

FONETIKAI TULAJDONSÁGOK ALAPÚ ÁBÉCÉ KÉSZÍTÉSE

Tóth Zsolt egyetemi tanársegéd, **Kovács László** egyetemi docens
Miskolci Egyetem, Általános Informatikai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
tothzs@iit.uni-miskolc.hu, kovacs@iit.uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A karakterek, betűk kódolása a természetes nyelvek feldolgozása során leggyakrabban a hétköznapi ábécé alapján történik. Ezen kódolásban minden betű egy független kategóriát jelöl, melyek közötti nincs távolság értelmezve. Sok esetben viszont az egyes betűk fonetikai tulajdonságai hatással vannak a különböző nyelvtani szabályokra. A cikk a hagyományos és a fonetikai alapú kódolás hatékonyságát veti össze. Az egyes fonetikai tulajdonságok alapján a betűk vektortérben reprezentálhatóak, közöttük a távolság meghatározható. A vektortérből dimenziócsökkentéssel történő leképzés eredménye egy olyan új ábécé, melyben az egyes elemek közötti távolságok a vektortérbeli távolságokkal arányosak. A kapott ábécé a magyar nyelv ragozásának tanulásánál hatékonyabban alkalmazható, mint a hagyományos ábécé.

Kulcsszavak: metrikus tér, euklideszi tér, fonetika, ábécé

Abstract

The numerical representation of the letters in text processing and natural language processing task are usually based on the ordinary alphabet. This alphabet omits the phonetic features of the words, however these features has effect on the grammar. There is no distance defined in the traditional alphabet – the position of the letters is independent from the phonetic features. The proposed representation in vector space is based on the phonetic characteristics of the letters. The dimension reduction of the vector space into a one dimensional subspace yields an ordering of the letters which is based on phonetic features. The yielded alphabet has been shown superior in the learning of Hungarian inflexion rules.

Keywords: metric space, Euclidean space, phonetics, alphabet

1. Bevezetés

A természetes nyelv alapú interfészek kidolgozása napjaink egyik aktív kutatási területének számít. Az internetes technológiák és a telekommunikáció elterjedésével nagy mennyiségű természetes nyelvi formában lévő adat áll rendelkezésre. Ezek az úgynevezett strukturálatlan adatok alkotják egyes becslések szerint [3] a teljes adatmennyiség 80%-t. A természetes nyelvek feldolgozására irányuló kutatások jelentős részre az angol nyelvre fókuszál, de a magyar nyelv területén is jelentős eredmények születtek [10]. Az egyik ilyen fontos projekt a Szószablya [4], ami egy magyar nyelvű szótövező, szóelemző alkalmazás.

A természetes nyelv feldolgozás (NLP) egyik fontos eleme a nyelvtani elemzés. A természetes nyelvek nyelvtana több szinten vizsgálható. A ragozó nyelvekben igen fontos szerepet tölt be a morféma szintű szóragozás. A morféma szintű átalakítások leírására több modellt terjedt el (helyettesítési szabályok, Markov folyamatok). Projektünkben a ragozás tanulására mesterséges neurális háló alkalmazását vizsgáltuk. A neurális hálók alkalmazásának egyik részfeladatuként jelentkezik a betűk megfelelő reprezentálásra. Futási eredmények arra engednek következtetni, hogy a betűk reprezentációja jelentős hatással van a tanulás hatékonyságára. Az ASCII kódokkal és az ábécébeli pozícióval történő kódolás alkalmazása mellett a vizsgált hálók gyenge eredményeket hoztak. A javításra bevezetésre került egy, a fonetikai tulajdonságokat figyelembe vevő kódolási módszer. Ennek eredménye, a betűk egy olyan leképezése numerikus értékekre, amely figyelembe veszi a betűk közötti hasonlóságokat, különbségeket. A betűk közötti hasonlóságokat a fonetikai tulajdonságaik alapján határoztuk meg. A fonetikai tulajdonságok alapján meghatározott ábécén alapuló tanítás eredményei jobbnak bizonyultak, mint az ASCII és a hagyományos ábécé alapú kódolás esetén kapott érték.

