

2. ábra. A giroszkóp szerkezeti elemei

A geodetikus precesszió olyan lassú mozgás, hogy kimutatása egészen különleges eszközöket igényelt, melyek kifejlesztése évtizedekig tartott. A csúcstechnológiát felhasználó műszerek ismertetéséhez nem vagyok eléggé felkészült, de egy kérdést semmiképpen sem kerülhetek meg: Hogyan lehetett körpályán tartani egy forgó gömböt úgy, hogy közben észlelni lehessen a forgástengely parányi elfordulását?

Ezt egy űrhajóhoz rögzített giroszkóp segítségével lehetett megvalósítani. A giroszkóp vázlatos rajzát a 2. ábra mutatja. A kardántengelyes felfüggesztés lehetővé teszi, hogy a lendkerék tengelye beállhasson minden irányban, pontosan úgy, mintha a lendkerék szabadon lebegne. A giroszkóp állványa azonban az űrhajóhoz van rögzítve, ezért a lendkerék centruma az űrhajóval együtt kering anélkül, hogy ez bármilyen mértékben korlátozná a lendkerék orientációját.

A GP-B űrhajó négy giroszkópot vitt magával, amelyeknek az orientációja egymástól függetlenül változhatott. A „lendkerék” valójában nem kerék, hanem egy majdnem tökéletes gömb volt, nehogy valamilyen fizikai eredetű forgatónyomaték hathasson rá. A felület egyenetlenségei olyan minimálisak voltak, hogy ha a Föld ugyanilyen arányban térne el az ideális gömbalaktól, a legmagasabb hegycsúcsok és a legmélyebb óceáni árkok két és fél méter magasak, illetve mélyek lennének. Mind a négy giroszkóp elfordulása megfelelt a várt $6''/\text{év}$ szögsebességnek.

Még egy kérdés van hátra: Milyen *gyakorlati* következtetést kell levonnunk abból, hogy globális inerciarendszerek nincsenek? A következtetés biztosan nem az, hogy ezt a fogalmat örökre száműznünk kell a fizikából. A kérdést azzal összefüggésben kell megválaszolnunk, hogy milyen viszonyban van egymással Newton és Einstein gravitációelmélete. Mindkét elmélet ugyanazt a jelenségkört fedi le (Naprendszer, kettős csillagok), de az általános relativitáselmélet fogalmilag egységesebb (nem enged meg két különböző fajtájú – súlyos és tehetetlen – tömeget), és tapasztalatilag pontosabb. Newton tömegvonzás-elmélete azonban nagyon széles körben igen pontos közelítése az általános relativitáselméletnek, amelyből jól meghatározott közelítő eljárással le is származtatható. Még az űrszondák pályaszámításához is többnyire teljesen elegendő pontosságú a newtoni elmélet, ezért pedáns szószálhasogatás lenne, ha ilyen esetekben nem ezt az elméletet használnánk – a globális inerciarendszereivel együtt. Természetesen a középiskolában is ezt az elméletet tanítjuk. Legfeljebb arról lehet szó, hogy nagyobb hangsúlyt kellene helyezni a Newton-elmélet azon feltevéseire (globális inerciarendszerek léte, a súlyos és a tehetetlen tömeg kettőssége), amelyek az általános relativitáselmélet kiindulópontját képezik.

NÉPZENEI ÖSSZEHAONLÍTÓ ELEMZÉSEK MESTERSÉGES INTELLIGENCIÁKKAL

Juhász Zoltán

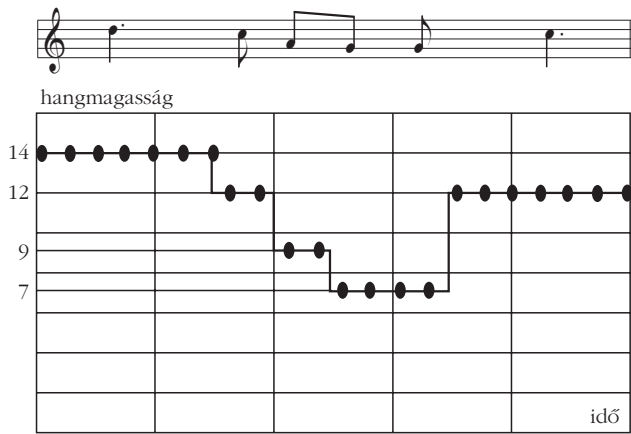
Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet

