

SDFM Yayınım Verilerindeki Bant İçi Girişimi Bastırmada Prony Yönteminin Kullanımı

In-band interference reduction in FMCW channel data using Prony's Method

Gaye Yeşim TAFLAN, Hülya GÖKALP

Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
gtaflan@omu.edu.tr, hgokalp@omu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada sürekli dalga frekans modülasyonunu (SDFM) kullanan kanal sonda cihazı ile elde edilen verilerdeki [1] bant içi girişim bastırılmıştır. Girişimi bastırmak amacıyla, Prony yöntemi uygulanmıştır. Prony modellemenin gürültü bastırmadaki başarımı, zaman düzlemi sinyalleri ve yankı profilleri karşılaştırılarak incelendi. Zaman düzleminde, girişimin sonucu olan ani değişimler Prony modelleme ile bastırıldı. FFT yöntemi ile karşılaştırıldığında, Prony yönteminin kayda değer iyileşme sağladığı görüldü. Prony yöntemi kullanılarak elde edilen yankı profillerinin ortalamaları çizdirildiğinde sinyalin gürültü tabanının azaldığı görüldü.

Abstract

Prony's method is a technique for modelling signal as the unit sample response of a linear time invariant filter. In this work, it is shown that Prony's method can reduce the effect of in-band interference in the FMCW (frequency modulated continuous wave) channel data. Results of the modelling are examined by comparing time domain signals and average power delay profiles. In the time domain, abrupt changes due to the interference were not present in the modelled signal. Prony's method significantly reduced the noise floor of the average power delay profiles. As a result, Prony's method decreased the threshold level for the minimum multipath component power that can be reliably detected.

1. Giriş

Sürekli Dalga Frekans Modülasyonu (SDFM) radar, uzaktan algılama ve gezgin radyo kanalı yayılım ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, SDFM yöntemi ile elde edilen radyo kanalı yayılım verilerindeki bant içi girişimin etkisini azaltmak amaçlanmıştır. Bant içi girişim, bir sinyale kendi iletim bandının içinde başka bir sinyalin karışmasıdır. [1]'deki çalışmada bazı konumlarda toplanan radyo kanalı yayılım verilerinde bant içi girişim gözlenmiştir. Bant içi girişimin varlığında, SDFM yöntemi ile elde edilen yankı profillerinde gürültü tabanı yükselir [2]. Gürültü tabanındaki yükselme algılanabilecek en düşük yankı gücü seviyesini yükselterek zayıf yankıların algılanmasını zorlaştırır. Girişim gücünün artması veya sinyal işlemede

kullanılan bant genişliğinin daralması ile gürültü tabanındaki yükselme artar. Örneğin [1]'deki çalışmada 5MHz'lik sinyal işleme bandı için yaklaşık 60 küçük ölçekli konumdan toplanan kanal verisi gürültü tabanındaki aşırı yükselme nedeniyle kullanılamamıştır.

[3]'teki çalışmada dar sinyal işleme bandı için yapılan incelemelerde, gürültünün etkisini azaltmak için girişimin olduğu frekans aralığında girişim seviyesi kırılmıştır. Bu yöntemde girişim seviyesi azaltılırken, sinyal seviyesi de azaltılmış olur. Girişimin etkisini azaltmada kullanılacak diğer bir yöntem ise, sadece girişimin az olduğu taramalar kullanılarak ortalama yankı profillerinin elde edilmesidir. Bu yöntem ise, temiz veya az girişimli taramaların olduğu durumda kullanışlıdır. Ayrıca bu tür taramalar olsa dahi kanalın zamanla değişen özellikleri izlenemez.

Bu çalışmada, Sürekli Dalga Frekans Modülasyonlu (SDFM) kanal sonda cihazı ile 1920-1980MHz aralığında elde edilen kanal verilerindeki bant içi girişimin etkisi Prony yöntemi ile bastırıldı. Prony yönteminin gürültü bastırmadaki başarımı zaman düzlemindeki sinyaller ve ortalama yankı profilleri karşılaştırılarak incelendi.

