

Muotokieliopit (Shape grammars)

Janne Rinta-Mänty

jrm@iki.fi

2015-03-07

Tiivistelmä

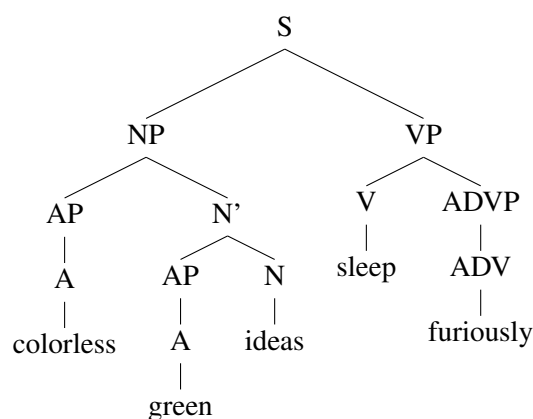
Muotokielioppien periaatteet, historia ja sovelluksia, sekä yhteyksiä muihin kielioppijärjestelmiin.

1 Johdanto

Muotokieliopit (shape grammars) ovat kielioppeja, joita käytetään muotojen analysointiin ja generointiin. Muotokieliopit syntyivät analogiana luonnollisten ja formaalien kielten kielioppeille. Seuraavassa esitellään ensin lyhyesti kielioppien yleistä rakennetta ja teoriaa, ja sen jälkeen käsitellään tarkemmin muotokielioppeja.

Luonnollisten ja formaalien kielten rakennetta alettiin tutkia aktiivisesti 1950-luvulla (Chomsky, 1956, 1959). Motivaatioina olivat sekä koneellisen kääntämisen haave että (osittain edelliseen liittyen) yleinen kielten kompleksisuuden kartoittaminen.

Formaalisti kieli ajatellaan joukoksi jonkin aakkoston symbolijonoja. Symbolit voivat olla esimerkiksi luonnollisen kielen sanoja, ma-



Kuva 1: Esimerkki lauseen kieliopillisesta jäsennyksestä. Lause Chomsky (1956, s. 116), kielioppi kotikutoinen X-bar.

temaattisia symboleja tai XML-tägejä.

Siitä, että kieli käsitetään joukoksi symbolijonoja, seuraa kaksi käytännöllistä kysymystä: miten voidaan *tuottaa* jonkin kielen symbolijonot (ja vain ne), ja miten voidaan *tunnistaa*, kuuluuko symbolijono kieleen. Kielioppeja voidaan käyttää paitsi tuottamiseen, myös tunnistamisvälineen rakentamiseen. Kielioppeilla kuvatuille kielille tunnistamiseen liittyy myös kysymys kieleen kuuluvan symbolijonon kieliopillisesta rakenteesta eli symbolijonon *jäsentäminen* (kuva 1).

Kielioppi koostuu joukosta uudelleenkirjoitussääntöjä $\varphi \rightarrow \psi$. Sääntö tarkoittaa, että symbolijono φ voidaan korvata symbolijonolla ψ . Kuvan 1 kielioppi sisältää ainakin säännöt

S \rightarrow NP VP
 NP \rightarrow AP N'
 A \rightarrow colorless
 A \rightarrow green

Kieliopit ovat siis eräs uudelleenkirjoitusjärjestelmien luokka. Jos em. sääntöjen muotoa ja niiden soveltamista rajoitetaan eri tavoilla, saadaan ilmaisuvoimaltaan erilaisia järjestelmiä. Ilmaisuvoima tarkoittaa intuitiivisesti sitä kuinka monimutkaisia kieliä kieliopilla voidaan kuvata. Tällä on suora yhteys myös tunnistamisen vaativuuteen. Mitä monimutkaisempi kieli, sitä vaikeampi (tai jopa mahdoton) se on tunnistaa.

Jotta voitaisiin tarkastella rajoitusten merkitystä, määritellään ensin kielioppi tarkemmin. Formaali kielioppi G on nelikko

$$G = (N, T, P, S),$$

missä N on välikesymbolien joukko, T on päätesymbolien joukko, P on produktioiden eli uudelleenkirjoitussääntöjen joukko ja $S \in N$ on lähtösymboli. Kaikki joukot ovat äärellisiä, ja lisäksi $N \cap T = \emptyset$. Jatkossa merkitään selkeyden vuoksi päätesymboleja pienillä kirjaimilla (a, b, \dots), välitteitä isoilla (A, B, \dots) ja symbolijonoja kreikkalaisilla pienaakkosilla (α, β, \dots).

Välikesymbolit voivat esiintyä produktioissa, mutta eivät kielen symbolijonoissa. Symbolijono $\alpha\delta\beta$ voidaan johtaa symbolijonosta

Tyyppi	Nimi	Produktioiden muoto
0	rajoittamaton	ei rajoituksia
1	kontekstinen	$\alpha\gamma\beta \rightarrow \alpha\delta\beta$
2	kontekstiton	$A \rightarrow \alpha$
3	säännöllinen	$A \rightarrow a$ tai $A \rightarrow aB$

Taulukko 1: Chomskyn hierarkia.

