

11
152
114

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Güç Spektrumu Kestirimi

Yüksek Lisans Tezi

Dilek Biçki

1991

Ref
EHM
243
1991

R 152
114

ELK.
25.000 R

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

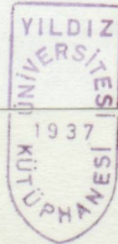
MÜH. DİLEK BİÇKİ

İSTANBUL, 1991

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 152
114
Alındığı Yer : FEN. BİL. ENS.
Tarih : 16.04.1992
Fatura : - - - - -
Fiyatı : 25.000.₺
Ayniyat No : 1/2
Kayıt No : 48325
UDC : 621.3 378.242
Ek :

+



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Değerli Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mustafa Özgür
Çalışmalarına Katkıda Bulunmak İçin Sayın Prof. Metin
Yılmaz'a Teşekkür ederim.

GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MÜH. DİLEK BİÇKİ



İSTANBUL, 1991

Değerli önerileri ve yapıcı eleştirileriyle
çalışmalarına katkıda bulunan hocam Sayın Prof.Metin
Yücel'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖZET -----	IV
SUMMARY -----	V
KISALTMALAR -----	VI
BÖLÜM 1.GİRİŞ -----	1
1.1.GÜÇ SPEKTRUMU -----	1
1.2.TARİHÇE -----	2
1.3.SPEKTRAL ANALİZİN UYGULAMA ALANLARI -----	4
BÖLÜM 2.SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİ -----	10
2.1.SPEKTRAL YOĞUNLUĞUN TANIMI -----	10
2.2.SONLU UZUNLUKLU DATALARIN GÜÇ SPEKTRUMU -----	15
2.2.1.ÖZİLİŞKİ FONKSİYONUNUN KESİLMESİ:PENCERELEME --	17
2.2.2.SPEKTRUM HESAPLAMASINDA KULLANILAN PENCERE TÜRLERİ -----	23
2.3.GELENEKSEL YÖNTEMLER -----	28
2.3.1.BLACKMAN-TUKEY -----	28
2.3.2.PERIODOGRAM -----	29
2.4.AR PSD KESTİRİMİ -----	32
2.5.MA PSD KESTİRİMİ -----	34
2.6.ARMA PSD KESTİRİMİ -----	36
BÖLÜM 3.DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR -----	37

3.1.GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ İÇİN PERİODOGRAM

YÖNTEMİ ----- 37

3.2.GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ İÇİN İLİŞKİ YÖNTEMİ ----- 58

3.3.AR PSD KESTİRİMİ ----- 84

BÖLÜM 4.TARTIŞMA VE SONUÇ ----- 101

KAYNAKÇA ----- 106

ÖZGEÇMİŞ ----- 107

ÖZET

Ayrık örneklenmiş deterministik ve stokastik işlemlerin güç spektral yoğunluğu veya kısaca spektrum kestirimi, genellikle Hızlı Fourier Dönüşümü'nü (FFT) kullanmaya dayanır. Spektrum analizinde bu yaklaşım, çoğu sinyal işlemleri için iyi sonuçlar verir. Avantajlarına rağmen FFT yaklaşımının bazı sınırlamaları vardır. En belirgin sınırlama frekans çözülmesinde görülür. FFT yaklaşımı, iki veya daha fazla sinyalin spektral tepkilerini ayırmada fazla etkili değildir. İkinci bir sınırlama, datanın pencerelemesindedir. Pencereleme kendini spektral domeynde bir sızıntı olarak gösterir, yani; spektral tepkinin ana kulakçığındaki (main lobe) enerji, yan kulakçıklara (side lobes) sızar ve var olan spektral tepkiyi bozar. FFT yaklaşımındaki bu olumsuzluklar özellikle kısa data kayıtları ile çalışılırken ortaya çıkar.

FFT tekniğinin bu dezavantajlarını azaltmak için son yirmi yılda birçok spektral kestirim yöntemleri geliştirilmiştir. AR PSD kestirimi bunlardan biridir.

Bu tezde, FFT yaklaşımına dayalı periodogram ve özilişki yöntemleri ve AR spektral kestirim yöntemine ilişkin çalışmalar yapılmıştır.

SUMMARY

PSD Estimation of the power spectral density or simply the "spectrum", of discretely sampled deterministic and stochastic processes is usually based on procedures employing the Fast Fourier Transform. This approach to spectrum analysis produces reasonable results for a large class of signal processes, but there are several performance limitations of the FFT approach. The most prominent limitation is that of frequency resolution. It isn't efficient to distinguish the spectral responses of two or more signals. A second limitation is due to the implicit windowing of the data that occurs when processing with the FFT. Windowing shows itself as "leakage" in the spectral domain. i.e. energy in the main lobe of a spectral response leaks into the side lobes, distorting other spectral responses that are present. These two performance limitations of the FFT approach are particularly troublesome when analyzing short data records.

In attempt to alleviate the inherent limitations of the FFT, many spectral estimation procedures have been proposed within the last two decades. AR PSD, is one of these.

In this thesis, periodogram, correlation and AR spectral analysis techniques are discussed.

KISALTMALAR

PSD	Güç Spektral Yoğunluğu
ESD	Enerji Spektral Yoğunluğu
FFT	Fast Fourier Transformation (Hızlı Fourier Dönüşümü)
DFT	Descrete Fourier Transformation (Ayrık Fourier Dönüşümü)
MEM	Maksimum Entropi Metodu
BT	Blackman-Tukey
AR	Autoregressive
MA	Moving-Average
ARMA	Autoregressive Moving-Average
PHD	Pisarenko Harmonic Decomposition
LS	Least-squares(en küçük kareler)
SNR	Sinyal-Gürültü oranı

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. GÜÇ SPEKTRUMU:

Veri işleminin temel amaçlarından biri gözlemsel verilerin taşıdıkları bilgileri olabildiğince tam ve kusursuz olarak alabilmektir. Çoğu veri ise yapısı gereği taşıdığı bilgilere ek olarak gürültüler içerir. Bunlar bilgi taşıyan imleri az veya çok maskelerler. Bu da gözlemsel verinin taşıdığı bilgi imlerinin zaman veya uzaklık ortamında kolayca incelenmesini güçleştirir. Bunun için yapılması gereken işlem gürültünün bastırılıp, bilginin ortaya çıkarılması olacaktır. Bunun için de bir aktarım işleminin gerçekleştirilmesi gerekir. Aktarım verinin gözlemlendiği ortamda yapılabileceği gibi, bu ortamdan başka bir ortama aktarma biçiminde de düşünülebilir. Verinin zamanla değişmeyen bir operatör (işleç)'le aktarımı gözlemlendiği ortam içinde yapılabilir. Süzgeçleme ya da yuvarlatma olarak bilinen bu işlemin başarısı im ile gürültünün frekans bandlarının birbirine göre konumuna bağlıdır.

İm ile gürültünün farklı biçimde aktarıldığı aktarma işlemlerinden biri de ilişkilendirme işlemidir. İlişkilendirmede veri zaman ortamından, kayma zamanı ortamına aktarılmakta ve bu aktarma sırasında rastgele

gürültünün özilişkisi hızla azalmaktadır. Beyaz gürültü olma durumunda ise yalnızca sıfır kayma zamanında değışintisi büyüklüğünde bir değeri taşımaktadır. Gürültü içindeki imin bilinen bir im olması durumunda ise çapraz ilişkilendirme gürültüyü bastırabilmektedir.

Gürültüyü en çok etkileyen aktarım yöntemlerinden biri, verinin zaman ortamından frekans ortamına aktarımı işlemidir. Bu yolla elde edilen fonksiyonlara "spektrum" adı verilir.

Spektrumun sağladığı önemli yararlarından biri, verinin belirli bir fiziksel parametresinin aktarılabilmesidir. Örneğin verinin yalnız genlikleri frekans ortamına aktarılarak genlik spektrumu, yalnız faz bilgileri aktarılarak faz spektrumu elde edilir. Fourier Dönüşümünün özellikleri kullanıldığından bunlara Fourier Genlik Spektrumu, Fourier Faz spektrumu adları da verilir. Verinin enerjisinin ya da gücünün frekans ortamına aktarılması ile elde edilen spektruma enerji spektrumu veya güç spektrumu adı verilir.

1.2.TARİHÇE:

Fourier dönüşümünün tarihi bundan ikiyüz yıl öncesine kadar gider. Fourier analizine dayalı spektrum analizinin ortaya çıkışı "periodogram" terimini ilk kez kullanan

Schuster'e kadar gider. Sonraki adım, "genelleştirilmiş harmonik analiz" üzerine Norbert Wiener'in makalesinde tanımlanmıştır. Bu çalışma Fourier dönüşümü kullanarak stokastik işleme(süreç)'lerin davranışı için teorik bir çerçeve çiziyordu. (1930) Önemli bir sonucu bir rastgele işlemenin özilişki işlevinin ve rastgele işlemenin Fourier dönüşümü ile güç spektral yoğunluğu arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasıydı. Khinchin de Wiener'den bağımsız olarak benzer bir ilişki tanımladı. (1934)

Blackman ve Tukey, 1958'de bir yayınlarında örneklenmiş data(veri) dizileri kullanarak, Wiener'in güç spektral kestirimine özilişki fonksiyonu yoluyla yaklaşımına bir yorum getirdiler. Metod önce ölçülen data veya pencerelerden özilişki lag (gecikme)'lerini kestirir ve sonra PSD kestirimini oluşturmak için pencerelenmiş gecikme kestirimlerinin Fourier dönüşümünü alır.

BT yaklaşımı 1965'te FFT algoritmasının ortaya çıkışına kadar en popüler spektral kestirim tekniğiydi. Genel olarak "Cooley ve Tukey" olarak da bilinen bu algoritma PSD kestiriminde, periodogram yaklaşımına yeni bir yorum getirdi.

Geleneksel FFT spektral kestirimi, verinin Fourier serisi modeline dayanır. Burada işlemenin harmonik olarak

ilişkili bir sinusoid'ler dizisinden oluştuğu varsayılır. Diğer modeller mühendislik dışı alanlarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yule ve Walker ekonomik zaman dizilerinde tahmin eğilimleri için AR modellerini kullandılar. Baron de Prony gaz kimyasında bir deneyden elde edilen veriye üssel modeller uydurmak için basit bir yöntem oluşturdu. Diğer modeller de istatistik ve nümerik analiz alanlarında ortaya çıktı. Bu yüzden bu yöntemler de spektral kestirim tekniklerinin

Geleneksel olmayan spektral kestirim tekniklerinin kullanımı 1960'lerde başladı. Parzen 1968'de AR spektral kestirimini ortaya koydu. Ondan bağımsız olarak 1967'de Burg maksimum entropi metodunu ortaya çıkardı. Bir boyutlu MEM, AR PSD kestirici (estimator)'a eşit olarak Van den Bos tarafından çıkarıldı. Prony'nin metodunda, AR kestirim algoritmalarına matematiksel benzerlikler gösterir. Son zamanlardaki bir araştırma alanı da ARMA modelidir. ARMA modeli AR modelinin bir genellemesidir. PHD, özel bir ARMA modeline dayalı spektral kestirim tekniğine bir örnektir.

1.3. SPEKTRAL ANALİZİN UYGULAMA ALANLARI:

Çoğu mühendislik ve bilim işaret işleme sistemleri için gizlenmiş tekrarların (periyotların) algılanması ve kestirimi önemli bir görevdir. Bir işlemenin doğal osilasyon (salınım) özellikleri onun fiziksel

karakteristikleri ile yakından ilgili olduğu için güç spektrumu, onun yapısı hakkında en iyi bilgiyi verir. Özellikle bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle Spektral Analiz geniş uygulama alanlarında etkin bir araç olmuştur. Aşağıda bazı örnekler sıralanmıştır.

SPEECH PROCESSING (SES İŞLEME):

Fiziksel olarak ses dalgaları, sinusoidal olarak titreşen dizilerdir. Bu yüzden güç spektrumu ses davranışı için en doğal yoldur. Teknik olarak insan sesiyle üretilen bir tonun frekans ayrışımı ayrıktır. Çünkü vokal bağlarda titreşimin sadece sonlu dizisi mevcuttur. Bununla beraber pratik durumlar bu kadar basit değildir. Ses sinyali zamanla yavaş değişen bir değişintiye sahiptir (quasi-stationarity). Diğer problem geçici (süreksiz) bölümlerden gelir, bu bölümler çok kısa süreye sahiptir ve güç spektrumu hemen hemen beyazdır. Yine de faydalı spektral örüntüler mevcuttur. Sesin tanınması yeniden üretilmesi veya bastırılması için yeterli kullanılabilir bilgi vardır.

Ses ile ilgili spektral kestirimlerin çoğu gerçek zamanda yapılmalıdır. Bu uygulama son zamanlarda oldukça yaygınlaşmıştır ve sadece bu amaçla ilgili IC'ler vardır. (Kullanılan band genişliği 20-20000 Hz)

IMAGE PROCESSING (GÖRÜNTÜ İŞLEME):

Görüntü işlemede spektral analiz, bulanıklığı yok etme, yeniden elde etme, algılama ve özellikle uydu resimlerinin yazılımında kullanılır. Ses sinyaline benzer olarak görüntü sinyali de quasi-stationary'dir fakat aynı zamanda çoğu durumlarda iki boyutludur. Görüntü sinyali faz bağımlıdır ve bu güç spektrumuna yansımaz. Buna rağmen çoğu spektral analiz yöntemlerinin iki boyutlu türleri geliştirilmiştir. Örneğin, 2-boyutlu Max. Entropi metodu çok kullanılır. (Band genişliği birkaç MHz'dir.)

SONAR:

Sonar uygulamalarında temel problem fon (background) gürültüsünden bilinen(aktif sonar) veya bilinmeyen(pasif sonar) sonar'ı yeniden elde etmektir. Aktif sonarda bu algılanacak bilinen bir sinyalin yansımasıdır. Uyumlu filtreler kullanımına uygun değildir, çünkü dönen sinyal, Doppler etkisiyle bastırılmış veya genişletilmiş olabilir. Bu durum, frekans ortamında bir kaydırma işlemi olarak görüldüğünden, spektral analiz algılama (detection) için uygun bir şekilde kullanılır. Pasif sonarın prensibi, gelen sinyalde beklenmedik örüntü varlığını algılamaktır. Fon gürültüsünde, periyodik bir eleman bir savaş gemisinin

varlığını veya bir torpidonun sürücüleriyle üretilen sesi belirleyebilir.

Problem bir kez daha fon gürültüsünün beyaz spektrumunda belirgin bir tepe algılanmasıdır. (Band genişliği 20 KHz-300 KHz)

geli RADAR:

geni Radar uygulamaları sonara çok benzerdir. Bu kez sonik dalgalar yerine EM (elektromanyetik) dalgaları kullanılır. (Band genişliği =10 GHz. Sinyal süresi=1 μ sn.)

BIOMEDICINE (BİYOMEDİKAL):

1.EEG Electroencephalogram, insan beyinde elektriksel potansiyel farklarının grafiksel bir gösterimidir. EEG'nin salınım özellikleri ışık uyarımı veya gürültü gibi dış faktörlere ve yaşlılık uyuşukluğu veya yavaşlaması gibi iç faktörlere dayanır. Güç spektrumu, beyin hasarını belirleyen dominant(hakim) frekansı zayıflatarak teşhis için parametreleri türetmekte kullanılır. (Band genişliği 5-30 Hz)

2.Ultrasonik imaging (görüntüleme) çoğu zaman X ışınına tercih edilir. Çünkü özellikle ultrasonik görüntüleme radyasyonun nonionising bir şeklidir ve ayrıca hareketin ölçümüne olanak sağlar. (Örneğin; atardamarlardaki kan akışı, kan akış hızındaki anormallikler ve turbulans,

atardamar duvarlarının tıkanma durumunu gösterir.) (Band genişliği =6 Mhz'e kadar)

JEOFİZİK:

Jeofizikte temel prosedür, bir prosesin bir seri ölçümünü yapmak ve sonra bu veriyi fiziksel bir yorum getirmek için analiz etmektir. Güç spektrumu bu amaçla geniş ölçüde kullanılır. Böyle uygulamalara örnekler : toprak gel-git'lerinin analizi, gravitasyonel ve magnetik olarak potansiyel alanların analizi, yer rotasyonel alanlarının analizi v.b. Araştırma jeofiziği ve sismoloji spektral kestirimin farklı bir çeşidini kullanır. (Sismik araştırmada band genişliği 10-100 Hz. Deprem izlemede band genişliği 0.01-10 Hz.)

Yukarıda anlatılan mühendislik uygulamalarından başka time series (zaman dizileri) analizi ile ilgili çoğu bilim dalı spektral analizi kullanır. Bunlara örnekler:

EKONOMETRİ:

Stok fiyatlarının analizi.

ÇEVRE ARAŞTIRMALARI:

İklimsel değişimlerin analizi, oşinografide dalga hareketi analizi, aylık güneş lekeleri sayımı.

RADYO ASTRONOMİ:

Kutup ışıklarına ait sinyallerin analizi.

EKOLOJİ: SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİ

Böceklerin nüfus analizi v.b.

Geleneksel spektrum analizinin temellerini oluşturmak için, zamanla sürekli bir fonksiyonu olan deterministik bir sinyal olarak $x(t)$ ile ifade edilebilir. $x(t)$ integrali alınabilir bir fonksiyondur ve sinyal enerjisi E sonludur.

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (2.1.1)$$

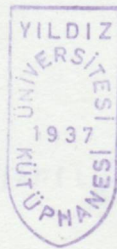
$x(t)$ 'nin sürekli Fourier dönüşümü $X(f)$, aşağıdaki gibidir:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.1.2)$$

$X(f)$ 'nin Fourier dönüşümünün eşleniği, tersi spektrum $S(f)$ olarak elde edilir:

$$S(f) = |X(f)|^2 \quad (2.1.3)$$

Bu ilişki, dönüştürme ifade eden Parseval teoremi olarak da bilinir.



BÖLÜM 2. SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİ

2.1. SPEKTRAL YOĞUNLUĞUN TANIMI:

Geleneksel spektrum analizinin temellerini özetlemek için, zamanın sürekli bir fonksiyonu olan deterministik bir analog dalga şekli $x(t)$ 'yi ele alalım. $x(t)$, integrali alınabilir bir fonksiyondur ve sinyal enerjisi E , sonludur.

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |X(t)|^2 dt < \infty \quad (2.1.1)$$

$x(t)$ 'nin sürekli Fourier dönüşümü $X(f)$, aşağıdaki gibidir.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.1.2)$$

$x(t)$ 'nin Fourier dönüşümünün, modül karesi spektrum $S(f)$ olarak adlandırılır.

$$S(f) = |X(f)|^2 \quad (2.1.3)$$

Enerjinin korunumunu ifade eden Parseval teoremine göre,

$$\int_{-\infty}^{\infty} |X(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \quad (2.1.4)$$

Zaman domeyni sinyal enerjisi, frekans domeyni dönüşümünün enerjisine eşittir. $S(f)$ enerji spektral yoğunluğu, frekansın bir fonksiyonu olarak enerjinin dağılımını ifade eder. Eğer $x(t)$ sinyali $-\infty < n < \infty$ için bir ayrık $x_n = x(n\Delta t)$ dizisi üretmek üzere eşit yerleşmiş Δt aralıklarında örneklenirse, örneklenmiş dizi orijinal zaman fonksiyonu $x(t)$ 'nin ve eşit yerleşmiş Delta Dirac fonksiyonlarının sonsuz bir kümesinin çarpımı olarak gösterilebilir.

Bu çarpımın Fourier dönüşümü dağılım teorisi kullanılarak şöyle yazılabilir.

$$\begin{aligned} X'(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \delta(t-n\Delta t) \cdot \Delta t \right] e^{-j2\pi f t} dt \\ &= \Delta t \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \cdot e^{-j2\pi f n\Delta t} \end{aligned} \quad (2.1.5)$$

(2.1.5) ifadesi (2.1.2)'nin bir dikdörtgen integrasyon yaklaşımıdır. Δt faktörü, $\Delta t \rightarrow 0$ iken (2.1.2) ve (2.1.5) ifadeleri arasındaki integralli alanın korunumunu sağlar. $x(t)$ band sınırlı ve bütün frekans

bileşenleri $-1/(2\Delta t) \leq f \leq 1/(2\Delta t)$ Hz aralığında oldukça (2.1.5) ifadesi, bu aralık üzerinde (2.1.2)'nin, $X(f)$ dönüşümüne özdeş değerde olacaktır.