2. Fonetikai Tulajdonságok

A természetes nyelvek és a beszéd legkisebb építőelemei a hangok. A hangok jelölésére írásban a betűket használjuk. A hangok és a betűk között szoros kapcsolat van. A megfeleltetés viszont nem minden esetben kölcsönös, vagy egyértelmű. Például a magyar nyelvben a „j” és az „ly” betűk egyazon hangot jelölnek. A szavakat írásos formákban hangok helyett, betűk reprezentálják, a betűk tehát a hangok írásos alakjának is tekinthetők. A továbbiakban a ragozást, a szó írott formájának az átalakítását vizsgáltuk. A betűket a hozzájuk tartozó hangalakok írásos képeinek tekintettük.

Az irodalomban számos törekvés létezik a betűk fonetikai tulajdonságainak leírására. A legismertebb modell az IPA (International Phonetic Alphabet) [7]. Az IPA célja a beszélt nyelvek hangjainak a leírása. Az IPA-ban 28 magánhangzó és 63 mássalhangzót különböztet meg. A IPA segítségével leírt hangalak szótárakban gyakran megtalálható, ezzel segítve a nyelvtanulóknak a helyes kiejtés elsajátítását.

2.1. Magyar ábécé

A magyar nyelvben két ábécét lehet megkülönböztetni, a 40 latin betűből álló és a 44 betűs úgynevezett kiterjesztett ábécét. A kiterjesztett ábécé a normál magyar ábécével szemben tartalmazza a Q, W, X és Y betűket, melyek önállóan nem fordulnak elő a magyar nyelvben, eltekintve a nevektől és az idegen szavaktól. A különböző magyar nyelvtankönyvek a 40 betűs ábécét veszik alapul [1,2], ezért az elemzés is ezen hajtottuk végre.

A magyar nyelvben 43 különböző hangot lehet megkülönböztetni, így a magyar ábécé egyes betűi több különböző beszédhangot is jelölhetnek. A beszédhangokat két főcsoportban szokás osztani, a magánhangzókra és a mássalhangzókra. A magánhangzókat és a mássalhangzókat tovább szokás csoportosítani a képzés helye és egyéb szempontok alapján.

A magánhangzók csoportosítását az 1. táblázat tartalmazza. A magánhangzókat három tulajdonság alapján szokás osztályozni. Megkülönböztethetjük a mély és a magas magánhangzókat. A nyelvállás alapján a felső, középső és alsó nyelvállású magánhangzókat, valamint az ajakkerekítéses (dőlt betűvel szedett) és ajakréses magánhangzókat. A magánhangzók csoportosítása az 1. táblázatban található.

1. táblázat: Magánhangzók csoportosítása [1]

	Mély	Magas	
Felső nyelvállású	U, Ú	Ü, Ű	I, Í
Középső nyelvállású	O, Ó	Ö, Ő	É
Alsó nyelvállású	Á, A		E

A mássalhangzók képzése során a levegő akadályba ütközik és a hang az akadály felhasználásával jön létre [1]. Tehát a mássalhangzók osztályozása során más szempontokat kell figyelembe venni, mint a magánhangzók esetén. A mássalhangzókat zöngésség, a képzés módja és a képzés helye alapján lehet csoportosítani, ami a 2. táblázatban látható.