$\alpha\gamma\beta$, jos kieliopissa on produktio $\gamma \rightarrow \delta$. Tätä merkitään $\alpha\gamma\beta \Rightarrow \alpha\delta\beta$.

Kieliopin G tuottama kieli $L(G)$ on niiden päätesymbolijonoiden joukko, jotka voidaan johtaa lähtösymbolista äärellisellä määrällä produktioiden soveltamisia,

$$L(G) = \{\alpha \in T^* \mid S \Rightarrow^* \alpha\}.$$

Produktioiden rajoituksilla saadaan neljä erilaista kieliluokkaa (Chomsky, 1959) (taulukko 1). Näistä kukin on edeltävän tyyppin aito osajoukko. Huomionarvoista on, että keksintö jakaa aakkosto välitteisiin ja päätteisiin mahdollisesti hierarkian tuottavat rajoitukset.

2 Muotokieliopit

Alunperin muotokieliopit olivat yleisen symbolijonoilla operoivan kielioppiformalismin suoraviivainen sovellus muotoihin. Sittemmin yhteys symboleihin on ohentunut. Pääasiallisena syynä tähän on kasvanut tietämys symbolien ja muotojen perusolemusten merkittävistä eroista, joiden vuoksi niiden käsittely vaatii erilaiset välineet. Stiny (2006, ss. 20, 21) on tullut jopa siihen tulokseen, että yhteys symboleihin on harhaanjohtava.

Yue ja Krishnamurti (2013) sisältää hyvän katsauksen muotokielioppiformalismin kehitykseen. Seuraavaksi esitetään muotokieliopin peruseriaate, jota sen jälkeen tarkennetaan ja laajennetaan eri tavoin.

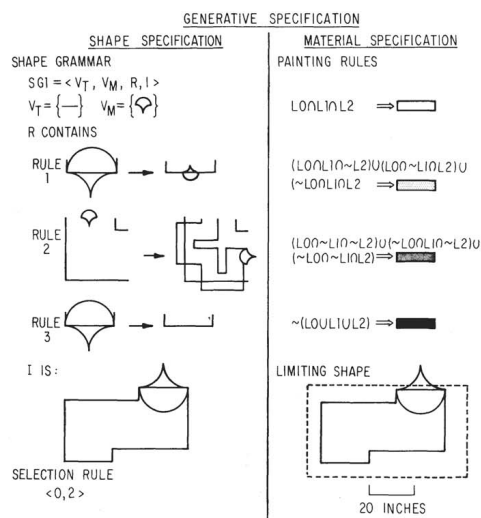
2.1 Peruseriaatteet

Muotokieliopit esiteltiin ensimmäisen kerran Stiny ja Gipsin artikkelissa, jossa ne määriteltiin tavallisen symbolikieliopin tapaan (Stiny ja Gips, 1972). Kieliopeja oli ajateltu käytettäväksi lähinnä maalausten ja veistosten tuottamisessa. Niinpä varsinaisen muotokieliopin lisäksi järjestelmään kuuluivat materiaalinvalintasäännöt muotojen rajaamille alueille sekä rajoitukset lopputuloksen koolle ja monimutkaisuudelle (kuva 2). Varsinaisen muotokieliopin kannalta nämä ovat kuitenkin vain ylimääräistä kuorutusta, joten niitä ei tarkastella tässä tarkemmin.

Vaikka kielioppi oli sinänsä suora muunnos symbolikieliopista, produktiot eli säännöt oli pakko määritellä muodoille hieman eri tavalla kuin symboleille. Säännöt olivat muotoa (+ on tässä muotojen yhdistämisoperaatio)¹:

$$(1) \quad \begin{aligned} a + A &\rightarrow a \\ a + A &\rightarrow a + b + B \end{aligned}$$

Kuten näkyy, säännöt eivät täysin vastaa symbolikielioppeja, mikä johtuu muotojen ja symbolien olennaisista eroista. Symbolit ovat jakamattomia ja niiden yhdistäminen jonoiksi



Kuva 2: Stiny ja Gipsin muotokielioppi (Stiny ja Gips, 1972, s. 127).