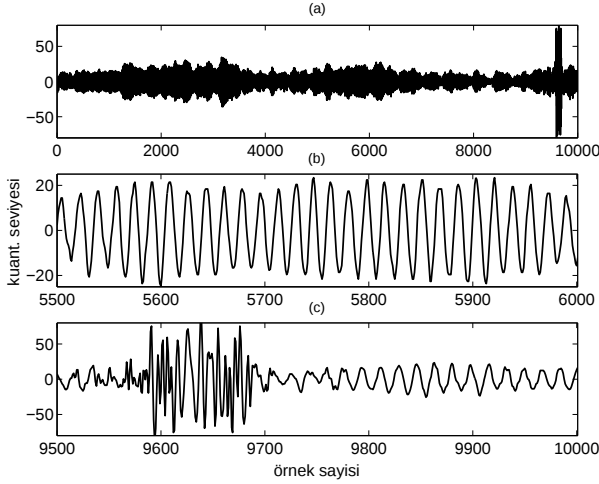
2. SDFM Yöntemi ile Yayılım Ölçümleri

Radyo kanalı ölçümlerinde, sürekli dalga frekans modülasyonu kullanıldı. Ölçümler, Manchester kent merkezinde 5 km'ye varan alıcı-verici uzaklıkları için gerçekleştirildi [1]. 1920-1980MHz frekans aralığı, 100Hz veya 250Hz tarama sıklıklarında 1s süresince tarandı. Alıcı ve verici anten yükseklikleri sırasıyla 2.5m ve 46m'dir. Kullanılan antenler, dik kutuplanmalı yönsüz antenlerdir. Ölçüm sistemine ve ölçümlere ilişkin ayrıntılı bilgi [1]'de bulunabilir.

Sürekli dalga frekans modülasyonunda, ölçüm yapılan frekans aralığı zamanda doğrusal olarak taranır. Bu yöntemde algılayıcı çıkışı, farklı frekansta sinüslerin toplamı biçimindedir. Bu sinüslerin frekansı, yankı gecikmelerine; genlikleri ise yankı genliklerine karşılık gelir. Dolayısı ile algılayıcı çıkışındaki sinyalin tayf analizi yapılarak kanalın yankı profili bulunabilir.

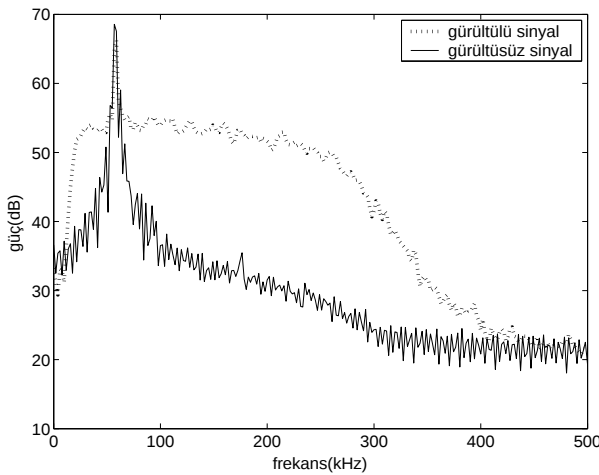
2.1. Bant İçi Girişimin Etkisi

Şekil 1 a,b ve c'de bant içi girişimin sinyale olan etkisi görülmektedir. Bu etki, 9580-9680 veri aralığında sinyalin genliğindeki değişim olarak yansımaktadır. 5500-6000 veri aralığı ise, bant içi girişimin etkisinin görülmediği periyodik bir sinyali göstermektedir.



