

Sıfır Geçiş İstatistikleri ile İçkin Kip İşlevlerinin Kümelendirilmesi

Clustering Intrinsic Mode Functions with Zero Crossing Statistics

Mehmet Erdal Özbek

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İzmir Üniversitesi
erdal.ozbek@izmir.edu.tr

Özet

Görgül kip ayrışımı yöntemi herhangi bir zaman ortamı işaretini içkin kip işlevlerine ayırmaktadır. Böylelikle farklı işaretlere ait temel işlevler işaretin kendisinden çıkarılabilmekte, temel işlevlerin önceden belirlendiği geleneksel yöntemlerin aksine uyarlanabilir bir ayrıştırma yapısı sağlanabilmektedir. Farklı içkin kip işlevlerinin farklı sıfır geçiş sayılarına sahip olacıklarına dayanarak, içkin kip işlevleri işaretlerinin sıfır geçiş sayıları istatistiklerine göre kümelendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Kümelendirme için ölçüt olarak sıfır geçiş genliklerinin dağılımları arasındaki Kullback-Leibler uzaklığı ele alınmış ve farklı kaynak sayısına göre sonuçlar elde edilmiştir.

Abstract

The method of empirical mode decomposition decomposes any time domain signal into intrinsic mode functions. Thus, basis functions could be extracted from the signal itself, an adaptive decomposition structure may be established contrary to the conventional methods where the basis functions are pre-determined. Based on different intrinsic mode functions will have different zero crossing rates, studies are performed for clustering intrinsic mode function signals according to their zero crossing statistics. Kullback-Leibler divergence between the distributions of zero crossing amplitudes is considered as a measure for clustering and results for varying number of sources are obtained.

1. Giriş

Görgül kip ayrışımı (GKA) yöntemi durağan ve doğrusal olmayan işaretler için uyarlanır bir araç olarak önerilmiştir [1]. GKA yönteminde herhangi bir zaman ortamı işareti içkin kip işlevleri kümesine ayrıştırılmaktadır. İçkin kip işlevlerinin belirlenmesi süzme işlemi adı verilen adımlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir ve temelde aşağıda verilen iki koşulu sağlamalıdır [2]:

1. İşaretin en büyük değerlerinin sayısı ve sıfırdan geçişlerin sayısı eşit ya da en çok bir farklı olmalıdır.
2. Herhangi bir nokta için, yerel en büyük değer ile en küçük değer tarafından belirlenen zarfın ortalama değeri sıfır olmalıdır.

Kısaca verilen bu tanımı gereği içkin kip işlevleri azalan frekans sıralamasında elde edilmekte ve sıfır geçiş sayısı da

bu sıralamanın bir göstergesi olmaktadır. Sıfır geçiş sayısı her bir kipten ortalama frekansı hakkında bilgi vermektedir ve bu sayının kipten kipe değişimi ile eşdeğer süzgeç bankasının yapısı hakkında bilgi sahibi olunmaktadır [3]. Kiplerin seçilmesi işarete bağlı olarak uyarlanır şekilde gerçekleştirilmektedir. Süzme işleminde işaret zarfının belirlenmesi için kullanılan aradeğerleme işleminde kübik esnek şerit aradeğerlemenin doğrusal ya da polinom aradeğerlemeden daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir [2].

Literatürde işaret karışımından, karışımı oluşturan işaretlerin kümelendirilmesi için görgül kip ayrışımı yöntemi kullanılmış ve yöntem parametre kestirim yöntemi ile karşılaştırılarak ve belirli varsayımlar göz önüne alınarak kip ayrıştırılması yapılmıştır [4]. Kip bileşenlerinin kümelendirilmesi için enerjinin en büyük olmasına dayanan kıstas kullanılarak kaynak sayısının belirlenmesine çalışılmıştır. Bir diğer çalışmada benzer şekilde işaretin izgesindeki tepe değerlerin belirlenmesi ve bu değerlere göre sezgisel olarak kaynak sayısının belirlenmesi ile müzik enstrümanları karışımından kaynak sayısının bulunması iki aşamalı işlem ile gerçekleştirilmiştir [5].

