

KONUŞMA İŞARETLERİNİN DİLDEN VE KONUŞMACIDAN BAĞIMSIZ ÖNCEDEN TANIMLI TEMEL TANIM VE ZARF FONKSİYON SETLERİ İLE MODELLENMESİNE İLİŞKİN YENİ BİR YÖNTEM

Ümit GÜZ

Hakan GÜRKAN

Sıddık B. YARMAN

Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü
34398 Maslak-İstanbul

Tel: 90.212.286 29 60, Faks: 90.212. 285 29 70

e-posta: guz@isikun.edu.tr hakan@isikun.edu.tr yarman@isikun.edu.tr

Anahtar sözcükler: Konuşma işaretlerinin modellenmesi, Veri sıkıştırma, Veri kodlama

ABSTRACT

In this paper a new modeling method of speech signals is introduced. The proposed method is based on the generation of the so-called Predefined Signature $S=\{s_R(t)\}$ and Envelope Function $E=\{e_K(t)\}$ Sets (PSEFS). These function sets are independent of any speaker and any language. Once the speech signals are divided into frames with selected lengths, then each frame signal piece $X_i(t)$ is synthesized by means of the mathematical form of $x_i(t)=C_i e_K(t) s_R(t)$. In this representation, C_i is called the frame coefficient, $s_R(t)$ and $e_K(t)$ are properly assigned from the PSEFS respectively. It is shown that the proposed method provides fast reconstruction and substantial compression with acceptable hearing quality.

1. GİRİŞ

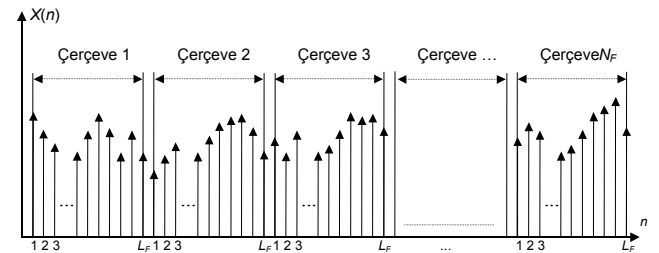
Mobil haberleşme ve ses kayıt sistemleri gibi uygulamalarda gerek hafıza gereksinimini azaltmaya olan ihtiyaç gerek ise telli, telsiz ve uydu haberleşmesinde band genişliğinin etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasına olan ihtiyaç artmaktadır. Bir işaretin band genişliği o işaretin bit oranının (bit-rate) fonksiyonu olması nedeniyle, yüksek nitelikli ve düşük bit oranına sahip kodlayıcılar bu alandaki araştırmalarda önemli bir yer almaktadır. Bu çalışmada, konuşma işaretlerinin sıkıştırılması ve modellenmesine ilişkin yeni ve verimli bir yöntem sunulmuştur.

Daha önceki çalışmalarımızda [1-6], işaretlerin fiziksel özellikleri incelenerek, bu işaretleri en iyi biçimde temsil eden ve Temel Tanım Dizileri adı verilen bazı özel dalga biçimleri bulunmuştur. Temel Tanım Dizileri, Temel Bileşenler Dönüşümü'nün (TBD) enerji sıkıştırma özelliği kullanılarak elde

edilmişlerdir. Temel Bileşenler Dönüşümü, En Küçük Kareler anlamında hatayı en aza indiren en iyi çözümü sağlar. Bu çalışmada sunulan yöntem ile önceki çalışmalarımızda [1-6] sunulan sonuçlar, konuşma işaretlerinin temsil edilmesinde getirilen zarf fonksiyonu kavramı ile geliştirilmiştir. Bu durumda konuşma işaretinin i . çerçevesini temsil eden $x_i(t)$ işaretinin yeni matematiksel formu $x_i(t)=C_i e_K(t) s_R(t)$ biçiminde ifade edilir. Burada C_i çerçeve katsayısı, $e_K(t)$ and $s_R(t)$ sırasıyla Önceden Tanımlı Zarf $E=\{e_K(t)\}$ ve Temel Tanım $S=\{s_R(t)\}$ Fonksiyon Seti olarak tanımlanır. Bu çalışmanın sonucu olarak üretilen Önceden Tanımlı Zarf ve Temel Tanım Fonksiyon Seti konuşmacıdan ve dilden bağımsızdır. Önceden Tanımlı Zarf ve Temel Tanım Fonksiyon Seti her bir haberleşme noktasında içerilmekte ve iletim bandında oldukça tasarruf elde edilmektedir. Gösterileceği üzere sunulan yöntem önemli ölçüde bir veri sıkıştırması ve ses kalitesi sağlamaktadır.