Böylece band-sınırlı bir işlemeden örneklenen data için sürekli enerji spektral yoğunluğu (2.1.6), (2.1.3) ifadesine özdeş olacaktır.

$$S(f) = |X(f)|^2 \quad (2.1.6)$$

Eğer $n = 0$ 'dan $n = N-1$ 'e kadar sadece sonlu bir zaman penceresi üzerinden data dizisi alınabilirse ve $m=0,1,\dots,N-1$ için $f=m\Delta f$ frekanslarında örnekler alarak N değerleri için dönüşüm ayrıkklanabilirse, benzer şekilde (2.1.5) ifadesinden ayrık Fourier dönüşümü (DFT) gerçekleştirilebilir. ($\Delta f = 1/N\Delta t$).

$$\begin{aligned} x_m &= \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi m \Delta f n \Delta t} \\ &= \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi mn/N} \quad m=0,1,\dots,N-1 \text{ için} \end{aligned} \quad (2.1.7)$$

(2.1.7) ve onun ters dönüşümü, N ile periyodiktir. Böylece (2.1.7)'yi kullanarak, orijinal sürekli data periyodik olmamasına rağmen ayrık data ve ayrık dönüşüm

değerlerine periyodik bir genişleme sağlanır. Böylece bir ayırık ESD, $0 \leq m \leq N-1$ için de şöyle tanımlanabilir.

$$S_m = |X_m|^2 \quad (2.1.8)$$

Ayrık S_m ve sürekli $S'(f)$ her ikisinde periodogram, spektral kestirimleri olarak tanımlanır. Yine de, S_m ve $S'(f)$ $m = 0, 1, \dots, N-1$ için $f = m/N\Delta t$ de hesaplandığında özdeş değerler vermezler. S_m aslında, data örnekleri içeren, dikdörtgen pencere dönüşümlü $X(f)$ 'in evrişiminden (konvolüsyon) tanımlanan bir spektrumun örneklenmiş bir çeşididir. Sonlu bir data kümesine dayalı ayırık spektrum S_m , sonsuz bir data kümesine dayalı sürekli spektrum $S'(f)$ 'in bozulmuş bir çeşididir.

$X(t)$ işlemesi(süreci) deterministik, sonlu enerjili bir dalga şeklinden çok geniş anlamda durağan, stokastik bir işleme olduğunda başka bir açıdan ele alınmalıdır. Böyle süreçlerin enerjisi genellikle sonsuzdur. (2.1.2) ifadesindeki integraller normalde bir stokastik işleme için mevcut değildir. Durağan rastgele işleme için özilişki fonksiyonu,

$$R_{xx}(\tau) = E \left[x(t+\tau) \cdot x^*(t) \right] \quad (2.1.9)$$

spektrum analizi için temeldir. Wiener-Khinchin teoremi, güç spektral yoğunluğu $P(f)$ 'e, $R_{xx}(\tau)$ 'nin Fourier dönüşümüyle yaklaşır.

$$P(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) \cdot e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2.1.10)$$

Pratikte istatistiksel özilişki fonksiyonu her zaman bilinmez. Bunun için rastgele işlemenin ilk ve ikinci momentlerde ergodik olduğu varsayımı yapılır. Bir ergodik işleme için, istatistiksel özilişki işlevi şöyle yazılır.

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t+\tau) \cdot x^*(t) dt \quad (2.1.11)$$

(2.1.11)'i kullanarak (2.1.10) ifadesi şöyle yazılabilir:

$$P(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left\{ \frac{1}{2T} \left| \int_{-T}^T x(t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt \right|^2 \right\} \quad (2.1.12)$$

$R_{xx}(\tau)$ 'nin ergodik özelliği Fourier dönüşümüyle bağdaşmadığından beklenti operatörü gereklidir. (2.1.12)'de beklendik değeri olmayan limit istatistiksel bir anlamda değildir.

Eğer (2.1.12) beklenti ve sınırlama operasyonları

dikkate alınmadan sonlu data kümelerine uygulanırsa bazı zorluklar çıkabilir. Eğer istatistiksel ortalama yapılmazsa, istatistiksel olarak kararsız kestirimler oluşur. Örneğin; T sınırsız arttıkça güç spektral yoğunluğunun değışintisi 0'a gitmez.

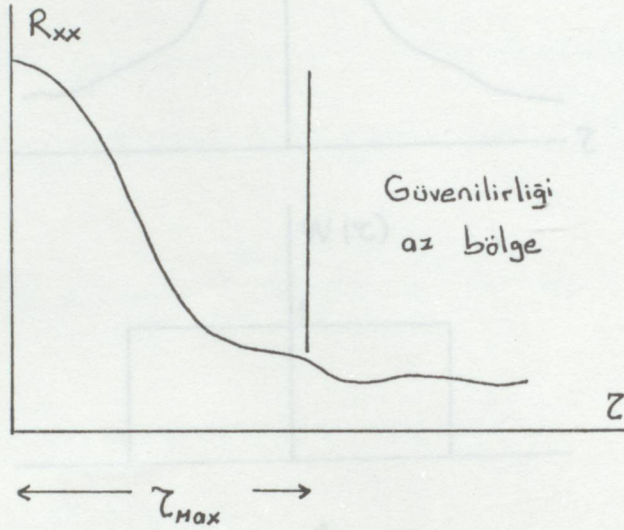
Kay 2.2. SONLU UZUNLUKLU DATALARIN GÜÇ SPEKTRUMU:

Sonlu uzunluktaki ayrik dataların güç spektrumlarının hesaplanmasında integrallerin, toplama çevrilmesi gerekir. Integral τ kayması üzerinde ve τ 'nin $-\infty$ ile $+\infty$ değeri arasında alınmaktadır. Ancak, uygulamada özilişki, sonlu bir τ_{Max} kaymasına dek hesaplanmaktadır. Özilişki fonksiyonunun çift olması nedeniyle integral yalnızca pozitif kaymalar üzerinde hesaplanarak iki katı alınabilir. Buna göre özilişki fonksiyonunun $\Delta\tau$ aralıklarla hesaplanması durumunda ayrik değeri $R(m\Delta\tau)$ $m=0,1,\dots,N-1$ şeklinde gösterilebilir. Buna göre verilen bir frekanstaki ayrik güç spektrumu,

$$P(f) = 2\Delta\tau \left[R(0) + 2 \sum_{m=1}^{N-1} R(m) \cdot \cos 2\pi f m \right] \quad (2.2.1)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Burada m , kayma sayacını $R(0)$, sıfır kayma değeri için özilişkiyi göstermektedir ve

ortamında kesme nedeni ile oluşan süreksizlik, frekans ortamında dalgalanmalara neden olur.

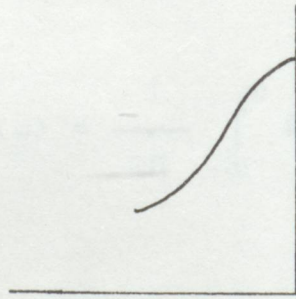
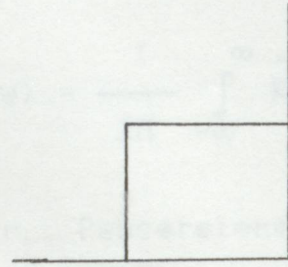
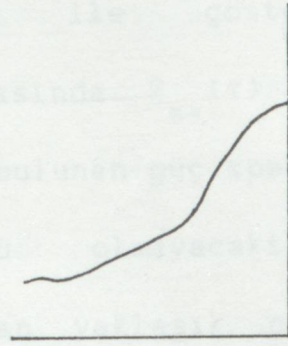


Şekil.1. Güç spektrumu hesaplamasında özilişki fonksiyonunun %10-15'lik kısmı kullanılır. Güvenilir olmayan kesim kesilip atılır.

2.2.1. ÖZİLİŞKİ FONKSİYONUNUN KESİLMESİ: PENCERELEME

Uygulamada belirli bir τ_{Max} uzunluklu özilişki fonksiyonunun alınma zorunluluğu, özilişki fonksiyonunun kesilmesine neden olmaktadır. Bu kesme işlemi, matematiksel olarak özilişki fonksiyonunu dikdörtgen biçimli bir pencere fonksiyonu ile çarpmaya eşdeğerdir.

(Şekil 2)



Şekil 2. Özilişki fonksiyonu a) Dikdörtge fonksiyonu b) Dikdörtge fonksiyonu

Dikdörtgen pencere değerleri 1, bunun dışı kesilmiş özilişki fonksiyonu

$$\hat{R}_{xx}(\tau) = R_{xx}(\tau) \cdot W_I$$

bağıntısı ile gösterilebilir ve güç spektrumu hesaplamasında $R_{xx}(\tau)$ yerine $\hat{R}_{xx}(\tau)$ kullanılmalıdır. Böylece bulunan güç spektrumu da doğal olarak gerçek güç spektrumu olmayacaktır. Pencerelemiş özilişkiden hesaplanan yaklaşık güç spektrumu $\hat{P}(w)$ ile gösterilirse,

$$\hat{P}(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{R}_{xx}(\tau) \cdot e^{-jw\tau} d\tau \quad (2.2.3)$$

olacaktır. Pencerelemiş özilişkiyi (2.2.3) ifadesinde yerine koyarsak,

$$\hat{P}(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) \cdot w_D(\tau) \cdot e^{-jw\tau} d\tau \quad (2.2.4)$$

bulunur.

Zaman ortamındaki çarpma işlemi frekans ortamında evrişime dönüşür. $R_{xx}(\tau)$ 'nin Fourier dönüşümü gerçek güç spektrumuna eşittir. Dikdörtgen pencere ile kesilmiş verinin güç spektrumu,

$$\hat{P}(w) = P(w) \otimes W_D(w)$$

olacaktır. Frekans ortamındaki bu evrişim işleminin iki önemli sonucu vardır:

i) Evrişim işlemi bir kayan ortalama işlemi olduğundan, spektrum yuvarlatılmaktadır. Yuvarlatmanın derecesi pencerenin band genişliğine bağlıdır.

ii) Pencere fonksiyonunun spektrumundaki yan salınımlar nedeniyle oluşan enerji sızmaları spektrumu olumsuz etkiler.

Dikdörtgen pencere matematiksel olarak;

$$w_D(\tau) = \begin{cases} 1 & |\tau| \leq \tau_{Max} \\ 0 & |\tau| > \tau_{Max} \end{cases} \quad (2.2.5)$$

ile tanımlanabilir. Dikdörtgen pencerenin Fourier dönüşümü,

$$W_D(w) = F[w_D(\tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} w_D(\tau) \cdot e^{-jw\tau} d\tau = \int_{-\tau_{Max}}^{\tau_{Max}} 1 \cdot e^{-jw\tau} d\tau$$

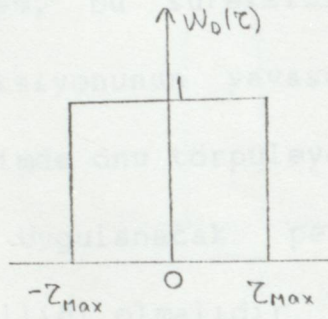
$$= \frac{e^{-jw\tau}}{-jw} \Big|_{-\tau_{Max}}^{\tau_{Max}} = \frac{1}{-jw} \left(e^{-jw\tau_{Max}} - e^{jw\tau_{Max}} \right)$$

$$W_D(w) = 2\tau_{Max} \cdot \frac{\sin w\tau_{Max}}{w\tau_{Max}} \quad (2.2.6)$$

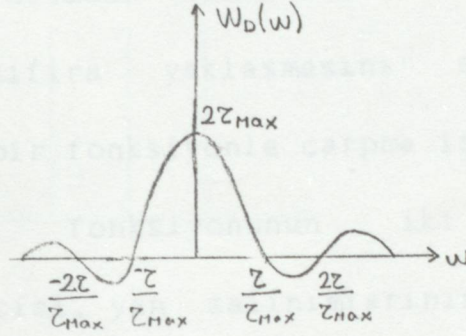
$$\text{ya da } W_D(w) = 2\tau_{Max} \cdot \text{sinc}(w\tau_{Max}) \quad (2.2.7) \text{ dir.}$$

Buna göre sonlu uzunluklu verinin güç spektrumu,

$$\hat{P}(w) = P(w) \otimes 2\tau_{\text{Max}} \cdot \text{sinc}(w \tau_{\text{Max}}) \text{ olur.}$$



(a)



(b)

Şekil.3

Sinc fonksiyonunun değişimi incelenirse (Şekil 3.b.), ana bölme genliği $2\tau_{\text{Max}}$ olan, yan bölme genlikleri giderek azalan bir fonksiyon elde edilir. Bunun gerçek spektrum ile evrişimi sırasında yan bölmelerin sıfırdan farklı genlikleri ile çarpılan enerji, ana bölme içindeki enerjiye sızmış olur.

Özilişki fonksiyonunun dikdörtgen pencere ile kesilmesinin getirdiği bu sorun güç spektrumu kestiriminin önemli bir problemidir. Bu sorunu gidermek, yani pencerenin yan bölmelerinin etkilerini en aza indirip gerçek güç spektrumuna yakın spektrum elde etmek için çeşitli araştırmacılar değişik pencere fonksiyonları önermişlerdir.

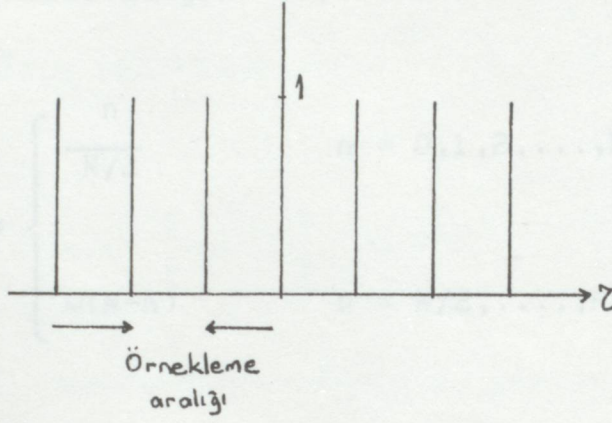
Güç spektrumu kestirimlerinde sorun, özilişki fonksiyonunun kesilmesi ile ortaya çıkan süreksizlikten kaynaklanmaktadır. Diğer pencere fonksiyonlarında yapılan işlem, bu süreksizliği ortadan kaldıracak ve özilişki fonksiyonunun yavaşça sifıra yaklaşmasını sağlayacak biçimde onu törpüleyecek bir fonksiyonla çarpma işlemidir.

Uygulanacak pencere fonksiyonunun iki önemli özelliği olmalıdır. Birincisi, yan salınımlarının genliği olabildiğince küçük bir pencere olmalı, ikincisi ise ana bölme band genişliği fazla olmamalıdır.

Fakat bu iki özellik birbiriyle ters orantılı olarak değişir. Yani yan salınımlar azalırken band genişliği artar. Bu yüzden, birinden kazanç sağlanırken, diğerinden ödün verme zorunluluğu vardır. Yan salınımlar azaldıkça daha doğru spektrum elde edilebilir, fakat buna karşılık band genişliği arttıkça spektrum daha da yuvarlatılmış olur.

Dikdörtgen pencerenin incelenmesinde verinin ve pencerenin sürekli fonksiyonlar olduğunu varsaydık. Buna karşın, sonlu uzunluklu verilerin güç spektrumlarının hesaplanmasında özilişki fonksiyonu ayırık kayma değerlerinde hesaplanmakta ve buna bağlı olarak da pencere fonksiyonu da işleme ayırık olarak girmektedir. Ayırık

dikdörtgen pencere Şekil 4. deki gibi sonlu uzunluklu bir tarak fonksiyonu biçimindedir.



Şekil.4. Ayrık dikdörtgen pencere fonksiyonu

Ayrık dikdörtgen pencerenin Fourier dönüşümü, yani frekans penceresi,

$$W_D(w) = e^{jw\Delta\tau/2} \frac{\sin(Nw\Delta\tau/2)}{\sin(w\Delta\tau/2)} \quad (2.2.8)$$

ile verilir. Burada $\Delta\tau$ örnekleme aralığı, N nokta sayısıdır.

2.2.2. SPEKTRUM HESAPLAMASINDA KULLANILAN ÇEŞİTLİ PENCERE TÜRLERİ

1. ÜÇGEN PENCERE (BARTLETT PENCERESİ)

Sonlu uzunlukta özilişkiden güç spektrumu hesaplamasında karşılaşılan sorunları ilk tartışanlardan

biri Bartlett olmuştur. Bartlett, özilişki fonksiyonunun üçgen biçimli bir fonksiyonla törpülenmesinin yan salınım etkilerini azaltacağını düşünerek,

$$W(n) = \begin{cases} \frac{n}{N/2} & n = 0, 1, 2, \dots, N/2 \\ w(N-n) & n = N/2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (2.2.9)$$

şeklinde bir pencere önermiştir. Bu ayırık pencere fonksiyonunun Fourier dönüşümü,

$$W(w) = \frac{2}{N} e^{-j(N/2-1)w\Delta\tau} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{4}w\Delta\tau\right)}{\sin\left(\frac{w\Delta\tau}{2}\right)} \right]^2 \quad (2.2.10)$$

ifadesidir.

Üçgen pencerenin yan salınımları dikdörtgen pencereye göre çok daha aşağıya indirilmiştir. Buna karşılık ana bölmenin ilk sıfırı dikdörtgen pencerede Π/τ_{Max} değerinde iken, üçgen pencerede $2\Pi/\tau_{\text{Max}}$ frekansındadır. Üçgen pencerenin ana bölme band genişliği dikdörtgen pencerenin iki katıdır. Bu durum güç spektrumunun daha da fazla yuvarlatılmasına neden olur. Yan bölme genlikleri

küçültülmüş olmakla beraber band genişliği iki katına çıkmaktadır.

II. KOSİNÜS PENCERESİ :

$$W(n) = \sin^{\alpha} \left[\frac{n}{N} \Pi \right] \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.2.11)$$

biçimindeki pencerelere kosinüs penceresi adı verilir. Burada α 'nın değişik değerleri için çeşitli pencereler elde edilir. En yaygın olarak kullanılanlardan biri $\alpha = 2$ durumudur ve Hann penceresi adını alır.

III. HANN PENCERESİ :

$$W(n) = \sin^2 \left[\frac{n\Pi}{N} \right] = 0.5 \left[1 - \cos \left(\frac{2n}{N} \Pi \right) \right]$$

$$n=0, 1, \dots, N-1 \text{ için} \quad (2.2.12)$$

Bu pencerenin ayrık Fourier dönüşümü ,

$$W(\theta) = 0.5 D(\theta) - 0.25 \left[D \left(\theta - \frac{2\Pi}{N} \right) + D \left(\theta + \frac{2\Pi}{N} \right) \right]$$

$$(2.2.13)$$

ile verilir. Burada $D(\theta)$;

$$D(\theta) = e^{j\theta/2} \frac{\sin [(N/2)\theta]}{\sin [\theta/2]} \quad (2.2.14)$$

(2.2.8) ile tanımlanan ayrik dikdörtgen pencerenin Fourier dönüşümüdür. Bu durumda Hann penceresi üç dikdörtgen pencerenin toplamından oluşmaktadır. Uygulamada (2.2.13) bağıntısında $\theta = \omega\Delta t$ veya $\theta = 2\pi f\Delta t$ koymak gerekir.

Hann penceresinin band genişliği, üçgen pencere gibi dikdörtgenin iki katıdır, fakat yan bölme genlikleri daha da bastırılmıştır.

IV. HAMMING PENCERESİ:

Kosinüs penceresinin başka özel bir biçimi de Hamming penceresidir. Bu pencere ayrik değerlerde,

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos \left(\frac{2\pi n}{N} \right)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \text{ için} \quad (2.2.15)$$

ile verilir. Hann penceresinden farkı, katsayılarıdır.

V. BLACKMAN PENCERESİ:

Kosinüs pencerelerinin en genel biçimi,

$$w(n) = \sum_{m=0}^{N/2} (-1)^m a_m \cos \left[\frac{2\pi}{N} mn \right] \quad n=0,1,\dots,N-1 \quad (2.2.16)$$

ile gösterilebilir. Bağlantıda yer alan katsayılar

$$\sum_{m=0}^{N/2} a_m = 1 \quad \text{olmalıdır.}$$

Genelleştirilmiş kosinüs pencerelerinden $a_0 = 0.42$, $a_1 = 0.50$, $a_2 = 0.08$ katsayıları için elde edilen pencereye Blackman penceresi adı verilir. Bu pencere üçgen, Hann ve Hamming pencerelerine göre yan bölmeleri çok daha bastırılmış bir pencere fonksiyonudur. Buna göre,

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos \left(\frac{2\pi}{N} n \right) + a_2 \cos \left(\frac{2\pi}{N} 2n \right) - a_3 \cos \left(\frac{2\pi}{N} 3n \right)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2.2.17)$$

bağintısında a_0 , a_1 , a_2 katsayıları yerine konularak pencere fonksiyonu kolayca hesaplanabilir. Bu fonksiyon ile özilişki fonksiyonunun çarpımı, pencerelenmiş özilişki fonksiyonunu verecektir.

