

Teknillinen korkeakoulu
Tietoliikenneohjelmistojen ja Multimedian Laboratorio
T-111.5500 Tietokonegrafikan seminaari
Kevät 2007

25.4.2007

Manga-väritys

Miro Lahdenmäki
55089K

Manga-väritys

Miro Lahdenmäki

TKK, Tietoliikenneohjelmistojen ja Multimedian Laboratorio

miro.lahdenmaki@iki.fi



Kuva 1: Kuviojatkuvien ja intensiteettijatkuvien alueiden värittäminen mangassa. Järjestyksessä: Syötekuva, Flood-fill, optimointimenetelmä ja manga-väritys. ©Yikoto Kishiro / Shueisha

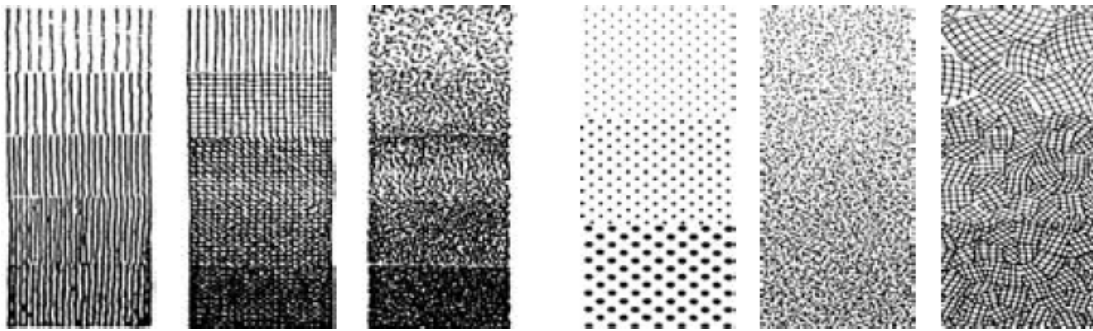
Tiivistelmä

Tutkielmassa käsitellään [Qu et al. , 2006]:ssa esitettyä uutta väritystekniikkaa, joka soveltuu hyvin kaksiväristen japanilaisten sarjakuvien värittämiseen, joille ominaista ovat monimuotoiset tekstuurit ja varjostukset. Tekniikalla saadaan väritettyä kuvio- ja intensiteettijatkuvia alueita. Käyttäjän tarvitsee vain merkitä pinnat haluamallaan värillä. Käyttäjän sutaisemasta merkinnästä muodostetaan paikallinen tilastollinen kuvion ominaispiirre Gabor-aalokesuodattimen avulla. Tämän avulla arvioidaan kuviojatkuvuutta. Aluetta kasvatetaan tassa-arvopintamenetelmän avulla. Algoritmi osaa pysähtyä avoimien ja sulkemattomien alueiden reunoilla järkevästi sekä ottaa mukaan erilliset samaa kuviointia sisältävät alueet. Kun alueet on tunnistettu, voidaan värikyseen käyttää erilaisia väritysmekanismeja. Alueen värit voidaan korvata yksinkertaisesti toisilla, alue voidaan värittää säilyttäen kynänjälki tai korvata kuvioinnilla toteutettu varjostus värivarjostuksella.

1 JOHDANTO

Japanilaisen sarjakuvan, Mangon, lukeminen on suosittu ajanvietemuoto Japanissa. Mangaa lukevat kaikki ikä- ja ihmisryhmät. Sarjat julkaistaan usein viikottaisina jatkosarjoina, jotka voivat jatkua useita vuosia. Enimmäkseen mangaa julkaistaan mustavalkoisena. Mustavalkoisissa sarjoissakin kannet sekä muutama sisäsivu saattaa olla väritetty mielenkiinnon lisäämiseksi. Tiivis julkaisuaikataulu sekä värittämisen työläys ja kalleus estävät kaikkien sivujen värittämisen, vaikka väritys saattaisi joissakin tapauksissa antaa taiteilijalle enemmän ilmaisuvoimaa ja työlle näyttävyyttä.