Şekil 1.a. Tek tarama için sinyalin zamanla değişimi
b. Bant içi girişimin olmadığı (gürültüsüz) sinyal aralığının zamanla değişimi
c. Bant içi girişimin olduğu (gürültülü) sinyal aralığının zamanla değişimi

Şekil 2'de ise, bant içi girişimin olduğu (kesikli çizgi) ve bant içi girişimin olmadığı (bütün çizgi) veri aralıkları için ortalama yankı profilleri gösterilmiştir. Yankı profillerinin elde edilmesinde FFT kullanılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi, bant içi girişimin olduğu veri için gürültü tabanı yaklaşık 20dB yükselmiştir. Frekans tepesinde 200kHz'den sonraki genlik azalması, veri toplama ünitesindeki alçak geçiren süzgecin etkisidir. 25kHz'den önceki genlik azalması ise, sayısal işaret işlemede kullanılan yüksek geçiren süzgecin bir sonucudur. Bunlar da göz önünde bulundurulduğunda girişimin oldukça geniş bir bandı etkilediği söylenebilir ve dar bantlı gürültü bastırma yöntemlerinin kullanışsız olduğu açıktır.



Şekil 2. Bant içi girişimin olduğu ve bant içi girişimin olmadığı veri aralıkları için ortalama yankı profili

3. Prony Yöntemi

Prony yönteminde, modellenen sinyal geçiş işlevi, $H(z) = B(z)/A(z)$ olan doğrusal zamanla değişmeyen dizgenin birim vuruş tepkesine eşit olacağı varsayılır. Burada, dizge geçiş işlevi,

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N}} \quad (1)$$

biçiminde tanımlanır. Burada b_i 'ler pay katsayılarını, a_i 'ler ise payda katsayılarını simgelemektedir ve dizge girişi $v(n) = \delta(n)$ birim vuruş sinyalidir. Birim vuruş tepkisi $h(n)$, $H(z)$ nin ters-z dönüşümüdür. (1) eşitliğinde ters z dönüşümü alındığında

$$h(n) + a_1 h(n-1) + \dots + a_N h(n-N) = b_0 \delta(n) + b_1 \delta(n-1) + \dots + b_M \delta(n-M) \quad (2)$$

elde edilir ve matris olarak

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_M \\ \dots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(0) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h(1) & h(0) & 0 & \dots & 0 \\ h(2) & h(1) & h(0) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h(M) & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h(M+1) & \vdots & \vdots & \vdots & h(M+1-N) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & h(K) & \vdots & \vdots & h(K-N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

biçiminde yazılabilir. Burada, a_i ve b_i katsayılarını hesaplamak amacıyla, matrisi parçalara ayırırsak, bu bağıntı

$$\begin{bmatrix} b \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 & \vdots & H_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ a \end{bmatrix} \quad (4)$$

biçimini alır. O halde, sırasıyla a_i ve b_i katsayıları

$$a = -H_2^{-1} h_3$$

$$b = H_1 a \quad (5)$$

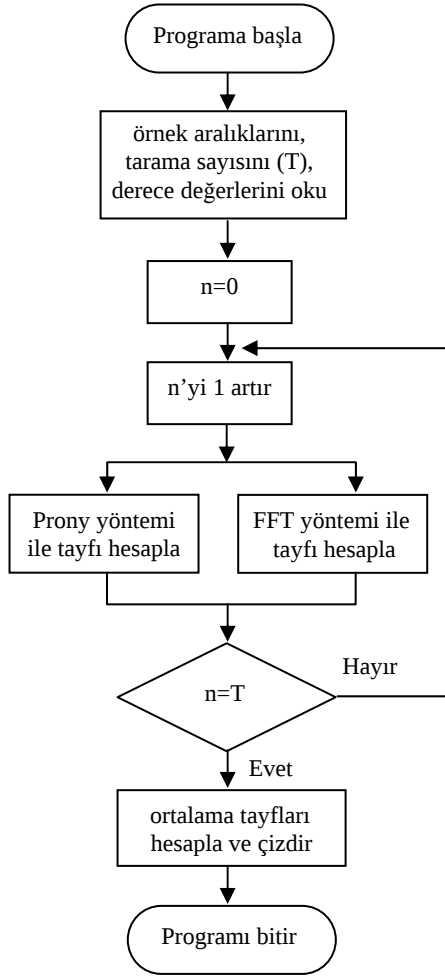
eşitlikleri çözülerek bulunur.

