

# SABİT-KUTUP YAKLAŞIMI KULLANILARAK TELEKONFERANSTA ODA AKUSTİK EKO YOK ETME

Tuğba Özge ÖZDİNÇ

Rıfat HACIOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 67100, Zonguldak

ozdinc\_ozge@hotmail.com

hacirif@karaelmas.edu.tr

## ÖZET

*Bu çalışmada, akustik eko yok etme problemine değinilmiş ve sabit-kutup yaklaşımı telekonferans sırasında oluşan akustik eko dinamik yapısının modellenmesi amacıyla önerilmiştir. Adaptif Sonlu Darbe Cevabı (Finite Impulse Response, FIR) filtrelerde karşılaşılan parametrik karmaşıklık probleminin, aynı zamanda parametrede doğrusallık yapısında olan, sabit-kutup yaklaşımı ile azaltılması amaçlanmaktadır. Burada FIR filtre, Sabit-Kutup ve ek olarak da Frekans Bölgesi Adaptif Filtre (Frequency Domain Adaptive Filter, FDAF) algoritmalarının akustik eko yok etmede kullanılan farklı adaptif yaklaşım benzetimleri gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.*

*Anahtar sözcükler: Akustik Eko, Adaptif Filtreler*

## ABSTRACT

*In this paper, acoustic echo problem is mentioned and fixed-pole approach is suggested for modelling of acoustic echo dynamic structure during teleconference. The parametric complexity problem in adaptive finite impulse response (FIR) filters is aimed to be reduced by Fixed-Pole Approach which has linear-in-parameter structure. Here, FIR filter, Fixed-Pole Approach and in addition Frequency Domain Adaptive Filter (FDAF) algorithms' different adaptive approach simulations used for acoustic echo cancellation are presented and obtained results are compared.*

*Keywords: Acoustic Echo, Adaptive Filters*

## 1. GİRİŞ

Birçok haberleşme sisteminde karşılaşılan eko yoketme önemli bir problemdir [1]. Eko, gecikmiş ve bozulmuş orjinal sinyalde veya kaynağa geri yansıyan elektriksel işarette oluşan bir olay olarak tanımlanır. Örneğin, mikrofonda bir ortamda geçen konuşmalarda mikrofona hoparlörden sinyalin çeşitli yansımalarını toplar. Bu ekolar daha sonra uzaktaki konuşmacıya akustik eko olarak geri gitmektedir. Akustik eko, kendi konuşmaları (gecikmiş versiyonu) duyulduğundan, kullanıcıya rahatsızlık vermektedir.

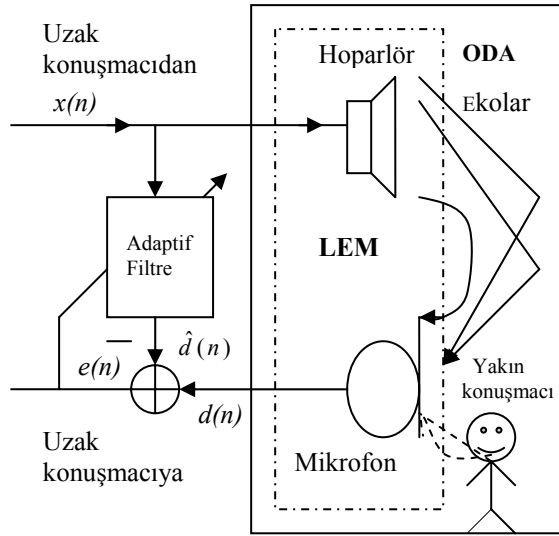
Akustik eko problemini çözmek için, akustik eko yok edici önerilmektedir. Bu problemin çözümünde sıkça kullanılan sonlu darbe cevabı filtrelerde (FIR) kararlılık, parametrede doğrusallık ve basit yapısı özelliklerine rağmen hafıza uzunluğu söz konusu olduğundan parametrik karmaşıklık problemi ile karşılaşılmaktadır [1]. Bu çalışmada, parametrede doğrusallık yapısında olan ve kararlılığı garanti eden Sabit-Kutup yaklaşımı [2] önerilerek parametrik karmaşıklığın azaltılması amaçlanmaktadır.