Kilenc eurázsiai népzene reprezentatív dallamgyűjteményeit elemeztük az úgynevezett Kohonen-féle önszervező térképek segítségével. A mesterséges intelligenciák megtanulták a különböző népzeneik jellegzetes dallamvonal típusait, mintegy modellezve a zenei nyelveket. A nemzeti zenei nyelvek egymás közti kapcsolatai felvetették egy valaha létezett közös zenei ősnyelv lehetőségét. Ennek rekonstrukciója arra a következtetésre vezetett, hogy a zenei ősnyelv legtöbb elemét éppen a mai magyar népzene őrzi, így a Kárpát-medence igazolhatóan központi helyet foglal el Eurázsia zenei térképén.

Kodály Páva-variációit hallgatva elgondolkodhatunk azon, hogy kicsoda szövevényes kapcsolatrendszer fűzheti össze a népzene sok ezer dallamát, ha

egyetlen dallamtípus is ilyen csillogóan gazdag változatosságban mutatja meg különböző arcait. Ez a gazdagság elsősorban a szájhagyományos műveltség legfőbb alkotó módszerének, a variálásnak köszönhető. A népzene életéhez éppúgy hozzátartozik a változatok folytonos születése és a kevésbé sikeres változatok eltűnése, mint a mutációké az élővilághoz. A variánsok képződése és elhalása eredményeként kikristályosodó rend kutatása azonban, már csak a dallamok óriási száma miatt is, igen nehéz, hiszen például a *Zenatudományi Intézet* archívumában 200 000-nél is több egyedi dallamváltozat található.

Az elemző munkát nyilván megkönnyíthetjük olyan számítógépes algoritmusokkal, amelyek mintegy „maguktól” megkeresik a dallamsokaságokban rejtőző



$$\mathbf{x} = [14 \quad \dots \quad 14, 12, 12, 9, 9, 7 \quad \dots \quad 7, 12 \quad \dots \quad 12]$$

1. ábra. A dallamvonalat leíró vektor származtatása. A hangmagasság-idő függvényből az ábrán pontokkal jelölt diszkrét időpontokban veszünk mintát, és ezeket az \mathbf{x} vektorban tároljuk. A vektor dimenziószáma a minták számával egyenlő.

legfontosabb alapformákat, és ezzel megmutatják a vég nélküli variálás kiindulópontjait, azokat az elvont, a valóságban pontosan tán soha el sem hangzó formákat, melyek éppen a belőlük fakadó változatok segítségével őrződnek meg évezredekig egy-egy szájhagyományos műveltség emlékezetében.

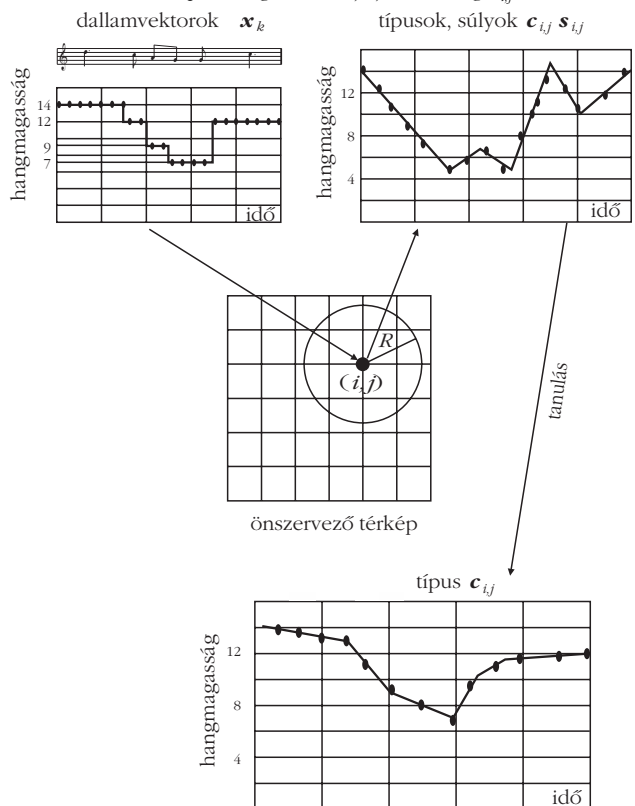
Első lépésként keresnünk kell egy olyan módszert, mely a dallamokat matematikailag is értelmezhető módon – az időben egymást követő hangmagasságértékeket tartalmazó számsor formájában – írja le. A számsor származtatását az 1. ábrán éppen a Kodály művének címet adó magyar népdal, a *Felszállott a páva* első sora illusztrálja. A kotta alapján először megalkotjuk a hangmagasság-idő függvényt. Az 1. ábrán a vastag lépcsős vonal mutatja, hogy a hangmagasság-idő függvényben a félhangugrásnak egységnyi, a nagyszekundlépésnek két egységnyi stb. változás felel meg. A függvényben a hangok időtartama is megjelenik, így az a ritmus lényeges jellemzőit is leképezi. A folytonos hangmagasság-idő függvényt alkalmasan megválasztott D darab egyenlő szakaszra bontjuk, és minden szakaszon mintát veszünk a hangmagasságból. A dallamsorokat leíró hangmagasság-minták sorozata így egy D -dimenziós vektorban jelenik meg.