2. YÖNTEM

Konuşma işaretleri durağan yapıda değildirler. Bu nedenle, konuşma işaretlerinin istatistiksel özelliklerini ortaya çıkarabilmek için işaretleri zaman bölgesinde kabul edilebilir uzunluktaki çerçevelere bölmek gerekmektedir.



Şekil 1. Konuşma işaretinin çerçeve çerçeve bölünmesi

$X(n)$ ayrık ortamda kaydedilmiş gerçel, ortalama değeri sıfır olan, belirli bir aralıkta ve uzunluğu N olan bir konuşma işaretini temsil etmektedir. Bu işaret çerçeve çerçeve analiz edildiğinde, $X_i(n)$ herhangi bir özgün konuşma işaretinin herhangi bir i . çerçevesini temsil etmekte üzere yöntemin temelini oluşturan aşağıdaki temel tanım yapılabilir.

2.1 Temel Tanım

Bu bölümde, sonlu bir aralıktaki konuşma işaret için tanımlanan matematiksel model hem ayrık zamanda hem de sürekli zamanda verilecektir.

2.1.1. Ayrık Zaman Bölgesinde Temel Tanım

Herhangi bir konuşma işaretine ilişkin X_i ile temsil edilen herhangi bir i . çerçeve,

$$X_i \cong C_i E_K S_R \quad (1a)$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada C_i gerçel bir sabit sayıdır. $K \in \{1, 2, \dots, N_E\}$, $R \in \{1, 2, \dots, N_S\}$ olmak üzere K , R , N_E ve N_S terimleri ise birer tamsayıdır. $S_R^T = [s_{R1} \ s_{R2} \ s_{R3} \ \dots \ s_{RL_F}]$ biçiminde tanımlanan S_R vektörü, konuşma işaretlerinin istatistiksel davranışından yararlanılarak üretilir. Aynı zamanda S_R vektörü özgün çerçevelerin temel karakteristiğini de içerir. Ayrıca en küçük kareler anlamında X_i 'nin hemen hemen en büyük enerjisini taşır. Başka bir deyişle, $C_i S_R$ vektörü bu varsayım altında X_i çerçevesine hatanın karelerinin toplamını en aza indirecek biçimde tek bir terim ile en iyi yaklaşan vektördür. $L_F \times L_F$ boyutundaki E_K köşegen matrisi

$$E_K = \text{diag}[e_{k1} \ e_{k2} \ \dots \ e_{kL_F}] \quad (1b)$$

E_K köşegen matrisi (1a) denklemdeki en küçük kareler hatasını en aza indirecek bir zarf terimi olarak davranmaktadır.

Bu tanım benzer biçimde sürekli zaman bölgesi için de aşağıdaki gibi yapılabilir.

2.1.2. Sürekli Zaman Bölgesinde Temel Tanım

Sürekli zamanda kaydedilmiş bir konuşma işareti $x_i(t)$ ile temsil edilmek üzere, $x_i(t)$ işaretinin herhangi bir i . çerçevesi

$$x_i(t) \cong C_i e_K(t) s_R(t) \quad (1c)$$

biçiminde ifade edilebilir. Bu eşitlikte, C_i gerçel bir sabit sayıdır. $s_R(t)$, $x_i(t)$ özgün işaretinin temel istatistiksel karakteristiklerini içeren sürekli fonksiyonlardır. Aynı zamanda en küçük kareler anlamında $x_i(t)$ işaretinin hemen hemen en büyük enerjisini taşır. $e_K(t)$ sürekli fonksiyonu, $C_i s_R(t)$ terimini özgün işarete en küçük kareler anlamında en iyi biçimde yaklaşmasını sağlayan bir zarf terimidir.

Yukarıda yapılan ayrık zaman bölgesi ve sürekli zaman bölgesi tanımlarının ışığında aşağıdaki tanımlar yapılabilir.