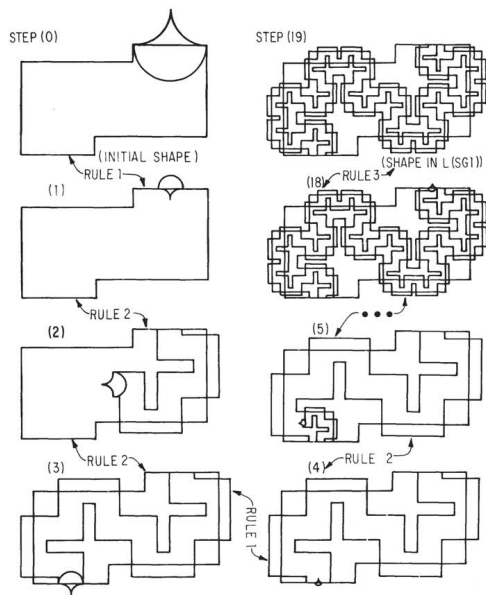
on yksikäsitteistä. Muodot sen sijaan voi yhdistää ja jakaa osiin äärettömän monella eri tavalla, ja yhdisteeseen voi tulla *emergentejä* muotoja. Tästä lisää myöhemmin.

Myös säännön soveltaminen eroaa jonkin verran symbolikieliopista. Soveltamisen periaate on seuraava:

1. Etsitään käsiteltävästä muodosta osa, joka on geometrisesti samankaltainen kuin jonkin säännön vasen puoli.
2. Etsitään transformaatio², jolla osan geometria saadaan samaksi kuin säännön vasen puoli.
3. Sovelletaan samaa transformaatiota säännön oikeaan puoleen ja korvataan sillä kohdassa 1 löydetty muodon osa.

²Sallittuja ovat yleensä tavanomaiset transformaatiot: siirto, kierto, peilaus, skaalaus.

¹Redundantti sääntömuoto on jätetty tässä pois.



Kuva 3: Muodon generointi kuvan 2 kieliopilla (Stiny ja Gips, 1972, s. 129).

Kuvassa 3 on esimerkki siitä, miten kuvan 2 kieliopilla voidaan generoida monimutkainen muoto.

2.2 Markkerit ja osamuodot

Muotokieliopeissa välikkeitä kutsutaan myös *markkereiksi* (markers). Koska markkerit esiintyvät säännöissä vasemmalla puolella, ne määrittävät mitä sääntöä voidaan kulloinkin soveltaa. Tämä luonnollisesti rajoittaa kieliopilla saatavaa muotovalikoimaa, mutta samalla tekee kieliopin käyttämisen melko suoraviivaiseksi ja tietokonetoteutuksen helpoksi.

Kun muotoihin ja erityisesti markkereihin liitetään *nimet* (labels) ja markkerit redusoidaan pisteiksi, sääntöjen soveltaminen muuttuu *osamuotojen* (subshapes) määräämäksi. Täl-

$$\begin{array}{c} a \\ \square \\ b \end{array} + \begin{array}{c} a \\ \square \\ c \end{array} = \begin{array}{c} a \\ \square \begin{array}{|c|c|} \hline a & b \\ \hline b & c \end{array} \\ c \end{array}$$

Kuva 4: Esimerkki nimettyjen muotojen yhdistämisestä (Stiny, 2006, s. 218).

löin sovellettavan säännön valitseminen on hankalampaa, mutta muotovalikoima saadaan laajemmaksi. Kuvassa 4 on esimerkki nimetyistä muodoista. Yhdisteessä on keskellä kaksi eri nimistä pystysuoraa viivaa. Voidaan ajatella, että nimet ovat kuin tasoja, joilla nimeen liitetyt muodot ovat. Eri tasoilla olevat muodot eivät vaikuta toisiinsa.

Nimillä voidaan liittää muotoihin lisätietoja ja vaikuttaa siihen, mitä sääntöjä kulloinkin voidaan soveltaa (Yue ja Krishnamurti, 2013, s. 580). Nimet voidaan helposti laajentaa esimerkiksi *painoiksi* (weights) (Stiny, 2006, ss. 215–226).

Yue ja Krishnamurti (2013, s. 582) pitävät osamuotojen määräämää sääntöjen soveltamista tärkeänä virstanpylväänä muotokielioppien kehityksessä. Tämä merkitsee heidän mukaansa siirtymistä kohti “pehmeää”, paremmin ihmisen havaintokykyä vastaavaa välineistöä. Kuten Jowers ja Earl (2010, s. 44) huomauttavat, tämä on kuitenkin tehnyt tietokonetoteutuksen hankalaksi, mikä on ollut esteenä muotokielioppien laajemmalle käytölle.

2.3 Muotoalgebrat

Muodot koostuvat perusosista, joita voivat olla pisteet, viivat, tasot, kappaleet (0-, 1-, 2- ja 3-ulotteisia) ja näiden yhdistelmät. Näitä perusosia voidaan yhdistellä eri ulotteisissa avaruuksissa. Stiny (1991) määrittelee tältä pohjalta muotoalgebrojen perheen. Myös Krstic (2001, 1999) on tutkinut ja kehittänyt ansiokkaasti erilaisia algebroja.