A tapasztalat azt mutatja, hogy $D = 32$ minta kielégítő pontossággal írja le népdalaink egy-egy sorát. A módszer egyaránt alkalmazható teljes dallamok, dallamsorok, vagy sorpárok (pl. az első és második sorok alkotta dallamrészek) leképezésére. Itt jegyzem meg, hogy a dallamok a népzeneudományban szokásos módon mind közös G záróhangra transzponálva értendők. Minden dallamsorból, annak szótagszámától, ritmusától, tempójától, tehát tényleges időtartamától függetlenül mindig 32 hangmintát veszünk, így valóban minden dallamsornak egy 32-dimenziós vektor felel meg. Sorpárok és egész dallamok vizsgálatára értelemszerűen legalább 64 hangmintát veszünk, tehát a nagyobb zenei egységeket magasabb dimenziójú térbe képezzük le.

A D -dimenziós dallamvonalvektorok a fentiek szerint egy D -dimenziós tér egy-egy pontjába mutatnak – a teret kifeszítő bázis első koordinátája a dallamvonal első mintájának hangértékét adja, második koordinátája a második mintáét stb. Belátható, hogy az így definiált „dallamtér”-ben két pont euklideszi távolsága éppen a dallamvonalak eltérését jellemzi, így zenei értelemben is alkalmas mértéket jelent. A dallamsokaságban rejlő zenei rendezettséget tehát egy sokdimenziós pontrendszer térbeli rendeztségébe képeztük le. A pontrendszer sűrűbb tartományai az adott műveltség által kedvelt, sokat variált zenei formákra utalnak, így e sűrűsödések gócpontjai éppen a fent említett zenei alapformáknak feleltethetők meg.

A gócpontokat – a népzene alapszerkezetét meghatározó tipikus dallamvonalakat – a mesterséges intelligenciák egyik közkedvelt típusa, az úgynevezett Kohonen-féle önszervező térkép segítségével kereshetjük meg [1]. Az önszervező térkép a 2. ábrán lévő síkbeli rácson alakul ki, egy lassú tanulási folyamat eredményeképpen. Minden egyes rácsponthoz egy D -dimenziós dallamvonalvektor tartozik – az (i, j) koordinátájú rácsponthoz például $\mathbf{c}_{i,j}$. Ezek a vektorok alakulnak majd a tanulás során úgy, hogy lassan egy-egy tipikus dallamvonalat írjanak le. Kezdetben a vektorokat véletlen számokkal töltjük fel, vagyis a tanulás elején csupa értelmetlen dallamvonal tölti be a leendő típusok helyét.

2. ábra. A dallamvonalak típusait tanuló önszervező térkép. A kottából származtatott dallamvonal (\mathbf{x}_k) a négyzetrács (i, j) koordinátájú rácspontjához tartozó dallamvonal típust ($\mathbf{c}_{i,j}$ -t) találja leghasonlóbbnak. Az (i, j) rácspont R sugarú környezetében minden dallamvonal típust kissé a maga képére formál. A tanulás végén egy jellegzetes dallamvonal típus átlagolt formája jelenik meg $\mathbf{c}_{i,j}$ -ben.