Eko yok edici, eko yolunun darbe cevabını hesaplar ve ekonun bir benzerini oluşturur. Daha sonra, hesaplanan eko alınan sinyalden çıkarılır. Amaç mikrofondan tekrar geri iletilen sesi uzaktaki konuşmacı sesinden ayırmaktır. Böyle bir yok edici bilinmeyen ortamda memnun edici bir şekilde çalışan ve giriş istatistiğinin zaman değişimlerini izleyebilen adaptif bir filtre kullanılarak yapılabilir. Bu tanımlama, genellikle bilinmeyen ve zamanla değişen eko yoluyla eşleşmektedir. Şekil 1, mikrofona hoparlörden yakın konuşmacıya giden giriş işareti (uzak konuşmacıdan) ve  $d(n)$  mikrofona tarafından toplanan işaret olarak verilmektedir ki bunun içinde yakın konuşmacı işareti  $v(k)$ , ortam gürültüsü  $w(k)$  ve hoparlörden yayılan uzak konuşmacının ekolu işareti  $r(k)$  yer almaktadır.

$$d(n) = v(k) + r(k) + w(k) \quad (1)$$

Adaptif filtre, hoparlör ve mikrofona ekonun benzerini ( $\hat{d}(n)$ ) oluşturacağı odanın transfer fonksiyonunu modellemek için kullanılır. Hesaplanan eko, istek giriş işareti  $d(n)$ 'den çıkarılır ve kestirim hatası işareti elde edilir,

$$e(n) = d(n) - \hat{d}(n) \quad (2)$$



Şekil 1 Telekonferans akustik eko yok etme düzeni

Amaç, istek giriş işareti  $d(n)$ 'yi (eko) hata işareti  $e(n)$  mümkün olan en küçük değerde tutularak yok etmektir. Şekil 1'de aynı zamanda kestirim hatası sinyali  $e(n)$ 'nin geçmiş değerlerinin adaptif filtreye geri beslendiği görülmektedir. Geribeslemenin amacı, adaptif sistem yapısını cevap karakteristiğini mümkün optimumla değiştirerek etkili bir şekilde ayarlamaktır.

## 2. SABİT KUTUP YAKLAŞIMI

Bu bölümde dinamik akustik eko sistemi ile önerilen Sabit-Kutup yaklaşımı tanımlanacaktır. Aynı zamanda kullanılan adaptasyon algoritması ve özellikleride verilecektir.

### 2.1. Akustik Eko Parametrik Modeli

Giriş uzak konuşmacıdan gelen işaret,  $x(n)$  ve çıkış eko etkisi olan işaret  $r(n)$  olacak şekilde fark denklemi

$$r(n) = -\sum_{k=1}^N a_k r(n-k) + \sum_{k=0}^M b_k x(n-k) \quad (3)$$

ile sistem dinamiği tanımlanabilir ve burada giriş-çıkış transfer fonksiyonu

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (4)$$

özbağımlı yürüyen ortalama (ARMA) model olarak tanımlıdır. Yürüyen ortalama (MA) model ya da FIR model ise (4)'de  $a_k = 0$  ile tanımlanır.

### 2.2. Sabit Kutup Açılımı

Sabit kutup yaklaşımında giriş-çıkış transfer fonksiyonu

$$H(z) = \sum_{k=0}^N d_k G_k(z) \quad (5)$$

olarak tanımlanır ve burada  $G_0(z), \dots, G_N(z)$  sabit kutup temel fonksiyonlarıdır. Bu birimlik temel fonksiyonlar ya gerçek kutuplar ya da kompleks-eşlenik kutup çifti için [2][3]'teki yaklaşım kullanılarak takip eden şekilde tanımlanır.

