15.11	10.27
PNG	17.45	13.88	15.49	12.86

*Taulukko 1*

Tuloksista havaitaan, että valokuvat ovat selvästi JPEG:in vahva alue: Suuremmilla pakkaustasoilla GIF on vielä samassa suuruusluokassa, etenkin kuvan rakennetta mitattaessa (EPSNR) mutta jää myöhemmin auttamattomasti jälkeen. PNG saa yleisesti ottaen vielä vähän huonompia tuloksia kuin GIF.

## 5.2 3d-grafiikka

Tähän kategoriaan luettiin kuuluvaksi 3d-grafiikka, jossa sai olla myös pieniä 2d-efektejä. Kategoria on lähellä valokuvia, mutta hieman pienempi yksityiskohtaisuus, itsensä toistaminen ja suurempi määrä tasaisia väripintoja erottaa sen niistä. Tutkimukseen otettiin mukaan joitakin pelien ruutukaappauksia sekä vähän muuta sekalaista 3d-taidetta. Saadut tulokset ovat taulukossa 2.

Menetelmä	PSNR	EPSNR	PPSNR	EPPSNR
5x-pakkaus				
JPEG	40.12	31.43	27.97	24.11
GIF	38.12	30.94	26.71	23.32
PNG	37.56	30.31	27.27	23.84
10x-pakkaus				
JPEG	34.84	27.96	25.65	21.50
GIF	31.15	25.71	22.79	19.77
PNG	25.95	23.14	20.53	18.96
20x-pakkaus				
JPEG	30.87	24.68	23.70	18.72
GIF	24.08	20.08	19.60	17.95
PNG	18.93	16.84	16.49	15.15
40x-pakkaus				
JPEG	27.47	22.18	21.97	16.80
GIF	15.99	15.11	14.18	13.94
PNG	16.44	17.24	14.43	15.72

*Taulukko 2*

3d-grafikassa tulokset ovat samaa luokkaa kuin valokuvissa, vaikka GIF kiirikin JPEG:in etumatkaa kiinni hieman tasaisten väripintojen yleistymisen ansiosta. Myös PNG menestyy hieman paremmin kuin muissa kategorioissa, mikä johtunee sen säännöllisiä rakenteita varten kehitetyistä optimoinneista.

### 5.3 Kaaviot

Kaavioihin valittiin erilaisia karttoja, teknisiä piirrustuksia ja muita samankaltaisia kuvia. Kaikki kuvat olivat värillisiä, ja niissä käytettiin antialia-sointia, sillä muuten GIF ja PNG eivät olisi vertailukelpoisia. Mukaan otettiin myös muutama kuva, jossa oli seassa valokuvamateriaalia. Yhdistävänä piirteenä oli etenkin tasaisten väripintojen ja tekstin yleisyys. Tulokset ovat taulukossa 3.

Menetelmä	PSNR	EPSNR	PPSNR	EPPSNR
5x-pakkaus				
JPEG	37.80	28.71	27.24	23.68
GIF	35.21	27.27	26.17	22.45
PNG	35.20	27.27	26.17	22.45
10x-pakkaus				
JPEG	30.53	24.45	23.69	20.24
GIF	28.99	23.24	22.33	18.85
PNG	27.09	22.00	21.91	18.83
20x-pakkaus				
JPEG	26.33	21.22	21.34	18.07
GIF	22.82	18.45	18.98	15.85
PNG	21.60	17.28	18.62	15.54
40x-pakkaus				
JPEG	21.90	17.53	18.84	14.48
GIF	17.40	12.30	15.59	13.08
PNG	17.75	13.47	15.82	14.07

*Taulukko 3*

JPEG pärjää yllättävän hyvin, vaikka materiaaliin onkin valittu vähän tavallista monimutkaisempia kaavioita. GIF ei ole kuitenkaan kaukana peässä, ja se onkin varteenotettava vaihtoehto varsinkin yksinkertaisempia kuvia tallennettaessa. Myös PNG suoriutuu tässä kategoriassa hyvin: Se saa jopa muutamia GIF:ää parempia tuloksia erikoistapauksiin kehitettyjen optimointiensä ansioista.