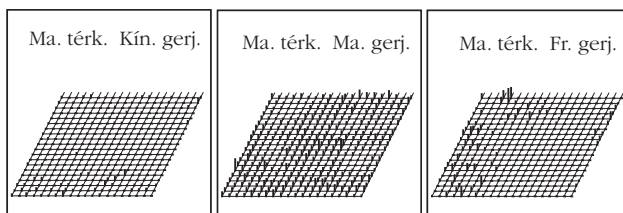
A tanítás során először találomra kiválasztunk az adatbázisból egy dallamot – az ábra szerint a k -adikat. Ebből az 1. ábrán ismertetett módon megalkotjuk az \mathbf{x}_k dallamvonal vektort, és megkeressük a térképen azt a $\mathbf{c}_{i,j}$ típusvektort, amelytől legkisebb a távolsága. (Kezdetben persze a hasonlóság még igencsak gyenge, hiszen a $\mathbf{c}_{i,j}$ „típusok” még véletlen hangsorok, nem igazi dallamvonalak.) Tartozzon ez a típusvektor a rács (i, j) rácspontjához (lásd 2. ábra).

Miután megtaláltuk a leginkább hasonló $\mathbf{c}_{i,j}$ típusvektort, azt úgy módosítjuk, hogy egy kicsit jobban hasonlítson a kiválasztott igazi dallamvonalvektorra, \mathbf{x}_k -ra – vagyis, a dallamtérben a $\mathbf{c}_{i,j}$ vektort kissé elmozdítjuk az \mathbf{x}_k vektor felé. Ezt a módosítást azonban nem csak $\mathbf{c}_{i,j}$ -vel végezzük el, hanem az (i, j) rácspont bizonyos környezetében minden rácsponttal tartozó típusvektorral. Az (i, j) rácspont környezetén a 2. ábra értelmében annak egy adott R sugarú körön belüli szomszédságát értjük. R -et szokás a rácsméret feleként megadni a tanítás elején, majd a tanulás során értékét folyamatosan egy rács távolságnyi alá csökkentjük.

Ez után újabb dallamot választunk adatbázisunkból, és most annak helyét keressük meg a rácson. Ha ez történetesen megint az (i, j) rácsponton lévő dallamvonalhoz hasonlít a legjobban, akkor a $\mathbf{c}_{i,j}$ típusvektort (és R sugarú környezetét) most kicsit e felé a dallamvonal felé módosítjuk, így abban most már két dallamvonal tulajdonságai átlagolódnak. Így az (i, j) rácspont a továbbiakban egyre inkább vonzza az elsőnek talált dallam rokonait. A $\mathbf{c}_{i,j}$ típusvektor ennek megfelelően a dallamok egy bizonyos csoportjának – rokonsági körének – átlagolt dallamvonalához közelít a tanulás során. A továbbiakban ezeket az átlagolt, tipikus dallamvonalakat nevezzük típusoknak.

Persze sokkal valószínűbb, hogy a másodikkal kiválasztott dallamnak új helyet találunk a rácson, így ott egy másik dallamvonal típus kezd el fejlődni. Így idővel minden rácsponton megindul valamilyen dallamvonal típus „tanulása”. A tanulási ciklust nagyon sokszor megismételve a térkép rácspontjaihoz rendelt vektorokban lassan kialakulnak a legfontosabb dallamvonal típusok, hasonló valódi dallamvonalak csoportjainak átlagaként. Mivel pedig a típusok módosítása a tanulás során a szomszédságra is kihat, a térképen a hasonló típusok egymás közelében fejlődnek ki. A térkép tehát valóban térkép – az adott zenekultúra tulajdonságait tükrözi, csak hogy immár nem a sokdimenziós dallamtérben, hanem két dimenzióban.