2. Táblázat: Mássalhangzók csoportosítása [1]

A képzés módja	Fölpat-tanó zár		Orrhan-gú Zár		Réshang		Oldalsó réshang		Zár- rés hang		Pergő hang	
	Zöngés	Zöngétlen	Zöngés	Zöngétlen	Zöngés	Zöngétlen	Zöngés	Zöngétlen	Zöngés	Zöngétlen	Zöngés	Zöngétlen
A képzés helye												
Ajak	b	p	m									
Ajak-fog					v	f						
Elülső fog	d	t	n		z	sz	l	dz	c	r		
Hátulsó fog					zs	s		dzs	cs			
Elülső szájpaddás	gy	ty	ny		j							
Hátulsó szájpaddás	g	k										
Gége						h						

3. Vektortér reprezentáció

A különböző objektumokat az egyes jellemzőik, tulajdonságaik határozzák meg. A tulajdonságok alapján az objektumokat egy n dimenziós vektor térben lehet ábrázolni. Ilyenkor az objektumokhoz egy-egy képpont feleltethető meg. Az objektumok egy-egy valós vektorhalmazzal reprezentálhatóak, azaz a képpontok halmaza az n hosszúságú vektorok halmazának részhalmaza $L \subseteq \mathfrak{R}^n$. Az objektumok vektortérben történő reprezentálása a különböző objektum tulajdonságok valós értékekre történő leképezését igényli. A vektorteret gyakran alkalmazzák többek között keresési és klaszterezési feladatok elvégzése során.

3.1. Betűk reprezentálása vektortérben

A betűk vektortérben történő ábrázolásának alapját a fonetikai tulajdonságok adják. A magyar ábécé betűi a fonetikai tulajdonságaik segítségével írhatóak le, melyek közé tartozik a hangmagasság, ajakforma, nyelvállás, zöngesség, képzés helye és a képzés módja. A szakirodalom az egyes tulajdonságokhoz különböző kategóriákat határoz meg, de a kategóriákhoz numerikus értéket nem rendel [1,2]. A kategória értékek pontos meghatározása szakértő személyt igényel.

A betűk közötti különbségeket a távolságfüggvény fejezi ki vektortérben. Vektortérben két vektor között számos távolságot értelmezhetünk, ezek közül a leggyakoribb az Euklideszi távolság ami $D(l_1, l_2) = \sqrt{\sum_i (l_{1i} - l_{2i})^2}$, ahol l_{1i} az l_1 vektor i -ik koordinátája. A távolságfüggvény szimmetrikus, reflexív és teljesül rá a háromszög egyenlőtlenség. A betűk közötti távolság értelmezése lehetőséget biztosít a betűk rendezésére, klaszterezésére. A távolságfüggvény ismeretében meghatározható a távolság mátrix $\Delta = [D(l_i, l_j)]$. A távolságmátrix egy szimmetrikus, négyzetes, valós mátrix, aminek a főátlóiban zérus értékek szerepelnek.

3.2. Szavak reprezentálása vektortérben

A szó betűk sorozata. A vektortérben egy betűt egy valós vektor reprezentál $l \in L$. Egy w szó, mely m hosszúságú, leírható egy m elemű vektorsorozattal, azaz az $w = l_{w_1} l_{w_2} \dots l_{w_m}$. Az m hosszúságú szavak halmaza tehát egy m -szer n -es mátrixok halmazával írható le, ahol m a betűtulajdonságok száma. A mátrix oszlopvektorai a szó betűit írják le. A sorok pedig a betűtulajdonságokat kódolják. Az alábbi mátrix például az „alma” szót írja le, ahol $a = [312000]$, $l = [000341]$ és $m = [000121]$.

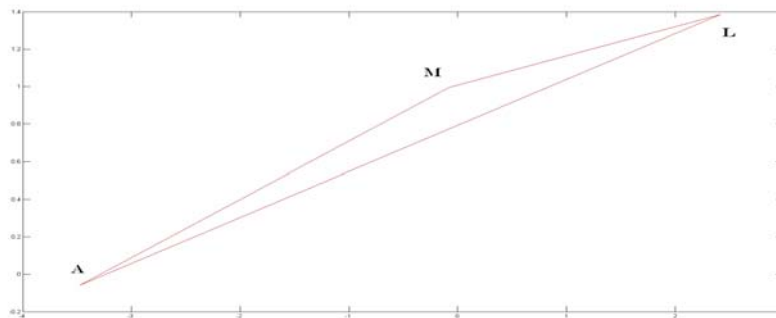
$$alma = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 3 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

