

Polifonikus zenei felvételek hangjegy-alapú szétválasztása

ACZÉL KRISTÓF, VAJK ISTVÁN

BME Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék
{aczelkri, vajk}@aut.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: polifonikus zene, szeparáció, hanglenyomat, energiaelosztás

Egy polifonikus zenei felvétel szétválasztása külön szólamokra igen nagy kihívást jelent. A több külön sávból kevert jelből tökéletesen visszaadni az eredeti jeleket a mai technikákkal lehetetlennek tűnő feladat. A cikk egy új módszert mutat be egy-csatornás (mono) felvételek szeparációjára. Egy rendszerarchitektúrát javasolunk, amely a hiányzó információt valódi hangszermintákkal pótolja, így lehetővé téve egyes megismételhetetlen felvételek szeparációját és javítását.

1. Bevezetés

Ha képesek lennének már létező, felvett polifonikus felvételek zenei szerkezetét változtatni, javítani, az új ajtókat nyitna a hangfeldolgozás területén. Egy felvétel szólamokra bontásával képesek lehetnénk kijavítani hibás hangokat, vagy egyszerűen megváltoztatni egy dallamot egy többszólamú műben. Az alapprobléma abban rejlik, hogy bár egy zeneművet lehetséges több mikrofonnal felvenni, ez azonban csak néhány területen (főként könnyűzene) bevett gyakorlat. Általánosságban pedig a többsávos hanganyagot is sztereo csatornába keverik, amely gyakorlatilag lehetetlenné teszi az utólagos módosítást. E lépés után a zene egyes hangjai külön-külön nem módosíthatóak, csupán a felvétel egésze változtatható különböző szűrők segítségével. Kutatásunk hibás zenei felvételek szólamainak javítását tűzte ki hosszú távú célként, jelentse ez hangok frekvencia- vagy időbeli változtatását.

Kutatásunk során egy olyan rendszert fejlesztettünk ki, mely tetszőleges zenei hang elkülönítését teszi lehetővé a felvétel többi részétől. A zenei hangokat a felhasználó választhatja ki, a felvétel többi szólamának egymástól való elkülönítése nem célunk. Ez a megközelítés különösen alkalmas a már említett javítások támogatására.

A minél magasabb hangminőség elérése érdekében gyengébb automatizáltságot is megengedünk. Mivel megbízható automatikus kottázó algoritmusok ma még nem léteznek, munkánkban jelentős mértékű segítséget várunk el a felhasználótól, amely főképp a kotta bevitelénél jelentkezik. Nem teszünk továbbá túlzottan erős megkötéseket a rendszer futási idejét illetően sem.

A szeparációnál nagy szükség van kiegészítő információkra a pusztán felvétel hanghullámán kívül. A problémát az okozza ugyanis, hogy az információ, amelyet szeretnénk kinyerni a felvételtől, egyszerűen nincs benne a jelben. A problémával rengeteg kutatás foglalkozott. Az egyik ígéretes területet a modellalapú rendszerek képviselik. Itt a bemeneti jelek parametrikus modelljét állítják fel, amely a kimeneti jelre kényszerként szolgál.

A modell paramétereit a mixtúrából nyerik. A terület két fő ága a szabályalapú algoritmusok [1], amelyek implicit előzetes információ alapján építik fel a modellt és a Bayes-bebecslésen alapuló rendszerek [2], ahol az előzetes információt valószínűségeloszlás-függvényekkel explicit megadják. Zenei alkalmazásokban legelterjedtebb megközelítés a szinuszos modellezés, amely harmonikus hangszerek, valamint beszéd szeparációjához igen jól alkalmazható [3].

A felügyelet nélküli tanuláson alapuló módszerek [4-6] általában egyszerű, nem paraméteres modellt használnak és kevésbé függenek az eredeti hangforrásokról rendelkezésre álló információktól. A mixtúrából közvetlenül próbálnak meg információt kinyerni olyan információelméleti alapelvek alapján, mint például a források statisztikai függetlensége. A legismertebb módszerek a független komponens analízis (ICA), nemnegatív mátrix faktorizáció (NMF) és a sparse coding. Ezen algoritmusok a hang spektrogramját (vagy egyéb hasonló reprezentációját) faktorizálják elemi komponensekre, amelyek a klaszterizáció követ, felépítve a kimeneti jeleket az elemi komponensekből.

