

Fındık Ve Antep Tipi Fıstık İçlerinin Çarpma Titreşim Analizi Kullanılarak Kabuk Parçalarından Ayırıştırılması

Separating Nut-Shell Pieces From Hazelnuts And Pistachio Kernels Using Impact Vibration Analysis

Yusuf Hakan Habiboğlu, Rasim Akın Sevimli, Ahmet Enis Çetin
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi
Ankara, Türkiye
Email: {yusufh,sevimli,cetin}@bilkent.edu.tr

Tom C. Pearson
Engineering and Wind Erosion Research Unit
USDA
New York, America
Email: Thomas.Pearson@ARS.USDA.GOV

Özetçe —Bu makalede kabuk parçaları antep fıstık içlerinden ve fındık içlerinden çarpma titreşim analizi kullanılarak ayrılmışlardır. Titreşim sinyalleri gerçek zamanda kaydedildi ve analiz edildi. Titreşim sinyalinden mel-kepstral öznitelik parametreleri ve çizgisel spektrum frekans değerleri çıkartıldı. Öznitelik vektörleri daha önceden elle sınıflandırılmış örnek kümesi kullanılarak eğitilmiş destekleyici vektör makineleri (SVM) kullanılarak sınıflandırıldı. Antep tipi fıstık içleri için %96.3 ve fındık içleri için %98.3 ortalama sınıflandırma başarısı elde edildi. Kullanılan yöntemin önemli bir özelliği de onun diğer kuru yemiş türleri içinde kolaylıkla uygulanabilir olmasıdır.

Anahtar Kelimeler—mel-kepstral öznitelik vektörü; çizgisel spektrum frekansları; çarpma titreşim analizi.

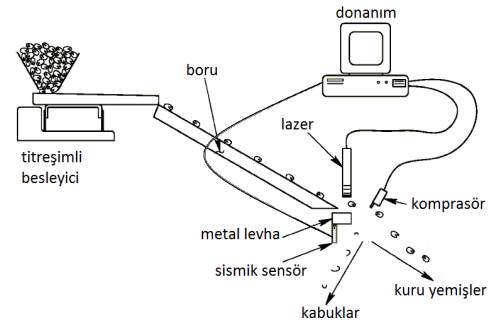
Abstract—In this article nut-shell pieces are separated from pistachio kernels and hazelnut kernels using impact vibration analysis. Vibration signals are recorded and analyzed in real-time. Mel-kepstral feature parameters and line spectral frequency values are extracted from the vibration signals. Feature parameters are classified using a Support Vector Machine (SVM) which was trained a priori using a manually classified data set. An average classification rate of 96.3% and 98.3% was achieved with Antep-style Turkish pistachio nuts and hazelnuts. An important feature of the method is that it is easily trainable for other kinds of pistachio nuts and other nuts including walnuts.

Keywords—mel-kepstral feature; line spectral frequencies; impact vibration analysis.

I. GİRİŞ

Günümüz hazır gıda sektöründe kuru yemişler oldukça yaygın kullanılmaktadırlar. Özellikle çikolata, gofret gibi kuru yemiş içeren yiyecekler içerisinde çıkan kabuk parçaları tüketiciyi oldukça rahatsız edebilmektedir. Bu makalede kabuk parçalarını kuru yemişlerden ayıran bir sistem anlatılmıştır.

İç fıstıklar (Şekil 2) ve fındıklar (Şekil 3) kabuk parçalarından ağır oldukları için çarpma anında ürettikleri sesler veya



Şekil 1: Kullanılan sistemin şeması.

titreşim sinyalleri (Şekil 4-5) kabuk parçalarının sinyallerinden farklı olmaktadır. Bu nedenle pratikte kullanılacak bir kabuk parçası bulma sistemi tasarlanabilir. Daha önce de çarpma sesi ve vibrasyon sinyali kullanılarak benzer sistemler tasarlanmıştır [1]–[13].

Sistem altmış derecelik bir açıyla yerleştirilmiş bir boru, borunun altına düşen parçaların çarpacağı metal bir levha, bu metal levhaya bağlı sismik bir sensör, düşen bir parçanın varlığını tespit etmesi için borunun alttaki ucuna bakan bir lazer, elde edilen veriyi işleyen bir donanım ve kabukları uzaklaştırmak için de hava üfleyen bir kompresörden oluşuyor. Sistem kabuk parçalarının belirli bir yükseklikten bir boru içerisinde kayıp düşmeleri sonucu oluşan çarpma sinyallerinin analiz edilmesiyle çalışmaktadır.