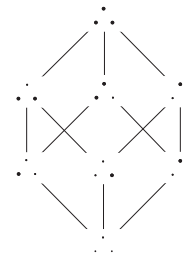
Muotoalgebrojen hyöty on siinä, että näin saadaan näppärä matemaattinen koneisto muotojen ja kielioppien käsittelyyn. Muotoalgebra U_{ij} käsittelee i -ulotteisia perusosia j -ulotteisessa avaruudessa. Algebran (osittain)järjestys on osamuotorelaatio \leq , ja se on suljettu muotojen yhdisteen $+$ ja erotuksen $-$ sekä transformaatioiden t suhteen.

Muotoalgebroissa voidaan puhua muotojen lisäksi myös muotojen *reunoista* (boundaries). Muodolla α , joka on i -ulotteinen, on $(i - 1)$ -ulotteisista muodoista koostuva reuna $b(\alpha)$.

Kuvassa 5 on esimerkki algebran U_{02} kolmen pisteen muodostamien muotojen osamuotorelaatiosta. Ylimpänä on maksimaalinen muoto, jossa on kaikki kolme pistettä, alimpana minimaalinen tyhjä muoto.

Teknisenä yksityiskohtana on vielä huomioitava muotojen yksikäsitteisyys. Tämä hoidetaan käyttämällä muotojen rajoina *maksimaalisia viivoja*. Kuvasta 4 nähdään mitä tällä tarkoitetaan: yhdisteeseen tulee ylimmäksi maksimaalinen a -viiva, ei kahta lyhyttä.

Edellä kerrottu muotokieliopin säännön soveltamisperiaate on muotoalgebran kielellä esi-



Kuva 5: Kolmesta pisteestä koostuvien muotojen osittainjärjestys algebrassa U_{02} (Stiny, 2006, s. 208).

tettynä (Stiny, 1991, s. 174): Kun $\alpha \rightarrow \beta$ on sääntö, γ käsiteltävä muoto ja on olemassa t , jolla $t(\alpha) \leq \gamma$, niin

$$(2) \quad \gamma \Rightarrow (\gamma - t(\alpha)) + t(\beta).$$

Myös nimet ja painot voidaan ottaa mukaan algebroihin (Stiny, 2006, ss. 217–226). Tällöin puhutaan algebroista V_{ij} ja W_{ij} .

On huomattava, että $+$, $-$, t ja \leq voidaan määritellä eri tavoin. Symbolikieliopit voidaan täten nähdä muotokielioppien erikoistapauksena, jossa ainoa transformatio on identiteetti ja osamuotorelaatio on osajonorelaatio.

2.4 Parametrit

Edellä on käsitelty muotoja kuin symboleja, joille voidaan tehdä geometrisia transformatioita. Kieliopit saadaan joustavammiksi lisäämällä muotoihin ja markkereihin *parametreja*.

Säännöt ovat tällöin muotoa $\alpha(x) \rightarrow \beta(x)$ ja säännön soveltaminen muuttuu tällöin muo-

toon

$$(3) \quad \gamma \Rightarrow (\gamma - t(g(\alpha(x)))) + t(g(\beta(x))),$$

missä g on sijoitus parametrien x vapaisiin muuttujiin.

Itse asiassa sijoitus g voidaan ottaa osaksi transformaatiofunktioita t , jolloin parametriset ja parametrittomat kielioipit voidaan kuvata samalla formalismilla (Yue ja Krishnamurti, 2013, s. 583).

2.5 Käyrät muodot

Edellä kieliopeilla on käsitelty vain suorista viivoista koostuvia muotoja. Käyrät muodot ovatkin olleet muotokielioppien akilleen kantapää. Tämä johtuu siitä, että muotojen yhdiste ja erotus samoin kuin osamuodon löytäminen ovat käyrillä muodoilla huomattavasti hankalampia kuin suorista viivoista koostuvilla (Yue ja Krishnamurti, 2013, s. 591).

Köyhän miehen ratkaisu on käyttää kielioipissa suoria viivoja ja korvata ne myöhemmin sopivilla kaarilla, kuten esimerkiksi Knight (2003, ss. 137, 138) tekee tuolin selkänöjien kielioipissa. McCormack ja Cagan (2006) tekevät tavallaan saman asian kielioippitoteutuksen sisäisesti käyttämällä käyrien muotojen vertailuun niiden suoraviivaisia versioita.

Chau et al. (2004) ovat esittäneet ratkaisun, jolla ympyränkaaret saadaan mukaan kieliooppiin. Jowers ja Earl (2010) tarkastelevat käyrien muotojen aiheuttamia ongelmia kieliooppien tietokonetoteutuksille, ja esittävät ratkai-

sun, jolla parametrisia käyriä voidaan käsitellä. He ovat myöhemmin laajentaneet menetelmäänsä Bézier-käyrille sopivaksi (Jowers ja Earl, 2011).