Ezen cikkben modellalapú rendszert javasolunk a problémára. Ennek globális architektúráját megadjuk, majd ennek részeit külön bemutatjuk. Ismertetjük a felállított modellt, a *hanglenyomatot* (Instrument Print), valamint az Egyszerűsített Energia Elosztás (Simplified Energy Split, SES) módszerét, amely a felvétel energiáját szétosztja a kimeneti csatornák között. A rendszer lehetővé teszi azonos alapfrekvencián szóló hangok elkülönítését is, míg erre a legtöbb módszer nem képes.

2. A szeparáció folyamata

A szeparációs rendszer frekvenciatartományban működik, ezért transzformációra van szükség a be- és kimeneteken. A szokásos STFT mellett a Brown-féle frekvenciabecslő módszert is alkalmazunk [7], amely a szokványos STFT alapú spektrogramnál jóval pontosabb képet biztosít. A módszert bővebben a [8] tárgyalja.

A rendszer két módban képes működni. Az első mód a *hanglenyomat vételezés*. Itt valódi hangszerek hangmintáját olyan reprezentációban tároljuk el, amely később a szeparációnál hasznos lesz. A hangszermintára javasolt modellünk a *hanglenyomat*, amely a hangminták bandogram alapú leírásán alapszik [8]. A bandogram hasonló egy spektrogramhoz, annak frekvenciasávok szerint vett összegzésével kapható. A szétválasztáshoz a felvételben szereplő hangszerek bandogramjára lesz szükségünk.

Az 1. ábra a hanglenyomat vételezés folyamatát mutatja be, míg a jelöléseket az 1. táblázat foglalja össze. Mindezt bővebben a 3. szakaszban tárgyaljuk.

A második működési mód a *szeparációs mód*, amelyet a 2. ábra vázol. A három bemeneti jel, az eredeti felvétel, a kotta és a hanglenyomatok alapján ez végzi el az egyes hangok külön sávokba való elválasztását. A rendszer két nagy blokkját különböztetjük meg: az Egyszerűsített Energia Elosztót (SES) és a lebegés helyreállítást. A SES tekinthető a legfontosabb modulnak, melynek feladata a felvétel energiájának szétosztása a kimeneti csatornák között. A SES által létrehozott kimeneteket gyakran lebegés terheli. Ez a lebegés ugyan már az eredeti felvételben is jelen volt, de a különválasztott hangokat meghallgatva sokkal észrevehetőbb és zavaró lehet. A jelenség csökkentését célozza meg a lebegés helyreállítás. Ezekről részletesebben az 5. szakaszban szólnunk.

W	<i>Egyszerű hullámforma</i>
F	<i>Frekvenciabecsült spektrogram:</i> Az STFT $c_{k,t}$ amplitúdói és $\varphi_{k,t}$ fázisai mellett az $f_{k,t}^{true}$ valódi frekvenciát is tartalmazza a mintavételi pontokhoz.
B	<i>Bandogram:</i> Alsávokon összegzett spektrogram. A mintavételi pontok energiáját és fázisát külön nem, csak amplitúdók összegét tartalmazza az egyes sávokban.