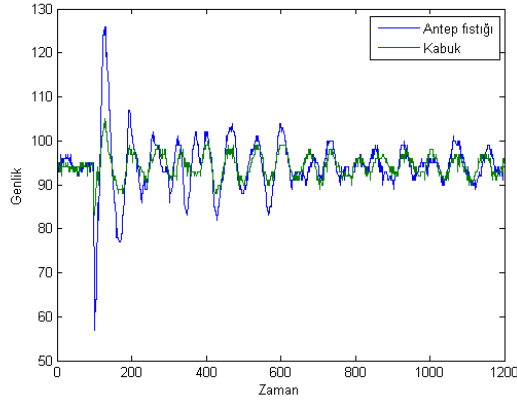
Bildirinin gerisi aşağıda anlatıldığı şekilde organize edilmiştir. II. kısımda vibrasyon sinyalinden öznitelik çıkarma metotları anlatılmaktadır. III. kısımda öznitelik vektörleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. IV. kısımda sonuçlar verilmiştir.



Şekil 2: Fıstık ve kabuk örnekleri.



Şekil 3: Fındık ve kabuk örnekleri.



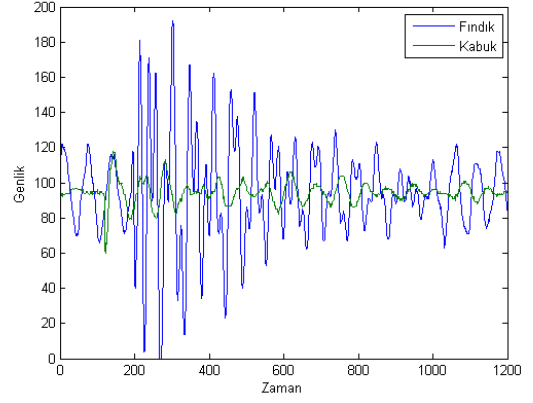
Şekil 4: Antep fıstığı için vibrasyon sinyali örneği.

II. ÖZİNİTELİK VEKTÖRLERİNİN HESAPLANMASI

Sistemde bir lazer fındık, fıstık geçişini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Kaydırak olarak kullanılan borudan bir tane geçtiğinde lazer ışığı kesilmekte böylece vibrasyon sensöründen gelen sinyal örneklenmeye başlanmaktadır.

Lazerin bir parçayı tespit etmesi durumunda sismik sensör 4 KHz ile 0.3 saniye süreyle örneklendi. Tüm öznelik vektörleri hesaplanmadan önce örneklenen sinyalden ortalaması çıkartıldı. $x[n]$ sinyali ortalaması sıfır olan bu titreşim sinyali olarak tanımlanmıştır.

II-A'da Pearson ve Haff tarafından kullanılan gradyanların birikimli histogramı, II-B'de mel-kepstrum, II-C'de çizgisel spektrum frekansları ve II-D'de frekans genlik seleleri anlatılmaktadır.



Şekil 5: Fındık için vibrasyon sinyali örneği.

A. Gradyanların Birikimli Histogramı (CHOG)

Pearson ve Haff ABD'de üretilen antep fıstıklarının içlerini kabuk parçalarından ayırmak için gradyanların birikimli histogramını öznelik vektörü olarak [1] numaralı referansta kullandılar. Aşağıda bu öznelik vektörünün nasıl çıkarıldığına kısaca anlatacağız.

Önce $x[n]$ in gradyanı $g[n]$ hesaplanır.

$$g[n] = |x[n-1] - x[n+1]| \quad (1)$$

Daha sonra $g[n]$ in histogramı, $h[k]$ hesaplanır. Gradyanların birikimli histogramı (cumulative histogram of gradients), $b[k]$ ise şöyle bulunur:

$$b[k] = \sum_{j=1}^k h[j] \quad (2)$$

B. Mel-Kepstrum

$X[k]$, $x[n]$ 'in N noktalık ayrık Fourier dönüşümü olsun.