Tanım 1a: S_R ($\{s_{Rj} ; j=1, 2, \dots, L_F\}$) vektörü, özgün işaretin temel istatistiksel karakteristiklerini yansıttığından ve bir C_i katsayısı ile birlikte özgün işarete ilişkin X_i çerçeve vektörünün en yüksek enerjisini taşıdığından **“Temel Tanım Vektörü”** olarak adlandırılır.

Tanım 1b: (1a) tanımına benzer bir yaklaşımla, $s_R(t)$ sürekli zaman bölgesi fonksiyonu, **“Temel Tanım Fonksiyonu”** olarak adlandırılır.

Tanım 2a: Köşegen E_K ($\{e_{Kj} ; j=1, 2, \dots, L_F\}$) matrisi, $C_i S_R$ vektörünün zarfını özgün işaretin X_i çerçevesine uydurduğundan dolayı **“Zarf Matrisi”** olarak adlandırılır.

Tanım 2b: (2a) tanımına benzer bir yaklaşımla, $e_K(t)$ sürekli zaman bölgesi fonksiyonu, **“Zarf Fonksiyonu”** olarak adlandırılır.

Tanım 3: C_i , **“Çerçeve Katsayısı”** olarak adlandırılır.

Temel tanımın doğruluğunu kanıtlamak için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

2.2 Temel Tanımın Doğrulanması

Ayrık zaman bölgesinde kaydedilen N tane örnek içeren $x(n)$ konuşma işareti,

$$x(n) = \sum_{i=1}^N x_i \delta_i(n-i) \quad (2a)$$

biçiminde yazılabilir. Bu eşitlikte $\delta_i(n)$ birim örneği, x_i , N uzunluklu $x(n)$ işaretinin genliğini temsil etmektedir. $x(n)$ işaretini vektör gösterimi kullanılarak aşağıdaki biçimde de ifade edilebilir.

$$X^T = [x(1) \ x(2) \ \dots \ x(N)] = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N] \quad (2b)$$

Bu eşitlikte X , Ana Çerçeve Vektörü olarak adlandırılmakta ve durağanlık koşulunu sağlamak için 16, 24, 64, 128 gibi sayılarda örnek içeren eşit uzunluktaki alt çerçevelere ayrılmaktadır. Çerçeve Matrisi M_F , her bir sütunu alt çerçeve vektörlerinden oluşan bir matrisdir.

$$M_F = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_{N_F}] \quad (3)$$

$$X_i = [x_{(i-1)L_F+1} \ x_{(i-1)L_F+2} \ \dots \ x_{iL_F}]^T, i=1, 2, \dots, N_F \quad (4)$$

Bu eşitlikte $N_F=N/L_F$ toplam çerçeve sayısını temsil etmektedir. Herbir X_i $\{\phi_{ik}\}$ birimdik vektörleri tarafından oluşturulan bir vektör uzayına açılabilir [5].

Gerçek birimdik vektörler transpozesi alınmış bir dönüşüm matrisinin (Φ_i^T) sütunları olsun,

$$\Phi_i^T = [\phi_{i1} \ \phi_{i2} \ \dots \ \phi_{iL_F}], \ X_i = \Phi_i^T C_i \quad (5)$$

$$C_i^T = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_{L_F}], \ \Phi_i^T = \Phi_i^{-1} \quad (6)$$

$$\Phi_i X_i = \Phi_i \Phi_i^{-1} C_i, \ C_i = \Phi_i X_i \quad (7)$$

Bu durumda yukarıda verilen dönüşümler ile X_i alt çerçeve vektörü,

$$X_i = \sum_{k=1}^{L_F} c_k \phi_{ik}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, L_F \quad (8)$$

$$c_k = \phi_{ik}^T X_i, \quad k = 1, 2, 3, \dots, L_F \quad (9)$$

biçiminde yazılabilir.

Yukarıda tanımlanan En Küçük Kareler yaklaşımı aşağıda verilen özdeğer probleminin varlığına işaret etmektedir. Bu eşitlikte, ϕ_{ik} , X_i alt çerçeve vektörünün R_i özilinti matrisinin özvektörleri olarak hesaplanmaktadır [8,9].

$$R_i \phi_{ik} = \lambda_{ik} \phi_{ik} \quad (10)$$

Bu eşitlikte, λ_{ik} özdeğerleri gerçel ve pozitif, özvektörlerinin tümü ise birimdir. Özdeğerler, kendilerine karşı gelen özvektörlerin eşliğinde azalan biçimde ($\lambda_{1i} \geq \lambda_{2i} \geq \lambda_{3i} \geq \dots \geq \lambda_{L_F i}$) sıralandıklarında, herhangi bir i . çerçevenin toplam enerjisi $X_i^T X_i$ biçiminde yazılabilir.