Ha az önszervező térképet valamely kultúra zenei hagyományát jól reprezentáló dallamgyűjteménnyel tanítjuk, a térképen az adott kultúra összes jellemző alapformája kialakul – a térkép tehát az adott „zenei nyelv” modelljének tekinthető. A magyar népzene esetében például az adatbázisban szereplő 2500 dallam 80%-a jól osztályozható egy 400 rácspontot (dallamvonal típus) tartalmazó térképen. Az eredmények igen jó összhangban vannak a zenetudomány által felderített dallam típusokkal, így feltételezhetjük, hogy a módszer más, általunk kevésbé ismert népzene esetében is jól határozza meg a jellemző formákat. A jelenleg rendelkezésre álló

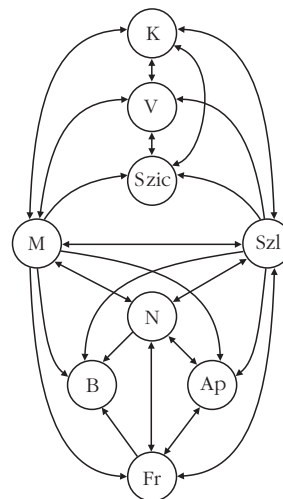


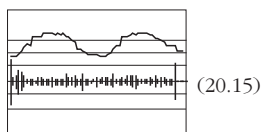
3. ábra. A magyar önszervező térkép gerjesztése kínai, magyar és francia dallamokkal. A különböző kultúrák különböző mintázatokat hívnak elő a magyar népzene térképén.

adatbázisok segítségével a következő „zenei nyelvek” modelljeit határoztuk meg: magyar, szlovák, volga-vidéki (cseremis, csuvas, tatár, votják), kínai (han), szicíliai, német, francia, bolgár és appalache-i (főleg skót és ír telepések hagyománya). Ha mármost az A nemzet (régio) térképén egy másik nemzet (B) dallamait osztályozzuk – vagyis az A nemzet térképén megkeressük azokat a típusokat, melyekhez hasonló dallam megtalálható a B nemzet dallamai között – akkor A önszervező térképén előhívhatjuk azokat a területeket, melyek a B nemzet zenéjével kapcsolatban állnak. Például a magyar térkép aktiválását kínai, magyar és francia dallamok hatására a 3. ábrán tekinthetjük át. A saját dallamok gyakorlatilag teljes területükön gerjesztik a térképet – kevés kivétellel minden rácspontra jut dallam, ha a magyar térképet magyar dallamokkal gerjesztjük. A magyar térképet ellenben világosan elkülönülő foltokon gerjesztik a kínai és francia dallamok.

Jellemezzük az A és B kultúra kapcsolatának erősségét az A térképén B dallamai által aktivált rácspontok (típusok) összes rácsponttal mért arányával! Ekkor kiválaszthatjuk például a magyar térképet legerősebben aktiváló 2 (3, 4 stb.) idegen kultúrát, majd ugyanígy járhatunk el a többi nyolccal is. Az eredményeket a 4. ábra gráfja foglalja össze. A gráfon a nemzeti kultúrákat jelképező csomópontokat akkor köti össze él, ha azok egymás legerősebb négy aktiválója között szerepelnek. A nyilak az aktiválás irányát jelzik. (Például a francia kultúrát a magyar erősen aktiválja, de fordítva ez már nem igaz. A magyar és a szlovák kultúrák vi-

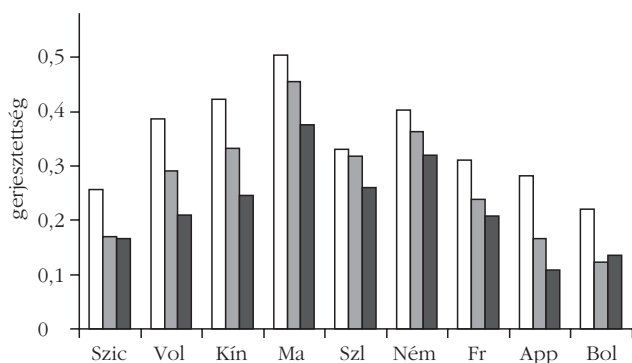
4. ábra. Kilenc eurázsiai népzene kapcsolatai – kínai (K), volga-vidéki (V), szicíliai (SziC), magyar (M), szlovák (Szl), német (N), bolgár (B), appalache-i (Ap), francia (Fr).





Magyar 18-231-00-01x.ps 1. Francia 10002800.ps 2.