2.6 Emergenssi

Olellainen ero muotojen ja symbolien välillä on *emergenssi*. Symbolien yhdistäminen jonoiksi on yksikäsitteistä, ja symbolijono voidaan jakaa symboleiksi yksikäsitteisesti. Kun yhdistetään kaksi muotoa, yhdisteeseen voi muodostua muitakin, emergenttejä, muotoja kuin alkuperäiset. Itse asiassa emergenttejä muotoja voi yleensä muodostua rajattomasti, koska pistettä lukuunottamatta muodot voidaan jakaa osiin äärettömän monella eri tavalla (Knight, 2003, s. 129).

Emergentti muoto voi olla joidenkin aiemmin yhdistettyjen muotojen summa, tai näiden muotojen osien summa, tai jonkin yhden muodon osa. On huomattava, että emergentti muoto on sääntöjen kannalta yhtä käyttökelpoinen kuin mikä tahansa muukin muoto. Knight (2003, s. 130) sanoo tästä, että muotokieliopeissa emergenssi ei ole hierarkista kuten useimmissa muissa emergenteissä laskentajärjestelmissä.

Kuvassa 6 on yksinkertainen esimerkki emergenssistä muodon generoinnissa. Alkumuodossa on vain yksi osamuoto, johon sääntöä voidaan soveltaa, mutta keskimmäiseen muotoon emergoituu kaksi lisää. Lopputuoksena on alkuperäinen muoto kierrettyinä, mitä ei heti uskoisi mahdolliseksi kielioipista.



Figure 1. An example shape rule.



Figure 2. Example design sequence.

Kuva 6: Esimerkki emergenssistä muodon generoinnissa (Jowers ja Earl, 2011, s. 617).

Emergenttien muotojen tasavertaisuutta muiden muotojen kanssa sekä hierarkisuuden puuttumista Knight (2003, ss. 130, 131) pitää muotokielioppien vahvuutena. Hänen mukaansa tämä mahdollistaa luontevan suunnitteluprosessin, jossa suunnitelma ja suunnittelija ovat vuorovaikutuksessa.

Knight (2003, ss. 132–135) erottaa emergenssissä kolme lajia: odotettu, mahdollinen ja odottamaton (anticipated, possible, unanticipated). Lajit ovat suhteellisia, ne riippuvat kieliopin tekijän tai käyttäjän tietämyksestä ja näkökulmasta.

Odotettu emergenssi on sitä, että kieliopin sääntöjen tekijä tietää, mitä emergenttejä muotoja säännöt tuottavat. Näin ollen myös emergenttejä muotoja hyödyntävät säännöt osataan laatia. Odotettu emergenssi on tärkeässä roolissa kieliopeissa, joita käytetään muotojen analysointiin.

Mahdollinen emergenssi tarkoittaa, että sääntöjen tekijä aavistaa joidenkin emergenttien muotojen ilmestyvän, mutta ei ole varma. Kielioppiin voidaan lisätä “varmuuden vuoksi”-sääntöjä.

Odottamattomasta emergenssistä on kyse, kun kielioppia käytettäessä ilmaantuu muotoja, joita ei oltu osattu odottaa eikä täten varautua hyödyntämään tai estämään niitä. Analyysikielioppia joudutaan tyypillisesti tällöin muokkaamaan. Toisaalta vaihtoehtoisten suunnitteluratkaisujen tuottamisessa odottamaton emergenssi voi hyvinkin olla toivottua.

Keles et al. (2010) ovat kehittäneet emergenttien muotojen käsittelyyn vaihtoehtoisen tavan, jossa pelkkien maksimaalisten viivojen sijaan annetaan käyttäjän määrittellä, mitkä muodot muodostavat *havaittuja kokonaisuuksia* (perceptual/perceived whole). He ovat laajentaneet muotojen reunoja käyttävää ratkaisuaan koko suunnitteluavaruuden huomioivaksi painotettujen muotojen avulla. Tällöin häviää myös ero suorilla viivoilla ja käyrillä rajattujen muotojen välillä (Keles et al., 2012).

Grasl ja Economou (2013) ovat kehittäneet verkkoteoreettisen kielioppitoteutuksen, jossa voidaan käyttää sekä parametreja että emergenttejä muotoja.

2.7 Laskennan vaativuudesta

Muotokieliopin sääntöjen muoto (1) muistuttaa oikealle rekursiivista symbolikielioppia, mikä tarkoittaisi säännöllistä kieltä. Koska muodot ja niiden yhdistäminen kuitenkin eroavat symboleista, ei ole itsestäänselvää, mitä tällaisen kieliopin ilmaisuvoimasta ja tunnistamisen vaativuudesta voidaan sanoa.

Stiny osoitti vuonna 1975 väitöskirjassaan³,

³Pictorial and Formal Aspects of Shape and Shape

että muotokielioppeilla voidaan simuloida Turingin koneen laskentaa. Tämä merkitsee valitettavasti myös sitä, että muotokielioppi ei välttämättä pysähdy, eli että muodon johtaminen ei välttämättä pääty ja että tunnistaminen on yleisessä tapauksessa ratkeamaton ongelma. Ei siis voi olla olemassa tuottamis- eikä tunnistusalgoritmia, joka pysähtyy kaikilla syötteillä ja toimii oikein kaikilla muotokielioppeilla.