Bu çalışmada ise GKA yöntemi kullanılarak ayrıştırılan içkin kip işlevlerinin sıfır geçiş sayılarının istatistikleri kullanılarak, kümelendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

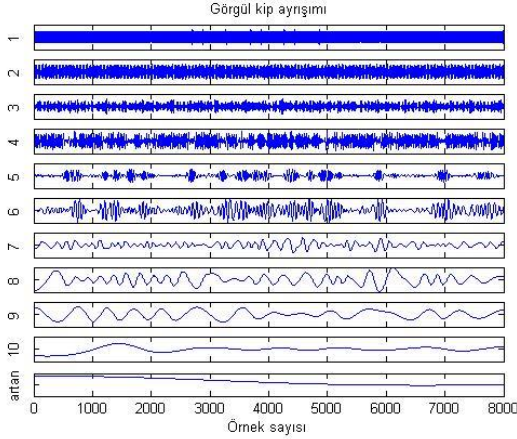
2. Sıfır Geçiş Sayısı

Sıfır geçişleri işaretin sıfır değerini geçmesini belirtmekte ve sıfır geçiş sayısı verilen bir işaretin belirli bir zamanda ne kadar sıklıkla işaret değıştirdiğinin bir göstergesi olmaktadır [6]. Bir işaretin sıfır geçişleri arasındaki zaman indeksleri sıfır geçiş indisi olarak adlandırılırken, bu zaman süresince aldığı değerlerin en büyük olanına sıfır geçiş genlikleri denilmektedir. Sıfır geçiş aralıkları ve sıfır geçiş genliklerinin dağılımlarının işaret karakteristiği hakkında bilgi verdiği beyaz gürültüden elde edilen içkin kip işlevleri aracılığıyla gösterilmiştir [7].

İçkin kip işlevlerinin tanımı gereği sıfır geçiş sayılarına göre sıralanmış oldukları gözönüne alındığında, içkin kip işlevlerinin sıfır geçiş genliklerinin dağılımının kip işlevlerinin kümelendirilmesi için yararlı olabileceği düşünülmektedir.

3. Yapılan Çalışmalar

Bu çalışmada farklı kaynak sayılarında oluşturulan işaret karışımları için GKA yönteminin kullanılması ele alınmıştır. Bu amaçla öncelikle işaretin Şekil 1’de gösterildiği gibi içkin kip işlevleri elde edilmiştir. Sıfır ortalamalı içkin kip işlevleri ile en son artan işaret parçacığı toplamı işareti oluşturmaktadır.



Şekil 1: İçkin kip işlevleri.

Daha sonra her bir içkin kip işlevi için sıfır geçiş genlikleri bulunarak bu genliklerin dağılımları hesaplanmıştır. Bunun için [7]’de verilen sıfır geçiş aralık değerleri ve o aralık değerlerindeki en büyük değerler hesaplanmıştır. O çalışmada beyaz gürültü işaretinin sıfır geçiş genlikleri için elde edilen dağılım Weibull dağılımı olarak gözlemlenmişti [7]. Ancak bu çalışmada dağılımların ait olduğu dağılım ailesini incelemek yerine, dağılımlar arasındaki Kullback-Leibler uzaklığını ölçüt olarak içkin kip işlevlerinin kümelendirilmesi ve farklı kaynak sayısına sahip karışımlar için değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.1. İşaret Karışımları

İşaret karışımını elde etmek için rastgele genlik, frekans ve faz değerlerinden oluşan işaret bileşeni oluşturulmuştur.

$$x_n(t) = a_n \cos(2\pi f_n t + \theta_n) \quad (1)$$

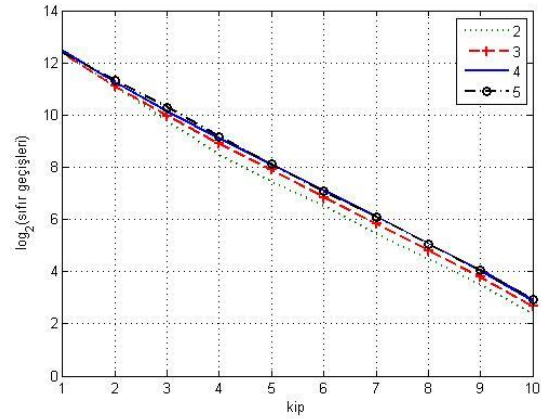
Bu işaret bileşenleri K toplam kaynak sayısı olmak üzere toplanarak, çok sayıda kaynak işareti içeren tek kanallı bir karışım işareti elde edilmiştir.