A szó mátrixszal történő leírása mellett a vektortér grafikus reprezentációt is lehetővé tesz. A szó grafikusán egy törtvonallal ábrázolható. A törtvonal töréspontjai a szó betűinek a képpontjai. Az 1. ábra az „alma” szó törtvonallal való reprezentálását mutatja. A síkbeli ábrázolhatóság érdekében a 6 dimenziós térből 2 dimenziós térbe lettek leképezve a betűk. A leképezést főkomponens analízis [5] segítségével lett megvalósítva a MatLab szoftver segítségével. Az ábra nem tartalmazza a szó kezdő és végpontját, erre külön jelölést kell bevezetni.

4. Fonetikai tulajdonságok alapú ábécé

Az ábécé egy az évek során mesterségesen kialakított rendezését adja a betűknek. Az ábécé által megadott rendezés nem veszi figyelembe a betűk fonetikai tulajdonságait, és a nem definiált távolságot az egyes betűk között.

A betűk kódolása egy részproblémaként merült fel a ragozás neurális hálókval történő tanulása során. A javasolt neurális háló bemenete a ragozatlan szó megfelelő numerikus reprezentációja, a kimenet pedig a ragozott szó numerikus reprezentációja. A betűk megfelelő numerikus reprezentálása jelentős hatással van a tanulási folyamatra. A vizsgált háló



1. ábra: Az "alma" szó reprezentálása törtvonallal

architektúra tanulási képessége ASCII és hagyományos ábécé alapú kódolással került megvizsgálásra. ASCII kódok esetén a tanulás gyenge eredményeket hozott. Ennek egyik oka az lehet, hogy a kódtáblának csak egy kis részét használtuk kódolásra. Viszont a használt résznek a kódértékei nagy intervallumot fedtek le.

A hagyományos ábécé alapú kódolás jobb eredményeket mutatott, viszont a tanulás eredménye továbbra is jelentős hibával volt terhelve. Ennek oka az lehet, hogy a betűk közötti távolság a hagyományos ábécé esetén nincs értelmezve.

A továbbiakban egy fonetikai tulajdonságokon alapuló ábécé készítésére szolgáló módszer kerül ismertetésre. Az ismertetett módszerhez MatLab alkalmazás került kifejlesztésre, aminek a segítségével meg lehet határozni az új ábécét és a betűkhöz tartozó pontos valószínű értékeket.

4.1. Főkomponens analízis

A betűk fonetikai tulajdonságaik alapján egy n dimenziós vektortérben helyezkednek el. Az ábécé viszont a betűk közötti rendezést egy dimenzió mentén valósítja meg. Fonetikai tulajdonságok alapú ábécé készíthető a vektortér egy dimenzióra történő leképezésével. A dimenzió leképezés egyik lehetséges módszere a főkomponens analízis [5,6]. A főkomponens analízis egy olyan lineáris transzformáció melynek során a tér bázisvektorai más bázisvektorokkal helyettesítődnek. Az új bázisvektorokra igaz, hogy az objektumok szórása az első bázisvektor mentén a legnagyobb és a többi bázisvektor mentén rendre csökken. A főkomponens analízis során a bemenetet valamilyen megfigyelésekből kapott mátrix adja, a kimenet pedig a megfigyelések tulajdonságait leíró mátrix.