Japanilaisessa sarjakuvatyyllissä tekstuurit ja varjostukset toteutetaan monimuotoisten vapaalla kädellä piirrettyjen kuviointien (Kuva 2, vasemmalla) tai koneellisesti tuotettujen kuviopaperien (Kuva 2, oikealla) avulla. Harmaasävyjä tai värejä ei käytetä ollenkaan tai niitä käytetään vain joillain sivuilla. Japanilaiselle sarjakuvalle ominaista ovat yksityiskohtien esittäminen ja alueiden auki jättäminen päinvastoin kuin länsimaisessa sarjakuvaperinteessä, jossa ääriviivat ovat usein paksut ja selkeät. Nämä kaikki ominaisuudet tekevät japanilaisen sarjakuvan värittämisestä digitaalisesti haasteellista.



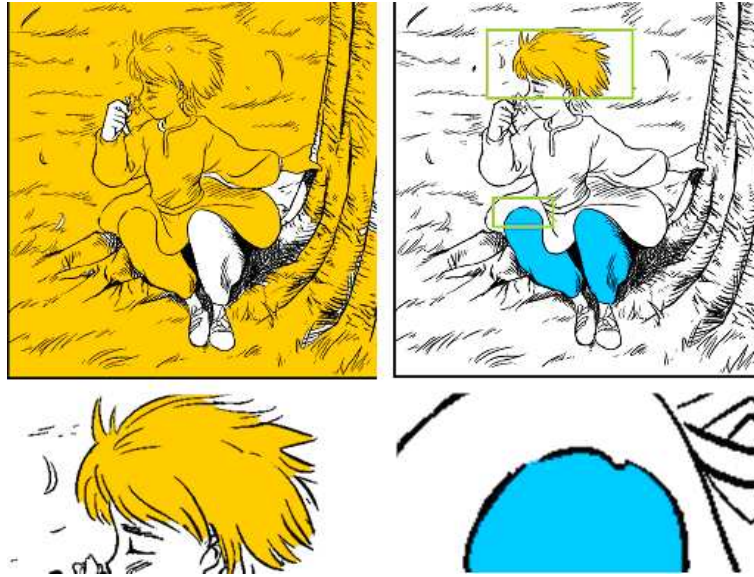
Kuva 2: Vasemmalla: vapaalla kädellä piirrettyä kuviointia (hatching), oikealla: koneellisesti tuotettujen kuviopaperien avulla toteutettua kuviointia (screening)

Digitaalisen väritystekniikan tulisi kyetä ratkaisemaan edellä mainitut ongelmat ja olla silti vaivatonta ja nopeaa. Tähän mennessä kehitetyt digitaaliset väritystekniikat ovat perustuneet lähinnä harmaatasojen jatkuvuuden tunnistamiseen yhtenäisten alueiden löytämiseksi, mikä toimii hyvin esimerkiksi valokuvien värityksessä. Japanilaisessa sarjakuvassa käytetyissä mustavalkotekstuureissa ei kuitenkaan ole harmaatasojatkuvuutta, joten nämä menetelmät eivät sovellu tehtävään kovin hyvin. Mustavalkokuviot toteuttavat kylläkin kuviojatkuvuutta. [Qu *et al.* , 2006]:ssa esitetty tekniikka mahdollistaa sekä löysästi kuviojatkuvien alueiden että intensiteettijatkuvien alueiden värittämisen vähäisellä käsintehtävällä ohjauksella.

2 VÄRITYS JA OSIOINTI

Tässä kappaleessa käsitellään muita väritys- ja osiointimenetelmiä sekä arvioidaan niiden soveltuvuutta mustavalkoisen mangan väritykseen.

Perinteisessä Flood-fill -menetelmässä alue väritetään pikseli pikseliltä lähtien liikkeelle käyttäjän valitsemasta alkupisteestä. Samanvärisiksi katsottavien naapuripikselien kautta edetään korvaten pikselit maalausvärillä. Menetelmä soveltuu lähinnä yksiväristen suljettujen alueiden värittämiseen. Sulkemattomien alueiden värittämisessä tekniikkaa ei voi käyttää ja kuvioitujen alueiden värittäminen tekniikalla on erittäin työlästä. Kuvassa 3 on yritetty värittää sulkematon alue Flood-fillillä.