## 5.4 Piirrokset

Kategoriaan otettiin mukaan erilaisilla perinteisillä ja uusilla tekniikoilla tehtyä taidetta, kuten maalauksia, kaksiulotteista tietokonegrafikkaa sekä värillisiä piirroksia. Yhteistä kategorian kuville on eräänlainen monimutkaisuus sekä epätasaisuus, sekä myös toisaalta tasaisten pintojen yleisyys sekä kohtalaisen pieni värimäärä. Kategoria oli kuitenkin tutkimuksen epämääräisin, ja hajonnat tuloksissa olivat suuria. Tulokset ovat taulukossa 4.

Menetelmä	PSNR	EPSNR	PPSNR	EPPSNR
5x-pakkaus				
JPEG	39.15	29.38	27.91	23.11
GIF	36.87	28.56	27.07	22.61
PNG	35.73	27.94	26.42	22.22
10x-pakkaus				
JPEG	34.15	26.35	25.41	20.58
GIF	29.77	23.57	22.74	18.50
PNG	25.08	20.35	20.10	17.50
20x-pakkaus				
JPEG	29.51	23.09	22.98	17.89
GIF	23.11	18.34	18.95	16.56
PNG	19.00	15.09	16.55	14.80
40x-pakkaus				
JPEG	26.06	20.36	21.20	15.74
GIF	15.34	12.09	13.81	12.23
PNG	15.76	13.42	14.04	13.34

*Taulukko 4*

GIF saa tässä kategoriassa yllättävän hyvän tuloksen, vaikka jääkin korkeilla pakkaustiheyksillä JPEG:stä jälkeen. Parhaassa laatuluokassa kilpailu on kuitenkin erittäin tasaista, ja kannattaakin harkita värillistenkin piirrosten tallentamista GIF:nä. PNG suoriutuu kohtalaisesti, ja saa jopa GIF:ä paremmat tulokset 40-kertaisella pakkaustiheydellä.

## 5.5 Eri pakkausmenetelmien nopeus

Pakkausmenetelmien nopeutta mitattiin käyttäen kaikkia 40 testissä ollutta kuvaa. Testilaitteistona toimi tietokone, jossa oli 1600 MHz Athlon XP -prosessori ja 512 megatavua 266 MHz:n DDR-muistia. Testiohjelmistona toimi GIMP. Aika, joka kului kuvien avaamiseen ja GIMPin skriptitoimintoihin suljettiin mittauksesta pois. Testeissä mitattiin nimenomaan kuvien pakkausnopeutta, ei purkunopeutta. Tulokset alla:

Pakkaus	JPEG	GIF	PNG
5x	3s	28s	31s
10x	4s	27s	30s
20x	4s	23s	25s
40x	4s	20s	22s

*Aikaa 40 512\*512 pikselin kuvaa kohden, suurempi = huonompi*

Tuloksista huomaa, että nopeuserot ovat selviä - ilmeisesti etenkin palettimuunnos kuluttaa prosessori-aikaa huomattavasti. Piää kuitenkin huomata, että tämä on kuvankäsittelyohjelman, eikä varsinaisen pakkauksen ominaisuus, joten muilla ohjelmilla kuin GIMPillä saattaa tulla erilaisia tuloksia. Myös PNG:n raskas pakkausalgoritmi näyttää vaikuttavan jonkin verran, mutta GIF:n ja PNG:n tulokset ovat kuitenkin samassa suuruusluokassa. JPEG on siis nopeudessa ylivoimainen voittaja. Vertailun vuoksi sama testi tehtiin vielä häviöttömästi 24-bittisellä PNG:llä ja valmiiksi 256-värisille kuville GIF:llä ja PNG:llä. Tulokset alla:

Pakkaus	PNG(24)	PNG(8)	GIF
aika	4s	4s	2s

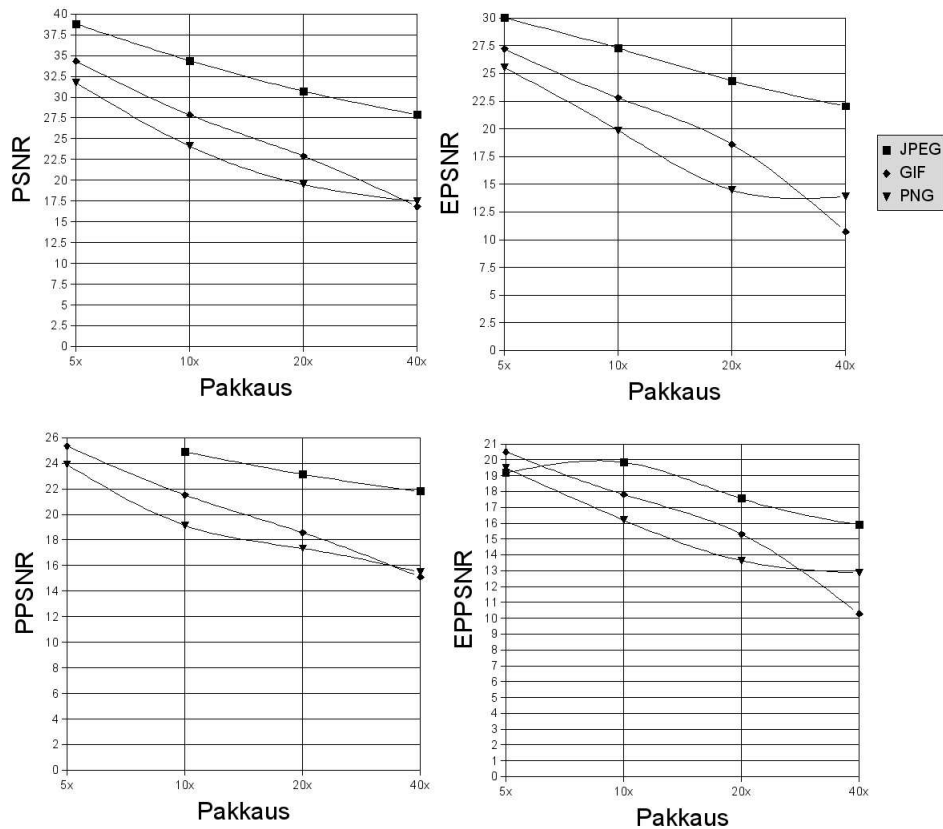
*Aikaa 40 512\*512 pikselin kuvaa kohden, suurempi = huonompi*

Tästä näkyikin sitten vähän paremmin GIF:n ja PNG:n pakkausalgoritmien nopeusero. GIF on vähän yli 2 kertaa niin nopea kuin PNG, ja vaikka tämä ero ei olekaan merkittävä, jos myös palettimuunnos pitää tehdä, se voi joskus osoittautua tärkeäksi rajoitetun suorituskyvyn ympäristössä.