A távolság mátrixot tekinthetjük megfigyeléseknek, ahol az egyes sorok a különböző betűkre vett megfigyeléseket tartalmazzák, az oszlopok pedig szintén a betűket. A feladat ebben az esetben a megfigyelések alapján az adatot leíró tulajdonságok meghatározása. Formálisan a mérésekhez tartozó tulajdonságok mátrixa T , mely leképzést leíró mátrix W és a bemeneti méréseket leíró Δ mátrix szorzata, azaz $T = \Delta W$. A távolság mátrix négyzetes $\Delta \subseteq \mathfrak{R}^{n \times n}$, így meghatározható a sajátvektorok és sajátértékek. Tehát az alábbi átírás lehetséges $\Delta w = \lambda w$, ahol λ a Δ mátrix w sajátvektorához tartozó sajátérték. A sajátvektorok megadják az új koordinátákat. A sajátvektorokat a hozzájuk tartozó sajátértékek szerint csökkenő sorrendbe rendezve adják a Δ mátrix főkomponenseit. Az alacsonyabb sajátértékű sajátvektorok elhagyásával dimenzióredukció érhető el.

4.2. MatLab alkalmazás

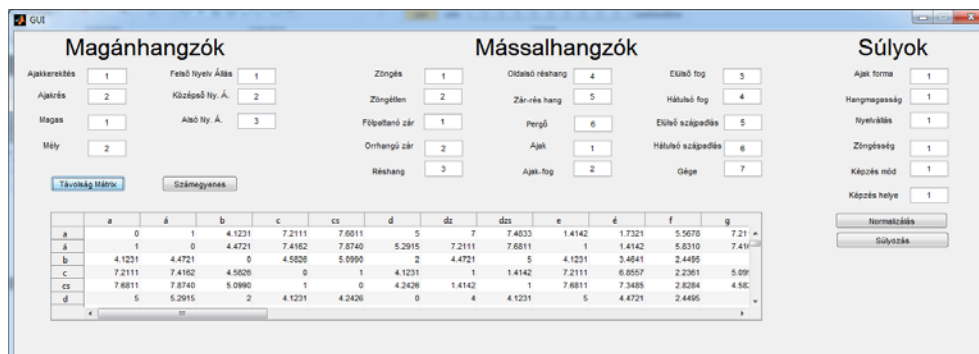
Az ábécé meghatározására egy MatLab alkalmazás került kifejlesztésre. A felhasználó az ábécé generálást paraméterezheti a különböző dimenziók kategóriáinak leképzésével. Így az alkalmazás használata nem igényel informatikai előképzettséget. A felhasználó megadhatja a különböző dimenziókon található kategóriák numerikus értékeit. Így a különböző fonetikai tulajdonságoknak, más-más értéket rendelve pontosabban megállapítható az egyes betűk közötti távolság.

A dimenzió értékek mellett lehetőség van az egyes dimenziók normalizálására is. Ezzel kiküszöbölhető, hogy a felhasználó akaratlanul is súlyozza az egyes dimenziókat azzal, hogy egyes dimenziókon nagy értékeket és nagy szórást határoz meg, míg más dimenziókon kicsit. A program lehetőséget biztosít ezen felül az egyes dimenziók közötti súlyozás megadására is, ami szintén opcionális.

A kívánt beállítások megadását követően a lehetőség van a távolság mátrix kiszámítására, illetve a betűk számegyenesen történő megjelenítésére. A számegyenesen történő ábrázolás esetén az egyes betűkhöz számított numerikus értékek táblázatos formában is megjelennek.

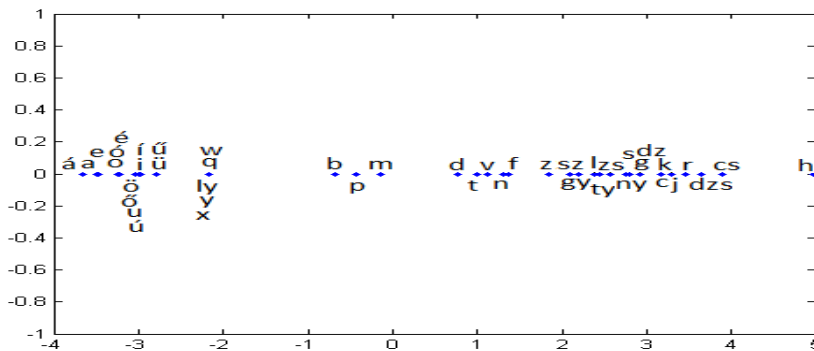
4.1. Futási eredmények

Az egyes dimenziókon található értékek precíz megállapítása nyelvészeti szakember bevonását igényli. A fejlesztés jelen fázisában ilyen szakember nem állt rendelkezésre, ezért az egyes kategóriákat sorrendiségük alapján kódoltuk [1,2]. Az így kapott beállításokat a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Matlab program futtatási beállításai