**Tanım 2.1** Sabit gerçek kutup temel fonksiyonları, eğer kutuplar birim çember içinde gerçek sayılar ise  $G_0(z) = 1$  ve

$$G_k(z) = \frac{\sqrt{1-\alpha_k^2}}{(z-\alpha_k)} \prod_{i=1}^{k-1} \frac{(1-\alpha_i z)}{(z-\alpha_i)} \quad (6)$$

**Tanım 2.2** Sabit kompleks-eşlenik kutup temel fonksiyonları dizisi  $G_0(z) = 1$  ve

$$G_k(z) = L_k(z) \prod_{i=1}^{k-1} H_i(z) \quad (7)$$

$k = 1, \dots, M/2$  ve burada

$$L_{2k-1}(z) = \sqrt{\frac{(1+\beta_k)(1+\beta_k^*)(1-\beta_k\beta_k^*)}{2}} \frac{(z-1)}{(z-\beta_k)(z-\beta_k^*)}$$

$$L_{2k}(z) = \sqrt{\frac{(1-\beta_k)(1-\beta_k^*)(1-\beta_k\beta_k^*)}{2}} \frac{(z+1)}{(z-\beta_k)(z-\beta_k^*)} \quad (8)$$

$$H_i(z) = \frac{(1-\beta_i z)(1-\beta_i^* z)}{(z-\beta_i)(z-\beta_i^*)} \quad (9)$$

ve burada kompleks-eşlenik kutup çifti,  $(\beta_k, \beta_k^*)$  birim çember içindedir.

Dikkat edelim ki (6)'de eğer  $\alpha_k$  tekrarlanan gerçek kutup ise,  $\{G_j(z)\}$  Laguerre fonksiyonları [3] olarak ve aynı zamanda (7)-(9)'da eğer  $\beta_k$  tekrarlanan kompleks-eşlenik kutup ise  $\{G_j(z)\}$  Kautz fonksiyonları [2][3] olarak adlandırılırlar. Aynı zamanda (6)'de eğer  $\alpha_k$  değerleri sıfıra eşit ise (5) sonlu darbe cevabı (FIR) filtresi olur.

Bu çalışmada bilinmeyen parametreler (ARMA model için (4)'de  $\{a_k\}$ ,  $\{b_k\}$ , MA model için (4)'de  $\{b_k\}$  Sabit Kutup yaklaşımı için (5)'de  $\{d_k\}$ ) sonlu uzunluktaki veri setinden doğrusal regresyon ile kestirilir. Bu durumda (3) denklemi

$$r(n) = \varphi^T(n)\theta \quad (10)$$

olarak yazılabilir ki burada  $\theta$  vektörü tanımlanmak istenen parametreleri içeren parametre vektörü ve  $\varphi(n)$  de giriş  $x(n)$ 'ye bağlı regresör vektörüdür. Sabit-Kutup yaklaşımı için  $g_k(n)$ 'ler  $G_k(z)$ 'lerin darbe cevabı fonksiyonu olacak şekilde tanımlandığında giriş  $x(n)$ 'nin konvolüsyon toplamı

$$x_k(n) = \sum_{m=0}^{\infty} g_k(m)x(n-m) \quad (11)$$

regresör vektörü

$$\varphi(n) = [x_1(n)x_2(n)...x_N(n)]^T \quad (12)$$

olarak tanımlanır. FIR modelde ise  $G_k(z)$ 'ler birim gecikme olduğundan regresör vektörü (12)'ye benzer şekilde

$$\varphi(n) = [x(n)x(n-1)...x(n-m)]^T \quad (13)$$

olarak tanımlanır. Sabit-Kutup yaklaşımında parametre vektörü

$$\theta = [d_0 d_1 ... d_N]^T \quad (14)$$

ile verilir, FIR modelde ise

$$\theta = [b_0 b_1 ... b_M]^T \quad (15)$$

olacaktır.

Sabit kutup yaklaşımında ağırlık parametreleri  $\{d_k\}$  önceden seçilen temel fonksiyonların  $G_0(z), ..., G_M(z)$  en iyi kombinasyonunu bulmak için kestirilir. Burada kullanılan sabit gerçek ve/veya kompleks-eşlenik kutuplar daha önceden kestirilen FIR model parametreleri Prony tekniğinde kullanılarak elde edilebilir [2][4].