## 6 Johtopäätökset

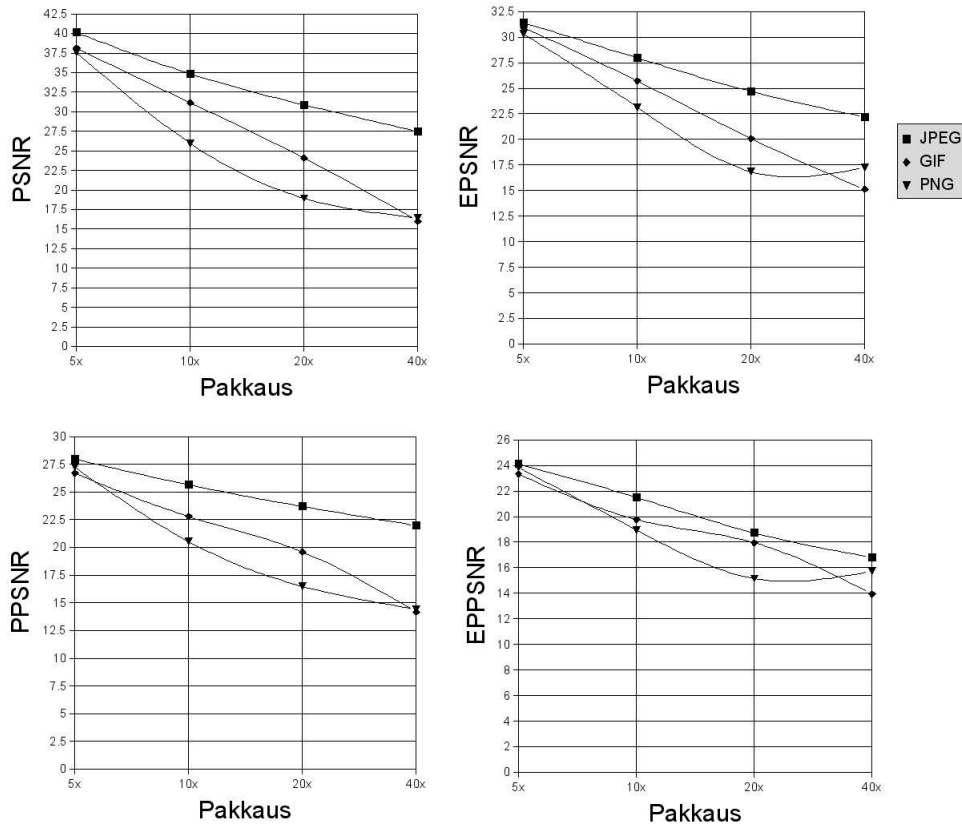
### 6.1 Tulosten analysointia

#### 6.1.1 Valokuvat



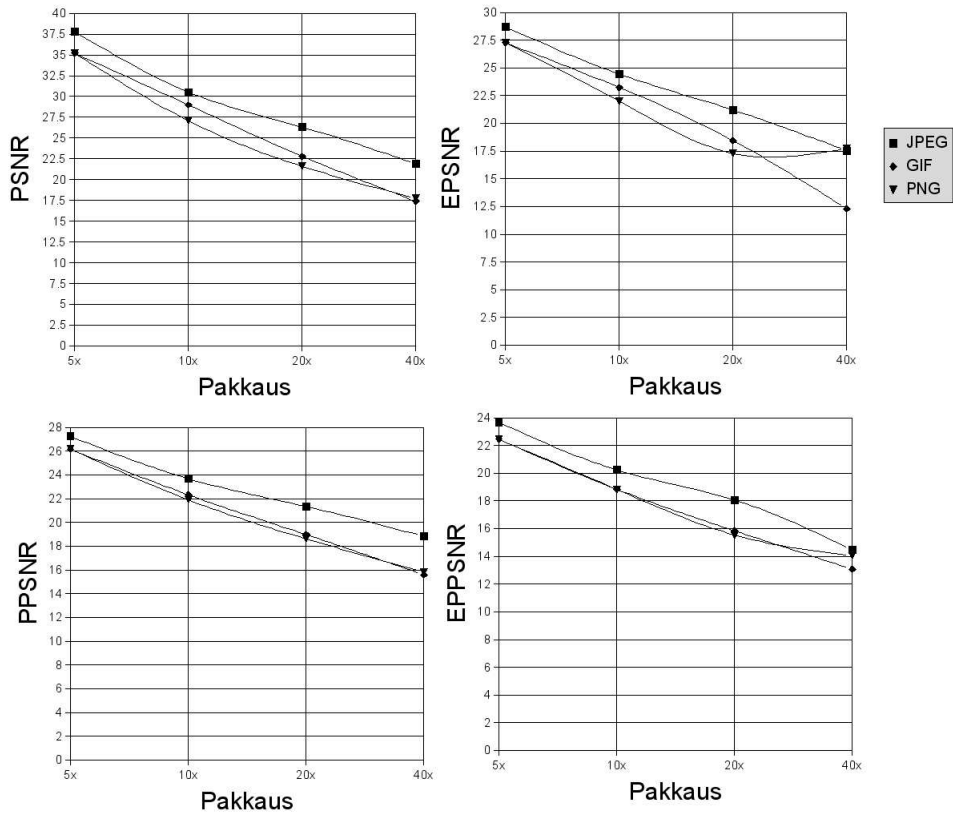
Kuvaajista nähdään entistä selkeämmin, että JPEG on ylivoimainen voittaja, eikä merkittävämpää muutosta tilanteeseen tule millään pakkaustasoilla. GIF voittaa PNG:n niukasti, mutta toisaalta PNG näyttää kestävästi korkeaa pakkaustasoa paremmin. JPEG on kuitenkin kiistatta ylivoimainen.