A kapott eredményt az alkalmazás grafikusán is megjelenítette, amit a 3. ábra szemléltet. Az ábrán jól látható, hogy a különböző betűk klasztereket alkotnak, ahol a hasonló betűk kerülnek egy klaszterbe. Ilyen klaszter például a magánhangzók klasztere. A mássalhangzók esetében több nagyobb klaszter figyelhető meg, mint például a (b, p, m) vagy a (d, t, v, n, f) .



3. ábra: Eredmény ábécé

Az egyes betűkhöz tartozó számított értékek a 4. ábrán látható táblázatban találhatóak. A betűk közötti távolság meghatározása a ragozás tanulása miatt szükséges. A betűk hagyományos ábécével történő kódolása esetén a tanulás során fellépő viszonylag kicsi eltérések is felismerhetetlenné tették a szót. Ennek egyik oka a hagyományos ábécé rendezése és a betűk közötti egyenletes távolság lehet. A betűk közötti távolságot figyelembe véve az egyes betűk, ha kis mértékben meg is változnak, akkor is az új, hibás betű képzése hasonló lesz a megfelelő, helyes betű képzéséhez. Ettől a tulajdonságtól azt várjuk, hogy az új, hibás szavak bizonyos mértékig felismerhetőek maradnak. Így a ragozás közben fellépő kisebb hibák a feldolgozó személy által könnyen javíthatóak lesznek.

5. Neurális hálók alkalmazása

A gépi tanulás megvalósítására számos különböző módszer terjedt el, ezek egyike a neurális hálók [9]. A neurális hálókat széles körben alkalmazzák számos területen, mint például a minta felismerés, idősor elemzés és előrejelzés vagy osztályozás. A neurális hálók egyik típusa az úgynevezett előrecsatolt hálók. A háló tanulása a bemeneti és elvárt kimeneti párok ismeretében a háló belső súlyainak, kapcsolatainak a beállítását jelenti, melyre a legismertebb módszer a backpropagation [8] alapú tanulás.

Az általunk ragozás tanulására javasolt háló egy adott fix hosszúságú szóhoz a hozzá tartozó ragozott alakot rendeli. A vizsgált háló bemenete a ragozandó szó hossza.

A kimenet pedig a leghosszabb ragozott hossza. A pontosabb tanulás érdekében a bemenet alapján külön hálók lettek létrehozva a különböző hosszúságú ragozatlan alakokhoz. A tanítás során közel 800 darab 5 hosszúságú ragozatlan szó lett felhasználva. A vizsgált háló 3 rejtett réteget tartalmaz, 6, 8 és 10 neuronnal. A szavakat ASCII, hagyományos ábécé és fonetikus ábécé alapján kódoltuk.

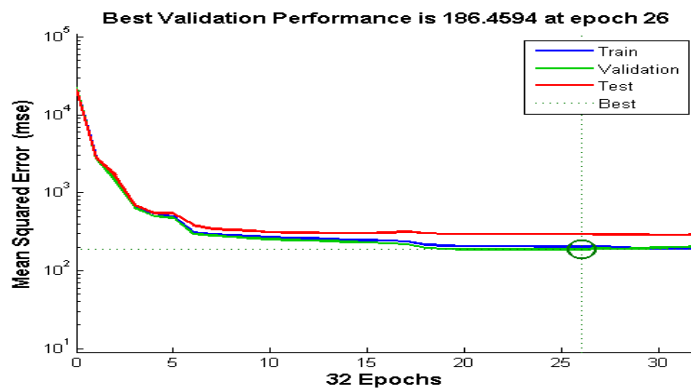
3. táblázat: Magánhangzók csoportosítása

