



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

III. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2019ko maiatzaren 27, 28 eta 29
Baiona, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Bach-en obretan oinarritutako
bertso doinuen sorkuntza
automatikoa**

*Izaro Goienetxea, Iñigo Mendialdua
eta Basilio Sierra*

110-116 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iii.03.14>



Bach-en obretan oinarritutako bertso doinuen sorkuntza automatikoa

Goienetxea, Iزارo¹; Mendiialdua, Iñigo² eta Sierra, Basilio¹

¹ Konputazio Zientzia eta Adimen Artifiziala Saila. Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

² Lengoia eta Sistema Informatikoak Saila. Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

izaro.goienetxea@ehu.eus

Laburpena

Lan honetan Bach konpositorearen obretan oinarritutako bertso melodiak sortu dira. Horretarako *Txoriak eta txoriburuak* bertso doinuaren koherentzia egitura lortu da, Bachen corpus batetik sortutako eredu estatistiko bat erabiliz bertan nota berriak sartzeko. Sailkapen prozesu bat ere gehitu da, sortutako melodia berriek Bach-en ezaugarri melodikoak dituztela egiaztatzeko. Horretarako 20 doinu berri sortu dira, eta guztiak Bach-en klasean sailkatuak izan dira, aurkeztutako metodoa baliozkotuz.

Hitz gakoak: Musikaren errepresentazio sinbolikoa, musika sorkuntza automatikoa, konpositoreen sailkapena

Abstract

This work presents the automatic generation of bertso melodies in the style of Bach. To do so, the coherence structure of the bertso melody Txoriak eta txoriburuak is extracted to sample new notes in it with the guidance of a statistical model built from a corpus of pieces composed by Bach. A classification step is added to make sure that the generations are in the style of Bach, for which 20 new melodies have been generated. All the generated melodies have been classified as Bach pieces, which validates the presented process.

Keywords: Symbolic music representation, music generation, composer classification

1. Sarrera eta motibazioa

Musikaren sorkuntza automatikoaren inguruko interesa orain dela urte asko piztu zen, 1840ko Lovelace eta Babbage-ren lehen konputagailuaren sorrerarekin batera (Cope, 1991), baina musika era automatikoan konposatzeko ideia konputagailuen sorrera baino are lehenagokoa da. Ideia honen adibide bat *Musikalisches Würfelspiel* edo dado-joko musikalak dira, ustez Mozartek 1792an argitaratutakoa bezalakoak (Hedges, 1978). Joko hauetan dadoa bota eta ateratzen zen zenbakiaren arabera musika segmentu bat aukeratzen zen aurretik zegoenaren atzean jartzeko, horrela pieza osoak sortuz konposizioaren inguruko ezagutzarik izan beharrik gabe.

20. mendean hainbat musika tresna sortu ziren soinu era automatikoan sortzen zutenak; sistema formalak, ausazko prozedurak edo naturako fenomeno fisikoen arabera. Era automatikoan sortutako lehen konposizioak 1950eko hamarkadako erdialdekoak dira, *Adimen Artifiziala* kontzeptua sortu zen garaikoak, Lejaren Hiller eta Leonard Isaacson-ek sortuak 1955-56 urteetan (Edwards, 2011). Lehen pausu hauen ondoren hainbat metodo garatu dira musikaren sorkuntzarako: ezagutzan oinarritutako sistemak, metodo ebolutiboak, sistema fraktalak edo eredu estatistikoak esaterako (Fernández eta Vico, 2013). Musikaren hainbat errepresentazio ere erabili dira sorkuntzarako, eta bi modu nagusi desberdintzen dira: audioen sorkuntza eta errepresentazio sinbolikoaren sorkuntza.

Musikaren errepresentazio sinbolikoan oinarritutako eredu estatistikoak hainbat musika estilo modelatzeko erabili dira, horretarako planteamendu ezberdinak garatuz (Sundberg eta Lindblom, 1976; Thomas *et al.*, 2013; Thornton, 2011; Conklin, 2013). Eredu estatistikoaren abantaila nagusietako bat corpus batetik ikasitako ezaugarri musikalak gordetzen dituztela da. Ezaugarri hauek gero sekuentzia musikal berriak sortzeko erabili daitezke, corpusaren estilo berekoak izango direnak (Conklin, 2003; Dubnov *et al.*, 2003; Allan eta Williams, 2004).