1. táblázat
Jelölések a szeparációs rendszer blokkdiagramjához

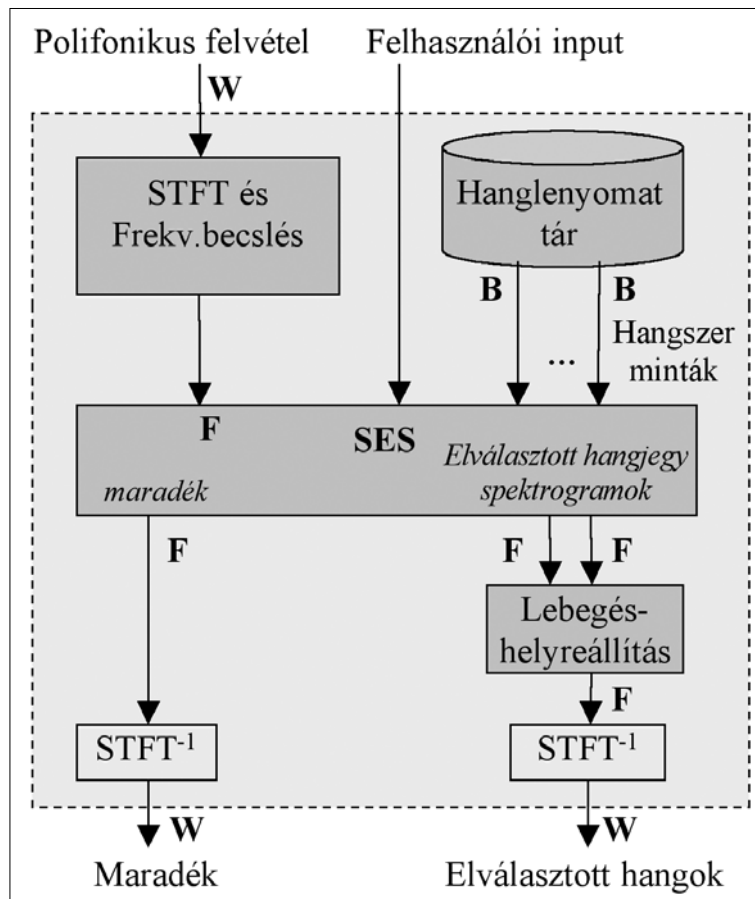
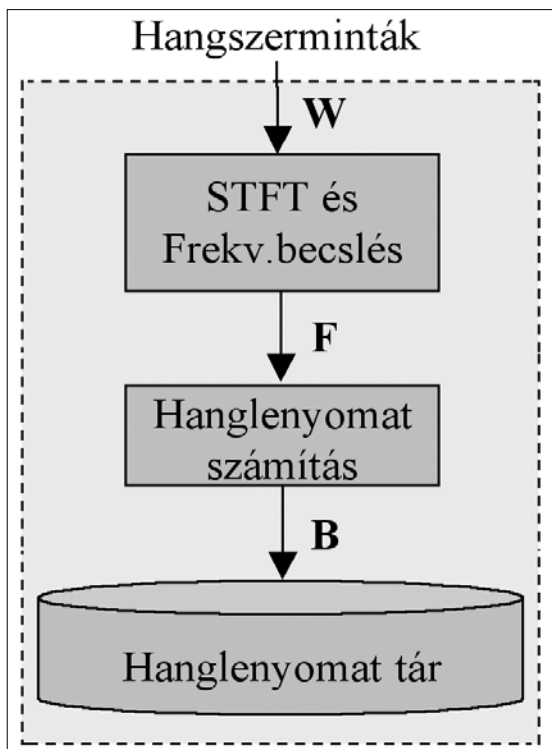
3. Hanglenyomatok

Mind a mai napig nem ismerjük teljes mértékben az emberi hallás folyamatát. Számptalan kutatás során arra a következtetésre jutottunk, hogy agyunk valószínűleg a hangszerek valamiféle emlékét őrzi [9]. Ez a pluszinformáció segít minket a dallamok felismerésében. Jelen esetben a szeparáció során plusz információra lesz szükségünk. Ezért megpróbálunk a természetet lemásolni és utánozni az agy feltételezett működését. Hanglenyomatainkat ennek szem előtt tartásával készítjük el.