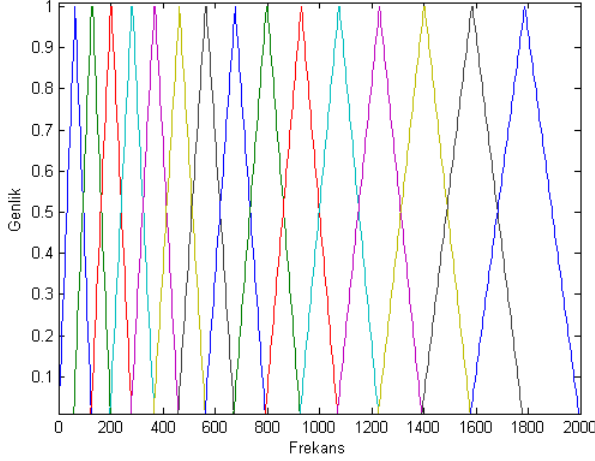
$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi kn}{N}}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

Ayrık Fourier dönüşüm $X[k]$ A tane filtre kutusu ile Şekil 6'da görüldüğü üzere ağırlıklandırılır. Filtrenin geçirgenlik bölgeleri (bandwidth) frekans arttıkça artar ve aşağıdaki katsayılar hesaplanır: $x[n]$ bir titreşim sinyali olsun. $X[k]$ de onun N noktalık ayrık Fourier dönüşümü olsun.

$$E_{mel}(l) = \frac{1}{A_l} \sum_{k=L_l}^{U_l} |V_l[k] X[k]|^2, \quad l = 0, 1, \dots, R-1 \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemlerde L_l ve U_l l-inci filtrenin V_l 'nin alt ve üst frekans limitleri ve A_l de normalizasyon faktörüdür.

$$A_l = \sum_{k=L_l}^{U_l} |V_l[k]|^2, \quad l = 0, 1, \dots, R-1 \quad (5)$$



Şekil 6: Mel-ölçekli filtre bankası.

E_{mel} farklı şekillerde de tanımlanabilir. Testlerde kullandığımız E_{mel} aşağıdaki gibi tanımlandı.

$$E_{mel}(l) = \frac{1}{A_l} \sum_{k=L_l}^{U_l} V_l[k] |X[k]|, \quad l = 0, 1, \dots, R-1 \quad (6)$$

Daha sonra mel-kepstrum katsayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$c[m] = \frac{1}{R} \sum_{l=0}^{R-1} \log(E_{mel}(l)) \cos\left(\frac{2\pi}{R} lm\right), \quad m = 0, 1, \dots, R-1 \quad (7)$$

Yukarıdaki denklemlerde R ağırlıklandırma filtrelerinin sayısıdır. Testlerde 15 adet ağırlıklandırma filtresi kullanılmıştır. Kepstrum hesap edilirken kesikli kosinüs dönüşümü (DCT) kullanılmasının amacı birbirine yakın enerji kat-sayılarının arasındaki kolerasyonu düşürmektir.

C. Çizgisel Spektrum Frekansları (LSF)

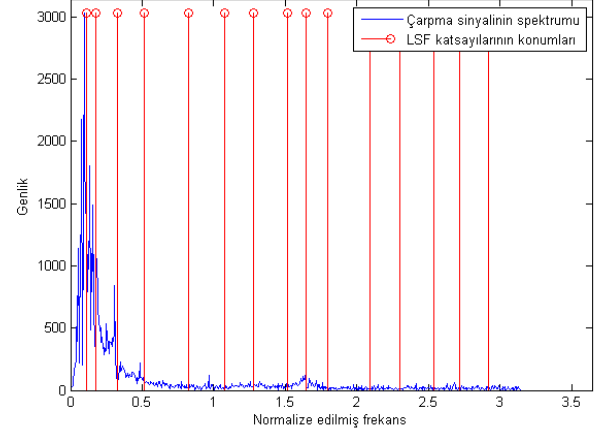
Ses analizinde, konuşma tanıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir başka ses öznelik vektörü de LSF parametreleridir. Bu çalışmada LSF'ler de titreşim sinyallerinden öznelik çıkarmak amacıyla kullanılmıştır.

$A(z) = \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}$ polinomu titreşim sensör sinyalinden lineer öngörü analizi (LPC) yapılarak bulunmuş bir polinom olsun. Bu polinomdan $p+1$ dereceli iki polinom üretilir:

$$P(z) = A(z) + z^{-(p+1)} A(z^{-1}) \quad (8)$$

$$Q(z) = A(z) - z^{-(p+1)} A(z^{-1}) \quad (9)$$

LSF parametreleri w_i $P(z)$ ve $Q(z)$ polinomlarının kök-leridir. LSF parametreleri birim çember üzerinde yer alırlar ve sinyal spektrumunun yüksek değerler aldığı yerlere yoğunlaşırırlar. Yani LSF parametreleri spektrumun şeklini gösterirler. Şekil 7'de ortalaması sıfırlanmış olan bir çarpma sinyalinin spektrumu ve onun LSF parametreleri örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 7: Ortalaması sıfırlanmış bir çarpma sinyalinin spektrumu ve LSF parametreleri. Şekildeki kırmızı çizgiler LSF parametrelerinin konumlarını göstermektedir.