Hainbat teoria garatu dira pieza bat ulergarria izan dadin bere estrukturak bete behar dituen ezaugarrien inguruan. Arnold Schoenberg-ek (Schoenberg *et al.*, 2006) zioen lege batzuk bete behar direla musika idazterako orduan; lege akustikoak eta denbora eta soinuaren konbinaketatik eratortzen diren legeak. Berak zioen entzuleak

entzuten duena ulertu dezan pieza bateko figura musikalak antzeman behar dituela eta baita beraien artean nola erlazionatzen diren ere.

Beste teoria batzuek diskurtso musikala hizkuntzalaritzarekin alderatzen dute, eta baita garunak hauek ulertze-ko duen ahalmenarekin ere (Anagnostopoulou, 1997). Lan hauek diotenez, hizkuntzalaritzan bezala beharrezkoa da pieza musikaletan ere erlazionatuta dauden segmentuak aurkitzea diskurtso koherente bat sortu ahal izateko, eta ezagutzen dugun erlaziorik oinarritzkoena errepikapena da. Izan ere, jakina da ia musika mota guztiek izaten dituztela errepikapenak piezen barruan (Leach eta Fitch, 1995), bai noten sekuentzienak eta baita abstrakzio maila altuagoko taldeenak ere, eta errepikapen hauek dira musikari esanahia ematen diotenak (Meyer, 1957).

Hainbat lan garatu dira automatikoki sortutako musikari koherentzia emateko saiakeran. Lan hauetako batzuk musikaren estruktura semiotikoaren deskribapenean oinarrituta daude, non estruktura honetan pieza bateko antzeko segmentuak errepresentatzen baitira etiketa edo sinbolo berdin bidez (Bimbot *et al.*, 2012). Pieza baten estruktura semiotikoa atera ondoren prozesu bera alderantziz aplikatu daiteke; antzekoak izan behar diren segmentuen errepresentazioa daukan estruktura erabili bertan nota berriak sartzeko, beti ere segmentuek izan behar dituzten antzekotasunak errespetatuta.

Azken ideia horretan oinarrituz, bertso melodia berriak sortzen dituen lana aurkeztu da (Goienetxea eta Conklin, 2018). Lehenengo pausuan melodia berriaren estruktura semiotikoa, edo koherentzia estruktura, lortzen da. Horretarako aurretik existitzen den bertso bat txantilo moduan erabilita honen barruan erlazionatuta dauden segmentuak lortzen dira, hau da, pieza barruan dauden errepikapenak, transposizioak edo erlazio abstraktuagoak. Behin koherentzia estruktura lortuta, bigarren pausuan, pieza berriaren barruan nota berriak sartzen dira koherentzia estruktura errespetatuz. Bertsoen corpus batetik eraikitako eredu estatistiko bat erabiltzen da pieza berriko noten egokitasuna neurtzeko.

Artikulu honetan lan hori oinarritzat hartu da, genero bateko pieza bat txantilo moduan hartu eta beste genero batetik eredu estatistikoa eraikita bi generoen ezaugarriak konbinatzen dituzten doinu berriak sortzeko. Kasu honetan Bach konpositore klasiko ezagunaren ezaugarri estilistikoak dauzkaten bertso melodiak sortzea izango da helburua.

2. Arloko egoera

Musikaren sorkuntza automatikoa hainbat planteamendu garatu dira, eta nahiz eta ez den taxonomia finkorik definitu metodo hauek sailkatzeko, gehienetan ezagutzan (edo erregeletan) oinarrituak, ebolutiboak, ikasketa automatikoko metodoak edo hibrido bezala sailkatzen dira.