2.3. GELENEKSEL YÖNTEMLER:

Fourier dönüşümü işlemlerine dayalı iki spektral kestirim tekniği geliştirilmiştir. Özilişki fonksiyonu yoluyla güç spektral yoğunluğu kestirimi Blackman ve Tukey tarafından ortaya atılmıştır. Data üzerinde Fourier dönüşümü işlemlerine dayalı bir diğer kestirim yöntemi de Periodogram olarak adlandırılır.

2.3.1. BLACKMAN-TUKEY:

Sonlu bir data dizisiyle, sadece sonlu sayıda ayırık özilişki fonksiyonu değerleri veya gecikmeleri (lag) kestirilebilir. Blackman-Tukey, özilişki lag kestirimlerine $\hat{R}_{xx}(m)$, dayanan aşağıdaki spektral kestirimi önermişlerdir.

$$\hat{P}_{BT}(f) = \Delta t. \sum_{n=-M}^M \hat{R}_{xx}(m). e^{-j2\pi f m \Delta t} \quad (2.3.1)$$

Burada $-1/(2\Delta t) \leq f \leq 1/(2\Delta t)$ dir. ve $\hat{P}_{BT}$ kestirimi ifade eder. Bu spektral kestirim (2.1.10) Wiener-Khinchin ifadesinin ayırık zaman türüdür. (2.1.11) ifadesine dayalı benzer bir özilişki kestirimi, $M \leq N-1$ ve $m=0,1,\dots,M$ için bayaslanmamış estimator (kestirici),

$$\hat{R}_{xx}(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} \cdot x_n^* \quad (2.3.2) \text{ dir.}$$

Negatif lag kestirimleri, pozitif lag kestirimlerinden şu şekilde tanımlanır.

$$\hat{R}_{xx}(-m) = \hat{R}_{xx}^*(m) \quad (2.3.3)$$

(2.3.2) ifadesi yerine, Jenkins-Watts ve Parzen $m=0, \dots, M$ için

$$\hat{R}_{xx}^*(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} \cdot x_n^* \quad (2.3.4)$$

ile tanımlanan özilişki fonksiyonunun kullanımı için argümanlar oluşturmuşlardır. Bu çok sayıda sonlu data dizileri için (2.3.2) ifadesinden daha az ortalama-kare hatasına sahiptir.

$$E[\hat{R}_{xx}^*(m)] = [(N-m)/N] \cdot R_{xx}(m)$$

olduğundan, $\hat{R}_{xx}^*(m)$, bir bayaslanmış estimator'dür. Ortalama değer özilişki fonksiyonunun üçgen pencere veya Bartlett ağırlığıdır.

2.3.2. PERIODOGRAM:

Spektrum analizinde doğrudan bir yöntem de Schuster'in periodogram yönteminin modern bir türüdür.

(2.1.12) ifadesinin bir örneklenmiş data türü

$$\hat{P}_{PER}(f) = \frac{1}{N\Delta t} \left| \Delta t \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j2\pi f n \Delta t} \right|^2 \quad (2.3.5)$$

ifadesidir ki burada ölçülen data sadece $x_0, \dots, x_{N-1}$ örnekleri için vardır ve frekans aralığı $-1/(2\Delta t) \leq f \leq 1/(2\Delta t)$ dir. (2.1.12)'deki beklenti işlemi bir an için ihmal edilmiştir. FFT'nin kullanımıyla $\Delta f = 1/N\Delta t$ ve $m=0,1,\dots,N-1$ için eşit yerleşmiş $f_m = m\Delta f$ Hz frekanslarının N adet ayırık kümesinde (2.3.5)'in çözümü sağlanır.

$$\hat{P}_m = \hat{P}_{PER}(f_m) = \frac{1}{N\Delta t} |x_m|^2 \quad (2.3.6)$$

Burada x_m , (2.1.7)'nin ayırık Fourier dönüşümüdür. $\hat{P}_m$, (2.1.8) ifadesindeki enerji spektral yoğunluğu S_m 'e, özdeşdir. Yalnızca, güç spektral yoğunluğu elde etmek için $N\Delta t$ saniye zaman aralığıyla bölme gereklidir. İşlemedeki toplam güç, $\hat{P}_{PER}$ in dikdörtgen integrasyonu yaklaşımına dayanır.

$$GÜÇ = \sum_{m=0}^{N-1} \hat{P}_m \cdot \Delta f \quad (2.3.7)$$

Eğer Δf faktörü $\hat{P}_m$ 'de konursa,

$$\begin{aligned}\hat{P}_m &= \hat{P}_m \cdot \Delta f = \frac{1}{(N\Delta T)^2} \cdot |x_m|^2 \\ &= \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j2\pi mn/N} \right|^2\end{aligned}\quad (2.3.8)$$

Bu, periodogram olarak hesaplanan değerdir, fakat güç spektral yoğunluğu olarak uygun şekilde ölçeklenemez. (2.3.8) ifadesinde güç spektral yoğunluğu, çizgi altındaki alandan ziyade PSD çizgisindeki tepe değeridir ve o da varsayılan periyodik sinyalin gücüne eşittir.

Genel olarak, $\hat{P}_{BT}(f)$ ve $\hat{P}_{PER}(f)$ spektral kestirimleri özdeş değildir. Bununla beraber, (2.3.3) ifadesindeki bayaslanmış özilişki kestirimi kullanılırsa ve data örnekleri olarak ($M = N-1$) mümkün olduğu kadar çok lag hesaplanırsa, BT ve periodogram kestirimleri özdeş sayısal sonuçlar verir. Böylece periodogram, BT'nin özel bir durumu olarak kabul edilebilir.

Özet olarak; geleneksel BT ve periodogram yaklaşımları şu avantajlara sahiptir:

a) Eğer sadece birkaç lag gerekliyse BT, veya eğer FFT kullanılıyorsa periodogram yöntemi hesapsal olarak yeterlidir.

b)PSD kestirimi sinusoidal işlemler için güçle doğru orantılıdır.

c)Bazı uygulamalar için iyi bir modeldir.

Bu tekniklerin dezavantajları:

a)Güçlü yan bölmelerle, zayıf sinyalin ana bölmesi bastırılır.

b)Frekans çözülmesi, datanın karakteristiklerinden veya SNR'ından bağımsız, data kayıt süresiyle sınırlıdır.

c)Spektrumda yan bölme sızıntılarından dolayı bozulmalar oluşur.

d)İstatistiksel olarak uygun periodogram spektrasi oluşturmak için ensemble averajına ihtiyaç vardır.

e)Bazı özilişki dizi kestirimleri kullanıldığında, Δt yaklaşımıyla negatif PSD değerleri oluşabilir.

2.4. AR PSD KESTİRİMİ:

AR(Autoregressive) spektrum analizi, maksimum entropi spektral analizi olarak da adlandırılır ve örneklenmiş bir işleme için güç spektral yoğunluğu kestiriminde periodogram yöntemine alternatif bir yöntem olarak popüler olmuştur. 0 dB'den daha büyük sinyal gürültü oranları (SNR) için AR PSD kestirimi, periodogram kestirimlerinden daha iyi frekans çözülmesine sahiptir. AR spektral kestirimlerinde,

periodogram spektral analizinde doğal olan yan bölme sızıntı etkileriyle oluşan bozulmalar da görülmez. Kısa data kayıtları için AR modeli iyi spektral kestirimler verir.

Bir işleme için, özilişki fonksiyonunun $M+1$ lag'i biliniyorsa Levinson-Durbin algoritmasını kullanarak Yule-Walker normal denklemlerini çözmekle M adet AR parametresi oluşturulabilir. Algoritma M^2 ile orantılı bir dizi işlem gerektirir.

Data örneklerinden AR parametrelerini kestirmek için birçok teknik vardır. En basit yaklaşım, önce data ile özilişki lag'lerini kestirmek ve sonra kestirilmiş lag'leri kullanarak Levinson recursion uygulamaktır. Bu yaklaşım nadiren kullanılır çünkü, doğrudan AR parametre kestirim yöntemleri ile daha iyi çözümleme yapılabilir. Eğer bayaslanmamış özilişki kestirimleri kullanılırsa, normal denklemlerin çözümünde sayısal hatalar olabilir. Bayaslanmamış özilişki kestirimleri, hata olasılığını düşürür fakat AR spektral çözümlemeyi bozabilir ve spektral tepelerin gerçek yerlerinden kaymasına neden olur. Kayma etkisi frekans kestirim bayası olarak ifade edilir. Bu tekniğin nadiren kullanılmasının bir diğer nedeni de spektral line splitting olayıdır. Spektral line splitting,

AR kestiriminde, bir spektral tepe bulunması gerekirken iki veya daha fazla yanyana yerleşmiş tepenin oluşmasıdır. Yule-Walker tekniğinde spektral line splitting'in nedenleri Kay ve Marple tarafından incelenmiştir.

AR parametre kestirimi için en popüler yaklaşım Burg algoritmasıdır. Bu algoritma N adet data örneğinden M adet kestirilmiş AR parametresi elde etmek için (LS) en küçük kareler kestirimini önerir. AR parametre kestirimleri Levinson recursion'ı sağlamalıdır. Burg algoritması NM çarpımıyla orantılı işlemler gerektirir.

Burg algoritmasına dayalı AR spektral kestirimlerde, AR spektrumunun Yule-Walker kestirimlerinde gözlenen aynı problemler ortaya çıkar. Burg algoritmasıyla oluşturulan AR spektrumundaki spektral line splitting problemi ilk olarak Fougere et al tarafından incelenmiştir.

Burg algoritmasıyla ilgili ikinci bir problem, Yule-Walker durumunda olduğu gibi spektral tepelerin pozisyonundaki bayaslanmadır.

2.5. MA (MOVING AVERAGE) PSD KESTİRİMİ:

MA işlemesi, transfer fonksiyonu sadece sıfırlar içeren ve girişi bir beyaz gürültü işlemesi olan bir filtrenin çıkışından elde edilen bir stokastik işlemedir.

$$x_n = \sum_{m=0}^q b_m \cdot n_{n-m} \quad (2.5.1)$$

$$E[n_n] = 0 \quad E[n_{n+m} \cdot n_n^*] = \sigma^2 \cdot \delta_m$$

$$\text{Burada } \delta_m = \begin{cases} 1 & m=0 \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Buna göre, q mertebeli bir MA işleminin özilişki fonksiyonu,

$$R_{xx}(k) = \begin{cases} \sigma^2 \cdot \sum_{i=0}^{q-k} b_i \cdot b_{i+k}^* & k = 0, 1, \dots, q \\ 0 & k > q \end{cases} \quad (2.5.2)$$

Böylece eğer özilişki fonksiyonunun $(q+1)$ lag'i biliniyorsa (2.5.2) nonlinear denklem takımını çözerek q .nuncu mertebe MA işleminin parametreleri tanımlanabilir. Bununla beraber, eğer sadece bir spektral kestirim isteniyorsa MA parametreleri için çözüme gerek yoktur, fakat sadece özilişki fonksiyonunu tanımlamak gerekir ki, bu da BT spektral kestirimine eşittir.

$$P_{MA}(f) = \sum_{m=-q}^q R_{xx}(m) \cdot e^{-j2\pi f m \Delta t} \quad (2.5.3)$$

2.6. ARMA PSD KESTİRİMİ: VE SÖZGÜLER

ARMA modeli bir x_n zaman serisinin beyaz gürültü ile sürülen bir p kutup ve q sıfır filtresinin çıkışı olarak modellenebileceğini varsayar.

$$x_n = - \sum_{k=1}^p a_k x_{n-k} + \sum_{k=0}^q b_k n_{n-k} \quad (2.6.1)$$

$R_{nn}(k) = \sigma^2 \delta_k$ ve $b_0 \equiv 1$ 'dir. Filtrenin p kutupları, z düzleminde birim daire içinde varsayılır. Filtrenin sıfırları, z düzleminde herhangi bir yerde olabilir.

ARMA(p,q) modelinin parametreleri tanımlandıktan sonra spektral kestirim aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$P_{ARMA}(f) = P_x(f) = \left| H(e^{j2\pi f \Delta t}) \right|^2 P_n(f) \quad (2.6.2)$$

$$= \frac{\sigma^2 \Delta t \left| 1 + \sum_{k=1}^q b_k e^{-j2\pi f k \Delta t} \right|^2}{\left| 1 + \sum_{k=1}^p a_k e^{-j2\pi f k \Delta t} \right|^2}$$

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

3.1. GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ İÇİN PERIODOGRAM YÖNTEMİ:

Bir $x(n)$ dizisi, $P_{xx}(w)$ ile gösterilen bir güç spektrumuna sahiptir. Periodogram spektrum kestirimi, $x(n)$ 'in uygun bir segmanını $0 \leq n \leq N-1$ için, L uzunluğunda K adet üstüste binen (overlapping) segmana bölerek elde edilir. Bu durumda segmanlar $L/2$ örnekle üstüste binerler ve segmanların toplam sayısı

$$K = \lceil (N-L/2)/(L/2) \rceil$$

olur. $[x]$, x 'in tamsayı kısmını gösterir. Datanın i 'ninci segmanı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$x_i(n) = x(iL/2+n).w_d(n)$$

$$0 \leq n \leq L-1, \quad 0 \leq i \leq K-1 \quad (3.1.1)$$

Burada $w_d(n)$, L uzunluklu bir data penceresidir (dikdörtgen, Hamming, v.b.). Pencerelemiş $x_i(n)$ segmanlarının M -uzunluklu ($M \geq L$) DFT'si

$$X_i(k) = \sum_{n=0}^{M-1} x_i(n).e^{-j2\pi kn/M}$$

$$0 \leq k \leq M-1, \quad 0 \leq i \leq K-1 \quad (3.1.2)$$

bir FFT algoritması kullanarak hesaplanır. (Eğer $L < M$ ise, $x_i(n)$ dizisi $M-1$ sıfır değerli örneklerle artırılır.

$$S_i(k) = |X_i(k)|^2 \quad 0 \leq k \leq M-1, \quad 0 \leq i \leq K-1 \quad (3.1.3)$$

periodogramlarının $2\pi k/M$ normalize radyan frekansında spektrum kestirimi elde etmek için ortalamaları alınır.

$$S_{xx}(2\pi k/M) = \frac{1}{KU} \sum_{i=0}^{K-1} S_i(k) \quad 0 \leq k \leq M-1 \quad (3.1.4)$$

Burada U,
$$U = \sum_{n=0}^{L-1} w_d^2(n) \quad (3.1.5)$$

U, spektrum kestiriminin bayaslanmamış olması için gereklidir. $S_{xx}(2\pi k/M)$ 'in beklendiği değeri,

$$E[S_{xx}(2\pi k/M)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_{xx}(\theta) \cdot W(2\pi k/M - \theta) d\theta \quad (3.1.6)$$

Spektrum yuvarlatma penceresi,

$$W(w) = \frac{1}{U} |W_d(w)|^2, \quad (3.1.7)$$

Burada $w_d(n)$, data pencere dizisinin Fourier dönüşümüdür.

$$W_d(w) = \sum_{n=0}^{L-1} w_d(n) \cdot e^{-jwn} \quad (3.1.8)$$

$S_{xx}(2\pi k/M)$ spektrum kestiriminin varyansı,

$$\text{var}[S_{xx}(2\pi k/M)] \approx \frac{11}{9K} P_{xx}^2(2\pi k/M) \quad (3.1.9)$$

Spektrum penceresi $W(e^{j\omega})$ 'nin genişliği L ile ters orantılı olduğundan, spektrum kestiriminin varyansı K ile ters orantılıdır. $N = (K+1).(L/2)$ sabit ise, iyi frekans çözülmesi ve düşük varyans birbiriyle çelişen gerektirmelerdir.

PROĞRAMIN ÇALIŞMASI:

Proğram önce FFT boyutu, pencere tipi, pencere uzunluğu, data örneklerinin maksimum sayısı ve datanın örnekleme frekansı gibi parametreleri okur. Sonra datadan çıkarılacak ortalamayı hesaplar. (Bu işlem, spektrumun düşük frekanslı kısmının gözardı edilmemesi için yapılır.) Daha sonra uygun data için periodogramlar hesaplanarak Denklem 3.1.4'e göre toplanır.

Proğramın önemli bir özelliği de; $|X_i(k)|^2$ periodogramları bir zamanda iki kere hesaplanır. Eğer iki reel segman $x_i(n)$ ve $x_{i+1}(n)$ bir

$$x(n) = x_i(n) + jx_{i+1}(n) \quad (3.1.10)$$

dizisinin gerçel ve sanal kısımları olarak kullanılırsa aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$X(k)X^*(k) + X(M-k)X^*(M-k) = 2 [|X_i(k)|^2 + |X_{i+1}(k)|^2]$$

$$0 \leq k \leq M/2 \quad (3.1.11)$$

Burada $X(k)$ kompleks $x(n)$ dizisinin M-uzunluklu dönüşümüdür ve $x_i(k)$ ve $x_{i+1}(k)$ sırasıyla $x_i(n)$ ve $x_{i+1}(n)$ 'in M-uzunluklu ayırık Fourier dönüşümüdür. Böylece Denklem 3.1.1'in sol tarafı FFT hesaplamasından iki periodogram verir.

Programdaki son adım K.U ile normalize etme ve $20 \log_{10} [S_{xx}(2\pi k/M)]$ 'in hesaplanmasıdır.

$X(n)$ 'in özdeğişintisinin (otokovaryans) kestirimi de güç spektral kestiriminin ters DFT'si alınarak bulunur.

PROĞRAM PARAMETRELERİNİN TANIMI:

M = FFT uzunluğu. M, 2'nin kuvveti olmalıdır, ana programdaki maksimum MAXM değerine eşit veya ondan küçük olmalıdır.

IWIN = Kullanılan pencere tipi. Eğer IWIN = 1 ise dikdörtgen pencere, IWIN = 0 ise Hamming penceresi kullanılmıştır.

L = Pencere uzunluğu. M'e eşit veya küçük olmalıdır.

N = Analiz için uygun data örneklerinin maksimum sayısı. Data üzerine pencere fonksiyonu uygulanacağından N'in L/2 ile tam olarak bölünebilmesi gerekir. Böylece program sadece L uzunluğunda $NSECT = (N-L/2)/(L/2)$ üstüste binen

gösteren segmanlarını veya $NP = (NSECT + 1) \cdot (L / 2)$

örneklerini işler.

FS = Örnekleme frekansı. (Hz olarak) $FS = 2 \cdot W = 256$

Altyordam proğramı GETX, ana proğrama $x(n)$ değerlerini sağlar. Bu altyordamı çağıran, $CALL GETX(X, NRD, SS)$ komutundaki X, NRD, SS parametreleri,

X = $x(n)$ örneklerinin saklandığı dizi.

NRD = X dizisine okunacak $x(n)$ örneklerinin sayısı.

SS = $x(n)$ 'in başlangıç örnek sayısı. Yani $x(SS)$ 'den $x(SS+NRD-1)$ 'e kadar olan örnekler GETX altyordamında

X dizisine okunur. SS bir kayan noktalı sayıdır ve maksimum esnekliği sağlar. İlk giriş örneği $x(1)$,

yani SS = 1 varsayılmıştır. $SS = 0$ $FS = 256$, $NRD = 8$,

Altyordam FFT kompleks, radix 2 bir FFT proğramıdır.

Bu altyordamı çağıran $CALL FFT(X, M, INV)$ komutundaki X, M, INV parametreleri,

M = FFT boyutu. (2'nin kuvveti olmalı)

X = M uzunluğundaki kompleks dizi.

INV = 0, düz FFT için

= 1, ters FFT için

ÖRNEKLER:

Örnek olarak, FS/10 frekanslı bir sinusoidin örneklerini

gösteren, bir $x(n) = \cos(2\pi n/10)$ dizisi alınmıştır.

ÖRNEK 1:

Bu örnek için parametreler, $M = 128$, $IWIN = 2$, $N = 256$, ve $FS = 10000$. 'dir.

256 uzunluğunda bir segman, her biri 64 uzunluğunda Hamming penceresi olan 7 bölmeye bölünmüştür ve 128-noktalı periodogramlar hesaplanmıştır.