### 2.3. LMS Algoritması

En Küçük Kareler (Least Mean Square, LMS) algoritması hesaplama kolaylığı ve basit yapısından dolayı sıkça kullanılmaktadır [1]. Bu durumda  $n$  zamanındaki parametre adaptasyon algoritması

$$\theta(n+1) = \theta(n) + \mu\varphi(n)e(n) \quad (16)$$

olacaktır. Burada  $\varphi(n)$  regresör vektörü ve  $\theta(n)$  kestirilen parametrelerin  $n$  zamanındaki değerini veren parametre vektörü olarak tanımlanır ki Sabit-Kutup için bunlar sırasıyla (12) ve (14)'de, FIR model yapısı için ise sırasıyla (13) ve (15)'de verilirler.  $e(n)$  (2)'de verilen hata kestirim değeridir.  $\mu$  parametresi pozitif küçük bir sabit olan adım boyutudur. LMS

algoritmasında  $\mu$  için uygun bir değer seçmek gerekmektedir. Eğer değer çok küçükse adaptif filtrenin optimal çözüme yaklaşması uzun zaman alır, eğer  $\mu$  çok büyükse adaptif filtre kararsız olabilir ve/veya yakınsaması mümkün olmayacaktır [1].

### 3. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde telekonferans sırasında karşılaşılan oda akustik problemi üzerinde bir uygulama ile performans karşılaştırması yapılacaktır. Bu amaçla 8 kHz ile örneklenen uzak konuşmacı ekolu işaretin yakın konuşmacıdan kaynaklanan mikrofon işaretine olan etkisinin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Şekil 2'de yakın konuşmacı işareti, uzak konuşmacı işareti ve de mikrofondan uzak konuşmacıya geri dönen oda eko bilgisi taşıyan işaret birlikte görülmektedir.

Bunun için Sabit-Kutup yaklaşımı ile birlikte adaptif FIR filtre ve frekans bölgesi adaptif filtre (Frequency Domain Adaptive Filter, FDAF) ile eko etkisi yok edilecektir. Burada adaptif FIR filtre uzunluğu 1024 ve aynı zamanda FDAF için de 1024 kullanılmıştır. Bu benzetimde kullanılan oda darbe cevabı fonksiyonu rasgele seçilmiş olup hafıza uzunluğu 0.1 sn kadardır. Dolayısıyla FIR filtre uzunluğu bu değeri karşılayacak seviyede seçilmiştir. Kestirim sonucunda elde edilen FIR filtre katsayıları kullanılarak Prony yaklaşımı ile sabit-kutup değerleri 50 sabit-kutup için elde edilmiş ve (5)'deki ağırlık katsayıları LMS algoritması ile kestirilmiştir.

Yapılan kestirim sonucunda her üç yaklaşım için elde edilen uzak konuşmacı işareti kestirimleri sırasıyla Şekil 3. 'de görülmektedir. Şekil 4'de ise performans kriteri olarak verilen eko geri-dönüş kayıp genişlemesi (Echo Return Loss Enhancement, ERLE)

$$ERLE_{dB}(n) = -10 \log \frac{(e(n) - v(n))^2}{(r(n))^2} \quad (17)$$

değişimi görülmektedir. Burada her üç yaklaşımın da birbirine yakın performans gösterdiği açıkça görülmekle birlikte filtre uzunluklarına, ya da adaptasyon katsayılarına bakıldığında FIR ve FDAF yaklaşımlarında 1024 parametre kullanılırken Sabit-Kutup yaklaşımında bu değer 50 ağırlık katsayısı ve 50 sabit-kutup şeklindedir. Parametrik karmaşıklıkta kazanç açıkça görülmektedir.