Kuva 3: Flood-filliä käytettäessä väri pääsee usein leviämään jostain väritettävän alueen rajaviivassa olevasta aukosta, kuten kuvassa vasemmalla ylhäällä. Manga-väritystekniikalla saatava tulos näkyy vasemmalla ylhäällä ja lähikuvissa alhaalla.

Eräs tekniikka kuvien värittämiseen on haluttujen alueiden rajaaminen manuaalisesti. Tätä ratkaisua on käytetty mm. mustavalkoelokuvien värittämiseen. Väritettävien alueiden manuaalinen rajaaminen on kuitenkin aikaa vievää ja työlästä.

Värien siirtämistä kuvasta toiseen (*color transfer*) ovat tutkineet [Reinhard *et al.*, 2001]. Heidän työhönsä perustuen [Welsh *et al.*, 2002] esittivät harmaasävykuvien väritystekniikan, jossa värit siirretään vähäisellä käyttäjän vuorovaikutuksella värikuvasta harmaasävykuvaan. Värikuvasta otetaan hajautetusti otoksia, joiden luminanssiarvon ja lähiympäristön tilastollisen etäisyyden avulla löydetään harmaasävykuvan pikseleille vastine. Käyttäjä voi myös valita kuvista yksinkertaisia vastinalueita, jolloin vastinalueet toimivat itsenäisinä kuvapareina. Muu osa harmaasävykuvaa väritetään tällöin vertaamalla pikseleitä vastinalueiden avulla väritettyihin alueisiin.

[Levin *et al.*, 2004] esittivät ratkaisunsa värikyseen perustuen oletukseen, että toistensa vieressä olevien pikselien, joilla on yhtäläinen intensiteetti, tulisi olla samanvärisiä. He määrittivät ongelman neliöllisen rajoitefunktion optimointiongelmana. Käyttäjän sutaisemista merkinnöistä ulotetaan väri intensiteettijatkuvalla alueelle. Käyttäjä voi lisätä merkintöjä korjatakseen tai hienosäätääkseen väritystä. Tekniik-

ka toimii hyvin valokuville ja videokuvalle, jotka toteuttavat intensiteettijatkuvuutta. Mustavalkoisessa japanilaisessa sarjakuvassa intensiteettijatkuvuutta ei suoranaisesti ole eikä Levinin *et al.* tekniikka toimi kovin hyvin sen värittämiseen.

[Ironi *et al.* , 2005]:n menetelmässä värit siirretään osioidusta mallikuvasta haluttuun harmaasävykuvaan. Heidän menetelmänsä pyrkii ottamaan pikselien korkeamman tason kontekstin huomioon. Kohdepikselit luokitellaan lineaarisen diskriminanttianalyysin avulla sekä etsimällä diskreetillä kosinimuunnoksella kuva-avaruudessa lähin ominaisuusvektori. Väritystekniikka vaatii hyvin vähän käyttäjän toimia, mutta vaatii mallikuvan tai esimerkiksi [Levin *et al.* , 2004] esittämän tekniikan käyttämisen värityksen alussa.

Manga-väritys pohjautuu tekstuuriin perustuvaan osiointiin. Aluksi tekstuurit analysoidaan suodatustekniikoiden avulla ja esitetään sitten tilastollisten mallien avulla. Tilastollisista esitysmuodoista esimerkkejä ovat vaihtoehtoiset Gabor-suodattimet [Weldon *et al.* , 1996], suodatinpankkivasteet [Varma & Zisserman, 2003], satunnaiskenttämallit ja aaloke-esitysmuodot (*wavelet*).