Ezagutzan oinarritutako metodoek aurretik definitutako argumentu edo erregelak erabiltzen dituzte estilo edo genero bereko musika berria konposatzeko. Metodo hauen adibide dira gramatiketan oinarritutako ereduak. Eredu hauek pieza berriak sortzeko gai dira erregelak erabiliz. Erregela horiek goi mailako sinboloak sinbolo zehatzen (hitzak) sekuentzia moduan hedatzen dituzte. Erregelak eskuz definituak izan daitezke, edo genero edo mota bereko piezen corpus batetik ikasiak. Musikaren sorkuntzarako erabilitako gramatikaren adibide bat da Chemillier-en jazz-eko akordeak sortzen dituen metodoa (Chemillier, 2004).

Metodo ebolutiboak populazio bateko indibiduen optimizazioan oinarritzen dira, ugalketa eta ebaluazio funtzioak erabiliz belaunaldiz belaunaldi indibiduo hobek izateko. Honelako metodoak musika sorkuntzako ataza ezberdinetan erabili dira, *GenJam*-en (Biles, 2007) jazzean inprobisatzeko sistema interaktiboan esaterako. Beste adibide bat *MetaCompose* da (Scirea *et al.*, 2016), zeinak osagaietan oinarritutako sistema bat baitauka denbora errealeko inprobisaziorako. Konposizioa hiru zatitan egiten du: akorde sekuentziaren sorrera, akorde hauei ongi doakien melodia baten eboluzioa eta melodia/akorde konbinazioaren akonpainamendua.

Ikasketa automatikoko teknikek ezagutza corpus batetik ikasten dute, aurretik definituta izan beharrean. Eredu estatistikoak dira teknika hauen adibide bat, zeinetan corpusaren ezaugarri ezberdinak errepresentatu baitaitezke gero sortzen diren doinuei probabilitateak esleitzeko.

Eredu estatistikoak hamaika lanetan erabili dira melodien sorkuntza eta harmonizaziorako, lehenengo Markoven erduetatik (Brooks *et al.*, 1956) deep learning-ean oinarritutako eredu berrietaraino (Briot *et al.*, 2017). Whorley eta Conklinek esaterako (Whorley eta Conklin, 2016), eredu estatistikoak erabiltzen dituzte lau parteko harmonizazioen sorkuntzarako. Herremans *et al.*-ek 2014-ko lanean lehen ordenako eredu estatistikoak erabiltzen dituzte lehen espezieko kontrapuntuko corpus baten ezaugarri melodiko eta harmonikoak deskribatzeko. Padilla eta Conklin autoreek berriz, 2018an Palestrinaren mezak sortzeko metodo bat garatu zuten. Horretarako eredu estatistikoaren konbinazio bat erabiltzen zuten musikaren ezaugarri estilistikoak antzemateko eta piezetan patroiak

bilatuz honen koherentzia estruktura sortzen zuten. Estruktura hori erabiltzen zuten gero musika berriaren sorkuntza gidatzeko.

Collins *et al.* autoreek 2014-ko lanean ere pieza baten koherentzia estruktura lortu eta hau gero musika berriaren sorkuntzan erabiltzen dute. Estrukturaren sorrerarako patroï geometrikoak bilatzen dituzte. Era honetan estrukturan segmentuen arteko errepikapen eta transposizio erlazioak islatzen dira. Goienetxea eta Conklin-ek 2018-ko lanean abstrakzio maila bat gehitu diote koherentzia estrukturarari, kontorno melodiko bereko segmentuak ere kontuan hartuz, eta interbaloetan oinarritutako eredu estatistiko bat erabili dute bertso doinu berriak sortzeko.

3. Doinuen sorkuntza

Sarreran aipatu den bezala, lan honen helburua bertso doinu berriak sortzea da, baina Bach-en estiloan. Ez dago aurretik definitutako erregelarik estilo hau nolakoa den deskribatzen duenik, beraz, eredu estatistiko bat erabili da estiloa deskribatu ahal izateko.

Doinu berriak sortzeko prozesuan bertso doinu ezagun bat erabili da txantiloï bezala, eta honen koherentzia estruktura sortu da (Goienetxea eta Conklin, 2018) lanean aurkeztutako metodoa erabiliz. Metodo honek piezaren eduki melodikoa soilik sortzen duenez, lan honetan ere txantiloïaren jatorrizko erritmoa mantendu da. Ondoren Bach-en piezez osatutako corpus bat erabili da, honen eredu estatistikoa lortu eta txantiloïaren estrukturan nota berriak sartzeko. Sortutako piezak benetan Bach-en zantzurik baduten ziurtatzeko (Goienetxea *et al.*, 2018) lanean aurkeztutako sailkatze eredu erabili da. Eredu hori Beethoven, Haydn eta Bach konpositoreen piezak desberdintzeko erabili zen, emaitza onak lortuz.