Az itt javasolt hangszermodell, a *hanglenyomat* egy hangszer különböző frekvenciákkal és intonációkkal (fuvola fújásának erőssége, zongoraleütés ereje, hang melegsége stb.) előadott mintáinak összessége. Egy lenyomat több ortogonális intonáció-dimenziót is tartalmazhat egyszerre, attól függően, mennyire „szabadon” játszha-

2. ábra
A szeparációs fázis blokkdiagramja

1. ábra
A hanglenyomat vételezés blokk diagramja



tó az illető hangszer. Elképzelhető például egy hangerő- és egy melegség- dimenzió is szaxofon esetén, amelyek értékei 1-10-es skálán mozoghatnak. A dimenziók általában nem írhatók le matematikai kifejezésekkel, inkább csak szubjektív szavakkal. Röviden tehát egy lenyomat egy mintakollekció különböző f_0 alapfrekvenciákon és $\mathbf{M} = [m_1, m_2, \dots, m_p]$ intonációkkal. Ez a következő függvényvel szemléltethető:

$$\mathbf{A}(\mathbf{M}, f, f_0, t) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ahol } t, m_x, f_0 &\in \mathbb{R}^+, \\ 0 < m_x < m_{x, \max}, \\ 0 \leq t < \infty, \\ 0 < f, f_0 &\leq 20000 \text{ Hz}. \end{aligned}$$

A függvény azt mutatja, hogyan változik egy f_0 alapfrekvenciájú \mathbf{M} intonációjú hang energiája az idő múlásával különböző f frekvenciákon.

A valóságban megelégszünk azzal, hogy frekvenciasávokra tároljuk az ott megjelenő energia összegét. Ezt nevezzük *bandogram*-nak. A frekvenciasávok szélessége logaritmikusan nő magasabb frekvenciák felé. A bandogramot egy hang spektrogramjából az 1. táblázat jelöléseit használva így számolhatjuk:

$$A_{\mathbf{M}, f_0, b, t} = \sum_{\rho(f_{k,t}^{true}, f_0, b)} c_{k,t} \quad (2)$$

ahol $c_{k,t}$ és $f_{k,t}^{true}$ a k -ik komponens amplitúdója és besült valódi frekvenciája, $\rho(f, f_0, b)$ kifejezés igaz, ha f és f_0 pontosan b sávnyi távolságra vannak, és b jelöli a frekvenciasávot:

$$b = \left\lfloor \log_{\sqrt{2}} \frac{f_0}{f_{k,t}^{true}} \right\rfloor. \quad (3)$$

R a frekvenciasávok szélességét meghatározó kísérleti érték, a sávok száma oktávonként, t pedig idő. Kísérleteink alapján $R=12$ megfelelő felbontást nyújt, miközben egyszerűen elképzelhető, mivel egy zenei oktáv 12 félhangból áll. A valóságban természetesen nem tárolhatjuk az összes lehetséges mintát. A hiányzó minták interpolálással nyerhetők.

4. A szeparációs probléma

Mivel a szeparációs probléma megoldása igen nehéz, egyszerűsítést javasolunk, amely a némi minőségromlás árán egyszerűbb megoldást kínál a problémára. Jelölje $\underline{c}_{r\tau} = \{c_{r\tau,k} \cdot e^{\gamma_{r\tau,k}}\}$ a felvétel spektrumát $r\tau$ időben ($r \in \mathbf{N}$), $\underline{s}_{r\tau}^{orig} = \{s_{r\tau,k}^{orig} \cdot e^{\sigma_{r\tau,k}}\}$ és $\underline{d}_{r\tau} = \{d_{r\tau,k} \cdot e^{\delta_{r\tau,k}}\}$ pedig az eredeti i -ik hang spektrumát, valamint a zajkomponenst.