D. Frekans Genlik Seleleri

Mel-kepstrum hesap edilirken frekans alanı logaritmik olarak bantlara ayrılmaktadır. Bir ses ya da çarpma sinyalinin enerjisi genelde düşük bantlarda yoğun olur. Bu nedenle mel-kepstrum (ve insan kulağı) alt bantlara daha fazla ağırlık verir. Mel-kepstral ayrıştırma işleminde alçak geçirgen bantlar dar olmakta yüksek geçirgen bantlar ise geniş olmaktadır. Mel-kepstrum hesaplanırken frekans bandı bölme işlemi önceden belirlenen bir skalaya göre yapılmaktadır. Mel-kepstrumdan esinlenerek frekans genlik seleleri kavramını bu makalede kullanmaya karar verdik.

Frekans genlik selelerini bulmak için önce $x[n]$ 'in ayrık Fourier dönüşümü, $X[k]$ hesaplanır. $|X[k]|$ çift simetriye sahip olduğu için hesaplamada pozitif frekans değerlerine ait genlikler kullanılır. Pozitif frekans değerleri istenen sayıda seleye ayrılarak her bir seleye düşen toplam genlik hesaplanır.

Testlerde 15 ve 20 adet genlik seleleri hesaplanmıştır. Her bir selenin bant genişliği eşit olup bu değer titreşim sinyalinin örnekleme frekansının genlik sele sayısının 2 katına bölünmesiyle elde edilir. Bizim için bu değerler $\frac{4000}{2*15}$ ve $\frac{4000}{2*20}$ dir.

III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sınıflandırma işlemi için destekleyici vektör makinesi (SVM) kullanıldı. Aşağıdaki sonuçlar bir tanesini dışarıda bırak yöntemiyle elde edilmiştir. Bu yöntemde örnek kümesindeki yalnızca bir örnek test edilmek için kullanılır, geri kalanlar ise eğitilmek için kullanılırlar. Tüm örnekler sırayla bir kez sadece test edilmek için kullanılarak tanıma başarıları hesaplanır.

Tablo I ve Tablo II içerisinde yer alan bazı öznelik vektörlerinin sağında yer alan (A/B) şeklindeki ifade B tane öznelik vektörünün hesaplandığı fakat bunlardan sadece ilk A tanesinin SVM'de kullanıldığını anlatmak içindir. Sınıflandırma sırasında kullanılan daha fazla öznelik vektörünün hesaplanma amacı düşük frekansları daha ayrıntılı modellemektir.

Tablo I: Antep Fıstıkları İçin Sonuçlar.

Öznitelik Vektörü	Kabuk Tanıma Başarısı	Yemiş Tanıma Başarısı
CHOG	%92.6	%94.6
Mel-Kepstrum	%98.3	%96.6
CHOG + Mel-Kepstrum	%97.7	%96.3
LSF (15/15)	%97.3	%96.3
LSF (10/15)	%97.3	%97.0
LSF (10/20)	%94.6	%96.0
LSF (15/20)	%97.7	%96.6
Frekans Genlik Seleleri (15/15)	%98.0	%97.0
Frekans Genlik Seleleri (10/15)	%97.3	%95.3
Frekans Genlik Seleleri (10/20)	%98.7	%96.6
Frekans Genlik Seleleri (15/20)	%96.3	%97.0

Tablo II: Fındıklar İçin Sonuçlar.