3.1. Ön Süzgeçlemeli Prony Yöntemi

[4]'teki çalışmada, Prony yöntemi uygulanmadan önce sinyal bandının bir FIR süzgeci ile sadece enerjinin olduğu frekans aralığına sınırlamanın Prony yöntemi ile elde edilen tayftaki başarıyı iyileştirdiği belirtilmiştir. Prony yönteminde kullanılan ön süzgeçleme, sinyal bandı dışındaki enerjiyi azaltarak bu frekanslarda oluşabilecek yalancı tepeleri önler. Süzgecin geçirme bandını belirlemek için sinyal tayfı FFT ile bulunur. Sinyal, FIR süzgeçten geçirildikten sonra Prony yöntemi ile tayfı bulunur.

4. Sinyal İşleme

Bant içi girişimin etkisinin incelenmesi için yazılan programın akış diyagramı şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Yankı profillerini elde etmek için yazılan programın akış diyagramı

Prony modellemeye kullanılan ana aşamalar aşağıdaki gibidir:

1. Verilerdeki DC bileşeni yok et
2. Bant geçiren süzgeç uygula
3. Derece sayısını kullanılan veri sayısının yarısı olarak seç ve Prony modelleme ile a ve b katsayılarını belirle
4. Zaman düzleminde modellenmiş veriyi elde etmek için (3)'te bulunan dizgenin birim vuruş tepkesini, $h(n)$, hesapla
5. Yankı profilini bulmak için (3)'te bulunan dizgenin frekans tepkesini $H(e^{j\omega})$ birim çemberin üst yarısında 512 eşit aralıklı nokta üzerinde hesapla

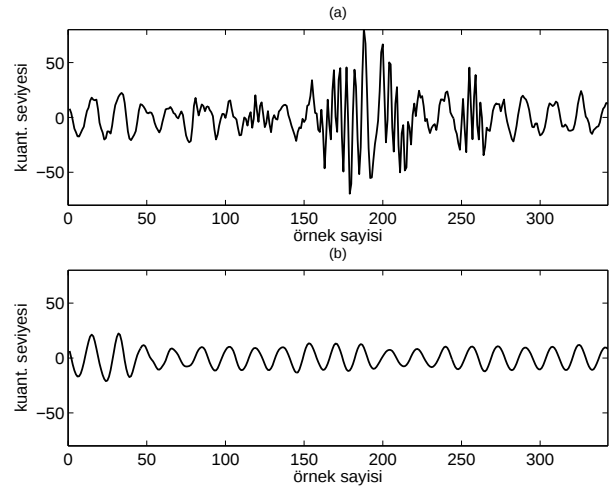
Girişimin olduğu kısmı kapsayan 350 noktalı örnek aralığı sinyal işlemede kullanılmıştır. Prony yöntemi için derece, örnek sayısının yarısı kadar seçilmiştir. (1) eşitliğinde payın

derecesi, 1 seçildiğinde (AR modelleme) gürültü tabanı yeteri kadar aşağıya çekilmemiştir ve frekans bileşeninin gücü olduğundan çok zayıf çıkmıştır. Bu nedenle bu çalışmada payın derecesi 1'den büyük seçilmiştir (ARMA modelleme). Ancak payın derecesi, örnek sayısının 1/4'ünden büyük seçildiğinde yalancı yankılar belirmiştir.

Bu çalışmada, iki farklı konumdan toplanılan veriler kullanıldı. Bu verilerden ilki az yankılı, diğeri ise çok yankılı kanal verisidir. Az yankılı olan veride az gürültülü hatta temiz sayılabilecek taramalar vardır. Bu verinin kullanılma nedeni, zaman düzleminde Prony modellemenin gürültü bastırmadaki başarımını daha iyi göstermesidir. Diğer kanal verisi ise daha çok yankının olduğu veridir. Çok yankılı bu kanal için, taramaların tamamı oldukça gürültülüdür.

