



Aihe: *Phylloscopus-suvun lintujen laulujen elementtien vertailu*
Tekijät: Aki Härmä, Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio,
Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
Tiedoksi: Avesound-työryhmä
Hanke: Linnuntunnistinhanke
Päiväys: 17. maaliskuuta 2004

1 Johdanto

Tämä muistio perustuu Juhani Lokin ehdotukseen tutkia viiden uunilintulajin (*Phylloscopus*-suku) laulun elementtien eroja. Ajatuksena on pyrkiä arvioimaan kyseisten lajien välisiä sukulaisuussuhteita elementtien yksinkertaiseen sinimalliin perustuvien parametristen välisten Euklidisten etäisyyksien avulla.

2 Menetelmät

Tässä tarkasteltavat lajit on lueteltu taulukossa 1, josta ilmenee myös tarkastelussa käytetty yksilöiden lukumäärä ja elementtien kokonaismäärä.

Äänitteistä irroitettiin elementit ja ne parametrisoitiin käyttäen sinimallinnusta [1, 2]. Varsinainen algoritmi oli sama jota käytettiin artikkelin [2] luokan I elementtien mallinnukseen. Parametriset mallit tallennettiin äänitetietokannasta johdettuun XML-pohjaiseen parametritietokantaan.

Varsinainen elementtien välisten etäisyyksien mittaaminen tehtiin käyttäen `EuqDtimealign` c-funktiota¹, joka laskee kahden taajuustrajektorin välisen Euklidisen etäisyyden niin, että etäisyyden mittaamisessa käytetään painotusfunktiona testattavan elementin magnituditrajektoria. Lisäksi etäisyydeksi funktiossa valitaan löydetty minimietäisyys, kun testattavaa trajektoria siirretään ajassa eteen ja taakse päin niin, että trajektorit kuitenkin menevät aikatasossa vähintään 85 prosenttisesti päällekkäin. Etäisyys lasketaan aina vain trajektorien ajallisesti päällekkäisistä osista ja etäisyysmitta hylätään jos tavut ovat jo alunperin niin eri pituisia, että etäisyyden mittaaminen ei ole mielekäästä.

Koska tietokannassa on eri lajeille eri määrät yksilöjä ja elementtejä, vertailussa päädyttiin menetelmään, jossa kustakin lajista poimitaan satunnaisesti sama määrä elementtejä ja tehdään vertailu näille. Tämä elementtien poiminta toistetaan 20 kertaa ja lasketaan tulokset näiden otantojen keskiarvona.

Seuraavassa esitetyissä tuloksissa tietyn yksilön elementtejä ei koskaan verrata samalta yksilöltä saatuihin muihin elementteihin. Vertailu tapahtuu aina suhteessa eri yksilöihin.

¹Avesound/RecogTools

Abbr.	Latin name	Finnish name	#individuals	#elements
PHYLUS	<i>Phylloscopus trochilus</i>	Pajulintu	15	1309
PHYDES	<i>Phylloscopus trochiloides</i>	Idänuunilintu	6	762
PHYCOL	<i>Phylloscopus collybita</i>	Tiltalti	14	1106
PHYBOR	<i>Phylloscopus borealis</i>	Lapinuunilintu	6	1383
PHYSIB	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	Sirittäjä	9	1075

Taulukko 1: *Phylloscopus*-suvun lajit ja tietokannasta löytyvät yksilömäärät sekä parametrisoitujen elementtien lukumäärä.

Lajit	Pajulintu	Idänuunilintu	Tiltalti	Lapinuunilintu	Sirittäjä
Pajulintu	58	11	21	4	6
Idänuunilintu	11	59	9	17	10
Tiltalti	22	6	60	8	3
Lapinuunilintu	2	7	8	70	1
Sirittäjä	7	17	2	1	80

Taulukko 2: *Phylloscopus*-suvun lajien tunnistusprosentit kun kriteerinä käytetään *parasta osumaa*. Toisin sanoen, prosenttiluvut ilmaisevat sen kuinka suurelle osalle sarakkeen lajin elementeille pienin etäisyysmitan arvo saatiin rivillä olevan lajin elementille. Tulokset ovat keskiarvo 20 arvonnasta ylitse.