Yue ja Krishnamurti (2013, s. 588) ovat osoittaneet, että pysähtyvilläkään muotokielioppeilla ei luultavasti ole yleistä tehokasta tuottamis- tai tunnistusalgoritmia. Sittemmin he ovat kehittäneet menetelmiä niille muotokielioppeille, jotka voidaan toteuttaa tehokkaasti (Yue ja Krishnamurti, 2014).

Knight (1999a,b) on tarkastellut erilaisten rajoitusten vaikutusta muotokielioppeihin. Rajoituksia on kahdenlaisia: sääntöjen muotoa koskevia ja sääntöjen käyttöä rajoittavia. Vertailussa on kuusi erityyppistä muotokielioppia.

Vertailun johtopäätöksenä on muun muassa, että tunnistaminen on ratkeava neljällä kielioppityyppillä ja kielten samuus kahdella (Knight, 1999a, s. 496). Ratkeavuudesta maksettava hinta on tässäkin ilmaisuvoiman väheneminen.

On huomattava, että mainitut rajoitukset on tehty kielioppien käytön tarpeisiin eikä laskettavuuden tutkimiseksi (Knight, 1999a, s. 497). Rajoituksista seuraa osittainen hierarkia (Knight, 1999b, ss. 29, 30). Tämä ei kuitenkaan ole samanlainen kuin Chomskyn hierarkia symbolikielioppeille, eikä tiedetä, voidaanko

Grammars and Aesthetic Systems; työn ohjaajana symbolikielioppien puolelta tunnettu Sheila A. Greibach.

sellaista kehittää (Yue ja Krishnamurti, 2013, s. 587).

3 Sovelluksia

Muotokielioppeja on käytetty monissa kohteissa. Alla on mainittu näistä muutamia painotuen arkkitehtuuriin.

Tching et al. (2013) tutkivat muotokielioppien käyttöä arkkitehtisuunnittelun päätöksenteon apuvälineenä. He erottelivat osa-alueita, joilla kielioppeista voi olla hyötyä, kuten esimerkiksi rakennusmääräysten noudattamisesta huolehtiminen. Tavoitteena oli myös saada kielioppiin liitettyä tietämuskanta (Reis, 2013). Samansuuntaista tutkimusta ovat tehneet myös Bao et al. (2013).

Duarte (2001) tutki väitöskirjassaan muotokieliopin muodostamista tietyistä talotyypistä ja kieliopin käyttämistä uusien samantyylisten suunnitelmien luomiseksi. Hänen kohteenaan olivat Álvaro Sizan Malagueira-talot (Évora, Portugal, 1977–). Kielioppia testattiin monella eri tavalla, eikä Siza itsekään erottanut joitakin kieliopilla tuotettuja uusia suunnitelmia omasta tyylistään.

Muitakin arkkitehti- ja talotyypikohtaisia kielioppeja on laadittu. Kestosuositus on ollut Palladio, jota on käytetty koekaniinina useita kertoja, tällä vuosituhannella esimerkiksi Grasl (2012); Sass (2007); Stiny (2006).

Eloy ja Duarte (2011) kokeilivat käyttäen muotokielioppia kerrostaloasuntojen uudistamisessa. Kieliopin avulla generoitiin uusia

suunnitteluratkaisuja. Kielioppiin oli yhdistetty space syntax -osio⁴ – tätä oli kokeiltu jo aiemmin (Heitor et al., 2003).

Eräs viimeaikoina suosioon noussut sovelluskohde on rakennusten tai niiden julkisivujen generointi virtuaalitodellisuusympäristöihin, esimerkiksi Müller et al. (2006); Aliaga et al. (2007); Lipp et al. (2008); Finkenzeller (2008); Ripperda ja Berenner (2009); Hohmann et al. (2010); Musialski et al. (2012). Useat näistä perustuvat *osittaviin kielioppeihin* (split grammars), joita esittelivät Wonka et al. (2003); Wu et al. (2014).

Martino (2010) on tutkinut muotokieliopin käyttöä oman taiteellisen prosessinsa ymmärtämiseen. Hän muodosti kieliopin omien töidensä ja luonnostensa perusteella, ja pyrki sen avulla selvittämään, miksi jotkin luonnokset olivat parempia kuin muut.

Ahmad ja Chase (2012) pohtivat tyylin kuvaamista kieliopissa.

Al-khazzaz ja Bridges (2012) tutkivat kielioppien mukautuvuutta. Kielioppeja on myös kokeiltu tuottaa geneettisellä ohjelmoinnilla (Lee ja Tang, 2006; Coia ja Ross, 2011) ja koneoppimismenetelmillä (Martinović ja Gool, 2013; Ruiz-Montiel et al., 2013; Teboul et al., 2013). Muotokielioppeja on myös vertailtu kontekstittomien kielioppien käyttöön suunnittelussa (McDermott et al., 2012).