5. Bulgular

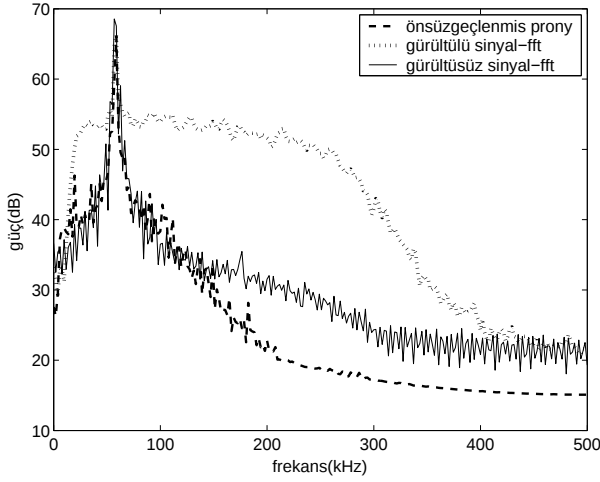
Şekil 4.a'da, bant içi girişim olan verinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu verinin Prony yöntemi ile modellenmesi sonucu ise, şekil 4.b'de sunulan sinyal elde edilmiştir. Her iki şekilde de, genlik seviyeleri eşit seçilerek gürültünün etkisi net olarak gösterilmek istenmiştir. Modelenmiş sinyal daha temizdir ve şekil 4.a'da görüldüğü gibi herhangi bir bozulma bulunmamaktadır.



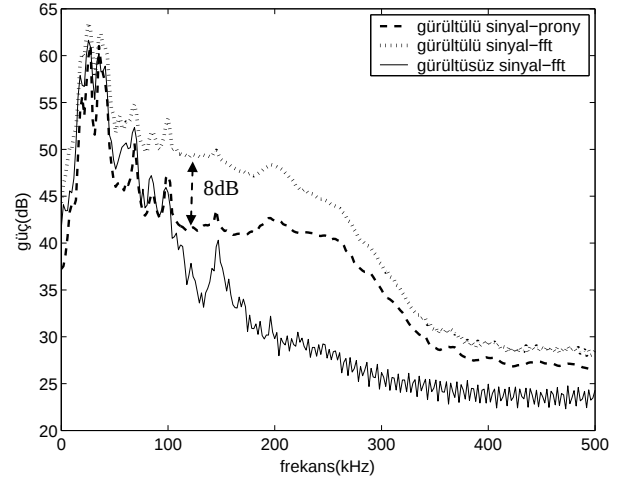
Şekil 4.a. Tek tarama için bant içi girişim olan sinyalin zamanla değişimi

b. Girişimin olduğu sinyalden ön-süzgeçlemeli Prony modelleme ile elde edilen sinyal

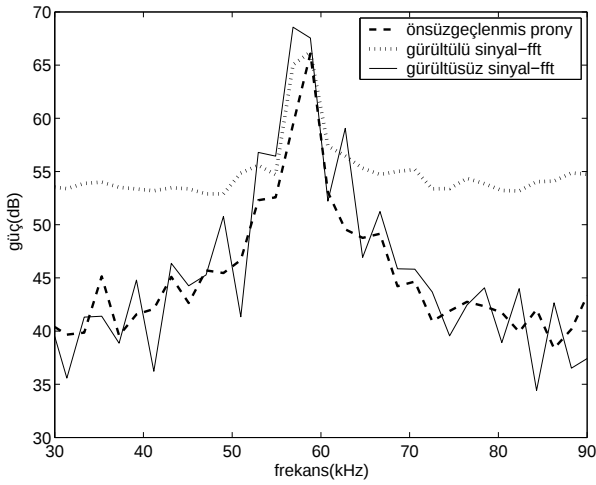
Şekil 5'te az yankılı bir kanalda elde edilen veriler kullanılarak, sinyalin yankı profili hem FFT yöntemi (noktalı çizgi) hem de Prony yöntemi (kesikli çizgi) ile çizdirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla gürültüsüz veri aralığı için olan ortalama yankı profili de (bütün çizgi) sunulmuştur. Şekilden de görüleceği gibi, girişim nedeni ile yükselen gürültü tabanı (noktalı çizgi), Prony modelleme ile girişimsiz aralık için olan gürültü tabanı seviyesine çekilmiştir. Bu grafiğin 30-90 kHz aralığının yaklaşmış biçimi şekil 6'da verilmiştir. Görüldüğü gibi, yüksek güç değerindeki $f=58$ kHz frekans bileşeni ayırt edilmiştir. Ancak, daha düşük güç seviyesi olan 54 kHz ve 62kHz frekans bileşeni ayırt edilememiştir. Buradan, Prony yönteminin, gürültü tabanını azaltırken, güçlü bir yankının yakınındaki zayıf yankıları çözemediği sonucuna varılabilir.