$$X_i^T X_i = \sum_{k=1}^{L_F} x_{ik}^2 = \sum_{k=1}^{L_F} c_{ik}^2 = \sum_{k=1}^{L_F} \lambda_{ik} \quad (11)$$

Eşitlik (8)'de en yüksek enerjili ilk "p" tane terimin alınması ile X_i özgün işaretine aşağıda verilen denklem ile yaklaşılabilir.

$$X_i \cong \sum_{k=1}^p c_k \phi_{ik} \quad (12)$$

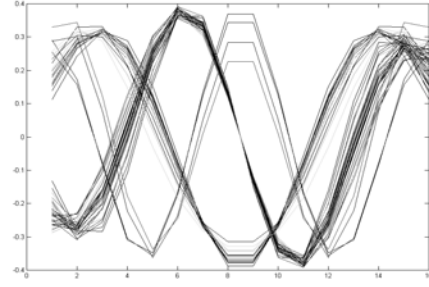
Burada ϕ_{i1} özvektörü Temel Tanım Vektörü olarak adlandırılır.

$$X_i \cong c_{i1} \phi_{i1} \quad (13)$$

Bu durumda, L_F uzunluğundaki çerçevelerin hemen hemen tüm enerjisi (8) eşitliğindeki ilk terime aktaracak biçimde seçilmeli ve diğer terimler enerji anlamında çok az bir katkıya sahip olduklarından ihmal edilmelidir. Bu biçimde elde edilen (13) ifadesindeki yaklaşıklık her bir çerçeve için tanımlanan E_i köşegen zarf matrisi ile aşağıdaki biçimde eşitliğe dönüştürülür.

$$X_i = C_i E_i \phi_{i1}, \quad e_{ir} = \frac{x_{ir}}{C_i \phi_{i1r}}, \quad (r = 1, 2, \dots, L_F) \quad (14)$$

Bu çalışmada, farklı dillerde farklı kişilere ait birçok konuşma işaretine ilişkin yüzbinlerce alt çerçeve dalga biçimi incelenerek analiz edilmiştir. Bu incelemenin sonunda gerek temel tanım vektörlerinin gerek ise zarf vektörlerinin Şekil.2'de görüldüğü gibi tekrarlanır özellik gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 2. Benzer özvektörler.

Temel tanım ve zarf vektörlerinin kendi içlerinde görülen benzerlik, bu konuşma işaretlerinin yarı durağan özellik göstermeleri nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu durumda pek çok deney ve simülasyon sonucunda elde edilen bu benzer vektörlerin elenmesi mümkündür.

İki vektör arasındaki benzerliği ölçmek için kullanılan en önemli ölçütlerden biri Pearson İlinti Katsayısı (Pearson Correlation Coefficient-PCC) olarak bilinir ve " ρ_{YZ} " ile temsil edilir. Pearson ilinti katsayısı $Y=[y_1 \ y_2 \ \dots \ y_L]$ ve $Z=[z_1 \ z_2 \ \dots \ z_L]$ olmak üzere,

$$\rho_{YZ} = \frac{\sum_{i=1}^L (y_i z_i) - \left[\sum_{i=1}^L y_i \sum_{i=1}^L z_i \right] / L}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^L y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^L y_i \right)^2 / L \right] \left[\sum_{i=1}^L z_i^2 - \left(\sum_{i=1}^L z_i \right)^2 / L \right]}} \quad (15)$$

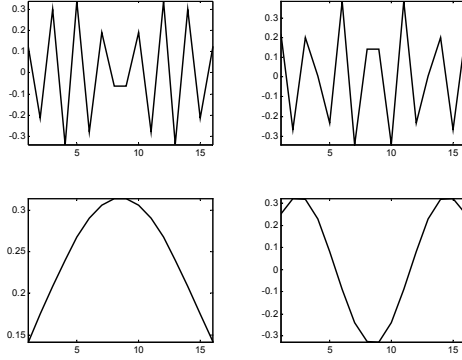
biçiminde hesaplanır.