ÖRNEK 2:

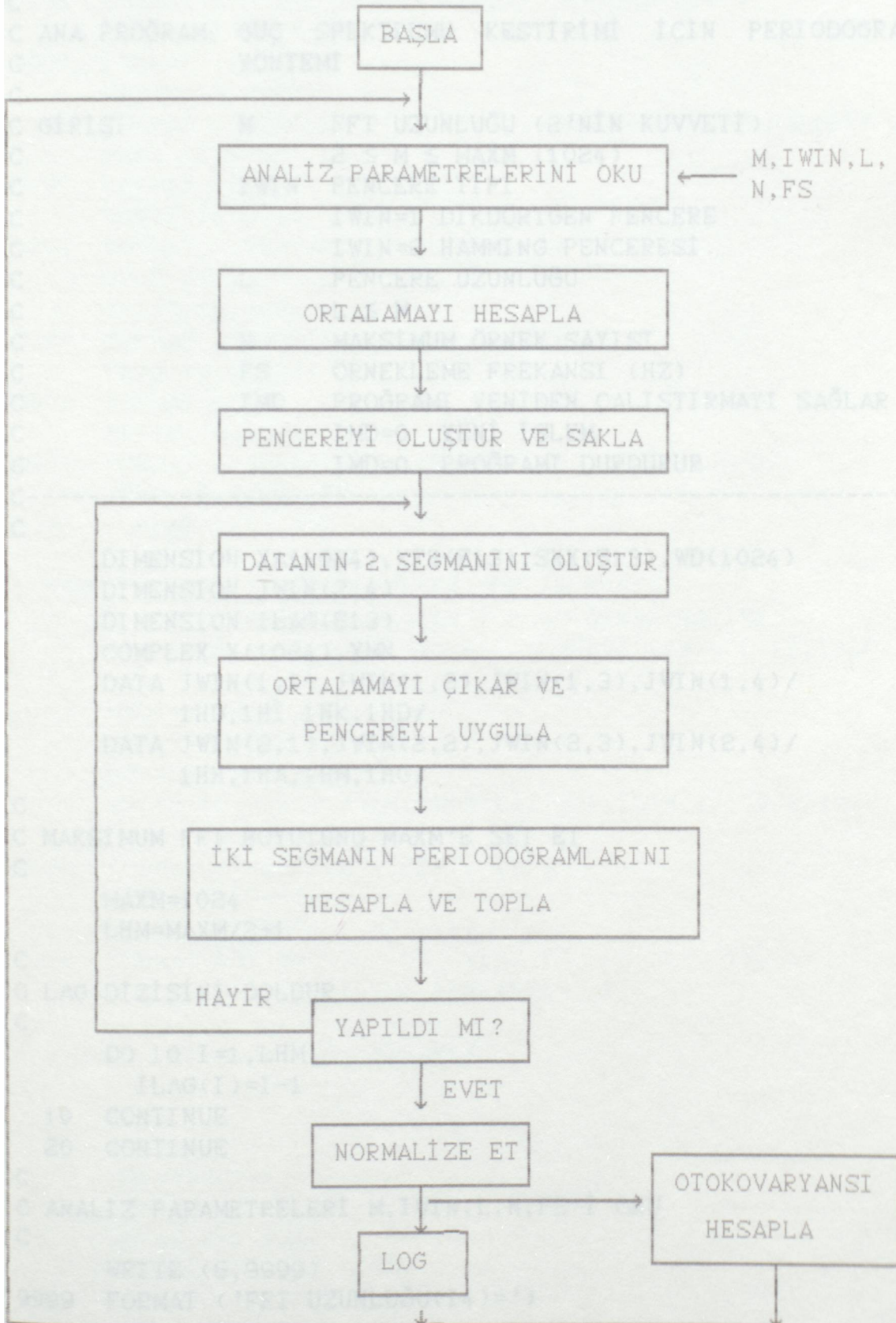
Bu örnek için parametreler, $M = 128$, $IWIN = 1$, $L = 64$, ve $FS = 10000$. 'dir. Birinci örnekten farkı sadece burada dikdörtgen pencere kullanılmasıdır.

ÖRNEK 3:

Bu örnek için parametreler, $M = L = 128$, $IWIN = 2$, $N = 256$, ve $FS = 10000$. 'dir.

Bu üç örnek için güç spektrumu ve otokovaryans kestirimlerinin sayısal değerleri sırasıyla Tablo 3.1.1, Tablo 3.1.2, ve Tablo 3.1.3'te verilmiştir.

Programın iş akış şeması aşağıdaki gibidir.




```

C      READ (5,9997) M
C-----
C 998  FORMAT (1'H ÇOK SUYUK-DEĞERİ YENİDEN GİR')
C ANA PROGRAM: GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ İÇİN PERİODOGRAM
C 997  FORMAT (YÖNTEMİ
C      WRITE (6,9995)
C GİRİŞ:      M      FFT UZUNLUĞU (2'NİN KUVVETİ)
C      READ (5,9993) 2 ≤ M ≤ MAXM (1024)
C 995  FORMAT (IWIN  PENCERE TİPİ
C      WRITE (6,9994) IWIN=1 DİKDÖRTGEN PENCERE
C 994  FORMAT (PENCE IWIN=2 HAMMING PENCERESİ
C      READ (5,997) L      PENCERE UZUNLUĞU
C      WRITE (6,9996) L ≤ M
C 993  FORMAT (N      MAKSİMUM ÖRNEK SAYISI
C      READ (5,999) FS      ÖRNEKLEME FREKANSI (HZ)
C 992  FORMAT (IMD      PROGRAMI YENİDEN ÇALIŞTIRMAYI SAĞLAR
C      WRITE (6,9991) IMD=0 YENİ İŞLEM
C 991  FORMAT (IMD=0      PROGRAMI DURDURUR)
C-----
C 990  FORMAT (F10.4)
C      DIMENSION XA(1024),XFR(513),SXX(513),WD(1024)
C      DIMENSION JWIN(2,4)
C      DIMENSION ILAG(513)
C      COMPLEX X(1024),XMN
C      DATA JWIN(1,1),JWIN(1,2),JWIN(1,3),JWIN(1,4)/
C          1HD,1HI,1HK,1HD/
C      DATA JWIN(2,1),JWIN(2,2),JWIN(2,3),JWIN(2,4)/
C          1HH,1HA,1HM,1HG/
C      WRITE (6,9989) JWIN(1,1),JWIN(1,2),JWIN(1,3),JWIN(1,4)
C 9989  FORMAT (PENCERE TİPİ=, 4A1)
C      MAXM=1024
C      LHM=MAXM/2+1
C 995  FORMAT (3H N=, I4, 5H NP=, I5, 4H L=, I4,
C      LAG DİZİSİNİ DOLDUR
C      DO 10 I=1,LHM
C          ILAG(I)=I-1
C      10 CONTINUE
C      20 CONTINUE
C      ANALİZ PARAMETRELERİ M,IWIN,L,N,FS'İ OKU
C      WRITE (6,9999)
C 9999  FORMAT ('FFT UZUNLUĞU(I4)=')

```



```

      READ (5,9997) M
      IF (M.GT.MAXM) WRITE (6,9998)
9998  FORMAT ('M ÇOK BÜYÜK--DEĞERİ YENİDEN GİR')
      IF (M.GT.MAXM) GO TO 20
9997  FORMAT (I4)
      WRITE (6,9996)
9996  FORMAT ('PENCERE TİPİ(I1) 1=DİKDÖRTGEN, 2=HAMMING')
      READ (5,9995) IWIN
9995  FORMAT (I1)
      WRITE (6,9994)
9994  FORMAT ('PENCERE UZUNLUĞU(I4)=')
      READ (5,9997) L
      WRITE (6,9994)
9993  FORMAT ('MAKSİMUM ÖRNEK SAYISI(I5)=')
      READ (5,9992)
9992  FORMAT (I5)
      WRITE (6,9991)
9991  FORMAT ('ÖRNEKLEME FREKANSI (HZ) (F10.4)=')
      READ (5,9990) FS
9990  FORMAT (F10.4)
C
C NSECT = ANALİZ BÖLMELERİNİN TOPLAM SAYISI
C NP = GERÇEKTE KULLANILAN TOPLAM ÖRNEK SAYISI
C NP = EĞER (N-L/2)/(L/2) BİR TAMSAYI İSE N'E EŞİTTİR
C
      MHLF=M/2+1
      NSECT=(N-L/2)/(L/2)
      NP=NSECT*(L/2)+L/2
      WRITE (6,9989) JWIN(IWIN,1),JWIN(IWIN,2),JWIN(IWIN,3)
      * JWIN(IWIN,4)
9989  FORMAT ('PENCERE TİPİ=', 4A1)
      WRITE (6,9989)
      WRITE (6,9988) M,NP,L,FS
9988  FORMAT (3H M=, I4, 5H NP=, I5, 4H L=, I4,
      * 20H ÖRNEKLEME FREKANSI=, F10.4)
C
C DATANIN ORTALAMASINI HESAPLA
C
      SS=1.
      XSUM=0.
      NS1=NSECT+1
      L1=L/2
      DO 40 K=1,NS1
          CALL GETX(XA,L,SS)
      DO 30 I=1,L1

```



```

        XSUM=XSUM+XA(I)
30    CONTINUE
        SS= SS+FLOAT(L1)
40    CONTINUE
        XMEAN=XSUM/FLOAT(NP)
        XMN=CMPLX(XMEAN,XMEAN)
        WRITE (6,9987)
9987  FORMAT (//)
        WRITE (6,9986) XMEAN
9986  FORMAT (12H X ORTALAMA=, E14.5)
C
C PENCEREYİ ÜRET
C
        U=FLOAT(L)
        IF (IWIN.NE.2) GO TO 60
        U=0.
        FL=FLOAT(L-1)
        TWOP=8.*ATAN(1.0)
        DO 50 I=1,L
            FI=FLOAT(I-1)
            WD(I)=.54-.46*COS(TWOP*FI/FL)
            U=U+WD(I)*WD(I)
50    CONTINUE
60    CONTINUE
C
C BİR ZAMANDA İKİ SPEKTRA OLUŞTUR
C
        SS=1.
        DO 70 I=1,MHLF1
            SXX(I)=0.
70    CONTINUE
C
C L/2 ÖRNEKLERİNİ OKU
C
        NRD=L/2
        L2=L/2+1
        CALL GETX(XA(L2),NRD,SS)
        SS=SS+FLOAT(NRD)
        IMN=L/2+1
        KMX=(NSECT+1)/2
        NSECTP=(NSECT+1)/2
        NRD=L
        DO 190 K=1,KMX
C
C XA BUFFER'İNİN ÜST YARISINA ATLA

```

C

```

      DO 80 I=1,L1
        J=L1+I
        X(I)=CMPLX(XA(J),0.)
80    CONTINUE
      IF (K.NE.KMX .OR. NSECTP.EQ.NSECT) GO TO 100
      DO 90 I=IMN,NRD
        XA(I)=0.0
90    CONTINUE
      NRD=L/2
100   CALL GETX(XA,NRD,SS)
      DO 110 I=1,L1
        J=I+L1
        X(J)=CMPLX(XA(I),XA(J))-XMN
        X(I)=CMPLX-REAL(X(I)),XA(I))-XMN
110   CONTINUE
      IF (K.NE.KMX .OR. NSECTP.EQ.NSECT) GO TO 130

```

C

C BÖLMELERİN TEK SAYISI--SIFIR ÇIKIŞI İKİNCİ KISIM

C

```

      DO 120 I=1,L
        X(I)=CMPLX-REAL(X(I)),0.)
120   CONTINUE
130   CONTINUE
      SS=SS+FLOAT(NRD)
      IF (IWIN.NE.2) GO TO 150
      DO 140 I=1,L
        X(I)=X(I)*WD(I)
140   CONTINUE
150   CONTINUE
      IF (L.EQ.M) GO TO 170
      LP1=L+1
      DO 160 I=LP1,M
        X(I)=(0.,0.)
160   CONTINUE
170   CONTINUE
      CALL FFT(X,M,0)
      DO 180 I=2,MHLF1
        J=M+2-I
        SXX(I)=SXX(I)+REAL(X(I)*CONJG(X(I))+X(J)*CONJG(X(J)))
180   CONTINUE
        SXX(1)=SXX(1)+REAL(X(1)*CONJG(X(1)))*2.
190   CONTINUE

```

C

C SPEKTRAL KESTİRİMİ NORMALİZE ET VE GÜÇ SPEKTRUMUNUN TERS

C FFT'SİNİ KULLANARAK KORELASYON FONKSİYONUNU OLUŞTUR

C 9980 FORMAT (4(C14,E10,3))

FNORM=2.*U*FLOAT(NSECT)

DO 200 I=1,MHLF1

9979 SXX(I)=SXX(I)/FNORM

X(I)=CMPLX(SXX(I),0.)

9978 J=M+2-I BASKA DATA-I=EVET,0=HAYIR)=1)

X(J)=X(I) TMD

200 CONTINUE DO 10 I=1,GO TO 20

CALL FFT(X,M,1)

DO 210 I=1,MHLF1

XA(I)=REAL(X(I))

210 CONTINUE

C

C KORELASYON KESTİRİMİ 1'DEN MHLF1'E KADAR XA'DADIR

C GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİNİN LOGARİTMASINI HESAPLA

C

XFS=FS/FLOAT(M)

DO 220 I=1,MHLF1

XFR(I)=FLOAT(I-1)*XFS

TMP=ALOG(SXX(I))

SXX(I)=20.*TMP

220 CONTINUE

C

C LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU (DB) SXX DİZİSİNDEDİR SINUS

C

WRITE (6,9987)

WRITE (6,9985)

9985 FORMAT ('LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU')

WRITE (6,9987)

WRITE (6,9984)

9984 FORMAT (5X,7HFREKANS, 7X,2HDB,5X,7XFREKANS,7X,2HDB, 21

* 5X,7HFREKANS,2HDB)

WRITE (6,9983) (XFR(I),SXX(I),I=1,MHLF1

9983 FORMAT (3(F9.3,F9.4)) PERAKSİ 1000 HZ VARSAYILAN

C

C KORELASYON FONKSİYONU XA DİZİSİNDEDİR

C

WRITE (6,9987)

WRITE (6,9982)

9982 FORMAT ('KORELASYON FONKSİYONU')

WRITE (6,9987)

10 WRITE (6,9981)

9981 FORMAT (1X,3HLAG,2X,4HCORR, 5X,3HLAG, 2X,4HCORR, 5X,

* 3HLAG, 2X,4HCORR,5X,3HLAG,2X,4HCORR)


```

C      WRITE (6,9980) (ILAG(I),XA(I),I=1,MHLF1)
9980  FORMAT (4(I4,E10.3))
C      WRITE (6,9987)
C      WRITE (6,9979)
9979  FORMAT (////)
C      WRITE (6,9978)
9978  FORMAT ('BAŞKA DATA(1=EYET,0=HAYIR)=')
      READ (5,9995) IMD
      IF (IMD.EQ.1) GO TO 20
      STOP
      END

C      X = N BOYUTLU KÖMPLEX DİZİ-- X, GİRİŞTE DÖNÜŞÜMÜ
C      ALINACAK DİZİYT. ÇIKIŞTA GİRİŞİN DFT'SİNİ İÇERİR.
C      N = HESAPLANACAK FFT BOYUTU--1 LE M LE 19 İÇİN N=2^M
C      INV = 0, İSE DÜZ DÖNÜŞÜMÜ (INV=0), 1 İSE TERS DÖNÜŞÜMÜ
C      (INV=1) TANIMLAYAN PARAMETRE

      N=ALOG(FLOAT(N))/ALOG(2.)*1
      NV2=N/2
      NM1=N-1
      J=1
      DO 40 I=1,NM1
C-----
C      ALTYORDAM: GETX
C      ÖRNEKLEME FREKANSI FS OLAN FS/10. FREKANSLI BİR SİNÜS
C      GİRİŞİ İÇİN X(N)'İ ÜRETECEK DATA DİZİSİNİ OKU
C-----
C      IF (K.GE.1) GO TO 30
      SUBROUTINE GETX(X,NRD,SS)
      DIMENSION X(1)
C
C      X = ÜRETEÇ ÇIKIŞ DATASINI TUTMAK İÇİN NRD BOYUTLU DİZİ
C      NRD = OLUŞTURULACAK ÖRNEK SAYISI
C      SS = ÜRETEÇ ÇIKIŞININ BAŞLANGIÇ ÖRNEĞİ
C      SİNÜS DALGASI ÖRNEKLEME FREKANSI 10000 HZ VARSAYILAN
C      1000 HZ FREKANSLI BİR DALGADIR.
C
      TPI=8.*ATAN(1.0)
      CF=1000./10000.
      DO 10 I=1,NRD
      XSMP=(SS-1.)+FLOAT(I-1)
      X(I)=COS(TPI*CF*XSMP)
10  CONTINUE
      RETURN
      END

```



```

C
C-----
C ALTYORDAM: FFT
C X BİR N=2**M NOKTA KOMPLEX DİZİDİR VE BAŞLANGIÇTA GİRİŞİ
C ÇIKIŞTA TRANSFORMU İÇERİR.
C INV 0 İSE DÜZ DÖNÜŞÜMÜ, 1 İSE TERS DÖNÜŞÜMÜ BELİRTİR.
C-----
C
C SUBROUTINE FFT(X,N,INV)
C   COMPLEX X(1),U,W,T,CMPLX
C
C   X = N BOYUTLU KOMPLEX DİZİ-- X, GİRİŞTE DÖNÜŞÜMÜ
C   ALINACAK DİZİYİ, ÇIKIŞTA GİRİŞİN DFT'SİNİ İÇERİR.
C   N = HESAPLANACAK FFT BOYUTU--1.LE.M.LE.15 İÇİN N=2**M
C   INV = 0 İSE DÜZ DÖNÜŞÜMÜ (INV=0), 1 İSE TERS DÖNÜŞÜMÜ
C   (INV=1) TANIMLAYAN PARAMETRE
C
C   M=ALOG(FLOAT(N))/ALOG(2.)+.1
C   NV2=N/2
C   NM1=N-1
C   J=1
C   DO 40 I=1,NM1
C     IF (I.GE.J) GO TO 10
C     T=X(J)
C     X(J)=X(I)
C     X(I)=T
C   10   K=NV2
C   20   IF (K.GE.J) GO TO 30
C     J=J-K
C     K=K/2
C     GO TO 20
C   30   J=J+K
C   40   CONTINUE
C   PI=4.*ATAN(1.0)
C   DO 70 L=1,M
C     LE=2**L
C     LE1=LE/2
C     U=(1.0,0.0)
C     W=CMPLX(COS(PI/FLOAT(LE1)), -SIN(PI/FLOAT(LE1)))
C     IF (INV.NE.0) W=CONJG(W)
C     DO 60 J=1,LE1
C       DO 50 I=J,N,LE
C         IP=I+LE1
C         T=X(IP)*U
C         X(IP)=X(I)-T

```

```

PENCEPE      X(I)=X(I)+T
50      CONTINUE
      U=U*W
60      CONTINUE
70      CONTINUE
      IF (INV.EQ.0) RETURN
      DO 80 I=1,N
        X(I)=X(I)/CMPLX(FLOAT(N),0.)
80      CONTINUE
      RETURN
      END

```

FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	-61.4499	78.125	-83.9427	158.250	-81.9074
234.375	-83.4584	312.500	-81.2323	390.625	-85.3301
468.750	-83.3803	546.875	-93.0070	625.000	-87.5808
703.125	-81.8470	781.250	-9.4456	859.375	9.7457
937.500	19.1047	1018.625	21.1884	1093.750	16.3247
1171.875	3.3114	1250.000	-21.7669	1328.125	-89.0668
1406.250	-77.8219	1484.375	-76.8850	1562.500	-84.6264
1640.625	-78.5666	1718.750	-63.1382	1796.875	-80.5163
1875.000	-64.0271	1953.125	-83.6780	2031.250	-65.3885
2109.375	-84.6980	2187.500	-65.7934	2265.625	-86.5099
2343.750	-68.1211	2421.875	-83.1145	2500.000	-58.3358
2578.125	-89.5334	2656.250	-70.4269	2734.375	-90.7888
2812.500	-71.4268	2890.625	-91.9002	2968.750	-72.3131
3046.875	-92.6027	3175.000	-73.1042	3253.125	-93.7509
3281.250	-73.8100	3359.375	-94.5189	3437.500	-74.4351
3515.625	-93.1895	3593.750	-74.9856	3671.875	-95.7758
3750.000	-75.4657	3888.125	-96.2935	3905.250	-75.8925
3984.375	-96.7162	4062.500	-75.2386	4140.625	-97.0835
4218.750	-76.5364	4296.875	-97.3999	4375.000	-76.7707
4453.125	-97.6229	4521.250	-78.9536	4560.375	-97.9001
4687.500	-77.0657	4765.625	-97.9113	4843.750	-77.1618
4981.875	-97.9751	5000.000	-73.1882		