Öznitelik Vektörü	Kabuk Tanıma Başarısı	Yemiş Tanıma Başarısı
CHOG	%96.5	%87.5
Mel-Kepstrum	%99.5	%98.8
CHOG + Mel-Kepstrum	%99.5	%98.8
LSF (15/15)	%99.5	%100
LSF (10/15)	%99.5	%100
LSF (10/20)	%99.0	%97.5
LSF (15/20)	%99.5	%100
Frekans Genlik Seleleri (15/15)	%99.5	%98.8
Frekans Genlik Seleleri (10/15)	%99.5	%98.8
Frekans Genlik Seleleri (10/20)	%99.5	%98.8
Frekans Genlik Seleleri (15/20)	%99.5	%98.8

IV. SONUÇ

DeneySEL sonuçlardan görüldüğü üzere Antep fıstıkları için Frekans Genlik Seleleri (15/15), Frekans Genlik Seleleri (15/20) ve LSF (10/15) %97.0 ile en yüksek yemiş tanıma başarılarına sahiptirler. Bu üç öznitelik vektörü içerisinde en yüksek kabuk tanıma başarısına sahip olanı ise Frekans Genlik Seleleri (15/15)'dir. Fındıklar içinse öznitelik vektörleri birbirlerine yakın sonuçlar vermektedirler. Test edilen öznitelik çıkartma yöntemleri içerisinde gradyanların birikimli histogramı fıstıklar ve fındıklar için en zayıf sonuçları vermekle birlikte işlem yükü bakımından en hafif olanıdır. Diğer yöntemler işlem yükleri bakımından birbirlerine yakındırlar.

KAYNAKÇA

- [1] R. Haff and T. Pearson, "Separating in-shell pistachio nuts from kernels using impact vibration analysis," *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, vol. 1, pp. 188–192, 2007. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-007-9020-2>
- [2] O. Yorulmaz, T. Pearson, and A. E. Çetin, "Detection of fungal damaged popcorn using image property covariance features," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 84, pp. 47–52, 2012.
- [3] O. Yorulmaz, T. Pearson, and A. E. Çetin, "Cepstrum based feature extraction method for fungus detection," in *Proc. of SPIE Vol.*, vol. 8027, 2011, pp. 80270E–1.
- [4] T. Pearson, A. E. Çetin, A. Tewfik, and R. Haff, "Feasibility of impact-acoustic emissions for detection of damaged wheat kernels," *Digital Signal Processing*, vol. 17, no. 3, pp. 617–633, 2007.
- [5] A. E. Çetin, T. Pearson, and A. Tewfik, "Classification of closed and open shell pistachio nuts using principal component analysis of impact acoustics," in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings.(ICASSP'04). IEEE International Conference on*, vol. 5. IEEE, 2004, pp. V–677.
- [6] I. Onaran, B. Dulek, T. Pearson, Y. Yardimci, and A. E. Çetin, "Detection of empty hazelnuts from fully developed nuts by impact acoustics," in *Proceedings of the 13th European Signal Processing Conference (EUSIPCO'05)*. Citeseer, 2005.

- [7] T. Pearson, A. E. Çetin, and A. Tewfik, "Detection of insect damaged wheat kernels by impact acoustics," in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. Proceedings.(ICASSP'05). IEEE International Conference on*, vol. 5. IEEE, 2005, pp. v–649.
- [8] T. Pearson, A. E. Çetin, A. Tewfik, and V. Gokmen, "An overview of signal processing for food inspection [applications corner]," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 24, no. 3, pp. 106–109, 2007.
- [9] Z. Cataltepe, A. Enis Çetin, and T. Pearson, "Identification of insect damaged wheat kernels using transmittance images," *Electronics Letters*, vol. 41, no. 5, pp. 238–240, 2005.
- [10] Z. Cataltepe, T. Pearson, and A. E. Çetin, "Fast insect damage detection in wheat kernels using transmittance images," in *Neural Networks, 2004. Proceedings. 2004 IEEE International Joint Conference on*, vol. 2. IEEE, 2004, pp. 1343–1346.
- [11] Z. Cataltepe, A. E. Çetin, and T. Pearson, "Identification of insect damaged wheat kernels using transmittance images," in *Image Processing, 2004. ICIP'04. 2004 International Conference on*, vol. 5. IEEE, 2004, pp. 2917–2920.
- [12] A. E. Çetin, T. Pearson, Y. Yardimci, B. Dulek, and I. Onaran, "Detection of empty hazelnut from fully developed nuts by impact acoustics," in *Proceedings of EUSIPCO*, 2005.
- [13] N. Ince, I. Onaran, T. Pearson, A. Tewfik, A. E. Çetin, H. Kalkan, and Y. Yardimci, "Identification of damaged wheat kernels and cracked-shell hazelnuts with impact acoustics time-frequency patterns," *Transactions of the ASABE*, vol. 51, no. 4, pp. 1461–1469, 2008.