Tekstuuriin perustuvat osiointitavat voidaan jakaa valvomattomiin menetelmiin [Hofmann *et al.* , 1998] ja valvottuihin rajan etsimiseen perustuviin sekä alueen etsimiseen perustuviin menetelmiin [Paragios & Deriche, 1999]. Manga-värityksessä käytetään Gabor-aallokkeita tilastollisena esitysmuotona.

3 MANGA-VÄRITYSTEKNIikka

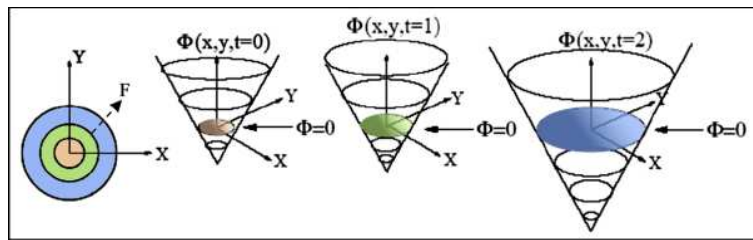
Manga-väritysmenetelmässä kuva aluksi osioidaan iteratiivisesti käyttäjän syötteen perusteella. Käyttäjä merkitsee mustavalkokuvaan alueita sutaisemalla haluamaansa väriä alueen päälle. Käyttäjän tai toteutuksen on päätettävä kumpaa kahdesta alueenetsimistavasta käytetään osioimiseen kullakin kierroksella. Kuviojatkuvan alueen etsimistä käytetään teksturoitujen alueiden osioimiseen kun taas intensiteettijatkuvan alueen etsimistä käytetään yksiväristen rajattujen alueiden osioimiseen. Kuviojatkuvan alueen etsimistä käytettäessä algoritmi lähtee käyttäjän merkinnästä ja laajentaa aluetta niin kauan kunnes tekstuuri muuttuu äkkinäisesti. Tasa-arvopintamenetelmällä algoritmi löytää myös muut samanlaista teksturointia sisältävät alueet kuvasta, kuten kuvassa 1 tytön vasemman käden molemmat puiset kuvioinnit, vaikka vain toinen on merkitty. Intensiteettijatkuvan alueen etsintää käytettäessä aluetta laajennetaan käyttäjän merkinnästä, mutta nyt algoritmi pysähtyy aluetta ympäröivän rajauksen kohdalla, eikä lähde etsimään vastaavaa intensiteettiä muualta, jotta osiointi ei pääse leviämään liian laajalle. Osioitava alue ei pääse leviämään edes, vaikka alueen reunaviivassa olisi pieniä reikiäkin. Tästä on esimerkki kuvassa 3.

Kun alueet on osioitu, ne voidaan värittää täyttämällä koko alue halutulla värillä, korvaamalla alueen värit toisilla väreillä (Kuva 3), värittämällä alue säilyttäen taiteilijan pensselinjälki (hiukset ja puiset kädet kuvassa 1), muuttamalla kuvioinnilla toteutettu varjostus väriarjostukseksi (Kuva 6) tai värittää alue useamman värin pehmeällä siirtymällä (Kuva 7).

3.1 Tasa-arvopintamenetelmä

Qu ja kumppanit [Qu *et al.*, 2006] valitsivat Osherin ja Sethianin [Osher & Sethian, 1988; Sethian, 1996; Sethian, 1999] esittämän geometrisen tasa-arvopintamenetelmän ratkaisuksi väritysongelmaan. Se mahdollisti sekä kuviojatkuvien että intensiteettijatkuvien alueiden osioimisen saman matemaattisen kehyksen avulla. Myös useiden erillisten alueiden osioiminen yhden käyttäjän merkinnän perusteella onnistui kätevästi. Lisäksi menetelmän paikallisen deformaation säätöominaisuuksien ansiosta voitiin esittää värin leviäminen pienistä raoista intensiteettijatkuvaa aluetta väritettäessä.