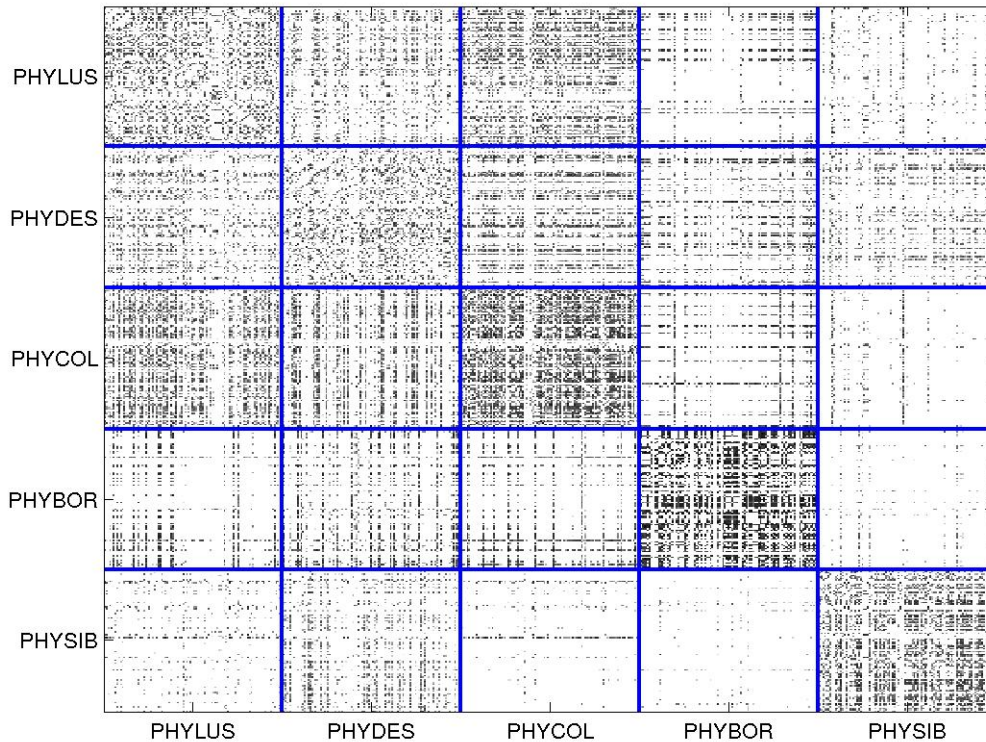
3 Tunnistuskokeilut

Tyypillinen yhden ajon tuloksena saatava etäisyysmatriisi on esitetty kuvassa 1. Kuvassa kukin sarake ilmaisee harmaasävyinä sen kuinka lähellä kyseisen sarakkeen edustama elementti on kaikkia muita elementtejä. Huomaa, että saman yksilön elementit on jätetty pois vertailusta ja ne näkyvät kuvassa valkoisella. Tumma väri ilmaisee, että kyseinen elementti on lähellä jotain riviä vastaavaa elementtiä. Esimerkiksi kuvassa oikeassa reunassa keskellä PHYSIB/PHYCOL-lokerossa olevat tummat pystysuorat viivat kertovat, että kyseistä saraketta vastaava Sirittäjän elementti on hyvin lähellä useita Tiltaltin elementtejä. Vastaavasti alarivissä keskellä oleva PHYCOL/PHYSIB-lokero sisältää vastaavan vaakasuoran viivan joka kertoo, että monet Tiltaltin elementit on varsin lähellä erästä Sirittäjän tietystä laulusta lyötyvää elementtiä. Huomaa kuitenkin, että matriisi ei ole lävistäjän suhteen täysin symmetrinen. Epäsymmetria johtuu siitä, että etäisyyden laskennassa huomioidaan vain saraketta vastaava elementin amplituditrajektori.