Erabilitako corpusak eta jarraitutako pausoak azaltzen dira ondoren.

3.1. Corpusak

Lan honetan bi corpus erabiltzen dira, biak Stanford unibertsitatean dagoen Center for Computer Assisted Research in the Humanities (CCARH) taldeak sortuak eta KernScores¹ webgunetik eskuratuak. Lan honetan musikaren erre-presentazio sinbolikoa erabiliz lan egiten denez gero, bi corpusetako piezak MIDI formatu estandarrean eskuratu dira. Formatu honek partitura batean aurkitu daitekeen informazio guztia dauka; ahots desberdinetako notak, neurriak, tonalitatearen informazioa... Hemen azaldutako corpusak pieza polifonikoez daude osatuak, hau da, ahots bat baino gehiago dauzkatenak.

Lehenengo corpusa, corpus_B deituko duguna, Bach konpositorearen 694 piezek osatzen dute. Corpus hau erabiliko da Bach-en estiloan oinarritutako bertsoak sortzeko.

Bigarren corpusa, corpus_D deituko duguna, aurreko corpusaren hedapena da eta Bach-en 694 piezez gain, Beethovenen 190 eta Haydnen 254 piezez dago osatua. Guztira 1138 pieza ditu. Corpus hau sortutako bertsoak sailkatzeko erabiliko da.

3.2. Koherentzia estruktura

Txantiloï moduan *Txoriak eta txoriburuak* bertso doinu ezaguna erabili da (bertsozale elkartearen datubasetik eskuratu da)². Doinu honetan erlazonatuta dauden segmentuak bilatzeko doinuaren hainbat erre-presentazio erabili dira, abstrakzio maila ezberdinen gainean patroïak bilatu ahal izateko. 1. Irudian doinuaren lehen hiru konpasak ikus daitezke hiru erre-presentazio ezberdinekin. Nota bakoitzaren pitch zenbakia (pitch), noten arteko interbaloak (int) eta noten arteko kontornoaren erre-presentazioa (cont) erabili dira. Kontorno honek bi noten arteko kontorno melodikoa gora (u) edo behera (d) doan edo mantendu egiten den (eq) adierazten du.

Erre-presentazio bakoitzerako patroïen bilaketarako algoritmo bat erabili da (Ayres *et al.*, 2002). Algoritmo horrek erre-presentazio bakoitzean dauden sekuentzia errepikatuak aurkitzen ditu, patroï direlakoak. Ondoren patroï hauek ordenatu egiten dira daukaten interes mailaren arabera eta txantiloïa estaltzeko erabiltzen dira. (Goienetxea eta Conklin, 2018) lanean azaldu bezala, lehenik interes altueneko patroïetatik hasiko da txantiloïa estaltzen baina uneko patroïak jada estalita dagoen notarik balu, patroï hau baztertu eta hurrengo patroïra joko da, ez baita baimentzen bi patroï ezberdinek nota bera estaltzea.

¹<http://kern.ccarh.org/>

²<https://bdb.bertsozale.eus/es>

1. irudia. Txoriak eta txoriburuak doinuaren lehen hiru konpasak erabili diren errepresentazio ezberdinekin



pitch:	62	67	69	71	71	72	74	72	71	67
int:	⊥	5	2	2	0	1	2	-2	-1	-4
cont:	⊥	u	u	u	eq	u	u	d	d	d

2. Irudian lan honetan txantilo moduan erabili den doinua ikus daiteke bere koherentzia estruktura nabarmenduta duelarik. Egitura honetan patroiak eta hauei esleitu zaizkien etiketak nabarmentzen dira. Patroi bakoitzaren etiketan patroia hau zer errepresentaziotan aurkitu den adierazten da. Adibidez, pitch : X etiketa daukaten patroiak pitch errepresentazioan aurkitu dira, eta noten errepikapenak errepresentatzen dituzte. cont : X etiketa daukatenek berriz, melodiaren kontornoan aurkitutako patroiak errepresentatzen dituzte. Mota honetako patroia bat ikus daiteke irudian, cont : C patroia, bi aldiz instantziazuta dagoena partituran, eta instantzia hauetako noten norabidea deskribatzen duena.