### 4. SONUÇLAR

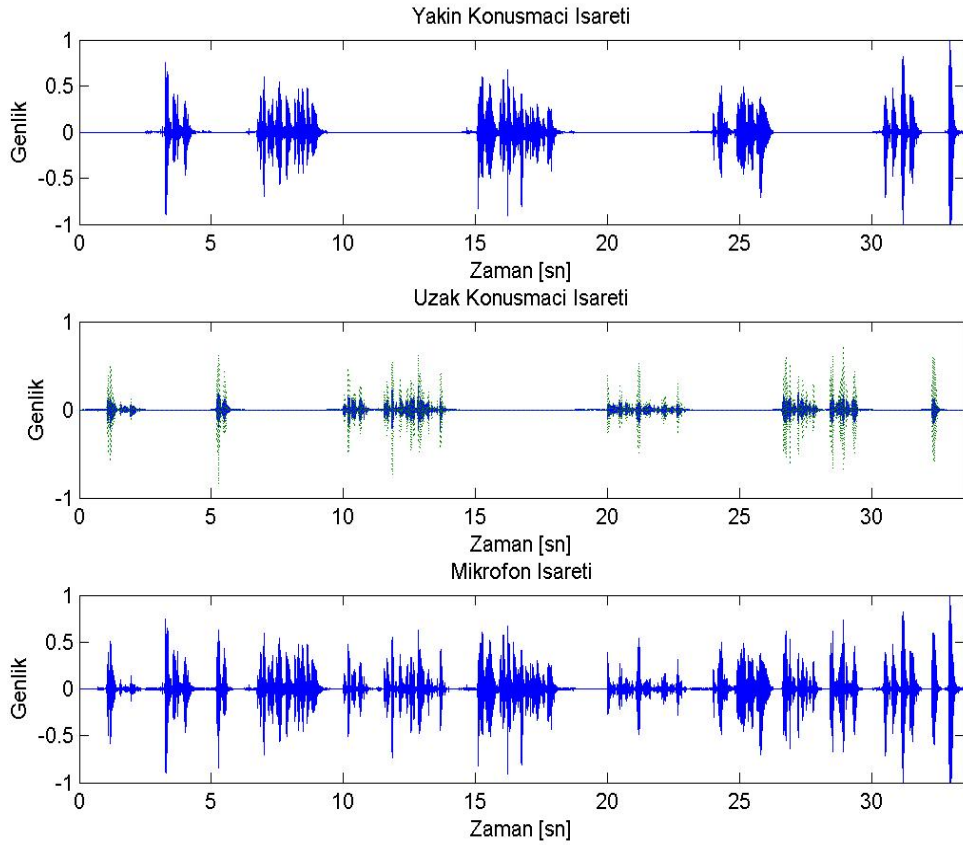
Bu çalışmada, Adaptif FIR filtre, Sabit-Kutup yaklaşımı ve Frekans Bölgesi Adaptif Filtre kullanılarak telekonferans sırasında karşılaşılan oda akustik problemi üzerinde performans karşılaştırılması yapılmış, uzak konuşmacı ekolu işaretin yakın konuşmacıdan kaynaklanan mikrofon işaretine olan etkisi giderilmeye çalışılmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda, her üç algoritma performansının da

yaklaşık olarak aynı olduğu ancak Sabit-Kutup yaklaşımında parametrik karmaşıklığın büyük ölçüde giderildiği görülmüştür. Kutup seçiminde kullanılan Prony yaklaşımı FIR model parametrelerinden yararlanmakla birlikte, seçilen kutup yerleri ile kararlılığın garanti edilmesi ve parametrik karmaşıklığın azaltılması Sabit-Kutup yaklaşımını avantajlı kılmaktadır. Sabit-kutup yerlerinin bulunmasında adaptif yaklaşımlar üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