Kuvan 1 etäisyysmatriisista voidaan laskea monia erilaisia mittoja lajien välisille eroille. Taulukossa 2 on prosentuaaliset osuudet sille minkä lajin elementtejä lähinnä jonkin lajin elementit ovat, jos kriteerinä pidetään *parasta osumaa*, eli kutakin kuvan 1 matriisin saraketta vastaavaa pienintä etäisyyttä (tummin väri). Taulukossa 3 on taas esitetty vastaavat prosentiosuudet kun katsotaan miten lähellä kunkin lajin elementit ovat keskimäärin kunkin toisen lajin elementtejä. Kuvan 1 mielessä voidaan ajatella, että prosenttiluku taulukossa 3 kertoo siitä miten tumma tietty laji-laji-lokero matriisissa on.

Lajit	Pajulintu	Idänuunilintu	Tiltalti	Lapinuunilintu	Sirittäjä
Pajulintu	36	13	26	7	10
Idänuunilintu	13	24	16	21	18
Tiltalti	35	23	42	13	5
Lapinuunilintu	10	28	13	57	3
Sirittäjä	7	11	3	2	63

Taulukko 3: *Phylloscopus*-suvun lajien tunnistusprosentit kun kriteerinä käytetään elementtien keskimääräistä liikeisyyttä kyseisen lajin elementteihin. Toisin sanoen, prosenttiluvut ilmaisevat sen missä suhteessa kyseisen sarakkeen lajin tavuilla on *läheisyyttä* riveillä olevien lajien elementteihin nähden. Tulokset ovat keskiarvo 20 arvonnasta ylitse.



a)

Kuva 1: Etäisyysmatriisi viiden taulukon 1 lajilta satunnaisesti poimitun sadan elementin välillä. Matriisissa on siis 500×500 pistettä vastaten elementtien välisiä etäisyyksiä. Mitä tummenpi väri on, sitä lähempänä elementit ovat toisiaan.

Taulukon 2 perusteella nähdään, että kaikilla lajeilla yksittäinen elementti laulusta irroitettuna tunnistuu oikein vähintään 58% todennäköisyydellä. Taulukon 3 mukaisissa tuloksissa oikein tunnistuminen ei ole niin selvää. Tuloksiin selvästi vaikuttaa se, että eräillä lajeilla on laajempi kirjo erilaisia elementtejä, jotka ovat lähellä useiden lajien muita elementtejä.

Taulukon 2 tulokset kertovat mahdollisesti enemmän lajien fysikaalisesta samankaltaisuudesta, mutta taulukon tuloksia lajien välistä vertailua ajatellen voi vääristää se, että ylivoimaisesti suurin osa elementeistä tunnistuu samaan lajiin. Tällöin voi käydä niin, että osumat muihin kuin saman lajin yksilöihin tapahtuvat kyseiselle lajille *epätyypillisten* elementtien kohdalla. Taulukossa 4 on tarkasteltu lajien elementtien samankaltaisuutta etsimällä parasta osumaa vain muista kuin saman lajin yksilöistä. Tämä vertailu kertoo ehkä eniten lajien välisistä eroista.

Vertailun kriteerit taulukoissa ovat varsin erilaisia, mutta tulokset ovat samansuuntaisia. Kuvan 1 ja taulukoiden 2, 3 ja 4 perusteella voidaan esittää seuraavia alustavia havaintoja:

1. Pajulintu ja tiltalti ovat lähellä toisiaan.
2. Idänuunilintu ja lapinuunilintu vaikuttavat olevan lähellä toisiaan.
3. Sirittäjä on lähellä idänuunilintua.
4. Lapinuunilintu on lähellä tiltalttia.

Lajit	Pajulintu	Idänuunilintu	Tiltalti	Lapinuunilintu	Sirittäjä
Pajulintu	0	10	44	13	30
Idänuunilintu	15	0	18	63	33
Tiltalti	56	8	0	19	32
Lapinuunilintu	1	35	33	0	5
Sirittäjä	28	47	5	5	0

Taulukko 4: *Phylloscopus*-suvun lajien tunnistusprosentit kun kriteerinä käytetään *parasta osumaa* muille kuin saman lajin yksilöille. Prosenttiluvut ilmaisevat sen kuinka suurelle osalle sarakkeen lajin elementeille pienin etäisyyden arvo saatiin rivillä olevan lajin elementille. Tulokset ovat keskiarvo 20 arvonnasta ylitse.