Ruiz-Montiel et al. (2014) esittelivät *tasoi-*

⁴Space syntax on arkkitehtuurin suunnittelu- ja analyysimenetelmä, jossa keskeisenä on – hieman kiistanalainen, ks. esim. Ostwald (2011) – verkkoteoreettinen lähestymistapa.

taiset kieliopit (layered grammars), joissa voitiin esittää loogisia suunnittelurajoitteita ja -tavoitteita.

McKay et al. (2012) vertailivat muotokielioppien tietokonetoteutuksia. Heidän mukaansa muotokielioppien yleisen käytön esteenä on pääasiassa puutteellinen integraatio olemassaoleviin ohjelmistoihin ja suunnittelukäytäntöihin sekä kieliopillisen lähestymistavan vieraus käyttäjille.

Yllä mainittujen sovellusten lisäksi kielioppeilla on kuvattu muun muassa Frank Lloyd Wrightin taloja, japanilaisia teehuoneita, taiwanilaisia, turkkilaisia ja bosnialaisia taloja, riskkorakenteita, autojen valoja ja kahvinkeitinmiä (Chau et al., 2004, s. 358).

4 Lopuksi

Muotokieliopit syntyivät vahvasti analogisina symbolikielioppeille, mutta myöhemmin kytkös symboleihin on jäänyt enemmän historialliseksi. Tämä ei ole ihmeellistä siinä valossa, että muodot ja symbolit käyttäytyvät hyvin eri tavoilla. Symbolit ovat atomisia ja niiden muodostamat jonot (joita symbolikieliopit käsittelevät) voidaan jakaa symboleiksi yksikäsitteisesti. Muodot sen sijaan voidaan jakaa osiin äärettömän monella eri tavalla, ja muotojen yhdisteeseen voi syntyä emergenttejä muotoja, joita ei ole eksplisiittisesti ollut missään yhdistettävässä muodossa.

Vaikka muotokielioppeja voidaan käyttää periaatteessa missä tahansa muotoja käsittele-

vässä tehtävässä, niiden ominta aluetta näyttää olevan arkkitehtuuri.

Muotokieliopit ovat kehittyneet paljon niiden neljän vuosikymmenen aikana kun niitä on tutkittu. Sovellukset ovat kuitenkin jääneet hieman anekdoottimaiselle asteelle, laajamittaisempaa ja yleisempää käyttöä on näkynyt vasta aivan viime vuosina. Yhtenä syynä tähän on ollut se, että kielioppien tietokonetoteutus on hankalaa.

Viitteet

- Ahmad, S., Chase, S. C., 2012. Style representation in design grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(3):486–500.
- Al-khazzaz, D. A., Bridges, A. H., 2012. A framework for adaptation in shape grammars. *Design Studies*, 33(4):342–356.
- Aliaga, D. G., Rosen, P. A., Bekins, D. R., 2007. Style grammars for interactive visualization of architecture. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, 13(4):786–797.
- Bao, F., Yan, D.-M., Mitra, N. J., Wonka, P., 2013. Generating and exploring good building layouts. *ACM Transactions on Graphics*, 32(4):122:1–122:10.
- Chau, H. H., Chen, X., McKay, A., Pennington, A. d., 2004. Evaluation of a 3d shape grammar implementation. Teoksessa *Design Computing and Cognition '04*, ss. 357–376.
- Chomsky, N., 1956. Three models for the description of language. *IRE Transactions on Information Theory*, 2(3):113–124.
- Chomsky, N., 1959. On certain formal properties of grammars. *Information and Control*, 2:137–167.
- Coia, C., Ross, B. J., 2011. Automatic evolution of conceptual building architectures. Teoksessa *2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, ss. 1140–1147.
- Duarte, J. P., 2001. *Customizing Mass Housing: A Discursive Grammar for Siza's Malagueira Houses*. väitöskirja, Massachusetts Institute of Technology.
- Eloy, S., Duarte, J. P., 2011. A transformation grammar for housing rehabilitation. *Nexus Network Journal*, 13(1):49–71.
- Finkenzeller, D., 2008. Detailed building facades. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 28(3):58–66.
- Grasl, T., 2012. Transformational palladians. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(1):83–95.
- Grasl, T., Economou, A., 2013. From topologies to shapes: parametric shape grammars implemented by graphs. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(5):905–922.