### 6.1.2 3d-grafikka



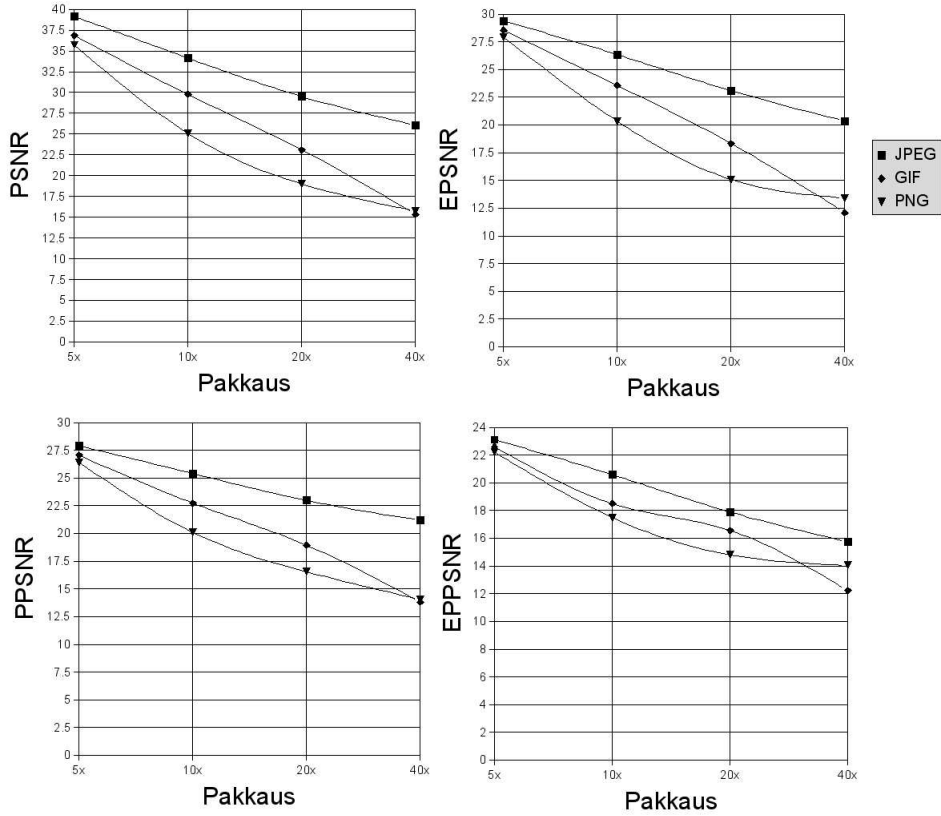
3d-grafikassa tilanne ei ole aivan niin selvä kuin valokuvissa, vaikka JPEG dominoi myös tässä kategoriassa. Kuvan rakenne näyttää kuitenkin säilyvän joissain tapauksissa paremmin GIF:llä ja PNG:llä kuin JPEG:llä, joten niitä ei kannata jättää aivan huomiotta. PNG:n ja GIF:n suhde on sama kuin valokuvissa: GIF voittaa matalammilla pakkaustasoilla, mutta PNG menee ohi suuremmilla.