Geometrinen tasa-arvopintamenetelmä on nollatasomenetelmä. Sen idea on siirtää rajanetsintä kaksiulotteiselta tasolta kolmiulotteiselle tasolle istuttamalla etenevät hankalasti mallinnettavat ja parametrisoitavat rajakäyrät selkeästi hahmotettavaksi ja käsiteltäväksi korkeamman tason pinnan nollatasoksi (Kuva 4).



Kuva 4: Tasa-arvopintamenetelmä muuntaa alueen rintaman etenemisen alkuarvo-ongelmaksi astetta korkeampaan avaruuteen.

Tasa-arvopintamenetelmä istuttaa etenevän rajaviivan Γ implisiittisen funktion Φ nollatasoksi, joka on määritetty koko kuvan alueella. Tasonasetusfunktion Φ ulottuvuus on astetta korkeampi kuin kehittyvän käyrän. Tasa-arvopintamenetelmä jäljittää reunaviivan normaalin suuntaan nopeudella $F(x, y)$ liikkuvan rintaman kehittymisen. Nopeusfunktio riippuu joko kehittyvän käyrän paikallisista tai yleisistä ominaisuuksista tai sitä ohjaavista ulkoisista voimista. Funktio Φ asetetaan aluksi etumerkilliseksi etäisyydeksi käyttäjän sutaisemasta merkinnästä. Rajan kehittyminen määritellään funktion Φ nollatason osittaisderivaattana:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -F|\nabla \Phi| \quad (1)$$

missä t on evaluointiaika. Nopeusfunktio F määrittelee kehittyvän reunaviivan käyttäytymisen ja sen pysähtymisen.

Nopeusfunktio F voidaan jakaa kahteen osaan, F_A :han ja F_G :hen (Yhtälö 2). F_A on nopeusfunktion positiivinen etenemistermi, joka saa rintaman levittäytymään kaikkiin suuntiin. F_G riippuu etenevän rintaman geometriasta, kuten käyrän paikallisesta kaartuvuudesta. Se määrittelee etenevän rintaman pehmyden. Matemaattisesti:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = h \cdot (F_A + F_G)|\nabla \Phi| \quad (2)$$

jossa F_A on tavallisesti vakio; $F_G = -\epsilon\kappa$ siten, että κ on kehittyvän käyrän Γ paikallinen kaartuvuus ja ϵ on vakio; h on suodatin tai pysäytyskomponentti käyrän kehittymisen pysäyttämiseksi.

Φ :n avulla kehittyvä käyrä Γ saadaan suoraan $\Phi = 0$:sta. Tietyn etäisyyden päähän Γ :n ympärille muodostetaan ohut nauha (*narrow band*). Jokaiselle nauhan sisään jäävälle pikselille Φ päivitetään yhtälö 2 mukaan. Uusi Γ muodostetaan uuden Φ :n perusteella ja iteraatiota jatketaan, kunnes Γ ei enää muutu.

3.2 Kuviojatkuvat alueet

Kuviojatkuvien alueiden kohdalla pysäytystermin on arvioitava tekstuurin muutosta intensiteetin sijaan. Tällöin pysäytystermin $h_p(x, y)$ on:

$$h_p(x, y) = \frac{1}{1 + |D(T_{user}, T_{front}(x, y))|}. \quad (3)$$

jossa T_{user} on käyttäjän merkitsemien sutaisujen kohdalta muodostettu kuvion ominaispiirre ja $T_{front}(x, y)$ on ominaispiirre etenevällä rintamalla. Funktio D on etäisyysfunktio, joka mittaa näiden ominaisuuspiirteiden eroa. Etäisyysfunktio toimii erotusten neliöiden summa.