- Heitor, T., Duarte, J. P., Pinto, R. M., 2003. Combining grammars and space syntax: Formulating, evaluating, and generating designs. *Teoksessa Proceedings 4th International Space Syntax Symposium*, ss. 28.1–28.18.
- Hohmann, B., Havemann, S., Krispel, U., Feller, D., 2010. A GML shape grammar for semantically enriched 3d building models. *Computers & Graphics*, 34:322–334.
- Jowers, I., Earl, C., 2010. The construction of curved shapes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(1):42–58.
- Jowers, I., Earl, C., 2011. Implementation of curved shape grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 38(4):616–635.
- Keles, H. Y., Özkar, M., Tari, S., 2010. Embedding shapes without predefined parts. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(4):664–681.
- Keles, H. Y., Özkar, M., Tari, S., 2012. Weighted shapes for embedding perceived wholes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(2):360–375.
- Knight, T., 1999a. Shape grammars: five questions. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(4):477–501.
- Knight, T., 1999b. Shape grammars: six types. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(1):15–31.
- Knight, T., 2003. Computing with emergence. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(1):125–155.
- Krstic, D., 1999. Constructing algebras of design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(1):45–47.
- Krstic, D., 2001. Algebras and grammars for shapes and their boundaries. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(1):151–162.
- Lee, H. C., Tang, M. X., 2006. Generating stylistically consistent product form designs using interactive evolutionary parametric shape grammars. *Teoksessa Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design 2006*.
- Lipp, M., Wonka, P., Wimmer, M., 2008. Interactive visual editing of grammars for procedural architecture. *ACM Transactions on Graphics*, 27(3):102:1–102:10.
- Martino, J. A., 2010. The immediacy of the artist’s mark in shape computation. *Leonardo*, 43(4):330–339.
- Martinović, A., Gool, L. V., 2013. Bayesian grammar learning for inverse procedural modeling. *Teoksessa 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, ss. 201–208.
- McCormack, J. P., Cagan, J., 2006. Curve-based shape matching: supporting designers’ hierarchies through parametric shape

- recognition of arbitrary geometry. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(4):523–540.
- McDermott, J., Swafford, J. M., Hemberg, M., Byrne, J., Hemberg, E., Fenton, M., McNally, C., Shotton, E., O’Neill, M., 2012. String-rewriting grammars for evolutionary architectural design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(4):713–731.
- McKay, A., Chase, S., Shea, K., Chau, H. H., 2012. Spatial grammar implementation: From theory to useable software. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 26:143–159.
- Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., Gool, L. V., 2006. Procedural modeling of buildings. Teoksessa *Proc. SIGGRAPH 2006*, ss. 614–623.
- Musialski, P., Wimmer, M., Wonka, P., 2012. Interactive coherence-based facade modeling. *Computer Graphics Forum*, 31(2):661–670.
- Ostwald, M. J., 2011. The mathematics of spatial configuration: Revisiting, revising and critiquing justified plan graph theory. *Nexus Network Journal*, 13(2):445–470.
- Reis, J., 2013. GSG: A tool for knowledge-based visual creativity. Teoksessa *2013 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*.
- Ripperda, N., Berenner, C., 2009. Application of a formal grammar to facade reconstruction in semiautomatic and automatic environments. Teoksessa *AGILE09*.
- Ruiz-Montiel, M., Belmonte, M.-V., Boned, J., Mandow, L., Millán, E., Badillo, A. R., Pérez-de-la Cruz, J.-L., 2014. Layered shape grammars. *Computer-Aided Design*, 56:104–119.
- Ruiz-Montiel, M., Boned, J., Gavilanes, J., Jiménez, E., Mandow, L., Pérez-de-la Cruz, J.-L., 2013. Design with shape grammars and reinforcement learning. *Advanced Engineering Informatics*, 27:230–245.
- Sass, L., 2007. A palladian construction grammar—design reasoning with shape grammars and rapid prototyping. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(1):87–106.
- Stiny, G., 1991. The algebras of design. *Research in Engineering Design*, 2(3):171–181.
- Stiny, G., 2006. *Shape: Talking about Seeing and Doing*. MIT Press, Cambridge.
- Stiny, G., Gips, J., 1972. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. Teoksessa Freiman, C. V. (toim.), *Proceedings IFIP ’71*, ss. 1460–1465. North Holland, Amsterdam.
- Tching, J., Reis, J., Paio, A., 2013. Shape grammars for creative decisions in the architectu-

ral project. Teoksessa *2013 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*.

Teboul, O., Kokkinos, I., Simon, L., Koutsourakis, P., Paragios, N., 2013. Parsing facades with shape grammars and reinforcement learning. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(7):1744–1756.

Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F., Ribarsky, W., 2003. Instant architecture. Teoksessa *Proc. SIGGRAPH 2003*, ss. 669–677.

Wu, F., Yan, D.-M., Dong, W., Zhang, X., Wonka, P., 2014. Inverse procedural modeling of facade layouts. *ACM Transactions on Graphics*, 33(4):121:1–121:10.

Yue, K., Krishnamurti, R., 2013. Tractable shape grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 45(4):576–594.

Yue, K., Krishnamurti, R., 2014. A paradigm for interpreting tractable shape grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(1):110–137.