### 6.1.3 Kaaviot



JPEG johtaa, mutta kilpailu on tasaisempaa kuin 2 ensimmäisessä kategoriassa. Hajontaa kuvissa on myös jonkin verran, joten kategoriassa tulos jää hieman epäselväksi. PNG ja GIF ovat keskenään suunnilleen samassa tilanteessa, vaikka PNG saakin muutamia huomattavasti parempia tuloksia.

### 6.1.4 Piirrokset



Myös piirrosten käsittelyssä JPEG saa parhaita tuloksia, mutta myös GIF ja PNG pääsevät joissain mittauksissa muutaman desibelin päähän. Korkeammilla pakkaustiheyksillä GIF ja PNG jäävät kyllä jälkeen, mutta suurimmalla laadulla kilpailu on tiukkaa, varsinkin kun hajonta on keskinääräistä suurempi. PNG jää hieman jälkeen GIF:stä lukuun ottamatta korkeinta ja matalinta pakkaustasoa.

## 6.2 Loppuyhteenveto

JPEG menestyi parhaiten miltei jokaisessa kuvakategoriassa, vaikka GIF ja 8-bittinen PNG saivatkin sitä kiinni piirroksien ja kaavioiden tallennuksessa matalalla pakkaustasolla. Etenkin kuvan rakenne säilyi GIF:llä ja JPEG:llä tallennettaessa hyvin, vaikka JPEG voittikin kilpailun tavallisessa PSNR:ssä jokaisessa mittauksessa. 24-bittisten kuvien tallentaminen aina JPEG:iä verkkokäyttöä varten ei siis ole mitenkään huono vaihtoehto, vaikka joissain erikoistapauksissa muut tallennusmuodot saattavat olla hieman tehokkaampia. Korkeintaan 256-värisen palettigrafikan ollessa kyseessä tilanne on tietenkin toinen: GIF ja PNG pakkaavat tällöin kuvat pieneen tilaan häviöttömästi tai vain pientä häviöllisyyttä aiheuttaen, jos värimäärää pienentää. Näistä kahdesta GIF näyttää olevan hieman tehokkaampi pakkaaja, ja myös nopeampi, mutta käytännössä ero on merkityksetön, varsinkin kun GIF-enkodereista pyydetään joissain maissa lisenssimaksua. Rajoitetun suorituskyvyn ympäristössä voi toki harkita GIF:n käyttöä sen nopeuden perusteella, mutta se on harvoin tarpeellista.

Kannattaa tietenkin tarpeen mukaan ottaa huomioon myös pakkausmetodeista löytyvät ominaisuudet: JPEG:stä puuttuu läpinäkyvyys, joten jos sitä tarvitaan, pitää käyttää joko GIF:iä tai PNG:tä. Myös metadatan tallennusominaisuudet eroavat hieman pakkausmenetelmien välillä, mutta niille ei ole juuri tarvetta tämän tutkimuksen aihealueella. GIF on tutkimuksen tiedostomuodoista ainoa, joka tarjoaa animointimahdollisuuden. [GIF] [JPEG] [PNG]

## 7 Lähteitä

[PSNR] Computation of SNR and PSNR. PSNR:n ja RMSE:n laskemiseen käytettävät kaavat. Saatavilla www-muodossa:

<URL: <http://bmrc.berkeley.edu/courseware/cs294/fall97/assignment/psnr.htm>> (Luettu 10.10.2003)

[NÄKO] American Scientist Online: American Scientist Online - How the Retina Works. Ihmisen näköaistin toiminnasta. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/16218/page/4>> (Luettu 15.10.2003)

[JPEG] Tom Lane: JPEG FAQ index. JPEG FAQ JPEG-ryhmän jäseneltä. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.faqs.org/faqs/jpeg-faq/>> (Luettu 19.11.2003)

[PNG] Greg Roelofs: PNG (Portable Network Graphics) Home Site. PNG:tä edustavat sivut. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.libpng.org/pub/png/>> (Luettu 20.11.2003)

[GIF] Image-formats.com: GIF (Graphics Interchange Format) Tietoa GIF:stä image-formats-sivustolta. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.image-formats.com/gif.htm>> (Luettu 20.11.2003)