Betű	Érték	Betű	Érték	Betű	Érték	Betű	Érték	Betű	Érték
á	-3,6677	i	-2,9822	p	-0,434	l	2,3863	r	3,4672
a	-3,4845	í	-2,9822	m	-0,1346	ty	2,4458	dzs	3,6467
e	-3,4746	ü	-2,799	d	0,7649	zs	2,5658	cs	3,8877
o	-3,2384	ű	-2,799	t	1,0059	ny	2,7453	h	4,9666
ó	-3,2384	ly	-2,1764	v	1,1258	s	2,8068		
é	-3,2284	q	-2,1764	n	1,3053	g	2,9248		
ö	-3,0452	w	-2,1764	f	1,3668	dz	2,9267		
ő	-3,0452	x	-2,1764	z	1,8458	k	3,1658		
u	-2,9922	y	-2,1764	sz	2,0868	c	3,1677		
ú	-2,9922	b	-0,675	gy	2,2048	j	3,2857		

A tanítási folyamat során kapott eredmények az 5, 6, és 7. ábrán láthatóak. Az ábrákról leolvasható a hibák négyzetösszegének az átlaga $\frac{1}{n} \sum (x_{elvárt} - x_{számított})^2$. A hibák mértékének ismeretében meghatározható a tanulási relatív hibája. Az felhasznált ASCII kódok esetén a szóközt a 32-es érték a betűket pedig a 97-122-ig értékek kódolták, így teljes felhasznált tartomány 90 hosszúságú. Hagyományos ábécé esetén csak az egy karakterből álló betűk kerültek kódolásra és a szóközt a 0 jelezte, így 26 hosszú tartományt kaptunk. A fonetikus ábécé esetén a tartományt a legkisebb és a legnagyobb érték határozza meg, azaz $4,9666 - (-3,6677) = 8,6343$. A mért hiba és a kódtartomány ismeretében meghatározható

a relatív hiba $E_{relatív} = \frac{|hiba|}{|tartomány|}$ képlettel.

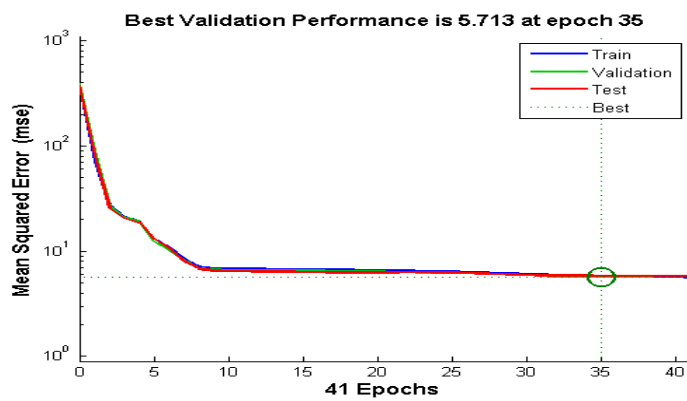
A számított relatív hibákat az 4. táblázat tartalmazza. A relatív hibák igazolják az előzetes feltevésünket, hogy a fonetikus ábécével történő tanulás esetén jobb tanulási eredmények érhetőek el.