5. ábra. A feltételezett zenei ősnyelv egy sorpárjának rekonstruált típusa, magyar és francia változattal. Az ősnyelvi típus a fenti diagramban látható.



6. ábra. A feltételezett közös zenei ősnyelv aktiválása (gerjesztése) 9 eurázsiai nép dallamtípusaival. Az oszlopok az első sorok, első sorpárok és teljes dallamok térképein mért eredményeket mutatják.

szont kölcsönösen erősen aktiválják egymást.) Az ábra igen világos és tanulságos viszonyrendszert tár elénk. A magyar és a szlovák csomópont nélkül a gráf két önálló rendszerre esne szét: a kínai, volga-vidéki, szicíliai, illetve a német, francia, appalache-i, bolgár rendszerekre. A két alrendszer – melyeket bizvást nevezhetünk „keletinek”, illetve „nyugatinak”, csak a két kárpát-medencei csomópont kapcsolja össze. Ugyanakkor bármely másik két csomópontot távolítanánk is el, azaz nem törnénk meg a gráf egységét. A Kárpát-medence tehát központi helyet foglal el a vizsgált kilenc eurázsiai népzene kapcsolatrendszerében. Az itt élő dallamtípusok kapcsolják össze Kelet és Nyugat zenei hagyományát egyetlen nagy rendszerre.

KÉK MARS

Az Európai Űrügynökség Rosetta nevű űrszondája, útban a 67/P jelű Csurumov–Geraszinov üstökös felé, 250 kilométerre megközelítette a Mars bolygó felszínét, és több közeli felvételt készített arról. A Rosetta OSIRIS (Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging

Ha feltesszük, hogy ez az egység egy réges-régen létezett közös zenei ősnyelv továbbélésének következménye, akkor felismerhetjük: ez az ősnyelv elég biztonságosan rekonstruálható az önszervező térkép segítségével. Ehhez a nemzeti térképeken meghatározott típusokat kell egyesítenünk egyetlen adatbázissá, és ezzel kell tanítanunk az „ősnyelv” önszervező térképét. Ekkor a több helyen is előforduló hasonló típusok nagyobb eséllyel alakítanak ki közös típust, mint azok, amelyek csak egy nemzeti kultúrában fordulnak elő. Az is belátható, hogy a viszonylag későn elterjedt, kevésbé meggyökeresedett zenei formákat már a nemzeti önszervező térképek tanításakor jelentősen kiszűrtük, így az ősnyelv térképén nagyobb valószínűséggel alakulnak ki régről közös őstípusok, mint

újabb korok elterjedt divatjelenségei. Meglehető, hogy ezek az őstípusok nem a ma élő legrimitívabb formákra hasonlítanak. A nagy hangterjedelmű, összetett dallamozgású típusok ugyanolyan gyakoriak közöttük, mint a mai népzeneben – erre láthatunk magyar és francia példát az 5. ábrán. Mindkét dallam első két sora az ötödik fok (d) és az oktáv (g) közötti kupolás ívet futja be. Ez a két egyforma ív jelenik meg a diagramon látható ősnyelvi sorpártípusban is. A két dallam a közös első sorpáron túlmenően is mutat kapcsolatokat. A francia dallam 3. sora még az előzőket ismétli, 4. sora pedig a magyar dallam 3. sorában jelenik meg, megkettőzve. Az utolsó sorok szintén nagyon hasonlóak.

Az ősnyelv térképét eltérő területein és eltérő mértékben aktiválják a mai nemzeti zenei nyelvek attól függően, hogy melyik mennyit őriz mai állapotában a közös örökségből. A 6. ábra szerint megállapítható, hogy a legerősebben éppen a magyar népzene aktiválja az ősnyelv térképét, tehát a mi népzeneünk áll a legközelebb a közös forráshoz [2]. Ez az eredmény kiválóan megmagyarázza a 4. ábra kapcsolati gráfjáról leszárt tapasztalatokat – a Kárpát-medence éppen azért van központi helyzetben Eurázsia zenei térképén, mert itt élnek legnagyobb számban egy közös zenei ősnyelv formái.

Irodalom

1. Kohonen, T., *Self-organising Maps*. Springer-Verlag, Berlin, 1995.
2. Juhász Z., *A zene ősnyelve*. Fríg Kiadó, Pílisvörösvár, 2006.