A szeparációs egyenlet a következő:

$$\underline{c}_{r\tau} = \sum_{\forall i} \underline{s}_{r\tau}^{orig} + \underline{d}_{r\tau} \quad (4)$$

$$\text{ahol } c_{r\tau,k}, s_{r\tau,k}^{orig}, \sigma_{r\tau,k}, \gamma_{r\tau,k} \in \mathbb{R}^+.$$

Mivel (4) egyenletrendszer további megkötések nélkül nem oldható meg, egyszerűsíteni próbáljuk olyan módon, hogy az ezáltal okozott minőségromlás minél kevésbé legyen érzékelhető. Korábbi kutatások [10-12] azt mutatták, hogy az emberi fül rendkívül érzéketlen a hangok fázisinformációjára, feltéve, hogy a fázisfolyo-

nosság fennáll az egymást követő keretek között. Ez alapján (4) oly módon módosítható, hogy kiküszöböljük az ismeretlen $\sigma_{i,r\tau,k}$ és $\delta_{r\tau,k}$ fázisokat:

$$\gamma_{r\tau,k} = \sigma_{i,r\tau,k} = \delta_{r\tau,k}. \quad (5)$$

Ezáltal (4) a következőképp alakul:

$$|c_{r\tau,k}| = \sum_{\forall i} |s_{i,r\tau,k}| + |d_{r\tau,k}|, \quad (6)$$

ahol keressük $|s_{i,r\tau,k}|$ és $|d_{r\tau,k}|$ értékeket minden $i, r\tau, k$ -ra, ha $|c_{r\tau,k}|$ és $\gamma_{r\tau,k}$ ismert.

Az egyszerűsítés hátránya némi minőségromlásként jelentkezik. A közeli frekvencián megszólaló hangok által okozott lebegést a módszer nem kezeli direkt módon. Ezért ezzel később külön kell foglalkoznunk.

5. Az Egyszerűsített Energia Elosztás módszere

Ez a fejezet a szeparáció fő algoritmusával, a SES-sel foglalkozik. Ennek feladata a felvétel energiájának elosztása a kimeneti hangok között. A SES a megfelelő hanglenyomatokat használja az energia elosztására, amely a felhasználó által megadott kotta, hangerő és hangszer típus információk alapján kerül kiválasztásra.

A szétválasztásra a következő iteratív algoritmust javasoljuk. Kiindulunk az eredeti felvétel \underline{c} spektrogramjából, tartozik továbbá minden kimeneti hanghoz egy \underline{s}_i spektrogram, energiájuk kezdetben nulla. Minden lépésben a felvétel spektrogramjából valamekkora energiát áthelyezünk az egyes kimeneti spektrogramokba a megfelelő frekvenciasávokban. Ezen energia nagysága a minták által indokolt energia egy előre meghatározott δ töredéke. Ha a felvétel már nem tartalmaz elegendő energiát, akkor a teljes maradék energiát áthelyezzük.

δ számítása:

$$\delta = \frac{A_{i, \mathbf{M}_i, f_{0,i}, b}(r\tau - T_{onset,i})}{\sum_{\rho(f_{k,r\tau}^{true}, f_0, b)} c_{[j,i], r\tau, k}} \cdot \frac{1}{J}. \quad (7)$$

Egy lépés allépésekből áll, pontosan annyiból, ahány kimeneti hangunk van. Egy allépésben csak egyetlen kimenethez helyezünk át energiát. A d -ik lépés i -ik allépésében a felvétel energiája

$$c_{[j,i+1], r\tau, k} = \begin{cases} \rho(f_{k,r\tau}^{true}, f_0, b) : \max(0, (1-\delta) c_{[j,i], r\tau, k}) \\ \text{egyébként: } c_{[j,i], r\tau, k} \end{cases} \quad (8)$$

Az i -ik hang aktuális energiája pedig:

$$\underline{s}_{i, [j+1], r\tau} = \underline{s}_{i, [j], r\tau} + (\underline{c}_{[j,i-1], r\tau} - \underline{c}_{[j,i], r\tau}). \quad (9)$$

A módszert azért kell több lépésben végrehajtani, mert előfordulhatna, hogy miután egy erősebben megszólaló hangszer kimeneti spektrogramjába energiát helyeztünk át, az eredeti felvétel energiája nullára csökken, más hangszereket „kiéhezttetve”. Ha minden lépésben csak a hanglenyomatok által indokolt energia töredékét helyezzük át, ez a jelenség kiküszöbölhető. Az algoritmus így az energia igazságos szétosztását biztosítja a kimeneti hangok között. Pontos működéséről bővebben korábbi publikációink számolnak be [8].