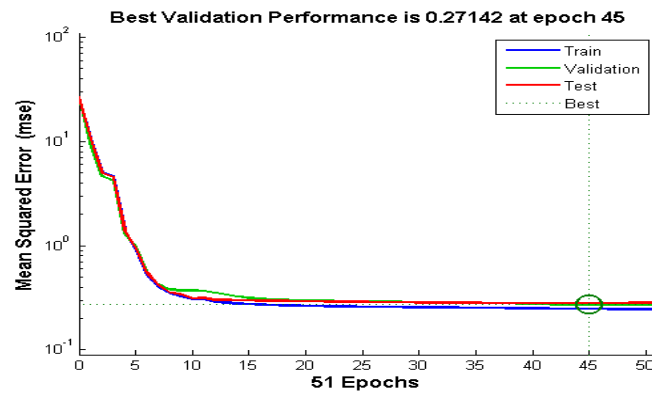
4. ábra: Tanulás ASCII kódolás esetén

4. Táblázat: Neurális háló tanulásának relatív hibája

Kódolás	MSE	Kód tartomány	Relatív hiba
ASCII	250	90	0,1757
Hagyományos ábécé	8	26	0,1088
Fonetikus ábécé	0.3	8,6343	0,0634



5. ábra: Tanulás ábécé alapú kódolás esetén



6. ábra: Tanulás fonetikus ábécé esetén

6. Összefoglalás

A dolgozatban egy fonetikai tulajdonságokon alapuló ábécé és alkalmazása került bemutatásra. A dolgozat a betűk vektortérbeli ábrázolását veszi alapul. A betűk pozícióját a vektortérben a fonetikai tulajdonságaik határozzák meg. A vektortér dimenzióinak csökkentésével egy új fonetikai tulajdonságok alapú ábécé került meghatározásra, ahol az egyes betűk közötti távolság értékek is meg vannak határozva. A fonetikai ábécé készítésére egy MatLab alkalmazást került kifejlesztésre, ahol az egyes kategóriákhoz pontos értékeket rendelhet a felhasználó. A leképzést főkomponens analízis segítségével valósítja meg az alkalmazás. A dolgozatban egy lehetséges leképzést példán keresztül ismertettünk.

A fonetikai tulajdonságok alapú ábécét a tárgyeset ragozásának mesterséges neurális hálókkal történő tanulása során alkalmaztuk a szavak kódolására alkalmaztuk, ASCII és hagyományos ábécé alapú kódolás mellett. A különböző kódolásokat azonos háló tanulása mellett vizsgáltuk. A mérési eredmények alátámasztják a kezdeti feltevést, hogy a fonetikai tulajdonságok alapú betűkódolás hatékony reprezentáció a ragozás tanulása esetén.

A projekt következő szakaszában a ragozás vektortérbeli leírásának lehetőségeit fogjuk vizsgálni. A vektortérbeli ragozást a neurális hálókkal kívánjuk összehasonlítani.

7. Köszönetnyilvánítás

E tanulmány a TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Hajas Zsuzsa: *Magyar nyelv 9. osztály*, Pedellus Kiadó 4001 Debrecen, 1997.
- [2] Antalné Szabó Ágnes, Raátz Judit: *Magyar nyelv és kommunikáció Tankönyv 5-6. évfolyam számára*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 2001.
- [3] Tikl Domonkos: *Szövegbányászat*, TypoTeX, 2007.
- [4] Halácsy Péter, Kornai András, Németh László, Rung andrás, Szakadát István, Trón Viktor: *Creating open language resource for Hungarian*, LREC, 2004.
- [5] Hervé Abdi, Lynne J. Williams *Principal Component Analysis* Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics 2. kötet 4. szám. 2010.
- [6] Shlens, Jonathon. "A tutorial on principal component analysis." *Systems Neurobiology Laboratory, University of California at San Diego* (2005).
- [7] Brown, Adam. "International Phonetic Alphabet." *The Encyclopedia of Applied Linguistics* (2013).
- [8] Hecht-Nielsen, Robert. "Theory of the backpropagation neural network." *Neural Networks, 1989. IJCNN., International Joint Conference on. IEEE*, 1989.
- [9] Rabunal, Juan Ramon, and Julián Dorado, eds. *Artificial neural networks in real-life applications*. IGI Global, 2006.
- [10] Dudás László: *Morfémák megtanulása szövegből MicroCAD 2006* International Scientific Conference 16-17 March 2006. Section N. pp.61-66. ISBN: 96366170070