Bu çalışmada, iki vektör arasındaki $\rho_{YZ} > 0.9$ olduğu zaman bu iki vektörün birbirine benzer olduğu bir başka deyişle hemen hemen birbirleri ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Bu şart altında Temel Tanım vektörleri arasında bulunan benzer vektörler ile Zarf vektörleri arasında bulunan benzer vektörler elenmiştir.

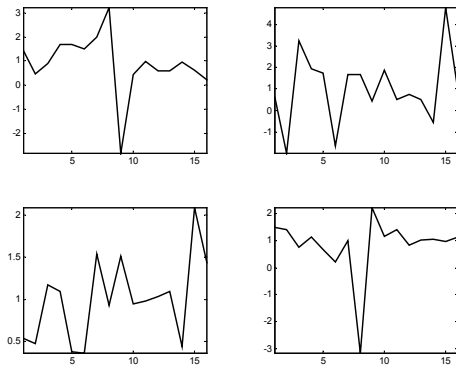
Bu biçimde indirgenen temel tanım vektörleri "**Önceden Tanımlı Temel Tanım Vektör Seti**" adı altında toplandırılmıştır $\{S_{n_s}(n); n_s=1,2,3,\dots,N_S\}$.

Burada N_S sayısı bu set içerisinde yeralan "**Temel Tanım Vektör**" sayısını vermektedir. Benzer biçimde, indirgenen zarf vektörleri veya köşegenleştirilmiş zarf matrisleri "**Önceden Tanımlı Zarf Vektör Seti**" adı altında toplandırılmıştır $\{E_{n_e}(n); n_e=1,2,3,\dots,N_E\}$. N_E sayısı bu set içerisinde

yer alan "**Zarf Vektör**" sayısını vermektedir. Temel Tanım ve Zarf vektörleri sürekli zaman bölgesi fonksiyonları olarak da düşünülebilir. Bu durumda temel tanım fonksiyonları. $\{s_{n_s}(t); n_s=1,2,3,\dots,N_S\}$ ve zarf fonksiyonları $\{e_{n_e}(t); n_e=1,2,3,\dots,N_E\}$ biçiminde ifade edilirler.



Şekil 3. Çerçeve uzunluğu 16 olması durumunda elde edilen temel tanım vektörlerine ilişkin örnekler



Şekil 4. Çerçeve uzunluğu 64 olması durumunda elde edilen zarf vektörlerine ilişkin örnekler

Sonuç olarak, başlangıçta yapılan temel tanım yaklaşımını gerçekleyen tüm açıklamaların ışığında; herhangi bir dildeki konuşma işaretine ilişkin bir çerçevenin (X_i), $K \in \{1, 2, \dots, N_E\}$ ve $R \in \{1, 2, \dots, N_S\}$ olmak üzere önceden tanımlı temel tanım $s_R(t)$ ve zarf $e_K(t)$ fonksiyonları ile, bir C_i katsayısının çarpımı biçiminde, $x_i(t) \cong C_i e_K(t) s_R(t)$ temsil edilebileceği ya da yeniden oluşturulabileceği açıkça görülebilmektedir.

3. SİMULASYON SONUÇLARI

Önerilen yöntemin konuşma işaretleri üzerindeki başarımını test edebilmek için ilk olarak Önceden Tanımlı Temel Tanım ve Zarf Fonksiyon Seti üretilmelidir. Bunun için OGI [10] and IPA Handbook [11] tarafından sağlanan ve 27 farklı dile ilişkin çok çeşitli cümle ve kelimeyi içerisinde barındıran bir veri bankası kullanılmıştır. Bu fonksiyon setinin oluşturulması sırasında Pearson ilinti katsayısından yararlanılmıştır. 16, 24, 48, 64 ve 128 gibi çerçeve uzunlukları seçilerek yapılan incelemelerde Pearson ilinti katsayısının $\rho_{YZ}=0.98$ olarak seçilmesinin yeterli olduğu görülmüştür. Çeşitli çerçeve uzunlukları için oluşturulan fonksiyon setlerinde bulunan temel tanım ve zarf vektör örnekleri Şekil 3 ve 4'de sunulmuştur. Oluşturulan Önceden tanımlı temel tanım ve zarf fonksiyon seti kullanılarak, herhangi bir kişi