Lajit	Pajulintu	Idänuunilintu	Tiltalti	Lapinuunilintu	Sirittäjä
Pajulintu	0	13	50	7	29
Idänuunilintu	13	0	13	49	40
Tiltalti	50	13	0	26	19
Lapinuunilintu	7	49	26	0	5
Sirittäjä	29	40	19	5	0

Taulukko 5: Taulukon 4 tulokset 'symmetrisoituna' siten, että kustakin lajiparista on laskettu keskiarvo molempiin suuntiin laskettujen tunnistusprosenttien kesken.

Pareittaisen T-testin perusteella voidaan tarkastella sitä miten luotettavia saadut keskiarvotulokset 20 ajokerran välillä ovat. Tällä voidaan esimerkiksi testata, että miten tilastollisesti luotettavaa on väittää, että tiltaltin äänet ovat keskimäärin lähempänä pajulintua kuin mitään muuta lajia.

Taulukkoja 3 ja 4 vastaavia tuloksia verrattaessa todettiin, että kaikki kolme yllä olevaa havaintoa ovat tilastollisesti uskottavia. Tyypillisesti mittana käytetty *p-arvo* on pienempi kuin $p = 0.001$, kun tilastollisen luotettavuuden ylärajana pidetään yleensä arvoa $p = 0.01$. Ainoa tilastollisesti hieman heikommin uskottava on idänuunilinnun ja lapinuunilinnun vertailun tulos taulukon 2 tapauksessa, joka osoittaa, että joissain tapauksissa sirittäjä voi olla lähempänä idänuunilintua kuin lapinuunilintu ($p = 0.08$) ja toisaalta tiltalti voi olla lähellä lapinuunilintua. Tämä sopii kuitenkin yhteen havaintojen 3 ja 4 kanssa. Tämä tarkastelu on kuitenkin aivan alustava.

4 Päätelmät

Juhani Lokki pyysi helmikuussa 2004 pidetyssä palaverissa tekemään matriisin josta ilmenee *Phylloscopus*-suvun lajien väliset tunnistustulokset elementtien Euklidisten etäisyyksien avulla arvioituna. Tämä on tehty tässä muistiossa. Kuten todettua, prosentit voidaan laskea monella eri tavalla ja saada aina hieman erilaisia tuloksia. Itse pidän taulukon 4 tuloksia tässä mielessä ehkä kiinnostavimpina. Kuten taulukoista voidaan todeta, tulosmatriisit eivät näin tarkasteltuna ole symmetrisiä. Esimerkiksi taulukossa 4 idänuunilinnun tavuista 10 % oli lähinnä pajulinnun tavuja, mutta pajulinnun tavuista 15% oli kaikista muista lajeista lähinnä idänuunilinnun tavuja.

Tulokset voidaan symmetrisoida laskemalla keskiarvot ylä- ja alakolmimatriisin vastaavista alkioista. Taulukon 4 tapauksessa tästä saadaan tuloksena taulukko 5. Tämä symmetrisoitu matriisi tukee myös selvästi edellä esitettyjä väitteitä lajien lähekkäisyydestä. Lisäksi näemme myös, että pajulintu ja sirittäjä ovat varsin lähellä toisiaan.

Tuloksissa on tietenkin vielä useita mahdollisia virhetekijöitä. Vaikka suvun lajien elementit ovat varsin sinimäisiä, kaikki elementtien parametriset esitykset eivät ehkä ole täysin onnistuneita. Lisäksi alkuperäisissä äänitteissä voi olla virheellisesti tunnistettuja yksilöitä.

Viitteet

- [1] A. Härmä, "Automatic recognition of bird species based on sinusoidal modeling of syllables," in *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing (ICASSP 2003)*, (Hong Kong), April 2003.

- [2] A. Härmä and P. Somervuo, "Classification of the harmonic structure in bird vocalization," in *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing (ICASSP 2004)*, (Montreal, Canada), May 2003.