PENCERE TİPİ: = HAMG

M = 128 N = 256 L = 64

ÖRNEKLEME FREKANSI = 10000.0000

X ORTALAMA = -0.18254E-06

LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU

FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	-61.4499	78.125	-82.8427	156.250	-61.3074
234.375	-83.4554	312.500	-61.2325	390.625	-86.3301
468.750	-63.3802	546.875	-92.0070	625.000	-67.5808
703.125	-51.5470	781.250	-9.4458	859.375	9.7457
937.500	19.1047	1015.625	21.1584	1093.750	16.3247
1171.875	3.5114	1250.000	-21.7069	1328.125	-89.0668
1406.250	-77.8219	1484.375	-78.8850	1562.500	-64.6264
1640.625	-78.5626	1718.750	-63.1352	1796.875	-80.5163
1875.000	-64.0271	1953.125	-82.6780	2031.250	-65.3886
2109.375	-84.6980	2187.500	-66.7934	2265.625	-86.5099
2343.750	-68.1211	2421.875	-88.1145	2500.000	-69.3368
2578.125	-89.5334	2656.250	-70.4368	2734.375	-90.7888
2812.500	-71.4268	2890.625	-91.9002	2968.750	-72.3131
3046.875	-92.8827	3125.000	-73.1048	3203.125	-93.7509
3281.250	-73.8100	3359.375	-94.5159	3437.500	-74.4351
3515.625	-95.1895	3593.750	-74.9856	3671.875	-95.7758
3750.000	-75.4657	3828.125	-96.2905	3906.250	-75.8825
3984.375	-96.7168	4062.500	-76.2386	4140.625	-97.0835
4218.750	-76.5304	4296.875	-97.3899	4375.000	-76.7707
4453.125	-97.6223	4531.250	-76.9536	4609.375	-97.8001
4687.500	-77.0857	4765.625	-97.9143	4843.750	-77.1618
4921.875	-97.9751	5000.000	-77.1882		

İLİŞKİ FONKSİYONU

LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ
0	0.500E+00	1	0.404E+00	2	0.154E+00
3	-0.153E+00	4	-0.396E+00	5	-0.483E+00
6	-0.385E+00	7	-0.144E+00	8	0.141E+00
9	0.362E+00	10	0.435E+00	11	0.342E+00
12	0.127E+00	13	-0.122E+00	14	-0.308E+00
15	-0.366E+00	16	-0.283E+00	17	-0.103E+00
18	0.984E-01	19	0.244E+00	20	0.285E+00
21	0.218E+00	22	0.780E-01	23	-0.734E-01
24	-0.179E+00	25	-0.206E+00	26	-0.154E+00
27	-0.543E-01	28	0.504E-01	29	0.121E+00
30	0.136E+00	31	0.100E+00	32	0.346E-01
33	-0.316E-01	34	-0.742E-01	35	-0.821E-01
36	-0.592E-01	37	-0.199E-01	38	0.179E-01
39	0.411E-01	40	0.443E-01	41	0.311E-01
42	0.102E-01	43	-0.904E-02	44	-0.200E-01
45	-0.210E-01	46	-0.143E-01	47	-0.449E-02
48	0.393E-02	49	0.835E-02	50	0.840E-02
51	0.547E-02	52	0.163E-02	53	-0.141E-02
54	-0.281E-02	55	-0.267E-02	56	-0.164E-02
57	-0.447E-03	58	0.386E-03	59	0.699E-03
60	0.602E-03	61	0.320E-03	62	0.624E-04
63	-0.508E-04	64	0.149E-07		

Tablo 3.1.1

PENCERE TİPİ = DİKD

M =128 N = 256 L =64

ÖRNEKLEME FREKANSI = 10000.0000

X ORTALAMA = -0.18254E-06

LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU

FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	-23.4181	78.125	-41.2632	156.250	-22.7616
234.375	-40.0758	312.500	-20.7559	390.625	-37.5855
468.750	-17.2391	546.875	-33.4586	625.000	-11.7110
703.125	-26.7772	781.250	-2.5600	859.375	-14.1916
937.500	19.2009	1015.625	23.7836	1093.750	12.2947
1171.875	-17.9195	1250.000	-4.5157	1328.125	-29.0923
1406.250	-12.6622	1484.375	-35.7193	1562.500	-17.9890
1640.625	-40.3789	1718.750	-21.8951	1796.875	-43.9287
1875.000	-24.9422	1953.125	-46.7630	2031.250	-27.4131
2109.375	-49.0970	2187.500	-29.4702	2265.625	-51.0603
2343.750	-31.2149	2421.875	-52.7368	2500.000	-32.7144
2578.125	-54.1845	2656.250	-34.0157	2734.375	-55.4449
2812.500	-35.1528	2890.625	-56.5480	2968.750	-36.1506
3046.875	-57.5165	3125.000	-37.0280	3203.125	-58.3678
3281.250	-37.7999	3359.375	-59.1154	3437.500	-38.4777
3515.625	-59.7705	3593.750	-39.0705	3671.875	-60.3414
3750.000	-39.5855	3828.125	-60.8354	3906.250	-40.0288
3984.375	-61.2558	4062.500	-40.4050	4140.625	-61.6099
4218.750	-40.7171	4296.875	-61.9011	4375.000	-40.9692
4453.125	-62.1301	4531.250	-41.1629	4609.375	-62.3003
4687.500	-41.3003	4765.625	-62.4127	4843.750	-41.3820
4921.875	-62.4691	5000.000	-41.4092		

İLİŞKİ FONKSİYONU

LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ
0	0.499E+00	1	0.397E+00	2	0.149E+00
3	-0.148E+00	4	-0.379E+00	5	-0.460E+00
6	-0.365E+00	7	-0.136E+00	8	0.136E+00
9	0.348E+00	10	0.421E+00	11	0.334E+00
12	0.124E+00	13	-0.124E+00	14	-0.316E+00
15	-0.382E+00	16	-0.302E+00	17	-0.112E+00
18	0.112E+00	19	0.284E+00	20	0.343E+00
21	0.271E+00	22	0.100E+00	23	-0.997E-01
24	-0.253E+00	25	-0.304E+00	26	-0.239E+00
27	-0.882E-01	28	0.876E-01	29	0.221E+00
30	0.265E+00	31	0.207E+00	32	0.761E-01
33	-0.755E-01	34	-0.190E+00	35	-0.226E+00
36	-0.176E+00	37	-0.641E-01	38	0.635E-01
39	0.158E+00	40	0.187E+00	41	0.144E+00
42	0.520E-01	43	-0.514E-01	44	-0.126E+00
45	-0.148E+00	46	-0.113E+00	47	-0.399E-01
48	0.393E-01	49	0.948E-01	50	0.109E+00
51	0.810E-01	52	0.279E-01	53	-0.272E-01
54	-0.632E-01	55	-0.696E-01	56	-0.494E-01
57	-0.158E-01	58	0.152E-01	59	0.316E-01
60	0.306E-01	61	0.178E-01	62	0.371E-02
63	-0.310E-02	64	0.745E-07		

Tablo 3.1.2

PENCERE TİPİ = HAMG

M = 128 N = 256 L = 128

ÖRNEKLEME FREKANSI = 10000.0000

X ORTALAMA = -0.18254E-06

LOGARİTİMİK GÜÇ SPEKTRUMU

FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	-80.3879	78.125	-80.1707	156.250	-79.5380
234.375	-78.5253	312.500	-77.1841	390.625	-75.5856
468.750	-73.8217	546.875	-72.0809	625.000	-70.8644
703.125	-72.1699	781.250	-91.4785	859.375	-34.5537
937.500	18.2258	1015.625	26.8290	1093.750	5.4501
1171.875	-65.6646	1250.000	-66.6214	1328.125	-63.7222
1406.250	-64.6751	1484.375	-66.2614	1562.500	-67.9121
1640.625	-69.4817	1718.750	-70.9312	1796.875	-72.2631
1875.000	-73.4837	1953.125	-74.6018	2031.250	-75.6341
2109.375	-76.5847	2187.500	-77.4538	2265.625	-78.2826
2343.750	-79.0398	2421.875	-79.7492	2500.000	-80.4097
2578.125	-81.0277	2656.250	-81.6083	2734.375	-82.1494
2812.500	-82.6612	2890.625	-83.1393	2968.750	-83.5892
3046.875	-84.0132	3125.000	-84.4096	3203.125	-84.7839
3281.250	-85.1344	3359.375	-85.4626	3437.500	-85.7727
3515.625	-86.0611	3593.750	-86.3317	3671.875	-86.5836
3750.000	-86.8169	3828.125	-87.0398	3906.250	-87.2389
3985.375	-87.4206	4062.500	-87.5995	4140.625	-87.7482
4218.750	-87.8893	4296.875	-88.0223	4375.000	-88.1311
4453.125	-88.2305	4531.250	-88.3156	4609.375	-88.3871
4687.500	-88.4486	4765.625	-88.4906	4843.750	-88.5240
4921.875	-88.5459	5000.000	-88.5497		

İLİŞKİ FONKSİYONU

LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ
0	0.500E+00	1	0.404E+00	2	0.154E+00
3	-0.154E+00	4	-0.402E+00	5	-0.496E+00
6	-0.399E+00	7	-0.151E+00	8	0.152E+00
9	0.394E+00	10	0.484E+00	11	0.388E+00
12	0.145E+00	13	-0.147E+00	14	-0.380E+00
15	-0.464E+00	16	-0.370E+00	17	-0.138E+00
18	0.141E+00	19	0.361E+00	20	0.438E+00
21	0.347E+00	22	0.127E+00	23	-0.134E+00
24	-0.337E+00	25	-0.406E+00	26	-0.319E+00
27	-0.114E+00	28	0.127E+00	29	0.312E+00
30	0.371E+00	31	0.287E+00	32	0.981E-01
33	-0.121E+00	34	-0.285E+00	35	-0.334E+00
36	-0.253E+00	37	-0.800E-01	38	0.116E+00
39	0.259E+00	40	0.296E+00	41	0.218E+00
42	0.595E-01	43	-0.114E+00	44	-0.235E+00
45	-0.259E+00	46	-0.181E+00	47	-0.367E-01
48	0.115E+00	49	0.215E+00	50	0.225E+00
51	0.145E+00	52	0.117E-01	53	-0.121E+00
54	-0.200E+00	55	-0.194E+00	56	-0.110E+00
57	0.157E-01	58	0.131E+00	59	0.190E+00
60	0.168E+00	61	0.769E-01	62	-0.452E-01
63	-0.147E+00	64	-0.187E+00		

TABLO 3.1.3.

Genel durumda iki sinyal $x(n)$ ve $y(n)$ vardır ve $0 \leq n \leq N-1$ aralığı için tanımlanmıştır. Bu aralığın dışında $x(n)$ ve $y(n)$ ile ilgili bir şey söylenemez. İlişki fonksiyonu:

$$R_{xy}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-m} (x(n) - \bar{x})(y(n+m) - \bar{y}) \quad (3.2.1)$$

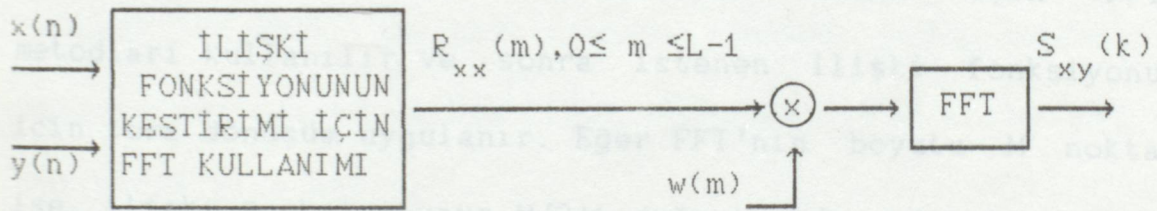
Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$, $x(n)$ ve $y(n)$ ile ilgili ortalamalardır.

3.2.GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ İÇİN İLİŞKİ YÖNTEMİ:

Bu program, FFT tekniklerini kullanarak bir sinyalin özilişki fonksiyonunu veya iki sinyal arasındaki çapraz ilişki fonksiyonunu kestirmek üzere kullanılabilir. Sinyalin güç spektrumunun kestirimi de pencerelenmiş ilişki fonksiyonunun ayırık Fourier dönüşümü hesaplanarak bulunabilir.

YÖNTEM:

Programdaki işaret işlemenin blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



Genel durumda iki sinyal girişi $x(n)$ ve $y(n)$ vardır ve $0 \leq n \leq N-1$ aralığı için tanımlanmıştır. Bu aralığın dışında $x(n)$ ve $y(n)$ 'in 0 olduğu varsayılır. İlişki fonksiyonu,

$$R_{xy}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-m} (x(n) - \bar{x}) \cdot (y(n+m) - \bar{y}) \quad 0 \leq m \leq L-1 \quad (3.2.1)$$

Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$, $x(n)$ ve $y(n)$ 'in kestirilmiş ortalamalarıdır.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \quad (3.2.2a)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n) \quad (3.2.2b)$$

Proğramda, kestirilmiş ortalamaları çıkarma veya çıkarmama seçeneği vardır. Eğer ortalamalar çıkarılırsa, kestirilmiş kovaryans fonksiyonu, çıkarılmazsa kestirilmiş ilişki fonksiyonu elde edilir. Genelde $N \gg L$ olduğundan, sinyal örneklerinin sayısı ilişki lag'lerinin sayısından büyüktür. Kısmi ilişki toplamalarını almak için FFT metodları kullanılır ve sonra istenen ilişki fonksiyonu için ters dönüşüm uygulanır. Eğer FFT'nin boyutu M nokta ise, ilişki fonksiyonunun $M/2+1$ değeri elde edilmiş olur. Böylece, FFT boyutu istenen ilişki değerleri sayısının (L) en az iki katı olmalıdır.

İlişki fonksiyonundan güç spektrumu kestirimini elde etmek için iki prosedürden biri kullanılır. Eğer $y(n) = x(n)$ ise yani, ilişki bir özilişki (özdeğişinti) ise, pencerelenmiş özilişki fonksiyonu, $\tilde{R}_{xx}(m)$,

$$\begin{aligned} \tilde{R}_{xx}(m) &= R_{xx}(m) \cdot w(m) & 0 \leq m \leq L-1 \\ &= R_{xx}(M-m) \cdot w(M-m) & M-L+1 \leq m \leq M-1 \\ &= 0 & \text{diğer durumlarda} \end{aligned} \quad (3.2.3)$$

Burada $w(m)$ simetrik sonlu bir penceredir ve m , $L-1$ 'e giderken $R_{xx}(M)$ 'i 0'a iter. $R_{xx}(m)$ simetrik bir fonksiyondur, ve Denklem (3.2.3)'ün DFT'si güç spektrumu kestirimi $S_{xx}(e^{j\omega})$ olan reel bir fonksiyondur.

Eğer $y(n) = x(n)$ ise, yani ilişki bir çapraz ilişki (çapraz değişinti) ise, $\tilde{R}_{xy}(m)$ sinyali,

$$\begin{aligned} \tilde{R}_{xy} &= R_{xy}(m) \cdot w(m) & 0 \leq m \leq L-1 \\ &= 0 & \text{diğer durumlarda} \end{aligned} \quad (3.2.4)$$

Burada $w(m)$ tekrar sonlu bir pencereyi gösterir. Genelde $R_{xy}(m)$ 'in orijini $m=0$ 'da olmaması için $w(m)$ dikdörtgen bir penceredir. Böylece, $R_{xy}(m)$ 'i keyfi olarak 0'a, itmek çapraz güç spektrumu kestiriminde hataya neden olabilir. Çapraz güç spektrumu kestirimi, Denklem (3.2.4)'ün DFT'si alınarak elde edilir.

PROĞRAMIN ÇALIŞMASI:

Proğram, önce bölme boyutu(FFT boyutu), M , kestirimde kullanılan toplam örnek sayısı, N , istenilen ilişki tipi, yani; MOD değişkeniyle tanımlanan özilişki, çapraz-ilişki, özdeğişinti, çapraz-değişinti parametrelerini okur. Eğer bir değişinti fonksiyonu isteniyorsa, bir sonraki adım, GETX (ve GETY) altyordam(lar)ını kullanarak $x(n)$ (ve $y(n)$)'in ortalamalarını hesaplamaktır. GETX (ve GETY)

altyordamları başlangıç örneğinden itibaren $x(n)$ (ve $y(n)$) örnek bloğu ile buffer'ları doldurur. Basitlik için $x(n)$ 'in N örneklerini 1'den N 'e kadar numaralanmış varsayacağız. Denklem (3.2.1)'deki ilişki fonksiyonu, $x(n)$ 'in M örnek bloğuna bölünmesi olarak tanımlanmıştır. $x(n)$ 'in tek tek bölmelerinin M -noktalı FFT'si hesaplanır, frekans domeyninde toplamı alınır ve son olarak da ters dönüşüm alınarak zaman domeynine dönülür. İlişki hesaplamasında; program, önce $(M/2+1)$ ilişki değerlerini yazar. Güç spektrumu kestirimini oluşturmak için, pencere değerleri okunur ve uygun pencerelenmiş ilişki fonksiyonu (Denklem (3.2.3) veya (3.2.4)) hesaplanır. Pencere parametreleri, pencere tipi (IWIN-dikdörtgen veya Hamming), pencere uzunluğu (L), ve spektral kestirimi elde etmek için kullanılan FFT boyutudur (NFFT). Program logaritmik spektral kestirimi dB olarak yazar.

PROĞRAM PARAMETRELERİNİN TANIMI:

M = Bölme boyutu. M , 2'nin kuvveti olan bir tamsayı olmalıdır ve ana proğramdaki maksimum bölme boyutu MAXM'e eşit veya daha küçük olmalıdır. (Buradaki proğramda MAXM 512'ye set edilmiştir.) $M/2+1$ istenilen lag sayısına eşit veya daha büyük

olmalıdır.

N = Analizde kullanılan $x(n)$ (ve $y(n)$) örneklerinin toplam sayısı. $x(n)$ ve $y(n)$ örneklerinin 1'den N 'e kadar olduğu varsayılmıştır.

MOD = Hesaplanacak ilişki tipini tanımlayan parametre.

MOD = 0 Özilişki

MOD = 1 Çapraz-ilişki

MOD = 2 Özdeğişinti

MOD = 3 Çapraz-değişinti

FS = Örnekleme frekansı. (Hz olarak)

IWIN = İlişki fonksiyonunda kullanılan pencere tipi Eğer IWIN = 1 ise dikdörtgen pencere, IWIN = 2 ise Hamming penceresi kullanılır.

L = Güç spektrumu kestiriminde kullanılan ilişki noktaları sayısı. L , $M/2+1$ 'den küçük veya eşit olmalıdır

NFFT = Pencerelemiş ilişkiden spektral kestirimi hesaplamakta kullanılan FFT boyutu. (2 'nin kuvveti) NFFT $2 \times L - 1$ 'e eşit veya daha büyük olmalıdır.

GETX ve GETY altıyordamları ana programa $x(n)$ ve $y(n)$ değerlerini sağlar. Bu altıyordamları çağıran komutlar,

CALL GETX (X, NRD, SS)

ÖRNEK: CALL GETY (Y,NRD,SS)'dır.

Bu komutlardaki X,Y, NRD ve SS parametreleri,

X = x(n) örneklerinin saklandığı dizi.

Y = y(n) örneklerinin saklandığı dizi.

NRD = X (veya Y) dizisine okunacak x(n) (veya y(n))

örneklerinin sayısı.

SS = x(n) (veya y(n))'in başlangıç örnek numarası, yani;

x(SS)'ten x(SS+NRD-1)'e kadar olan örnekler GETX

altyordamında X dizisine okunur. Maksimum esnekliği

sağlamak için SS kayan noktalı bir sayı alınmıştır.

İlk giriş örneği x(1), yani SS=1 varsayılmıştır.

Altyordam FFT, bir kompleks FFT altyordamıdır. Bu

altyordamı çağıran CALL FFT(X,M,INV) komutundaki

parametreler,

M = FFT boyutu. (2'nin kuvveti olmalı)

X = M uzunluğundaki kompleks dizi.

INV = 0, düz FFT için

INV = 1, ters FFT için.

ÖRNEKLER:

Örnek olarak FS/10 frekanslı iki sinusoid alınmıştır:

$$x(n) = \cos(2\pi n/10)$$

$$y(n) = \sin(2\pi n/10)$$

ÖRNEK.1:

Bu örnek için program parametreleri, $M = 128$, $N = 256$, $MOD = 2$, $FS = 10000$, ve ilişki parametreleri, $IWIN = 2$ (Hamming penceresi), $L = 32$, ve $NFFT = 128$ 'dir. Bu örnek için sayısal sonuçlar (yani; ilişki fonksiyonunun ilk $M/2+1$ noktası ve logaritmik güç spektrumunun $M/2+1$ noktası) Tablo 3.2.1'de verilmiştir.

ÖRNEK.2:

Bu örnek için, $M = 128$, $N = 256$, $MOD = 2$, $FS = 10000$, $IWIN = 1$ (dikdörtgen pencere), $L = 32$, ve $NFFT = 128$ alınmıştır. Sayısal sonuçlar Tablo 3.2.2'de verilmiştir.