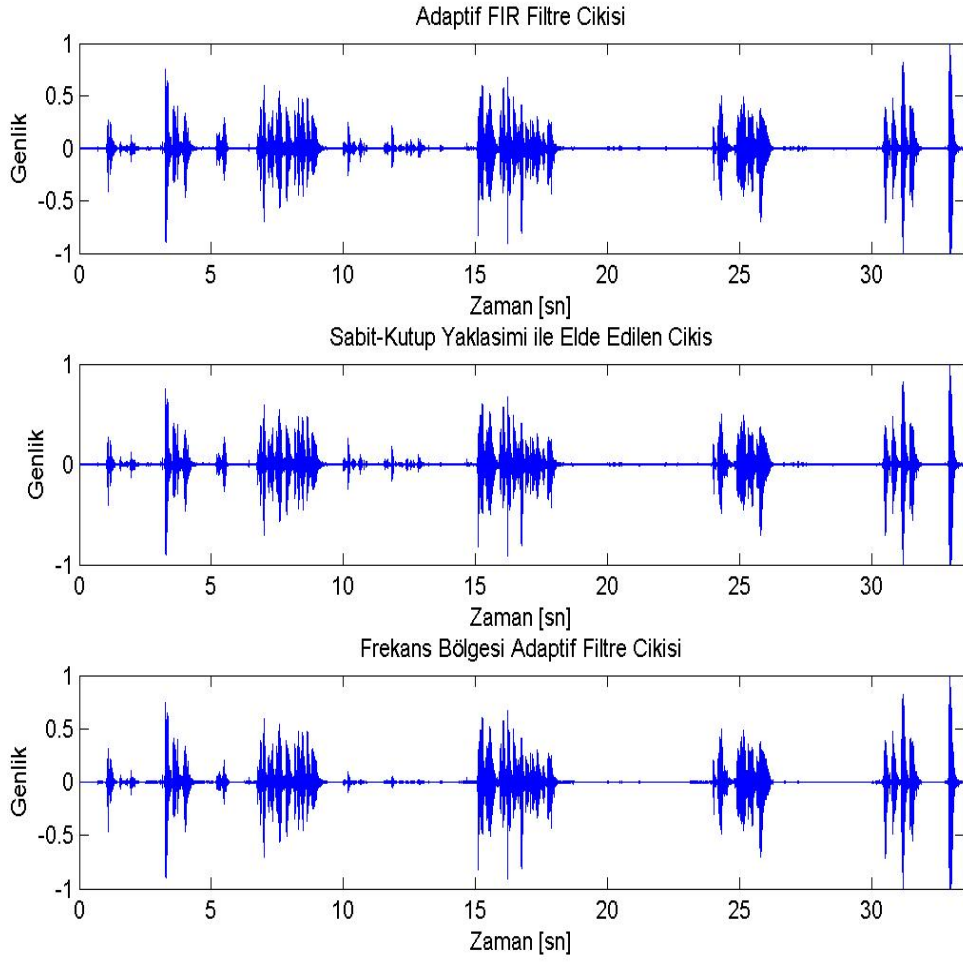
## KAYNAKLAR

- [1] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Fourth Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2002

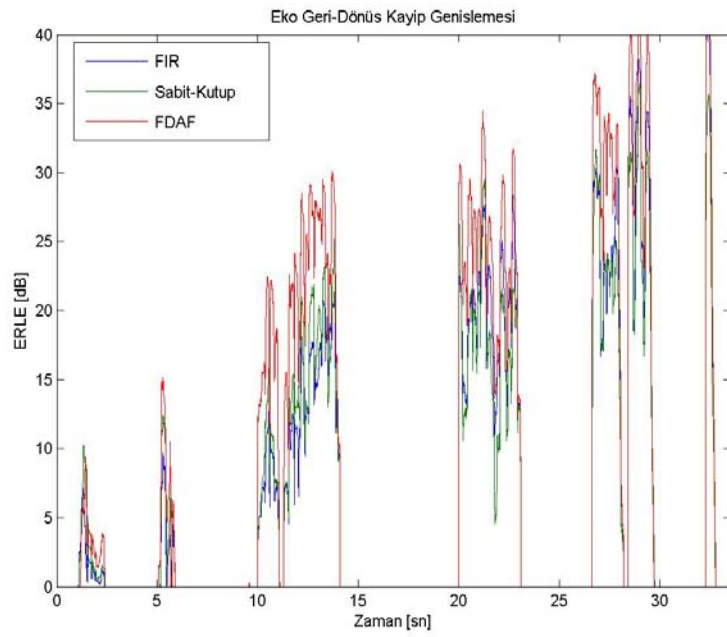
- [2] G. A. Williamson, ve S. Zimmermann, "Globally convergent adaptive IIR filters based on fixed pole locations," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 44, no.6 pp. 1418-1427, June 1996.
- [3] B. Wahlberg, "Laguerre and Kautz models," in *Proc. 10th IFAC Symp. on System Identification*, vol. 3, pp. 1-2, Copenhagen, Denmark, July 1994.
- [4] L. Ljung, *System Identification, Theory for the User*, Prentice-Hall, New Jersey, 1999.
- [5] S. C. Douglas, *Filter Design toolbox for use with MATLAB, user's guide* (The Mathworks, Inc. Natick, MA, 2005)



Şekil 2 Yakın Konuşmacı, Uzak Konuşmacı ve Mikrofon İşareti



Şekil 3 Adaptif FIR Filtre, Sabit-Kutup Yaklaşımı ve Frekans Bölgesi Adaptif Filtre İle Elde Edilen Çıktılar



Şekil 4 FIR, Sabit-Kutup yaklaşımı ve FDAF için Eko Kayıp Değişimi