tarafından herhangi bir dilde söylenen konuşma işareti, bu fonksiyon seti içerisinde en uygun temel tanım ve zarf fonksiyonu veya vektörü çekilerek, çerçeve çerçeve modellenir. Bu amaçla farklı çerçeve uzunlukları için oluşturulan Önceden tanımlı temel tanım ve zarf fonksiyon setleri farklı milletlere ilişkin çeşitli konuşmacılara ait kelime ve cümleler ile test edilmiştir. Kullanılan fonksiyon setlerine ve örnek kelimelere ait parametreler Tablo 1 ve Tablo 2'de sırasıyla sunulmuştur. Aynı zamanda özgün ve yeniden oluşturulan İngilizce, Almanca, Japonca ve Türkçe dillerine ilişkin örnekler Şekil 5'de sunulmuştur.

Yapılan bu deneylerde elde edilen sonuçların başarımını ölçmek için gürültülü bir ortama sahip bir bilgisayar laboratuvarında 10 lisans öğrencisi tarafından 0 ile 5 arasında Ortalama Yargı Değeri (Mean Opinion Score-MOS) vermek suretiyle duyma kalite testi (Hearing Quality Test-HQT) yapılmıştır. Bu test sonucunda ortalama yargı değeri $\mu_{MOS}=3.5$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç önerilen yöntemin, yaklaşık $\mu_{MOS}=2.5$ olarak bilinen LPC-10'e göre daha iyi olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, önerilen yöntem kabul edilebilir bir duyma kalitesi ile beraber önemli ölçüde sıkıştırma oranı da sağlamaktadır.

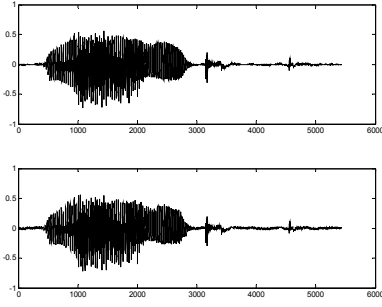
Ayrıca çerçeve uzunluğu $L_F=64$ olarak seçildiğinde ortalama yargı değeri $\mu_{MOS}=3$ olarak bulunmaktadır. Bu durumda da önerilen yöntem, LPC-10'den daha başarılıdır. Çerçeve uzunluğu $L_F=128$ olarak seçildiğinde ise ortalama yargı değeri $\mu_{MOS}=2.3$ olarak bulunmaktadır. Bu durumda ise önerilen yöntemin başarımı LPC-10 ile yaklaşık olarak aynıdır. Bununla birlikte, yeniden oluşturulan işaretlerin üzerinde beyaz gürültü gibi bir arka plan gürültüsü bulunmaktadır. Bu gürültü yeniden oluşturma süreci içerisinde çerçevelerin bağlantı noktalarından kaynaklanmakta ve çerçeve uzunluğu arttıkça bu gürültü de artmaktadır.

Tablo 1 Farklı çerçeve uzunlukları için oluşturulan önceden tanımlı temel tanım ve zarf fonksiyon setleri

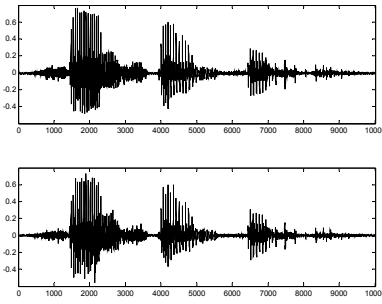
Fonksiyon Seti	Dil	L_F	N_F	N_S	N_E
Set 1	27 Farklı Dil	16	565	983	14335
Set 2		24	376	1040	16294
Set 3		64	141	996	7377

Tablo 2. Farklı çerçeve uzunluklarında çeşitli dillere ilişkin yeniden oluşturulan konuşma işaretleri

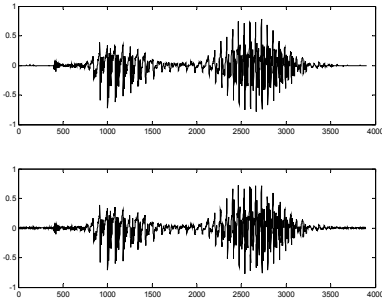
Modellenecek konuşma işareti	Language	Person	N	L_F	N_F
Length	English	Female	5443	16	340
Schorstein fegen	German	Male	10008	24	417
巻く	Japanese	Male	3903	24	162
Masa	Turkish	Male	3876	64	60