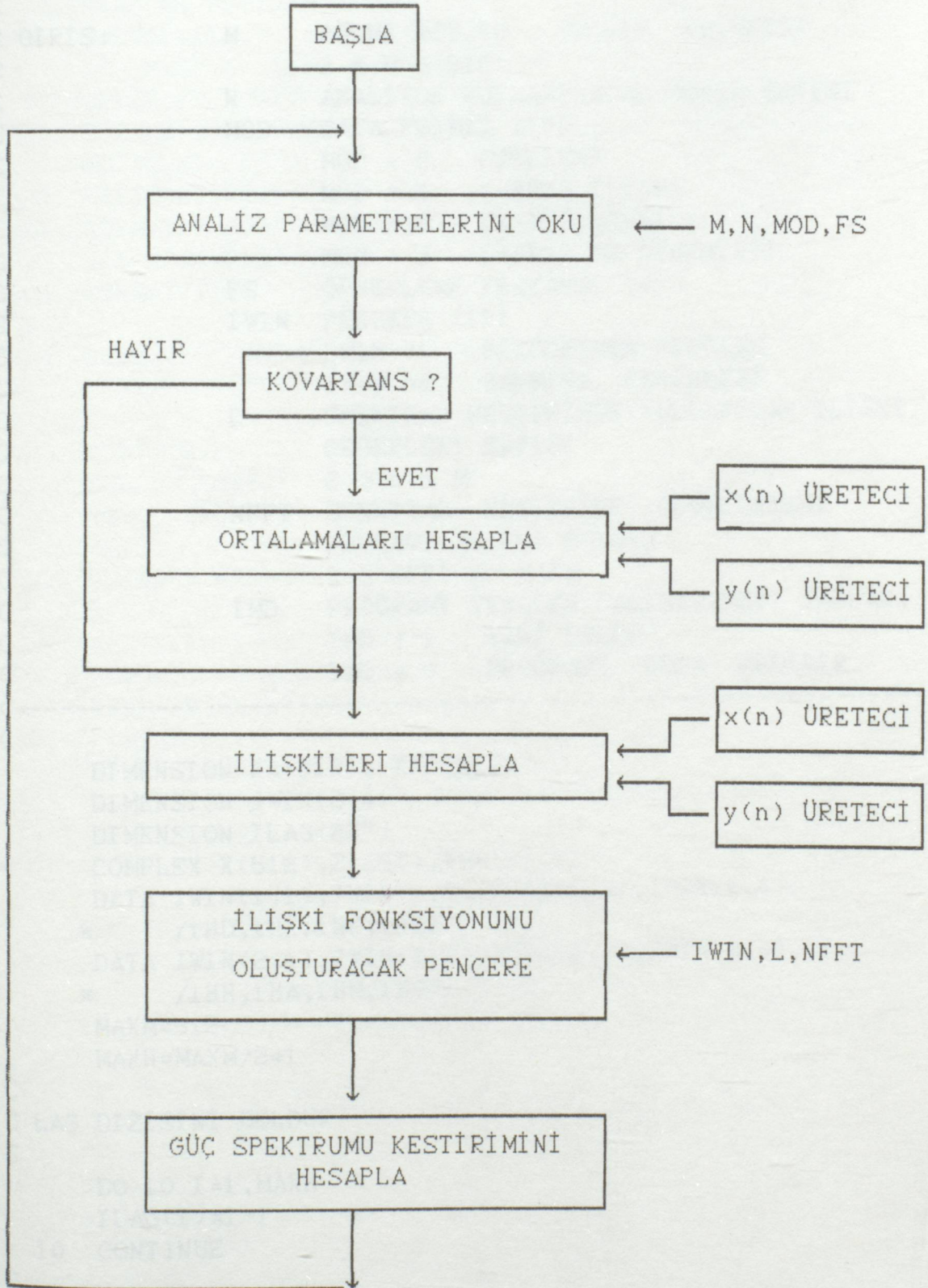
ÖRNEK.3:

Bu örnekte FFT boyutu hariç, diğer parametreler Örnek.2 ile aynıdır. Sadece $NFFT$ 128 yerine 512 alınmıştır. Sayısal sonuçlar Tablo 3.2.3'te verilmiştir.

ÖRNEK.4:

Bu örnek için $M = 128$, $N = 256$, $MOD = 3$, $FS = 10000$, $IWIN = 1$, $L = 32$ ve $NFFT = 128$ 'dir. Sayısal sonuçlar Tablo 3.2.4'te verilmiştir. $y(n) = x(n-2.5)$ olduğundan, $R_{xy}(m)$ Örnek.2'deki otokovaryans fonksiyonu ile aynıdır, sadece 2.5 örnek sağa kaymıştır.

Programın iş akış şeması aşağıdaki gibidir.




```

C ANALİZ PARAMETRELERİ VE KUTUP
C -----
C ANA PROGRAM: GÜÇ SPEKTRUMU KESTİRİMİ İÇİN KORELASYON
C MOD FORMAT (İLİŞKİ) YÖNTEMİ
C READ (5,3000)
C GİRİŞ: M BÖLME BOYUTU (2'NİN KUVVETİ)
C IF M.GT. 2 THEN 2 ≤ M ≤ 512
C WRITE (6,3001) N ANALİZDE KULLANILACAK ÖRNEK SAYISI
C MOD FORMAT MOD DATA FORMAT TİPİ.
C GO TO 20 MOD = 0 ÖZİLİŞKİ
C WRITE (6,3002) MOD = 1 ÇAPRAZ İLİŞKİ
C MOD FORMAT MOD = 2 ÖZ DEĞİŞİNTİ
C MOD = 3 ÇAPRAZ ÖZ DEĞİŞİNTİ
C FS ÖRNEKLEME FREKANSI (HZ)
C IWIN PENCERE TİPİ
C IWIN =1 DİKDÖRTGEN PENCERE
C IWIN =2 HAMMING PENCERESİ
C L SPEKTRAL KESTİRİMDE KULLANILAN İLİŞKİ
C DEĞERLERİ SAYISI
C 2 ≤ L ≤ M
C NFFT SPEKTRAL KESTİRİMİ OLUŞTURMADA
C KULLANILAN FFT BOYUTU
C L ≤ NFFT ≤ MAXM
C IMD PROGRAMI YENİDEN ÇALIŞTIRMAYI SAĞLAR.
C IMD = 1 YENİ İŞLEM
C IMD = 0 PROGRAMI SONA ERDİRİR.
C -----
C
C DIMENSION XA(512), XFR(257)
C DIMENSION JWIN(2,4)
C DIMENSION ILAG(257)
C COMPLEX X(512),Z(257),XMN,XI,YI
C DATA JWIN(1,1),JWIN(1,2),JWIN(1,3),JWIN(1,4),
C * /1HD,1HI,1HK,1HD/
C DATA JWIN(2,1),JWIN(2,2),JWIN(2,3),JWIN(2,4),
C * /1HH,1HA,1HM,1HG/
C MAXM=512
C MAXH=MAXM/2+1
C
C LAG DİZİSİNİ DOLDUR
C
C DO 10 I=1,MAXH
C ILAG(I)=I-1
C 10 CONTINUE
C

```

C ANALİZ PARAMETRELERİ M VE N'İ OKU

C

20 WRITE (6,9999)

9999 FORMAT (18H BÖLME BOYUTU(I4)=)

READ (5,9998) M

9998 FORMAT (I4)

IF M.GT.0 .AND. M.LE.MAXM) GO TO 30

WRITE (6,9997) M

9997 FORMAT (37H GEÇERSİZ GİRİŞ -- DEĞERİ YENİDEN GİR)

GO TO 20

30 WRITE (6,9996)

9996 FORMAT (38H ANALİZ ÖRNEKLERİNİN TOPLAM SAYISI(I5)=)

READ (5,9995) N

9995 FORMAT (I5)

C

C NSECT ANALİZ BÖLMELERİNİN TOPLAM SAYISI

C LSHFT KOMŞU ANALİZ ÖRNEKLERİ ARASINDAKİ KAYMA

C

LSHFT M/2

MHLF1=LSHFT+1

NSECT=(FLOAT(N)+FLOAT(LSHFT)-1.)/FLOAT(LSHFT)

C

C MOD'U (DATA FORMAT TİPİNİ) OKU

C

WRITE (6,9994)

9994 FORMAT (9H MOD(I1)=)

READ (5,9993) MOD

9993 FORMAT (I1)

WRITE (6,9992)

9992 FORMAT (33H ÖRNEKLEME FREKANSI (HZ) (F10.4)=)

READ (5,9991) FS

9991 FORMAT (F10.4)

WRITE (6,9989)

WRITE (6,9990) M, N, MOD, FS

9990 FORMAT (3H M=,I4,3X,4H N=,I5,3X,6H MOD=,I1,3X,

* 19H ÖRNEKLEME FREKANSI=, F10.4)

IF MOD.LT.2) GO TO 80

C

C SS ÜRETEÇ ÖRNEK SAYISI

C NRD HESAPLANACAK ÜRETEÇ ÇIKIŞI ÖRNEKLERİNİN SAYISI

C

SS=1.

NRD=LSHFT

XSUM=0.

YSUM=0.


```

C
C X VE Y DATALARININ ORTALAMASINI HESAPLAYACAK DÖNGÜ
C SS ÖRNEĞİNDEN BAŞLAYARAK X ÜRETECİNDEN NRD ADET ÖRNEĞİ
C OKUMAK İÇİN GETX'İ KULLAN
C EĞER ÇAPRAZ DEĞİŞİNTİ İSE Y ÜRETECİNDEN NRD ADET ÖRNEĞİ
C OKUMAK İÇİN GETY'İ KULLAN
C
110 DO 70 K=1,NSECT
    IF (K.EQ.NSECT)
        NRD=N-(K-1)*NRD
    CALL GETX(XA, NRD, SS)
    DO 40 I=1,NRD
        XSUM=XSUM+XA(I)
40 CONTINUE
    IF (MOD.EQ.2) GO TO 60
    CALL GETY(XA, NRD, SS)
    DO 50 I=1,NRD
        YSUM=YSUM+XA(I)
50 CONTINUE
60 SS=SS+FLOAT(NRD)
70 CONTINUE
    XMEAN=XSUM/FLOAT(N)
    YMEAN=YSUM/FLOAT(N)
    IF (MOD.EQ.2) YMEAN=XMEAN
    XMN=CMPLX(XMEAN,YMEAN)
9989 FORMAT (//)
    WRITE (6,9988) XMEAN,YMEAN
9988 FORMAT (12H X ORTALAMA=, E14.5,10X, 13H Y ORTALAMA=,
    *      E14.5)
C
C İLİŞKİLERİ TOPLA
C
80 SS=1.
    NRDY=M
    NRDX=LSHFT
    DO 90 I=1,MHLF1
        Z(I)=(0.,0.)
90 CONTINUE
    DO 190 K=1,NSECT
        NSECT1=NSECT-1
        IF (K.LT.NSECT1) GO TO 110
        NRDY=N-(K-1)*LSHFT
        IF (K.EQ.NSECT) NRDX=NRDY
        IF (NRDY.EQ.M) GO TO 110
        NRDY1=NRDY+1

```

```

100 DO 100 I=NRDY1,M
    X(I)=(0.,0.)
100 CONTINUE
C
C SS ÖRNEĞİNDEN BAŞLAYARAK X ÜRETECİNDEN NRDY ADET ÖRNEĞİ
C OKU
C
110 CALL GETX(XA, NRDY, SS)
DO 120 I=1,NRDY
    X(I)=CMPLX(XA(I),XA(I))
120 CONTINUE
    IF (MOD.EQ.0 .OR. MOD.EQ.2) GO TO 140
C
C ÇAPRAZ İLİŞKİ VEYA ÇAPRAZ DEĞİŞİNTİ İSE Y ÜRETECİNDEN
C NRDY ADET ÖRNEĞİ OKU
C
    CALL GETY(XA, NRDY, SS)
DO 130 I=1,NRDY
    X(I)=CMPLX(REAL(X(I)),XA(I))
130 CONTINUE
140 IF (MOD.LT.2) GO TO 160
    DO 150 I=1,NRDY
        X(I)=X(I)-XMN
150 CONTINUE
160 NRDX1=NRDX+1
    DO 170 I=NRDX1,M
        X(I)=CMPLX(0.,AIMAG(X(I)))
170 CONTINUE
C
C X VE Y BÖLMELERİNİ İLİŞKİLENDİR
C TEK - ÇİFT AYIRIMI YAP VE CONJG(X)*Y'Yİ TOPLA
C
    CALL FFT(X, M, 0)
DO 180 I=2,LSHFT
    J=M+2-I
    XI=(X(I)+CONJG(X(J)))*.5
    YI=(X(J)-CONJG(X(I)))*.5
    YI=CMPLX(AIMAG(YI),REAL(YI))
    Z(I)=Z(I)+CONJG(XI)*YI
180 CONTINUE
    XI=X(1)
    Z(1)=Z(1)+CMPLX(REAL(XI)*AIMAG(XI),0.)
    XI=X(MHLF1)
    Z(MHLF1)=Z(MHLF1)+CMPLX(REAL(XI)*AIMAG(XI),0.)
    SS=SS+FLOAT(LSHFT)

```



```

190  CONTINUE
C
C İLİŞKİYİ ELDE ETMEK İÇİN DFT'NİN TERSİNİ AL
C
      DO 200 I=2,LSHFT
        J=M+2-I
        X(I)=Z(I)
        X(J)=CONJG(Z(I))
200  CONTINUE
      X(1)=Z(1)
      X(MHLF1)=Z(MHLF1)
      CALL FFT(X, M, 1)
      FN=FLOAT(N)
      DO 210 I=1,MHLF1
        XA(I)=REAL(X(I))/FN
210  CONTINUE
C
C İLİŞKİ FONKSİYONUNU YAZ
C
      WRITE (6,9989)
      WRITE (6,9987)
9987  FORMAT (18H İLİŞKİ FONKSİYONU)
      WRITE (6,9989)
      WRITE (6,9986)
9986  FORMAT (1X,3HLAG,6X,6HİLİŞKİ,3X,3HLAG,6X,6HİLİŞKİ,3X,
*        3HLAG,6X,6HİLİŞKİ,3X,3HLAG,6X,6HİLİŞKİ)
      WRITE (6,9985) (ILAG(I),XA(I),I=1,MHLF1)
9985  FORMAT (4(I4,2X,E10.3,2X))
      WRITE (6,9989)
C
C SPEKTRAL KESTİRİMİ VERECEK L DEĞERLERİNİ KULLANARAK
C PENCERE İLİŞKİSİ
C MOD= 0 İSE SİMETRİK DİZİYİ OLUŞTUR
C PENCERE TİPİNİ VE UZUNLUĞUNU OKU
C EĞER X Y'YE EŞİT DEĞİLSE SPEKTRAL KESTİRİM ANLAMSIZ
C OLABİLİR
C
      WRITE (6,9984)
9984  FORMAT (43H PENCERE TİPİ(I1)- 1=DİKDÖRTGEN,
*        2=HAMMING)
      READ (5,9983) IWIN
9983  FORMAT (I1)
      WRITE (6,9982)
9982  FORMAT (43H KULLANILAN İLİŞKİ DEĞERLERİNİN SAYISI
*        (I4)=)

```

```

      READ (5,9981) LOGUC SPEKTRUMU
9981  FORMAT (I4)
      WRITE (6,9980)
9980  FORMAT (16H FFT BOYUTU(I4)=)
      READ (5,9981) NFFT
      NHLF1=NFFT/2+1
      WRITE (6,9989)
      WRITE (6,9979) JWIN(IWIN,1), JWIN(IWIN,2),
*          JWIN(IWIN,3), JWIN(IWIN,4), L, NFFT
9979  FORMAT (14H PENCERE TİPİ=,4A1,30H PENCERE
*          DEĞERLERİNİN SAYISI=,I4,13H FFT BOYUTU=, I4)

```

```

C
C PENCERE İLİŞKİ FONKSİYONU -X Y'YE EŞİT OLMALI
C

```

```

      PI=4.0*ATAN(1.0)
      DO 230 I=2,L
      IF (IWIN.EQ.1) GO TO 220
      XA(I)=XA(I)*(0.54+0.46*COS(PI*FLOAT(I-1)/FLOAT(L-1)))
220  IF (MOD.EQ.1 .OR. MOD.EQ.3) GO TO 230
      J=NFFT+2-I
      XA(J)=XA(I)
230  CONTINUE
      NLAST=NFFT+1-L
      IF (MOD.EQ.1 .OR. MOD.EQ.3)
      NLAST=NFFT
      L1=L+1
      DO 240 I=L1,NLAST
      XA(I)=0.
240  CONTINUE
      DO 250 I=1,NFFT
      X(I)=CMPLX(XA(I),0.)
250  CONTINUE
      CALL FFT(X, NFFT,0)

```

```

C
C LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMUNU DB OLARAK HESAPLA
C

```

```

      XFS=FS/FLOAT(NFFT)
      NHF=NFFT/2
      NHF1=NHF+1
      DO 260 I=1,NHF1
      XFR(I)=FLOAT(I-1)*XFS
      T=ALOG10(CABS(X(I)))
      XA(I)=20.*T
260  CONTINUE

```

```

C

```


C XA'DAKİ LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU (DB)

C

```

C      WRITE(6,9989)
C      WRITE(6,9978)
9978  FORMAT (25H LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU)
      WRITE (6,9989)
      WRITE (6,9977)
9977  FORMAT (2X,7HFREKANS,9X,2HDB,6X,7HFREKANS,9X,2HDB,
*      6X,7HFREKANS,9X,2HDB)
      WRITE (6,9976) (XFR(I),XA(I),I=1,NHLF1)
9976  FORMAT (3(F9.3,2X,F9.4,4X))
      WRITE (6,9975)
9975  FORMAT (////)
      WRITE (6,9974)
9974  FORMAT (28H BAŞKA VERİ(1=EVET,0=HAYIR)=)
      READ (5,9993) IMD
      IF (IMD.EQ.1) GO TO 20
      STOP
      END

```

C

C-----

C ALTYORDAM: GETX
C ÖRNEKLEME FREKANSI 10000 HZ VARSAYILAN 1000 HZ'LİK BİR
C SİNÜS GİRİŞİ İÇİN X(N)'İ ÜRETME

C-----

C

```

      SUBROUTINE GETX(X, NRD, SS)
      DIMENSION X(1)
C
C      X = ÜRETEÇ ÇIKIŞ DATASINI TUTMAK İÇİN NRD BOYUTLU DİZİ
C      NRD = OLUŞTURULACAK ÖRNEK SAYISI
C      SS = ÜRETEÇ ÇIKIŞININ BAŞLANGIÇ ÖRNEĞİ
C
      TPI=8.*ATAN(1.0)
      CF=1000./10000.
      DO 10 I=1,NRD
      XSMP=(SS-1.)+FLOAT(I-1)
      X(I)=COS(TPI*CF*XSMP)
10  CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

C-----
C ALTYORDAM: GETY
C ÖRNEKLEME FREKANSI 10000 HZ VARSAYILAN 1000 HZ'LİK BİR
C SİNÜS GİRİŞİ İÇİN Y(N)'İ ÜRETME
C-----
C
10 SUBROUTINE GETY(Y, NRD, SS)
20 DIMENSION Y(1)
C
C Y = ÜRETEÇ ÇIKIŞ DATASINI TUTMAK İÇİN NRD BOYUTLU DİZİ
C NRD = OLUŞTURULACAK ÖRNEK SAYISI
C SS = ÜRETEÇ ÇIKIŞININ BAŞLANGIÇ ÖRNEĞİ
C
10 CONTINUE
TPI=8.*ATAN(1.0)
CF=1000./10000.
DO 10 I=1,NRD
    XSMP=(SS-1.)+FLOAT(I-1)
    Y(I)=SIN(TPI*CF*XSMP)
10 CONTINUE
RETURN
END

C-----
C ALTYORDAM: FFT
C-----
C
30 SUBROUTINE FFT(X, N, INV)
C
C X = 2**M KOMPLEKS DİZİ BAŞLANGIÇTA GİRİŞİ DÖNÜŞTE
C DÖNÜŞÜMÜ İÇERİR
C N = 2**M NOKTA
C INV = 0, DÜZ DÖNÜŞÜM
C INV = 1, TERS DÖNÜŞÜM
C
COMPLEX X(1), U, W, T, CMPLX
M=ALOG(FLOAT(N))/ALOG(2.)+.1
NV2=N/2

```



```

      NM1=N-1
      J=1
      DO 40 I=1,NM1
        IF (I.GE.J) GO TO 10
        T=X(J)
        X(J)=X(I)
        X(I)=T
10     K=NV2
20     IF (K.GE.J) GO TO 30
        J=J-K
        K=K/2
        GO TO 20
30     J=J+K
40     CONTINUE
      PI=4.0*ATAN(1.0)
      DO 70 L=1,M
        LE=2**L
        LE1=LE/2
        U=(1.0,0.0)
        W=CMPLX(COS(PI/FLOAT(LE1)), -SIN(PI/FLOAT(LE1)))
        IF (INV.NE.0) W=CONJG(W)
        DO 60 J=1,LE1
          DO 50 I=J,N,LE
            IP=I+LE1
            T=X(IP)*U
            X(IP)=X(I)-T
            X(I)=X(I)+T
50          CONTINUE
            U=U*W
60          CONTINUE
70          CONTINUE
        IF (INV.EQ.0) RETURN
        DO 80 I=1,N
          X(I)=X(I)/CMPLX(FLOAT(N),0.)
80          CONTINUE
      RETURN
      END