$$x(t) = \sum_{n=1}^K x_n(t) \quad (2)$$

3.2. GKA ile İçkin Kip İşlevlerine Ayırıştırma

GKA yöntemi ile içkin kip işlevlerine ayrıştırılan bu işaret N işaret uzunluğu olmak üzere, yaklaşık olarak $\log_2 N$ sayıda içkin kip işlevine ayrıştırılmaktadır [2,7]. Bu durum Şekil 2’deki farklı kaynak sayılarına göre verilen 8000 örnek uzunluğundaki içkin kip işlevlerinden de görülebilmektedir. İki, üç, dört ve beş kaynak işaretinin karışımı ile oluşturulan

karışım işaretinin sıfır geçiş sayıları farklı olsa da, kipler arasındaki değişim hepsinde benzer şekilde gerçekleşmektedir.

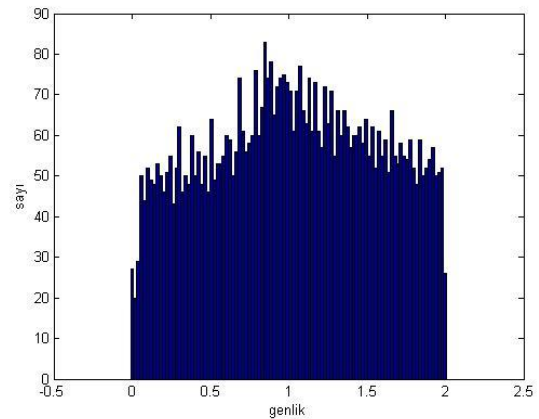


Şekil 2: İçkin kip işlevlerinin sıfır geçiş sayıları.

3.3. İçkin Kip İşlevleri Sıfır Geçiş Genliklerinin Dağılımının Bulunması

Şekil 2’den de görüleceği gibi sıfır geçişleri kip sayısının azalan bir üsteli şeklindedir [2]. Bu durum her bir kiplerin toplam enerjisine oranında da benzer şekilde elde edilebilmektedir. Ancak kiplerin enerjileri oranı yerine hangi kaynağın karışımındaki etkisinin incelendiği çalışmada [8], işareti oluşturan kaynak işaretlerinin bilindiği ve bu şekilde enerjilerinin hesaplandığı görülmektedir. Çalışmamızda ise karışımı oluşturan kaynak işaretlerinin bilinmediği varsayımı ile içkin kip işlevlerinin sıfır geçiş genlikleri bulunmaktadır.

Çalışmada her bir içkin kip işlevinin sıfır geçiş genlikleri dağılımı histogram şeklinde elde edilmiştir. Şekil 3’te örnek bir işaret için elde edilmiş bir dağılım gösterilmektedir. Bu dağılım işarete bağımlı olduğundan, farklı sayıdaki frekans bileşenlerinin toplamından oluşmuş bir işaret için belirli bir dağılıma uygun olması beklenmemektedir.



Şekil 3: Sıfır geçiş genlikleri dağılımı.

3.4. Sıfır Geçiş Genlik Dağılımları Kümelendirilmesi

Elde edilen içkin kip işlevlerinin sıfır geçiş genlikleri dağılımları esas karışım işaretinin sıfır geçiş genlikleri dağılımı ile karşılaştırılarak işareti oluşturan içkin kip işlevlerinin hangisine daha yakın olduğunun belirlenmesi, bu sayede de yakın olan içkin kip işlevlerinin kümelendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

İki dağılımın yakınlığının ölçütü olarak Kullback-Leibler uzaklığı kullanılmıştır. Verilen iki olasılık dağılım işlevi $f(x)$ ve $g(x)$ arasındaki Kullback-Leibler uzaklığı

$$D(f \parallel g) = - \int f(x) \log \left(\frac{g(x)}{f(x)} \right) dx \quad (3)$$

ile tanımlanır [9]. Burada D sıfırdan büyük ya da sıfırdır. Eşitlik durumu, ancak ve ancak $f(x)$ ve $g(x)$ aynı dağılımlar ise geçerlidir. Bilindiği gibi Kullback-Leibler uzaklığı verilen iki olasılık dağılımına göre tek yönlüdür. Bu nedenle ölçütün her iki yönde de alınıp toplanması sonucunda elde edilen değer ile negatif olmayan bir kümelendirme ölçütü elde edilmiştir.