3.2.1 Kuvion ominaispiirre

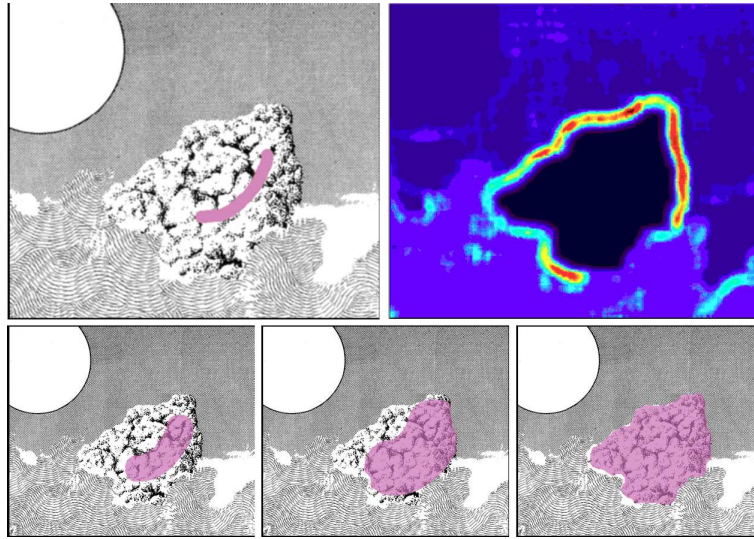
Kuvion ominaispiirre saadaan Gabor-aallokkeiden tilastollisena ominaispiirteenä [Manjunath & Ma, 1996]. Ominaispiirrevektoriin otetaan Gabor-aallokemuunnos 16×16 :n kokoisista tekstuuriälyteistä neljän eri koon ja kuuden eri orientaation kombinaatioista.

Käyttäjän sutaisemasta merkinnästä muodostetaan kuvion ominaispiirre tasavälein k :sta kohdasta. Näin saadut ominaispiirteet ryhmitellään ja suurimmasta ryhmästä lasketaan ryhmän keskiarvo-ominaispiirre, T_{user} . Näin menetelmä muodostaa järkevän kuvion ominaispiirteen, vaikka käyttäjä olisi huolimattomasti sutaisut merkinnän osittain väärän alueen päälle.

3.2.2 Leviäminen

Kuviojatkuvan alueen sisällä $h_p(x, y)$ on lähellä yhdenmukaisuutta, koska käyttäjän merkinnän ja rintaman ominaispiirteiden etäisyys $D(T_{user}, T_{front})$ on pieni. Etenemis-komponentti F_A työntää rintamaa eteenpäin samalla, kun F_G säilyttää rintaman pehmyyden. Kun etenevä rintama lähestyy tekstuurin reunaa, jossa kuvioinnissa on äkillinen muutos, nopeusfunktio F putoaa nolliin.

Kuva 5 esittää etäisyyskarttaa suhteessa käyttäjän sutaiseman merkinnän ominaispiirrevektoriin. Punainen väri tarkoittaa suurta etäisyyttä, kun taas musta tarkoittaa pientä etäisyyttä.



Kuva 5: Ensimmäisessä kuvassa on mustavalkoinen kuva, johon käyttäjä on tehnyt merkinnän. Toisessa kuvassa on etäisyyskartta, jossa on laskettu etäisyyttä käyttäjän merkinnän perusteella muodostettuun ominaispiirteeseen. Alhaalla on rintaman etenemisen välivaiheita.

3.3 Intensiteettijatkuvat alueet

Intensiteettijatkuvien alueiden kanssa voidaan käyttää pysäytystermiä, joka mittaa intensiteettigradientin muutosta. h_I yhtälö 4:ssä pysäyttää rintaman etenemisen reunaviivan kohdalla.

$$h_I(x, y) = \frac{1}{1 + |\nabla(G_\sigma \otimes I(x, y))|}, \quad (4)$$

jossa $G_\sigma \otimes I(x, y)$ tarkoittaa konvoluutiota kuvan I ja Gaussilaisen pehmennys-suodattimen G_σ välillä, jonka karakteristinen leveys on σ . $|\nabla(G_\sigma \otimes I(x, y))|$ on nolla muualla paitsi siellä, missä kuvagradientti muuttuu äkkinäisesti, kuten aluetta rajaavalla reunaviivalla.