A felvételen fellépő lebegések a szétválasztás után sokkal jobban kihallhatók. A jelenség utófeldolgozással azonban javarészt kiküszöbölhető. A hanglenyomatokat az elkülönített hangokkal összevetve ugyanis a kioltási helyek megtalálhatók és visszaerősíthetők.

6. Teszteredmények

A rendszer minőségét szintetikus tesztekkel ellenőriztük. Tesztrendszerünket a 3. ábra szemlélteti. A mérésekhez az lowai Egyetem hangszer adatbázisából [13] származó 3841 db hangszermintát (vonós, fúvós, pengetős és billentyűs) használtuk.

A teszt során véletlenszerűen választottunk néhány hangot. Ezekből hanglenyomatot készítettünk. Ezután a hangokat egy felvételbe kevertük és a szeparációs rendszerrel újból szétválasztottuk. 2-10 polifónia fokú mixtúrákkal teszteltünk, egy szinten 50 tesztet végezve. A kimeneti hangokat az eredetihez hasonlítottuk, melyhez kétféle mértéket alkalmaztunk.

Az első mérték az úgynevezett Signal-To-Distortion Ratio. Az eredeti jeleket a kimeneti jelekből időtartományban kivonjuk és az így kapott hullámok energiáját hasonlítjuk az eredetihez:

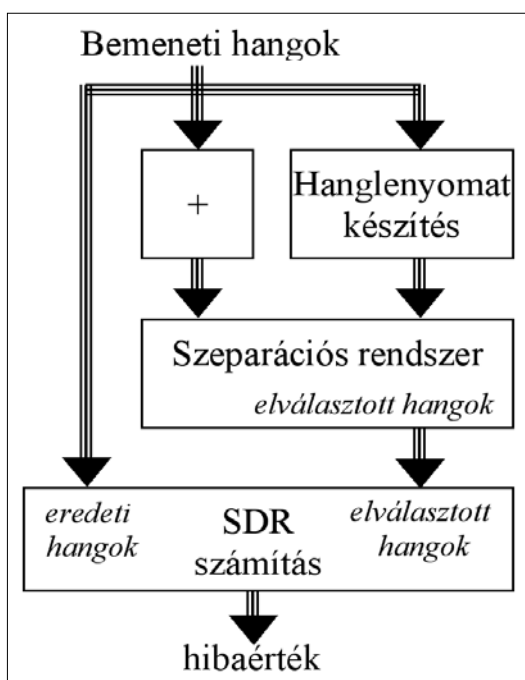
$$SDR_i = 10 \log_{10} \frac{\sum_n \tilde{s}_i^{orig}(n)^2}{\sum_n [\tilde{s}_i(n) - \tilde{s}_i^{orig}(n)]^2}, \quad (10)$$

ahol \tilde{s}_i^{orig} az eredeti, \tilde{s}_i pedig az elkülönített i -ik hang hulláma. A másik mérték hasonló elv alapján frekvencia-tartományban mér:

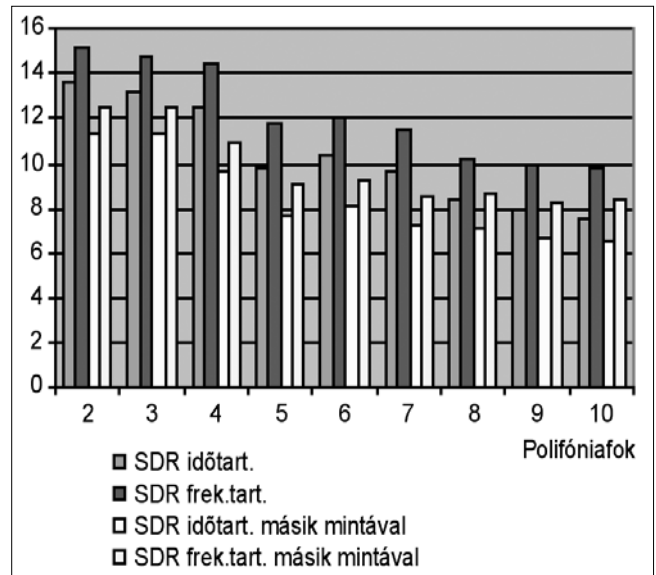
$$SDR_i^F = 10 \log_{10} \frac{\sum_{r\tau} \sum_{k=0}^K s_{i,k}^{orig}(r\tau)^2}{\sum_{r\tau} \sum_{k=0}^K [s_{i,k}(r\tau) - s_{i,k}^{orig}(r\tau)]^2} \quad (11)$$