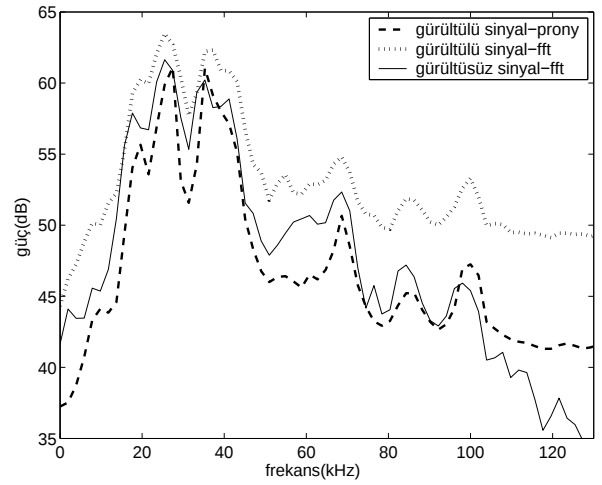
Şekil 5. Prony yöntemi kullanılarak elde edilen yankı profili



Şekil 7. Prony yöntemi kullanılarak elde edilen yankı profili



Şekil 6. Şekil 5'in 30-90 kHz frekans aralığındaki yankı profili



Şekil 8. Şekil 7'nin 0-130 kHz frekans aralığındaki yankı profili

Çok yankılı bir kanal verisi kullanılarak şekil 7'deki tayflar çizdirilmiştir. Burada, Prony yöntemi ile elde edilen yankı profilinde gürültü tabanının, FFT'ye göre 8dB azaldığı görülür. Bununla birlikte, şekil 8'de sinyalin tepe değerinin 3dB azaldığı görülür. Buna rağmen, en güçlü yankıya göre gürültü tabanında yaklaşık 5dB'lik bir iyileşme vardır. Prony yöntemi kullanılarak var olan tüm frekans bileşenleri elde edilmiştir. Az yankılı kanal verisi için Prony modelleme ile gürültü tabanında iyileşme 15dB'den fazladır (Şekil 5). Aradaki bu farkın nedeni olarak az yankılı veride kayda değer sayıda az gürültülü taramaların varlığı gösterilebilir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, SDFM yayını verilerindeki bant içi girişim Prony yöntemi ile bastırıldı. Gürültü seviyesinin çok yoğun olmadığı durumda, Prony yönteminin başarımı artmıştır. Elde edilen sonuçlar, FFT yönteminin yetersiz kaldığı band-içi-girişimli sinyaller için, Prony yönteminin kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, işlem basitliği ve hız bakımından FFT yöntemi daha iyidir.

7. Kaynaklar

- [1] Salous S., Gokalp H., "Medium- and large-scale characterization of UMTS-allocated frequency division duplex channels". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 56, no. 5, pg: 2831-2843, 2007.
- [2] Shearman E.D.R., Unsal R.R., "Compatibility of high frequency radar remote sensing with communication". *Proc. Of the international conf. on Radio spectrum conservation techniques, IEE*. 1980.
- [3] Salous S., "Measurement of multipath delay statistics over 72-90 MHz bandwidth at 1.8GHz in two European cities using a Chirp sounder", *Radio Science*, vol. 34, no.4, pg 797-816, 1999.
- [4] Kumerasan R., Feng Y., "FIR prefiltering improves Prony's method", *IEEE Trans. On Signal Processing*, Vol.39, No.3, pp.736-741, March1991.