3.3.1 Vuotojen estäminen

Jotta väritys ei leviäisi sulkemattomien reunaviivojen yli, kuten kuva 3 :ssa, tarvitaan nopeusfunktioon vielä yksi komponentti F_I . Saadaan $F = h_I(F_A + F_I + F_G)$ ja F_I määritellään:

$$F_I(x, y) = -F_A R \left(\frac{|\nabla G_\sigma \otimes I(x, y)| - M_2}{M_1 - M_2 - \delta} \right), \quad (5)$$

jossa M_1 ja M_2 ovat kuvagradientin $|\nabla G_\sigma \otimes I(x, y)|$ maksimi- ja minimiarvo; parametri $\delta \in [0, M_1 - M_2]$ on *höllennyskerroin*; funktio R kiinnittää syötearvon välille

[0, 1]. Höllennyskertoimen avulla nopeusfunktio tippuu noltaan, kun rintama etenee paikkaan, jossa gradientti on lähellä, muttei välttämättä yhtä suuri kuin, M_1 (maksimiarvo). Näin etenemisrintama ei vuoda aukkojen läpi eikä väri pääse leviämään halitsemattomasti.

4 TULOKSIA

Kun alue on osioitu, voidaan siirtyä sen värittämiseen. Intensiteettijatkuvalla alueella musta tai valkoinen väri voidaan vain suoraviivaisesti korvata käyttäjän sutaisemalla värillä.

Qu *et al.*, 2006 esittävät väritykseen myös muita tekniikoita. Kuviojatkuvan alueen värittämisessä voidaan ns. vuotaa väriä pois kuvioista. Näin piirrosjälki jää paremmin esille. Tämä toteutetaan kertomalla käyttäjän väri pysäytystermillä YUV -avaruudessa. Väristystyylin näkee kuvan 1 tytön hiuksissa ja käden puukuvioinneissa.

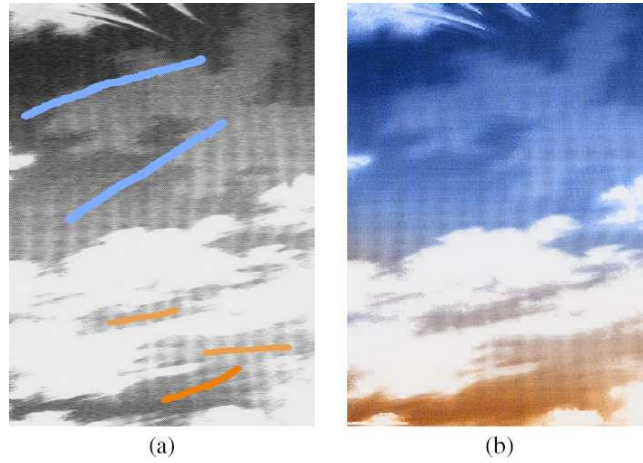
Japanilaisessa sarjakuvassa toteutetaan usein erilaisia varjostuksia kuvioinneilla. Jotta kuvionnilla toteutetun varjostuksen voi muuttaa värillä toteutetuksi varjostukseksi, lasketaan pikseleille paikallinen intensiteetti pienessä ikkunassa ja käytetään tätä intensiteettiä väripikselille. Tästä on esimerkki kuvassa 6.



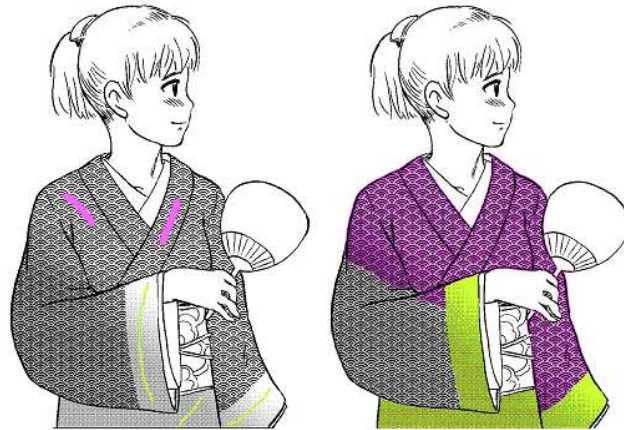
Kuva 6: Kuviovarjostuksesta värivarjostukseksi.