Daha sonra bu ölçüt, farklı kaynak sayılarında rastgele oluşturulan 1000 örnek işaret kullanılarak değerlendirilmiş ve kaynak sayısına göre dağılımların bakışım ölçüt değerinin yakınlığına göre kümelendirilmesi sonucunda belirlenen en yaygın kaynak sayıları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1: Kümelendirme sonucunda belirlenen kaynak oranları

Kaynak sayısı	Kümelendirme sonucu	
	Kaynak sayısı 2	Kaynak sayısı 3
2	% 36	% 30
3	% 42	% 31
4	% 47	% 34
5	% 49	% 34

4. Değerlendirme

Görgül kip ayrışımı yöntemi ile ayrıştırılan işaretlerin içkin kip işlevleri karışım işareti hakkında bilgi taşımaktadır. Bu bilgiyi açığa çıkarmak amacıyla içkin kip işlevlerinin de sıralamasını belirleyen sıfır geçiş sayısı bilgisinin kullanılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. Buradan hareketle sıfır geçiş genliklerinin dağılımları elde edilerek içkin kip işlevlerinin ve işaretin sıfır geçiş genlikleri dağılımları karşılaştırılmıştır. Farklı kaynak sayıları için dağılımlar, iki dağılımın yakınlık derecesini ölçen Kullback-Leibler bakışım ölçütü ile karşılaştırılarak kümelendirilmiştir.

Çalışmalar sıfır geçiş genlikleri dağılımlarının kaynak sayısını belirlemede tıpkı içkin kip işlevlerinin enerji dağılımlarında olduğu gibi tek başına yeterli olmadığını göstermiştir. Çalışma sonucunda işareti oluşturan baskın içkin kip işlevlerinin iki ya da üç kaynak birleşiminden oluşmuş gibi kümelene biçiminde ortaya çıktıkları görülmektedir. Kaynak sayısı arttıkça kümelendirmede iki ya da üç kaynak olarak elde edilen yüzde, % 66’dan % 83’e kadar artmıştır. Bunun nedeni

olarak da GKA yönteminin kip karışımı olarak da bilinen yakın frekanslardaki çözünürlük sorunu olduğu düşünülmektedir. Yakın frekanslardaki işaretlerden oluşan karışımın kaynak sayısının olduğundan daha az olarak görülmesine yol açtığı değerlendirilmektedir. Karışım işaretini oluşturan işaret parçacıklarının genlik ve frekans oranlarının da gözönünde bulundurulmasıyla daha hassas ve belirleyici bir yapı kurulabileceği düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 113E330 projesi kapsamında desteklenmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. L., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N. C., Tung, C. C., Liu, H. H., “The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis”, *Proc. R. Soc. London A*, 454, 903-995, 1998.
- [2] Rilling, G., Flandrin, P., Gonçalves, P., “On empirical mode decomposition and its algorithms”, *IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, 2003.
- [3] Flandrin, P., Rilling, G., Gonçalves, P., “Empirical mode decomposition as a filter bank”, *IEEE Signal Processing Letters*, 11(2), 112-114, 2004.
- [4] Aissa-El-Bey, A., Abed-Meraim, K., Grenier, Y., “Underdetermined blind audio source separation using modal decomposition”, *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 1-15, 2007.
- [5] Barbedo, J. G. A., Lopes, A., Wolfe, P. J., “Empirical methods to determine the number of sources in single-channel musical signals”, *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 17(7), 1435-1444, 2009.
- [6] Rabiner, L. R., Schafer, R. W., *Theory and Applications of Digital Speech Processing*, Pearson, 2010.
- [7] Baykut, S., Akgül, T., “Multiscale zero-crossing statistics of intrinsic mode functions for white Gaussian noise”, *18th European Signal Processing Conference*, 2010, 135-138.
- [8] Gao, B., Woo, W. L., Dlay, S. S., “Single-channel source separation using EMD-subband variable regularized sparse features”, *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 19(4), 961-976, 2011.
- [9] Bishop, C. M., *Pattern Recognition and Machine Learning*, New York, Springer, 2006.