2. irudia. Txoriak eta txoriburuak doinuaren partitura bere koherentzia estruktura patroiak nabarmenduta

3.3. Eredu estatistikoa

Lan honetan Bach-en estiloan sortutako bertsoak lortu nahi direnez, erabilitako eredu estatistikoa corpus_B-ren gainean sortu da, corpus honen ezaugarri melodiko bat deskriba dezan. Kasu honetan, oinarritzat hartu den lanean bezala, interbaloetan oinarritutako trigramak erabili dira corpusaren deskribapenerako.

Behin koherentzia estruktura eta eredu estatistikoa sortu direnean doinu berriak sortzen dira, Stochastic Hill Climbing izeneko optimizazio metodoa erabiliz. Metodo horrek ausaz sortutako nota sekuentzia bat hartzen du abiapuntu moduan, eta era iteratiboan pieza aldaketak egiten ditu. Aldaketa bakoitzaren ondoren pieza berriaren probabilitatea kalkulatu da. Probabilitate hau piezak aldaketaren aurretik zeukana baino altuagoa bada aldaketa onartua izango da, bestela aurreko egoerara itzuliko da pieza, aldaketa ezeztatuz. Azpimarratu behar da prozesu guztian zehar koherentzia estruktura errespetatzen dela; koherentzia estruktura patroia batean parte hartzen duen punturen batean aldaketa bat egiten bada, patroia horren agerraldi guztiak eguneratu behar dira.

3.4. Sortutako piezak

20 doinu berri sortu dira *Txoriak eta txoriburuak* doinuaren koherentzia estruktura eta Bach-en piezetan oinarritutako eredu estatistikoa erabiliz. Lan honetan melodiaren sorkuntza soilik egiten denez, doinuaren berezko eritmoa mantendu egin da. 3. Irudian sortutako doinu batzuen adibideak erakusten dira. Nahiz eta eduki melodikoa jatorrizkoaren oso desberdina izan, ikus daiteke sortutako doinu berriek 2. Irudian azalduko koherentzia egitura errespetatzen dutela, egitura hau osatzen duten patroien arteko erlazioak errespetatzen baitira.

Sortutako bi adibide hauek beraien artean oso desberdinak direla ere nabarmena da, nahiz eta erabiltzen diren noten tartea eta tonalitatea jatorrizko doinuaren berak diren, hori sorkuntza prozesuan finkatu delako.

3. irudia. Sortutako pieza berrien adibideak

The image displays two musical pieces, each consisting of three staves of notation. The first piece is in G major (one sharp) and 6/8 time. The first staff contains measures 1 through 6, the second staff contains measures 7 through 12, and the third staff contains measures 13 through 18. The second piece is also in G major and 6/8 time. Its first staff contains measures 1 through 6, the second staff contains measures 7 through 12, and the third staff contains measures 13 through 18. Both pieces feature a mix of eighth and quarter notes, with some rests and a final double bar line at the end of the third staff.

Sortutako doinuak oso luzeak ez direnez, ez da oso erraza Bach-en estiloa bistaz antzematea, baina aurkitu daitezke bertso doinueta oso orokorrak ez diren noten arteko jauzi batzuk. Hala ere, esan daiteke sortutako doinua zuzena dela eta bertsoetan aritzeko erabil daitekeela.

4. Sailkapena

Sortutako doinu berriak Bach-en obren antzik baduten aztertzeke konpositore klasikoaren obren sailkapenaren inguruan egindako lana erabili da (Goienetxea *et al.*, 2018). Lan honetan piezak errepresentatzeko matrizeak erabiltzen ziren, zeinetan posizio bakoitzean interbaloen arteko trantsizioen probabilitateak azaltzen baitziren. Behin pieza bakoitzaren matrizeen errepresentazioa lortuta, konpositoreak desberdintzeko hainbat sailkatzaile desberdin erabili ziren, eta emaitzarik hoberenak *SMO* eta *Multilayer Perceptron* sailkatzaileekin lortu ziren.