Az eredményeket a 4. ábra szemlélteti. Két konkurens hang esetén 15 dB a rendszer teljesítménye, amely lassan csökken a polifónia fok növekedésével.

3. ábra
A tesztrendszer



A polifónia fok mellett a másik minőséget befolyásoló fő tényező a lenyomatok minősége. Kísérleteinket úgy is elvégeztük, hogy a felvételeket azonos típusú, de nem ugyanazon hangszer lenyomatai segítségével választottuk szét (például más gyártmányú zongora mintáit használva). Ebben az esetben a szétválasztás minősége átlagosan 2 dB-lel alacsonyabb volt.



4. ábra Teszteredmények

7. Összefoglalás

Kifejlesztettünk egy módszert, mely képes zenei hangok elkülönítésére polifonikus felvételen hanglenyomatok segítségével. Bemutattuk a rendszer architektúráját, majd a részleteit is kifejtettük. Egyszerű modellt ajánlottunk hanglenyomatok tárolására és az SES módszert javasoltuk a felvétel energiájának elosztására.

A rendszer minőségét teszteredményekkel szemléltettük. 2 polifónia fokú felvételek esetén a rendszer 15 dB felett teljesít, mely érték folyamatosan csökken, ahogyan a polifónia fok nő. Ez hasonló rendszerekkel összevetve igen magas érték.

A szintetikus teszteredmények, valamint néhány valós felvétel szétválasztott szólamai meghallgathatók és letölthetők a következő helyről:

<http://avalon.aut.bme.hu/~aczelkri/separation>.

A szerzőkről

ACZÉL KRISTÓF a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Műszaki Informatika szakán szerezte diplomáját 2004-ben. Jelenleg az egyetem Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszékén folytat PhD kutatást polifonikus zenei felvételek elemzése és manipulálása témakörében. Mindeközben a Nokia Research Center-ben, majd később a Nokia Siemens Networks-nél szoftver kutató mérnökként dolgozik, ahol főként kép- és dokumentummegosztó rendszerek tervezésében és fejlesztésében vesz részt.

VAJK ISTVÁN 1975-ben kapott villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. 1977-ben egyetemi doktori, 1989-ben kandidátusi, 2007-ban pedig MTA doktora fokozatot szerzett. 1976-tól dolgozik a BME Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszékén. 1994-től a tanszék vezetője. Jelenlegi munkaköre egyetemi tanár. Fő kutatási területe: rendszeridentifikáció, irányításelmélet és alkalmazott informatika.