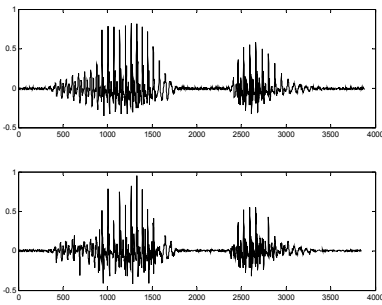
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5. Özgün ve yeniden oluşturulan konuşma işaretleri a)Length b)Schornstein fegen c)卷 d) Masa

4. SONUÇ

Bu çalışmada, konuşma işaretlerinin Önceden Tanımlı Temel Tanım ve Zarf Fonksiyon Setleri ile çerçeve sentezlenmesine ilişkin yeni bir yöntem

sunulmuştur. Konuşma işaretlerinin her bir çerçevesi ($x_i(t)$), temel tanım fonksiyonu $s_R(t)$, zarf fonksiyonu $e_K(t)$ ve çerçeve katsayısı C_i terimlerinin çarpımı biçiminde yeniden üretilebilir. Bir başka deyişle $x_i(t) \approx C_i e_K(t) s_R(t)$ ifadesi yazılabilir. Temel tanım ve zarf fonksiyonları sırasıyla Önceden Tanımlı Temel Tanım ve Zarf Fonksiyon Setlerinden seçilmektedir. Bu fonksiyon setleri hem konuşmacıdan hem de dilden bağımsızdır. Sentez sürecinde, her bir konuşma işareti çerçevesi bir " C_i " katsayısı ve önceden tanımlı fonksiyon setlerine ait " R " ve " K " sıra numaraları ile tam olarak tanımlanır ve özgün işarete en küçük kareler anlamında en iyi biçimde yaklaşır. Yeni yöntem, yeni bir konuşma kodlama tekniği önermektedir. Bu kodlama yönteminde, Önceden Tanımlı Fonksiyon Setleri her bir haberleşme düğümünde kaydedilir ve konuşma işaretinin iletimi sadece bir " C_i " katsayısının ve " R " ile " K " sıra numaralarının iletimi ile gerçekleşir. Böylece, iletim bandında önemli miktarda tasarruf yapılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] M. Karaş, B. S. Yarman, "A new approach for representing discrete signal waveforms via private signature base sequences", 12th European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD'95), Istanbul, Turkey, pp. 875-878, August 27-31, 1995.
- [2] M. Karaş, B. S. Yarman, "A new method for the compression of ECG signals: The Yar-Kar Method", ICSPAT'97, San Francisco, USA, September 14-17, 1997.
- [3] R. Akdeniz, B. S. Yarman, "Turkish speech coding by signature base sequences", International Conference on Signal Processing Applications & Technology (ICSPAT'98), Toronto, Canada, pp. 1291-1294, September 13-16, 1998.
- [4] Ü. Güz, B. S. Yarman, H. Gürkan, "A new method to represent speech signals via predefined functional bases", Proceedings of ECCTD'01 European Conference on Circuit Theory and Design, Espoo, Finland, Vol. II, pp. 5-8, August 28-31, 2001.
- [5] Ü. Güz, "A new approach in the determination of optimum signature base functions for Turkish speech", Ph.D. thesis (Advisor: Prof. B. S. Yarman), Istanbul University, Inst. of Science, Dept. of Electronics Eng., Istanbul, Turkey, Feb., 2002.
- [6] S. Yarman, H. Gürkan, Ü. Güz, B. Aygün, "A New Modeling Method of the ECG Signals Based on the Use of an Optimized Predefined Functional Database", Acta Cardiologica- International Journal of Cardiology, Vol. 58(3), pp. 273-275, 2003.
- [7] N. Akansu, R. A. Haddad, "Multiresolution signal decomposition, transforms, subbands, wavelets", Academic Press, Inc., San Diego, 1992.
- [8] T. Jolliffe, "Principal component analysis", Springer Series in Statistics. Springer-Verlag, New York Inc., 1993.
- [9] J. Newman, "Model Reduction via the Karhunen Loeve expansion part I: An exposition", ISR Technical Research Report T.R. 96-32, April 2, 1996.
- [10] OGI Multi-Language Telephone Speech Corpus, CD-ROM.
- [11] IPA Handbook, A guide to the use of the International Phonetic Alphabet, Cambridge University Press, July, 1999.