Joskus on tarpeellista värittää sama alue useammalla värillä. Tällöin käyttäjän tekemistä erivärisistä merkinnöistä lasketaan etäisyys kulloiseenkin pisteeseen ja sekoitetaan värejä etäisyyksien mukaisesti. Tätä väritystapaa on käytetty kuvassa 7.

Joskus esitetty menetelmä ei osioi alueita samaksi alueeksi, vaikka ne ihmissilmin näyttävätkin selkeästi samalta. Ongelmia tuottavat esimerkiksi nopeasti muuttuvat varjostukset, jolloin algoritmi katsoo alueet erillisiksi, kuten kuvassa 8.



Kuva 7: Pehmeä monivärsiirtymä saman osioidun alueen sisällä.



Kuva 8: Manga-väritysmenetelmä ei osaa automaattisesti osioida hihaa samaksi alueeksi.

5 YHTEENVETO

Qu *et al.* , 2006 esittämä menetelmä japanilaisten sarjakuvien väriytykseen soveltuu erityisen hyvin mustavalkoisten kuvien väriytykseen, joissa on kuviojatkuvia käsinpiirrettyjä tai kuviopapereilla toteutettuja alueita. Käyttäjän riittää merkitä yksi tekstuuri värittääkseen samalla kaikki samanlaista tekstuuria sisältävät alueet tarkasti. Sekä kuviojatkuvat että intensiteettijatkuvat alueet voidaan osioida kauniisti saman matemaattisen kehyksen avulla.

VIITTEET

- Hofmann Thomas, Puzicha Jan & Buhmann Joachim M. 1998. Unsupervised Texture Segmentation in a Deterministic Annealing Framework. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **20**(8), 803–818.
- Ironi Revital, Cohen-Or Daniel & Lischinski Dani. 2005. Colorization by Example. *Pages 201–210 of: Rendering Techniques*.
- Levin Anat, Lischinski Dani & Weiss Yair. 2004. Colorization using optimization. *Pages 689–694 of: SIGGRAPH '04: ACM SIGGRAPH 2004 Papers*. New York, NY, USA: ACM Press.
- Manjunath B. S. & Ma W. Y. 1996. Texture Features for Browsing and Retrieval of Image Data. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **18**(8), 837–842.
- Osher Stanley & Sethian James A. 1988. Fronts Propagating with Curvature-Dependent Speed: Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulations. *Journal of Computational Physics*, **79**, 12–49.
- Paragios Nikos & Deriche Rachid. 1999. Geodesic Active Regions for Supervised Texture Segmentation. *Pages 926–932 of: ICCV (2)*.
- Qu Yingge, Wong Tien-Tsin & Heng Pheng-Ann. 2006. Manga colorization. *Pages 1214–1220 of: SIGGRAPH '06: ACM SIGGRAPH 2006 Papers*. New York, NY, USA: ACM Press.
- Reinhard Erik, Ashikhmin Michael, Gooch Bruce & Shirley Peter. 2001. Color Transfer between Images. *IEEE Computer Graphics and Applications*, **21**(5), 34–41.
- Sethian James Albert. 1996. *Level set methods: Evolving interfaces in geometry, fluid mechanics, computer vision, and materials science*. Cambridge monographs on applied and computational mathematics, no. 3. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press. 218 pages.
- Sethian James Albert. 1999. *Level Set Methods and Fast Marching Methods*. Cambridge Monograph on Applied and Computational Mathematics. Cambridge University Press.
- Varma M. & Zisserman A. 2003. *Texture classification: Are filter banks necessary*.
- Weldon Thomas P., Higgins William E. & Dunn Dennis F. 1996. Efficient Gabor filter design for texture segmentation. **29**(12), 2005–2015.
- Welsh Tomihisa, Ashikhmin Michael & Mueller Klaus. 2002. Transferring color to greyscale images. *Pages 277–280 of: SIGGRAPH '02: Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA: ACM Press.