Irodalom

- [1] Every, M.R., Szymanski, J.E.,
„Separation of synchronous pitched notes by spectral filtering of harmonics”.
IEEE Trans. on Audio, Speech and Language Proc.,
Vol. 14, No.5, pp.1845–1856., 2006.
- [2] Cemgil, A. T.,
„Bayesian Music Transcription”,
PhD thesis, Radboud University Nijmegen, 2004.
- [3] Virtanen, T.,
„Sound Source Separation
in Monoaural Music Signals”
PhD thesis, University of Kuopio, 2006.
- [4] Mitianoudis, N., Davies, M.E.,
„Using Beamforming
in the audio source separation problem”,
7th Int. Symp. on Signal Proc. and its Applications,
pp.89–92., 2003.
- [5] Smaragdis, P., Brown, J.C.,
„Non-Negative Matrix Factorization for
polyphonic music transcription”,
IEEE Workshop on Applications of
Signal Processing to Audio and Acoustics,
pp.177–180., 2003.
- [6] Plumbley, M., Abdallah,
S., Blumensath, T., Davies, M.,
„Sparse representations of polyphonic music”,
EURASIP Signal Processing Journal,
Vol. 86, No.3, pp.417–431., 2006
- [7] Brown, J.C., Puckett, M.S.,
„A high resolution fundamental frequency
determination based on phase changes of
the Fourier Transform”,
J. Acoust. Soc. Am., Vol. 94, No.2, pp.662–667, 1993.
- [8] Aczél, K., Vajk, I.,
„Note separation of polyphonic music by energy split”,
WSEAS International Conf. on Signal Processing,
Robotics and Automation, pp.208–214., 2008.
- [9] McAdams, S.,
„Recognition of Auditory Sound Sources and Events.
Thinking in Sound:
The Cognitive Psychology of Human Audition”,
Oxford University Press, 1993.
- [10] Zwicker, E., Flottorp, G., Stevens, S.S.,
„Critical band width in loudness summation”,
J. Acoust. Soc. Am., Vol. 29, pp.548–557., 1957.
- [11] Smith, S.W.,
The Scientist and Engineer’s Guide
to Digital Signal Processing,
California Technical Publishing, 1997.
- [12] Edler, B., Purnhagen, H.,
„Parametric Audio Coding”,
IEEE Int. Conf. on Communication Technology,
Vol. 1, pp.614–617., 2000.
- [13] The University of Iowa
Musical Instrument Samples Database (2008.07.07),
<http://theremin.music.uiowa.edu>

Hírek

**Regionális Cisco Hálózati Akadémiát avattak
a Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Karán**

Veszprémben 2001 áprilisában indult el a Cisco Hálózati Akadémia Program, amely az Egyetem hallgatóinak a magas színvonalú tudásátadás mellett órarendi keretek között biztosít lehetőséget a nemzetközi szinten elismert CCNA (Cisco Certified Network Administrator, azaz hálózati szakértő) képzés elvégzésére és az ezzel járó tanúsítvány megszerzésére.

A Műszaki Informatikai Kar fejlesztési stratégiájával összhangban, tudatos építkezéssel sikerült elérni, hogy az intézmény – közel fél év előkészítő munka után és négy új partnerintézmény bekapcsolódását követően – elnyerte a „Regionális Akadémia” státuszt. Az Akadémia így a korábbi feladatain túlmenően a csatlakozó partnerintézmények felé folyamatos szakmai támogatást és oktatói képzést is biztosít.

A Cisco Hálózati Akadémia keretében szerzett ismeretek széles körben alkalmazhatók, mivel a számítógép-hálózatok az élet minden területén egyre fontosabb szerepet töltenek be, így a megbízható szakemberek a legtöbb vállalatnál nélkülözhetetlenek. A képzés anyagát a számítógép-hálózatok tervezése, építése, menedzselése, valamint a hálózati szakértők által leggyakrabban használt eszközök használata képezi.

A hallgatók számára a megszerzett tudáson felül a képzés által nyújtott nemzetközi és OKJ-s tanúsítvány közvetlen versenyelőnyt jelent.

A Hálózati Akadémia kurzusai az elmúlt években magyar illetve angol nyelven egyaránt megjelentek a nappali és levelező tagozatos képzések választható tárgyai között, az érdeklődő hallgatók létszáma pedig évről évre folyamatosan nő. A fejlesztői munka eredményességét jól mutatja, hogy 2007-ben már a Műszaki Informatikai Kar bocsátotta ki a legtöbb CCNA tanúsítvánnyal rendelkező hallgatót Magyarországon. A 2007-ben oklevelet szerzett hallgatók száma 143 volt, az idei tanévben pedig újabb 138 hallgató iratkozott be a CCNA kurzusokra.