Lan horretan bezala, hemen sortutako doinu berriak matrize moduan errepresentatu dira, eta emaitza hoberenak lortu zituzten bi sailkatzaileen Weka³ softwareko inplementazioa erabili da doinu berri horiek sailkatzeko. Sailkatzaileak corpus_D corpusean entrenatu dira, eta Bach, Haydn edo Beethoven-en obren artean sailkatu dituzte sortutako doinuak. Erabilitako bi sailkatzaileek Bach-en obra bezala sailkatu dituzte sortutako 20 doinuak, benetan konpositore honen obrek dituzten ezaugarri melodikoak bertso doinu berrietan islatzea lortu dela baieztatuz.

5. Ondorioak eta etorkizuneko lana

Lan honetan bi generoen arteko nahasketa kontsidera daitekeen musika sorkuntzako metodoa azaldu da. Horretarako bertso doinu ezagun baten koherentzia estruktura atera da, doinuaren barruan agertzen diren erlazioetatutako segmentuen analisi baten ondoren. Bach konpositorearen obrez osatutako corpus bat ere erabili da eredu estatistikoko

³<https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

bat sortu eta koherentzia estrukturaren barruan nota berriak sartzeko, honela bertso baten estruktura eta Bach-en obren ezaugarri melodikoak dituzten doinu berriak sortu dira. Doinuek benetan Bach-en musikaren antzik ba ote duten aztertzeko Bach, Haydn eta Beethoven-en piezak desberdintzeko gai diren bi sailkatzaile erabili dira. Sailkatzaileen emaitzetatik ondorioztatu daiteke sortutako bertso doinuek Bach-en konposizioen antza badaukatela.

Etorkizunerako lana hemen aurkeztu dena zabaltzea izango da, hainbat konpositoreren estiloan musika sortuz, eta, era berean, benetan estiloa errespetatzen dutela ziurtatzea. Hau egiterakoan kontuan izan behar da zenbait konpositoreren artean desberdintzerako orduan arazoak egon daitezkeela, konpositore baten lanak beste baten influentzia izan dezakeelako. Ondorioz, obra batzuek bi konpositoreen ezaugarri melodikoak izan ditzakete. Lan honetan Bach-en obran oinarritutako doinuak bakarrik sortu direnez, eta sailkapenean kontuan hartu diren gainerako konpositoreekin erlazio ezagunik izan ez zuenez, arazo hau ekidin da. Lan honetan aztertu ez den arren, interesgarria litzateke erabilitako koherentzia egiturak sailkapenaren emaitzan eragin dezakeen azterzea ere.