```

M = 128 N = 256 MOD = 2

ÖRNEKLEME FREKANSI = 10000.0000

X ORTALAMA = -0.18254E-06

Y ORTALAMA = -0.18254E-06

İLİŞKİ FONKSİYONU

LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ
0	0.502E+00	1	0.403E+00	2	0.151E+00
3	-0.156E+00	4	-0.401E+00	5	-0.492E+00
6	-0.395E+00	7	-0.148E+00	8	0.153E+00
9	0.393E+00	10	0.482E+00	11	0.387E+00
12	0.145E+00	13	-0.150E+00	14	-0.386E+00
15	-0.473E+00	16	-0.379E+00	17	-0.142E+00
18	0.147E+00	19	0.378E+00	20	0.463E+00
21	0.371E+00	22	0.139E+00	23	-0.144E+00
24	-0.370E+00	25	-0.453E+00	26	-0.363E+00
27	-0.136E+00	28	0.141E+00	29	0.362E+00
30	0.443E+00	31	0.356E+00	32	0.133E+00
33	-0.138E+00	34	-0.354E+00	35	-0.434E+00
36	-0.348E+00	37	-0.130E+00	38	0.135E+00
39	0.346E+00	40	0.424E+00	41	0.340E+00
42	0.127E+00	43	-0.132E+00	44	-0.338E+00
45	-0.414E+00	46	-0.332E+00	47	-0.124E+00
48	0.129E+00	49	0.330E+00	50	0.404E+00
51	0.324E+00	52	0.121E+00	53	-0.126E+00
54	-0.322E+00	55	-0.395E+00	56	-0.316E+00
57	-0.118E+00	58	0.123E+00	59	0.314E+00
60	0.385E+00	61	0.308E+00	62	0.115E+00
63	-0.120E+00	64	-0.307E+00		

PENCERE TİPİ = HAMG

PENCERE DEĞERLERİNİN SAYISI = 32

FFT BOYUTU = 128

Y OPTALANA = -0.18258-36

LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU

LAR	İLİSKİ	LAR	İLİSKİ	LAR	İLİSKİ
FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	-21.4638	78.125	-52.2275	156.250	-21.9576
234.375	-51.8244	312.500	-21.1400	390.625	-36.8525
468.750	-24.2255	546.875	-38.4521	625.000	-29.4263
703.125	-11.0800	781.250	3.9527	859.375	12.6999
937.500	17.1395	1015.625	18.1237	1093.750	15.8466
1171.875	9.9806	1250.000	-0.5382	1328.125	-17.6589
1406.250	-32.1345	1484.375	-42.3573	1562.500	-38.4648
1640.625	-25.3543	1718.750	-24.1901	1796.875	-36.6675
1875.000	-29.6831	1953.125	-29.4408	2031.250	-26.0116
2109.375	-38.0947	2187.500	-30.1633	2265.625	-32.3913
2343.750	-27.7095	2421.875	-39.9791	2500.000	-31.0730
2578.125	-34.7850	2656.250	-29.0480	2734.375	-41.9873
2812.500	-31.8907	2890.625	-36.8849	2968.750	-30.0795
3046.875	-44.1575	3125.000	-32.5535	3203.125	-38.8435
3281.250	-30.8687	3359.375	-46.6312	3437.500	-33.0711
3515.625	-40.7705	3593.750	-31.4658	3671.875	-49.6941
3750.000	-33.4645	3828.125	-42.7649	3906.250	-31.9075
3984.375	-54.0174	4062.500	-33.7514	4140.625	-44.9472
4218.750	-32.2189	4296.875	-62.3470	4375.000	-33.9474
4453.125	-47.4971	4531.250	-32.4180	4609.375	-67.1453
4687.500	-34.0610	4765.625	-50.7625	4843.750	-32.5150
4921.875	-55.6564	5000.000	-34.0983		

TABLO 3.2.1.

M = 128 N = 256 MOD = 2
 ÖRNEKLEME FREKANSI = 10000.0000
 X ORTALAMA = -0.18254E-06
 Y ORTALAMA = -0.18254E-06

İLİŞKİ FONKSİYONU

LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ
0	0.502E+00	1	0.403E+00	2	0.151E+00
3	-0.156E+00	4	-0.401E+00	5	-0.492E+00
6	-0.395E+00	7	-0.148E+00	8	0.153E+00
9	0.393E+00	10	0.482E+00	11	0.387E+00
12	0.145E+00	13	-0.150E+00	14	-0.386E+00
15	-0.473E+00	16	-0.379E+00	17	-0.142E+00
18	0.147E+00	19	0.378E+00	20	0.463E+00
21	0.371E+00	22	0.139E+00	23	-0.144E+00
24	-0.370E+00	25	-0.453E+00	26	-0.363E+00
27	-0.136E+00	28	0.141E+00	29	0.362E+00
30	0.443E+00	31	0.356E+00	32	0.133E+00
33	-0.138E+00	34	-0.354E+00	35	-0.434E+00
36	-0.348E+00	37	-0.130E+00	38	0.135E+00
39	0.346E+00	40	0.424E+00	41	0.340E+00
42	0.127E+00	43	-0.132E+00	44	-0.338E+00
45	-0.414E+00	46	-0.332E+00	47	-0.124E+00
48	0.129E+00	49	0.330E+00	50	0.404E+00
51	0.324E+00	52	0.121E+00	53	-0.126E+00
54	-0.322E+00	55	-0.395E+00	56	-0.316E+00
57	-0.118E+00	58	0.123E+00	59	0.314E+00
60	0.385E+00	61	0.308E+00	62	0.115E+00
63	-0.120E+00	64	-0.307E+00		

TABLO 3.3.2

PENCERE TİPİ = DİKD

PENCERE DEĞERLERİNİN SAYISI = 32

FFT BOYUTU = 128

LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU

FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	1.2472	78.125	-29.4078	156.250	1.4602
234.375	-18.6584	312.500	2.2792	390.625	-13.7691
468.750	3.6088	546.875	-8.5374	625.000	6.1149
703.125	-4.2926	781.250	9.9025	859.375	5.4010
937.500	21.3159	1015.625	23.4807	1093.750	17.7885
1171.875	-0.3161	1250.000	7.8803	1328.125	-2.6848
1406.250	4.0427	1484.375	-6.8822	1562.500	0.7218
1640.625	-8.0631	1718.750	-1.1017	1796.875	-10.5726
1875.000	-3.0706	1953.125	-11.3461	2031.250	-4.1791
2109.375	-13.2570	2187.500	-5.5375	2265.625	-13.8563
2343.750	-6.2615	2421.875	-15.4988	2500.000	-7.2605
2578.125	-16.0154	2656.250	-7.7503	2734.375	-17.5442
2812.500	-8.5133	2890.625	-18.0259	2968.750	-8.8449
3046.875	-19.5412	3125.000	-9.4416	3203.125	-20.0211
3281.250	-9.6594	3359.375	-21.6114	3437.500	-10.1331
3515.625	-22.1211	3593.750	-10.2650	3671.875	-23.8942
3750.000	-10.6440	3828.125	-24.4740	3906.250	-10.7075
3984.375	-26.6020	4062.500	-11.0108	4140.625	-27.3236
4218.750	-11.0173	4296.875	-30.1665	4375.000	-11.2580
4453.125	-31.1984	4531.250	-11.2141	4609.375	-35.8503
4687.500	-11.4007	4765.625	-37.8632	4843.750	-11.3097
4921.875	-55.6744	5000.000	-11.4473		

TABLO 3.2.2.

M = 128 N = 256 MOD = 2

ÖRNEKLEME FREKANSI = 10000.0000

X ORTALAMA = -0.18254E-06

Y ORTALAMA = -0.18254E-06

İLİŞKİ FONKSİYONU

LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ
0	0.502E+00	1	0.403E+00	2	0.151E+00
3	-0.156E+00	4	-0.401E+00	5	-0.492E+00
6	-0.395E+00	7	-0.148E+00	8	0.153E+00
9	0.393E+00	10	0.482E+00	11	0.387E+00
12	0.145E+00	13	-0.150E+00	14	-0.386E+00
15	-0.473E+00	16	-0.379E+00	17	-0.142E+00
18	0.147E+00	19	0.378E+00	20	0.463E+00
21	0.371E+00	22	0.139E+00	23	-0.144E+00
24	-0.370E+00	25	-0.453E+00	26	-0.363E+00
27	-0.136E+00	28	0.141E+00	29	0.362E+00
30	0.443E+00	31	0.356E+00	32	0.133E+00
33	-0.138E+00	34	-0.354E+00	35	-0.434E+00
36	-0.348E+00	37	-0.130E+00	38	0.135E+00
39	0.346E+00	40	0.424E+00	41	0.340E+00
42	0.127E+00	43	-0.132E+00	44	-0.338E+00
45	-0.414E+00	46	-0.332E+00	47	-0.124E+00
48	0.129E+00	49	0.330E+00	50	0.404E+00
51	0.324E+00	52	0.121E+00	53	-0.126E+00
54	-0.322E+00	55	-0.395E+00	56	-0.316E+00
57	-0.118E+00	58	0.123E+00	59	0.314E+00
60	0.385E+00	61	0.308E+00	62	0.115E+00
63	-0.120E+00	64	-0.307E+00		
128	0.000	129	0.000	130	0.000
131	0.000	132	0.000	133	0.000
136	0.000	137	0.000	138	0.000
141	0.000	142	0.000	143	0.000
146	0.000	147	0.000	148	0.000
151	0.000	152	0.000	153	0.000
156	0.000	157	0.000	158	0.000
161	0.000	162	0.000	163	0.000
166	0.000	167	0.000	168	0.000
171	0.000	172	0.000	173	0.000
176	0.000	177	0.000	178	0.000
181	0.000	182	0.000	183	0.000
186	0.000	187	0.000	188	0.000
191	0.000	192	0.000	193	0.000
196	0.000	197	0.000	198	0.000
201	0.000	202	0.000	203	0.000
206	0.000	207	0.000	208	0.000
211	0.000	212	0.000	213	0.000
216	0.000	217	0.000	218	0.000
221	0.000	222	0.000	223	0.000
226	0.000	227	0.000	228	0.000
231	0.000	232	0.000	233	0.000
236	0.000	237	0.000	238	0.000
241	0.000	242	0.000	243	0.000
246	0.000	247	0.000	248	0.000
251	0.000	252	0.000	253	0.000
256	0.000	257	0.000	258	0.000

PENCERE TİPİ = DİKD

PENCERE DEĞERLERİNİN SAYISI = 32

FFT BOYUTU = 512

LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU

FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	1.2472	19.531	0.5367	39.063	-1.8768
58.594	-7.5358	78.125	-29.4078	97.656	-6.2782
117.188	-1.2687	136.719	0.9067	156.250	1.4602
175.781	0.5820	195.313	-2.1191	214.844	-8.6993
234.375	-18.6584	253.906	-4.5223	273.438	-0.0881
292.969	1.8663	312.500	2.2792	332.031	1.2560
351.563	-1.7009	371.094	-9.2317	390.625	-13.7691
410.156	-2.5543	429.688	1.5092	449.219	3.3092
468.750	3.6088	488.281	2.4350	507.813	-0.8650
527.344	-10.1186	546.875	-8.5374	566.406	0.4372
585.938	4.1522	605.469	5.8475	625.000	6.1149
644.531	4.9181	664.063	1.5115	683.594	-8.7430
703.125	-4.2926	722.656	4.0844	742.188	7.7849
761.719	9.5563	781.250	9.9025	800.781	8.6847
820.313	4.7627	839.844	-14.9898	859.375	5.4010
878.906	12.5802	898.438	16.6794	917.969	19.4204
937.500	21.3159	957.031	22.5859	976.563	23.3393
996.094	23.6308	1015.625	23.4807	1035.156	22.8822
1054.688	21.7989	1074.219	20.1526	1093.750	17.7885
1113.281	14.3767	1132.813	9.0292	1152.344	-2.9137
1171.875	-0.3161	1191.406	6.5390	1210.938	8.7334
1230.469	9.0193	1250.000	7.8803	1269.531	5.1499
1289.063	-0.3675	1308.594	-23.3774	1328.125	-2.6847
1347.656	2.5767	1367.188	4.6147	1386.719	4.9984
1406.250	4.0427	1425.781	1.5591	1445.313	-3.5397
1464.844	-21.2586	1484.375	-6.8820	1503.906	-1.1274
1523.438	1.1191	1542.969	1.6240	1562.500	0.7219
1582.031	-1.8167	1601.563	-7.3242	1621.094	-43.7157
1640.625	-8.0631	1660.156	-2.8871	1679.688	-0.7551
1699.219	-0.2527	1718.750	-1.1017	1738.281	-3.5257
1757.813	-8.7350	1777.344	-31.1252	1796.875	-10.5726
1816.406	-5.0576	1835.938	-2.8044	1855.469	-2.2430
1875.000	-3.0760	1894.531	-5.5503	1914.063	-11.0343
1933.594	-74.6594	1953.125	-11.3461	1972.656	-6.1528

1992.188	-3.9630	2011.719	-3.3952	2013.250	-4.1791
2050.781	-6.5436	2070.313	-11.7165	2089.844	-34.9702
2109.375	-13.2570	2128.906	-7.7160	2148.438	-5.4062
2167.969	-4.7789	2187.500	-5.5374	2207.031	-7.9196
2226.563	-13.2435	2246.094	-45.4845	2265.625	-13.8564
2285.156	-8.4976	2304.688	-6.2115	2324.219	-5.5613
2343.750	-6.2615	2363.281	-8.5252	2382.813	-13.5213
2402.344	-33.8620	2421.875	-15.4988	2441.406	-9.7426
2460.938	-7.3214	2480.469	-6.6006	2500.000	-7.2605
2519.531	-9.5115	2539.063	-14.5629	2558.594	-37.0900
2578.125	-16.0153	2597.656	-10.3452	2617.188	-7.9170
2636.719	-7.1583	2656.250	-7.7503	2675.781	-9.8751
2695.313	-14.5964	2714.844	-31.3525	2734.375	-17.5442
2753.906	-11.4013	2773.438	-8.8177	2792.969	-7.9756
2812.500	-8.5133	2832.031	-10.6014	2851.563	-15.3110
2871.094	-32.4315	2890.625	-18.0259	2910.156	-11.8907
2929.688	-9.2750	2949.219	-8.3826	2968.750	-8.8449
2988.281	-10.8028	3007.813	-15.1930	3027.344	-28.9490
3046.875	-19.5411	3066.406	-12.8281	3085.938	-10.0338
3105.469	-9.0455	3125.000	-9.4416	3144.531	-11.3451
3164.063	-15.6806	3183.594	-29.2901	3203.125	-20.0210
3222.656	-13.2410	3242.188	-10.3930	3261.719	-9.3441
3281.250	-9.6595	3300.781	-11.4320	3320.313	-15.4673
3339.844	-26.8936	3359.375	-21.6112	3378.906	-14.1034
3398.438	-11.0506	3417.969	-9.8937	3437.500	-10.1330
3457.031	-11.8387	3476.563	-15.7933	3496.094	-26.9388
3515.625	-22.1217	3535.156	-14.4627	3554.688	-11.3363
3574.219	-10.1103	3593.750	-10.2652	3613.281	-11.8415
3632.813	-15.5191	3652.344	-25.1451	3671.875	-23.8939
3691.406	-15.2807	3710.938	-11.9193	3730.469	-10.5734
3750.000	-10.6442	3769.531	-12.1452	3789.063	-15.7286
3808.594	-25.0599	3828.125	-24.4735	3847.656	-15.6000
3867.188	-12.1462	3886.719	-10.7241	3906.250	-10.7083
3925.781	-12.0835	3945.313	-15.4142	3964.844	-23.6355
3984.375	-26.5913	4003.906	-16.3944	4023.438	-12.6703
4042.969	-11.1162	4062.500	-11.0094	4082.031	-12.3030
4101.563	-15.5320	4121.094	-23.4743	4140.625	-27.3251
4160.156	-16.6871	4179.688	-12.8495	4199.219	-11.2122
4218.750	-11.0168	4238.281	-12.1882	4257.813	-15.1863
4277.344	-22.2803	4296.875	-30.1673	4316.406	-17.4854
4335.938	-13.3324	4355.469	-11.5501	4375.000	-11.2577
4394.531	-12.3443	4414.063	-15.2403	4433.594	-22.0925
4453.125	-31.1989	4472.656	-17.7516	4492.188	-13.4657
4511.719	-11.5952	4531.250	-11.2138	4550.781	-12.1828
4570.313	-14.8689	4589.844	-21.0540	4609.375	-35.8508

4628.906	-18.5708	4648.438	-13.9138	4667.969	-11.8843
4687.500	-11.4004	4707.031	-12.2823	4726.563	-14.8677
4746.094	-20.8425	4765.625	-37.8644	4785.156	-18.8179
4804.688	-14.0051	4824.219	-11.8824	4843.750	-11.3095
4863.281	-12.0786	4882.813	-14.4729	4902.344	-19.9099
4921.875	-55.6764	4941.406	-19.6802	4960.938	-14.4246
4980.469	-12.1278	5000.000	-11.4473		

TABLO 3.2.3.

M = 128 N = 256 MOD = 3

ÖRNEKLEME FREKANSI = 10000.0000

X ORTALAMA = -0.18254E-06

Y ORTALAMA = 0.12022E-01

İLİŞKİ FONKSİYONU

LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ	LAG	İLİŞKİ
0	0.000E+00	1	0.293E+00	2	0.472E+00
3	0.470E+00	4	0.289E+00	5	-0.470E+00
6	-0.287E+00	7	-0.462E+00	8	-0.461E+00
9	-0.284E+00	10	0.149E+00	11	0.281E+00
12	0.453E+00	13	0.451E+00	14	0.278E+00
15	-0.472E-04	16	-0.276E+00	17	-0.444E+00
18	-0.442E+00	19	-0.272E+00	20	0.244E-06
21	0.270E+00	22	0.435E+00	23	0.433E+00
24	0.266E+00	25	-0.472E-04	26	-0.264E+00
27	-0.425E+00	28	-0.423E+00	29	-0.261E+00
30	0.313E-06	31	0.258E+00	30	0.416E+00
33	0.414E+00	34	0.255E+00	35	-0.473E-04
36	-0.253E+00	37	-0.407E+00	38	-0.405E+00
39	-0.249E+00	40	0.380E-06	41	0.247E+00
42	0.397E+00	43	0.396E+00	44	0.243E+00
45	-0.474E-04	46	-0.241E+00	47	-0.388E+00
48	-0.386E+00	49	-0.238E+00	50	0.440E-06
51	0.235E+00	52	0.379E+00	53	0.377E+00
54	0.232E+00	55	-0.475E-04	56	-0.230E+00
57	-0.370E+00	58	-0.368E+00	59	-0.226E+00
60	0.566E-06	61	0.224E+00	62	0.360E+00
63	0.358E+00	64	0.220E+00		

PENCERE TİPİ = DİKD (SSIVE) PSD KESTİRİMİ

PENCERE DEĞERLERİNİN SAYISI = 32

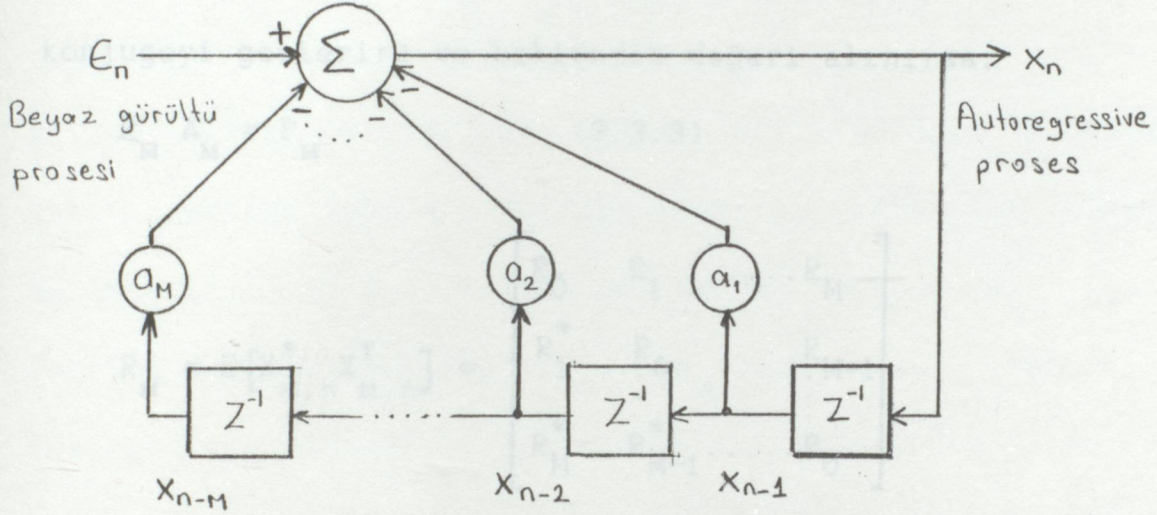
FFT BOYUTU = 128

LOGARİTMİK GÜÇ SPEKTRUMU

FREKANS	DB	FREKANS	DB	FREKANS	DB
0.000	-9.1754	78.125	-1.5696	156.250	1.7312
234.375	-0.6426	312.500	-6.4811	390.625	-2.4477
468.750	3.7055	546.875	4.7018	625.000	-0.0133
703.125	-1.1017	781.250	9.8123	859.375	14.5283
937.500	16.7109	1015.625	17.1140	1093.750	15.8457
1171.875	12.5512	1250.000	5.6715	1328.125	-19.9614
1406.250	2.0387	1484.375	3.3801	1562.500	-0.6202
1640.625	-17.6360	1718.750	-3.7982	1796.875	-1.0488
1875.000	-3.8120	1953.125	-15.7863	2031.250	-7.6560
2109.375	-3.9762	2187.500	-5.8884	2265.625	-15.2228
2343.750	-10.5345	2421.875	-6.1411	2500.000	-7.3824
2578.125	-15.0332	2656.250	-12.7974	2734.375	-7.8357
2812.500	-8.5117	2890.625	-14.9638	2968.750	-14.6174
3046.875	-9.2062	3125.000	-9.3850	3203.125	-14.9195
3281.250	-16.0884	3359.375	-10.3363	3437.500	-10.0633
3515.625	-14.8577	3593.750	-17.2653	3671.875	-11.2785
3750.000	-10.5838	3828.125	-14.7561	3906.250	-18.1810
3984.375	-12.0676	4062.500	-10.9698	4140.625	-14.6014
4218.750	-18.8553	4296.875	-12.7282	4375.000	-11.2364
4453.125	-14.3842	4531.250	-19.2997	4609.375	-13.2781
4687.500	-11.3929	4765.625	-14.0965	4843.750	-19.5206
4921.875	-13.7307	5000.000	-11.4446		

TABLO 3.2.4.