6. Erreferentziak

- Allan, M., eta C. K. I. Williams. 2004. Harmonising chorales by probabilistic inference. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25–32.
- Anagnostopoulou, C. 1997. Cohesion in Linguistic and Musical Discourse. In *Proceedings of the 3rd European Society for the Cognitive Sciences of Music Conference*, Uppsala, Sweden. ESCOM.
- Ayres, Jay, Jason Flannick, Johannes Gehrke, eta Tomi Yiu. 2002. Sequential Pattern Mining Using a Bitmap Representation. In *Proceedings of the Eighth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '02, 429–435, New York, NY, USA. ACM.
- Biles, John A. 2007. *Improvising with Genetic Algorithms: GenJam*, 137–169. London: Springer London.
- Bimbot, Frédéric, Emmanuel Deruty, Gabriel Sargent, eta Emmanuel Vincent. 2012. Semiotic structure labeling of music pieces: Concepts, methods and annotation conventions. In *13th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)*, 235–240, Porto, Portugal.
- Briot, Jean-Pierre, Gaëtan Hadjeres, eta François Pachet. 2017. Deep learning techniques for music generation - A survey. *CoRR* abs/1709.01620.
- Brooks, F. P., A. L. Hopkins Jr., P. G. Neumann, eta W. V. Wright. 1956. An experiment in musical composition. *IRE Transactions on Electronic Computers* EC-5.175–182.
- Chemillier, M. 2004. Toward a formal study of jazz chord sequences generated by steedman's grammar. *Soft Computing* 8.617–622.
- Collins, Tom, Robin Laney, Alistair Willis, eta Paul H. Garthwaite. 2014. Developing and evaluating computational models of musical style. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*.
- Conklin, Darrell. 2003. Music Generation from Statistical Models. In *Proceedings of the AISB 2003 Symposium on Artificial Intelligence and Creativity in the Arts and Sciences*, 30–35, Aberystwyth, Wales.
- . 2013. Multiple Viewpoint Systems for Music Classification. *Journal of New Music Research* 42.19–26.
- Cope, David. 1991. *Computers and Musical Style*. Madison, WI, USA: A-R Editions, Inc.
- Dubnov, Shlomo, G. Assayag, O. Lartillot, eta G. Bejerano. 2003. Using machine-learning methods for musical style modeling. *Computer* 36.73–80.
- Edwards, Michael. 2011. Algorithmic Composition: Computational Thinking in Music. *Communications of the ACM* 54.58–67.
- Fernández, Jose David, eta Francisco Vico. 2013. AI Methods in Algorithmic Composition: A Comprehensive Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research* 48.513–582.
- Goienetxea, Izaro, eta Darrell Conklin. 2018. Melody transformation with semiotic patterns. In *Music Technology with Swing*, ed. by Mitsuko Aramaki, Matthew E. P. Davies, Richard Kronland-Martinet, eta Sølvi Ystad, 477–488, Cham. Springer International Publishing.
- , Iñigo Mendiakdua, eta Basilio Sierra. 2018. On the use of matrix based representation to deal with automatic composer recognition. In *AI 2018: Advances in Artificial Intelligence*, ed. by Tanja Mitrovic, Bing Xue, eta Xiaodong Li, 531–536, Cham. Springer International Publishing.

- Hedges, Stephen A. 1978. Dice music in the eighteenth century. *Music & Letters* 59.180–187.
- Herremans, Dorien, Kenneth Sørensen, eta Darrell Conklin. 2014. Sampling the extrema from statistical models of music with variable neighbourhood search. Athens, Greece. ICMC/SMC.
- Leach, Jeremy, eta John Fitch. 1995. Nature, Music, and Algorithmic Composition. *Computer Music Journal* 19.23–33.
- Meyer, L. B. 1957. Meaning in Music and Information Theory. *Journal of Aesthetics and Art Criticism* 15.412–424.
- Padilla, Victor, eta Darrell Conklin. 2018. Generation of two-voice imitative counterpoint from statistical models. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence* 5.22–32.
- Schoenberg, A., P. Carpenter, eta S. Neff. 2006. *The Musical Idea and the Logic, Technique, and Art of Its Presentation*. Indiana University Press.
- Scirea, Marco, Julian Togelius, Peter Eklund, eta Sebastian Risi. 2016. *MetaCompose: A Compositional Evolutionary Music Composer*, 202–217. Cham: Springer International Publishing.
- Sundberg, Johan, eta Björn Lindblom. 1976. Generative Theories in Language and Music Descriptions. *Cognition* 4.99–122.
- Thomas, Nicolas Gonzalez, Philippe Pasquier, Arne Eigenfeldt, eta James B. Maxwell. 2013. A Methodology for the Comparison of Melodic Generation Models Using Meta-Melo. In *Proceedings of the 14th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR*, 561–566, Curitiba, Brazil.
- Thornton, Chris. 2011. Generation of Folk Song Melodies using Bayes Transforms. *Journal of New Music Research* 40.293–312.
- Whorley, Raymond P., eta Darrell Conklin. 2016. Music generation from statistical models of harmony. *Journal of New Music Research* 45.160–183.

6. Eskerrak

Lan hau egiteko Eusko Jaurlaritzaren Ikerketa Taldeen Laguntzaren (IT900-16) eta Espainiako Ekonomia eta Lehiakortasun Ministerioaren TIN2015-64395-R (MINECO / FEDER) dirulaguntza jaso da.