3.3. AR (AUTOREGRESSIVE) PSD KESTİRİMİ



ŞEKİL 5.

Bir autoregressive prosesin blok diyagramı Şekil 5.'deki gibidir. Bir beyaz gürültü prosesi ε_n ile sürülen M.'inci mertebeden AR prosesinden çıkış dizisi $x_1, x_2, \dots, x_N$ 'dir. Bunu matematiksel olarak şöyle ifade edebiliriz.

$$x_n = - \sum_{m=1}^M a_{M,m} \cdot x_{n-m} + \varepsilon_n \quad (3.3.1)$$

Burada a_m , M.'inci mertebeden AR prosesinin m.'inci AR parametresidir. Vektör cinsinden,

$$\varepsilon_n = X_{M,n}^T \cdot A_M \quad (3.3.2)$$

Burada, $A_M^T = [1, a_{M,1}, \dots, a_{M,M}]$ $X_{M,n}^T = [x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-M}]$

ve T vektör transpozeyi belirtir. (3.3.2)'nin her iki tarafı X_n^* vektörüyle önceden çarpılırsa (* kompleks konjugeyi gösterir) ve beklendik değeri alınır,

$$R_M A_M = P_M \quad (3.3.3)$$

$$R_M = E[X_{M,n}^* X_{M,n}^T] = \begin{bmatrix} R_0 & R_1 & \dots & R_M \\ R_1^* & R_0 & & R_{M-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_M^* & R_{M-1}^* & \dots & R_0 \end{bmatrix}$$

= (M+1)x(M+1) Toeplitz özilişki matrisi

$$R_i = E[x_j x_{j+i}^*] = \text{lag } i \text{'deki özilişki fonksiyonu.}$$

$$(R_i^* = R_{-i} \quad \text{durağan proses için})$$

$$P_M = [p_M, 0, \dots, 0]^T$$

$$p_M = E[\varepsilon_n \varepsilon_n^*] = \text{beyaz gürültü güç spektral yoğunluğu.}$$

Tanımdan, ε_n beyaz gürültü $m < n$ için bütün x_m 'ler ile ilişkisizdir. Böylece $E[\varepsilon_n X_n^*] = E[\varepsilon_n \varepsilon_n^*]$ olur. (3.3.3) gösterilen lineer denklemler seti Yule-Walker denklemleri olarak adlandırılır.

Çıkış güç spektral yoğunluğu $S_x(f)$, giriş güç spektral yoğunluğu $S_\varepsilon(f) = p_M$ ile şöyle ilişkilidir.

$$S_x(f) = \frac{p_M}{\left| 1 + \sum_{m=1}^{M-1} a_{M,m} \cdot \exp(-j2\pi f m \Delta t) \right|^2} \quad (3.3.4)$$

Δt sn. olarak özilişki lag aralığıdır. (3.3.4) denklemi autoregressive veya max.entropi spektral kestirimi olarak adlandırılır. (3.3.3)'te AR parametre vektörü A_M için, verilen $M+1$ özilişki lag'i $R_0, \dots, R_M$ için çözüm, recursive Levinson algoritmasıyla sağlanmıştır. M merteye için AR parametreleri, $M-1$ merteye için önceden tanımlanan AR parametrelerinden recursive olarak elde edilebilir.

$$a_{M,k} = a_{M-1,k} + a_{M,M} \cdot a_{M-1,M-k}^* \quad k=1, \dots, M-1 \text{ için} \quad (3.3.5)$$

$$a_{M,M} = - \sum_{k=0}^{M-1} a_{M-1,k} \cdot R_{M-k}^* / P_{M-1} \quad (3.3.6)$$

Gürültü spektral yoğunluğu için recursion,

$$P_M = P_{M-1} [1 - |a_{M,M}|^2] \quad (3.3.7) \text{ ile verilir.}$$

(3.3.5) ve $|a_{M,M}| \leq 1$ koşulları polinomun köklerinin birim Z-düzlem daire içinde kalmasını ve (3.3.4)'ün kutuplarından herbirinin birden küçük olmasını sağlar.

Gerçek özilişki fonksiyonu lag'lerinden ziyade eğer sadece N adet data örneği mevcutsa, bayazlanmış lag

kestirimleri, ÖRNEKLERİ.

$$\hat{R}_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m} x_n \cdot x_{n+m}^* \quad m=0, \dots, M \quad (3.3.9)$$

AR parametre kestirimi için Yule-Walker yaklaşımı seçildiğinde kolayca hesaplanabilir. Bu linear prediction analizinin özilişki yöntemi olarak adlandırılır.

Data örnekleri ile AR parametre kestirimi için alternatif bir yaklaşım, Burg tarafından 1968'de sunulmuştur. Burg algoritması, forward ve backward linear prediction error enerjilerinin toplamını kullanan bir least-square kestirim algoritmasıdır. Bir all-pole durağan stokastik proses için forward linear prediction hatası $f_{M,k}$ şöyle verilir.

$$f_{M,k} = x_{k+M} + \sum_{i=1}^M a_{M,i} \cdot x_{k+M-i} = \sum_{i=0}^M a_{M,i} \cdot x_{k+M-i} \quad (3.3.10)$$

$1 \leq k \leq N-M$ için, ve backward linear prediction hatası $b_{M,k}$

$$b_{M,k} = \sum_{i=0}^M a_{M,i}^* \cdot x_{k+1} \quad (3.3.11)$$

ile verilir. $1 \leq k \leq N-M$ için.

Forward ve backward prediction error enerjilerinin toplamı,

$$e_M = \sum_{k=1}^{N-m} |f_{M,k}|^2 + \sum_{k=1}^{N-m} |b_{M,k}|^2 \quad (3.3.12) \text{ ile verilir.}$$

PROGRAM ÖRNEKLERİ:

Örnek olarak iki program verilmiştir. Giriş olarak

$$x_k = \sum_{m=1}^M a_m \cdot x_{k-m} + \varepsilon_k \quad \text{girişi verilmiştir. Burada } \varepsilon_k \text{ beyaz}$$

Gauss gürültüsü, $a_1 = 1.44$, $a_2 = -1.26$ $a_3 = 0.81$ olarak alınmıştır. Üçüncü mertebeden bir AR prosesinden 40 data örneği üretmektedir.

```

C
C-----
C ANA PROGRAM
C-----
C
C-----
C ALTYPDAM PROGRAM
C-----
      DIMENSION X(100),A(21),RC(21)
      X(1)=1.
      X(2)=1.44
      X(3)=1.44*X(2)-1.26
      DO 10 J=4,40
        X(J)=1.44*X(J-1)-1.26*X(J-2)+.81*X(J-3)
      10 CONTINUE
9999 FORMAT (I3,2E15.6)
9998 FORMAT (E12.6/)
      N=40
      DO 20 M=2,3
        CALL COVAR(N,X,M,A,ALPHA,RC)
        MP=M+1
        WRITE (6,9999) (I,A(I),RC(I),I=1,MP)
        WRITE (6,9998) ALPHA
        CALL AUTO(N,X,M,A,ALPHA,RC)
        WRITE (6,9999) (I,A(I),RC(I),I=1,MP)
        WRITE (6,9998) ALPHA
      20 CONTINUE
      DO 30 JB=1,40
        J=44-JB
        X(J)=X(J-3)
      30 CONTINUE
      DO 40 J=1,3
        JB=43+J
        X(J)=0.
        X(JB)=0.
      40 CONTINUE
      M=3
      N=46
      CALL COVAR(N,X,M,A,ALPHA,RC)
      MP=M+1
      WRITE (6,9999) (I,A(I),RC(I),I=1,MP)
      WRITE (6,9998) ALPHA
      CALL AUTO(N,X,M,A,ALPHA,RC)
      WRITE (6,9999) (I,A(I),RC(I),I=1,MP)
      WRITE (6,9998) ALPHA
      STOP
      END

```



```

C
C-----
C ALTYORDAM: COVAR
C LINEAR PREDICTION ANALİZİNİN KOVARYANS METODU İÇİN
C ALTYORDAM PROGRAMI
C-----
C
C      SUBROUTINE COVAR(N,X,M,A,ALPHA,GRC)
C
C GİRİŞLER : N - DATA NOKTALARININ SAYISI
C           X(N) - GİRİŞ DATA DİZİSİ
C           M - MODEL MERTEBESİ (M<21*)
C ÇIKIŞLAR : A - AUTOREGRESSIVE KATSAYILAR
C           ALPHA - RESIDUAL "ENERJİ"
C           GRC - GENELLEŞTİRİLMİŞ YANSIMA KATSAYILARI
C *PROGRAM M=20'YE SINIRLANDIRILMIŞTIR.
C B(M*(M+1)/2), BETA(M), VE CC(M+1)
C
50  DIMENSION X(1),A(1),GRC(1)
    DIMENSION B(190),BETA(20),CC(21)
    MP=M+1
    MT=MP*M/2
    MT=(MP*M)/2
    DO 10 J=1,MT
        B(J)=0.
10  CONTINUE
    ALPHA=0.
    CC(1)=0.
    CC(2)=0.
    DO 20 NP=MP,N
        NP1=NP-1
        ALPHA=ALPHA+X(NP)*X(NP)
        CC(1)=CC(1)+X(NP)*X(NP1)
        CC(2)=CC(2)+X(NP1)*X(NP1)
20  CONTINUE
    B(1)=1.
    BETA(1)=CC(2)
    GRC(1)=-CC(1)/CC(2)
    A(1)=1.
    A(2)=GRC(1)
    ALPHA=ALPHA+GRC(1)*CC(1)
    MF=M
    DO 130 MINC=2,MF
        DO 30 J=1,MINC
            JP=MINC+2-J

```

```

      N1=MP+1-JP
      N2=N+1-MINC
      N3=N+2-JP
      N4=MP-MINC
130  CC(JP)=CC(JP-1)+X(N4)*X(N1)-X(N2)*X(N3)
30   CONTINUE
150  CC(1)=0.
      DO 40 NP=MP,N
      N1=NP-MINC
      CC(1)=CC(1)+X(N1)*X(NP)
40   CONTINUE
3999 MSUB=(MINC*MINC-MINC)/2
      MM1=MINC-1
      N1=MSUB+MINC
      B(N1)=1.
      DO 80 IP=1,MM1
      ISUB=(IP*IP-IP)/2
      IF (BETA(IP)) 150,150,50
50   GAM=0.
      DO 60 J=1,IP
      N1=ISUB+J
      GAM=GAM+CC(J+1)*B(N1)
60   CONTINUE
      GAM=GAM/BETA(IP)
      DO 70 JP=1,IP
      N1=MSUB+JP
      N2=ISUB+JP
      B(N1)=B(N1)-GAM*B(N2)
70   CONTINUE
80   CONTINUE
      BETA(MINC)=0.
      DO 90 J=1,MINC
      N1=MSUB+J
      BETA(MINC)=BETA(MINC)+CC(J+1)*B(N1)
90   CONTINUE
      IF (BETA(MINC)) 150,150,100
100  S=0.
      DO 110 IP=1,MINC
      S=S+CC(IP)*A(IP)
110  CONTINUE
      GRC(MINC)=-S/BETA(MINC)
      DO 120 IP=2,MINC
      M2=MSUB+IP-1
      A(IP)=A(IP)+GRC(MINC)*B(M2)
120  CONTINUE

```



```

10 A(MINC+1)=GRC(MINC)
20 S=GRC(MINC)*GRC(MINC)*BETA(MINC)
   ALPHA=ALPHA-S
   IF (ALPHA) 150,150,130
130 CONTINUE
140 RETURN
150 CONTINUE
C
C UYARI - TEKİL MATRİS
C
   WRITE (6,9999)
9999 FORMAT (31H UYARI - TEKİL MATRİS - COVAR)
   GO TO 140
END
C
C-----
C ALTYORDAM: AUTO
C LINEAR PREDICTION - ANALİZİNİN ÖZİLİŞKİ METODU İÇİN
C ALTYORDAM PROGRAMI
C-----
C
C SUBROUTINE AUTO(N,X,M,A,ALPHA,RC)
C
C GİRİŞLER: N - DATA NOKTALARININ SAYISI
C           X(N) - GİRİŞ DATA DİZİSİ
C           M - MODEL MERTEBESİ (M<21*)
C ÇIKIŞLAR: A - AUTOREGRESSIVE KATSAYILAR
C           ALPHA - RESIDUAL ENERJİ
C           RC - YANSIMA KATSAYILARI
C
C *PROGRAM R(.)'NİN BOYUTLARINDAN DOLAYI M<21'E SINIRLIDIR.
C
   DIMENSION X(1),A(1),RC(1)
   DIMENSION R(21)
   MP=M+1
   DO 20 K=1,MP
     R(K)=0.
     NK=N-K+1
     DO 10 NP=1,NK
       N1=NP+K-1
       R(K)=R(K)+X(NP)*X(N1)

```

```

10  CONTINUE
20  CONTINUE
   RC(1)=-R(2)/R(1)
   A(1)=1.
   A(2)=RC(1)
   ALPHA=R(1)+R(2)*RC(1)
   DO 50 MINC=2,M
     S=0.
     DO 30 IP=1,MINC
       N1=MINC-IP+2
       S=S+R(N1)*A(IP)
30  CONTINUE
   RC(MINC)=-S/ALPHA
   MH=MINC/2+1
   DO 40 IP=2,MH
     IB=MINC-IP+2
     AT=A(IP)+RC(MINC)*A(IB)
     A(IB)=A(IB)+RC(MINC)*A(IP)
     A(IP)=AT
40  CONTINUE
   A(MINC+1)=RC(MINC)
   ALPHA=ALPHA+RC(MINC)*S
   IF (ALPHA) 70,70,50
50  CONTINUE
60  RETURN
70  CONTINUE
C
C  UYARI - TEKİL MATRİS
C
   WRITE (6,9999)
9999 FORMAT (31H UYARI - TEKİL MATRİS - AUTO)
   GO TO 60
END

```


ÇIKIŞ PARAMETRELERİ

I	A(I)	RC(I)
1	0.100000E+01	-0.891117E+00
2	-0.891117E+00	0.000000E+00
3	0.000000E+00	-0.118010E-37
ALPHA = 0.180585E+01		

1	0.100000E+01	-0.905550E+00
2	-0.116200E+01	0.283200E+00
3	0.283200E+00	-0.118010E-37
ALPHA = 0.308388E+01		

1	0.100000E+01	-0.935488E+00
2	-0.935488E+00	0.000000E+00
3	0.000000E+00	0.000000E+00
4	0.000000E+00	-0.118010E-37
ALPHA = 0.155531E+01		

1	0.100000E+01	-0.905550E+00
2	-0.136309E+01	0.283200E+00
3	0.110827E+01	-0.710041E+00
4	-0.710041E+00	-0.118010E-37
ALPHA = 0.152911E+01		

1	0.100000E+01	-0.905550E+00
2	-0.905550E+00	0.000000E+00
3	0.000000E+00	0.000000E+00
4	0.000000E+00	-0.118010E-37
ALPHA = 0.335278E+01		

1	0.100000E+01	-0.905550E+00
2	-0.136309E+01	0.283200E+00
3	0.110827E+01	-0.710041E+00
4	-0.710041E+00	-0.118010E-37
ALPHA = 0.152911E+01		

Tablo 3.3.1

```

C      SUBROUTINE LSTSQS(N,M,MMAX,X,A,E,TOL1,TOL2,STATUS,E0)
C      BU PROGRAM MARPLE'IN LEAST SQUARES ALGORİTMASIYLA
C      AUTOREGRESSİVE (AR) PARAMETRELERİNİ HESAPLAR
C      N = ALTYORDANCIYI GİTİSİ ARIYANAN MODEL MERTEBESİ
C      COMPLEX X,A EN MAXİMUM MODEL MERTEBESİ
C      DIMENSION X(101),A(100)
C      INTEGER STATUS
C      WRITE (6,9999)
9999  FORMAT ('İSTENEN MAX.MODEL MERTEBESİ(I2)=')
C      READ (5,9998) MMAX
9998  FORMAT (I2)
C      X(1)=1.
C      X(2)=1.44
C      X(3)=1.44*X(2)-1.26
C      DO 10 J=4,40
C          X(J)=1.44*X(J-1)-1.26*X(J-2)+.81*X(J-3)
10  CONTINUE
C      N=40
C      TOL1=2E-03
C      TOL2=9E-03
C      CALL LSTSQS(N,M,MMAX,X,A,E,TOL1,TOL2,STATUS,E0)
C      WRITE (6,9997)
9997  FORMAT (2HM=,I2)
C      WRITE (6,9996) E
9996  FORMAT (E15.8)
C      WRITE (6,9995) STATUS
9995  FORMAT (7HSTATUS=,I1)

```


SUBROUTINE LSTSQS(N,M,MMAX,X,A,E,TOL1,TOL2,STATUS,EO)

C-----
 C N = DATA ÖRNEKLERİNİN SAYISI
 C M = ALTYORDAMDAN ÇIKIŞ ANINDAKİ MODEL MERTEBESİ
 C MMAX = İSTENEN MAKSİMUM MODEL MERTEBESİ (GİRİŞ)
 C X = N ADET KOMPLEKS DEĞERLİ DATA ÖRNEĞİ DİZİSİ
 C A = M ADET KOMPLEKS DEĞERLİ AUTOREGRESSIVE KATSAYI
 C DİZİSİ
 C E = M MERTEBESİ İÇİN PREDICTION ERROR ENERJİSİ
 C (FORWARD VE BACKWARD)
 C TOL1 = (E(M)-E(M-1))/E(M-1)<TOL2 OLDUĞUNDA RECURSION'I
 C DURDURAN TOLERANS FAKTÖRÜ
 C TOL2 = (E(M)-E(M-1))/E(M-1)<TOL2 OLDUĞUNDA RECURSION'I
 C DURDURAN TOLERANS FAKTÖRÜ
 C STATUS = ALTYORDAM ÇIKIŞ ANINDAKİ BEŞ KOŞULDAN BİRİNİ
 C GÖSTEREN TAMSAYI
 C EO = TOPLAM SİNYAL ENERJİSİ
 C COMPLEX X(1),A(1),C(101),D(101),R(101),F,B,H,S,U,V
 C COMPLEX SAVE1,SAVE2,SAVE3,SAVE4,Q2,Q3,DELTA,
 C COMPLEX C1,C2,C3,C4,C5,C6
 C INTEGER STATUS

C INITIALIZATION

C
 C EO=0.
 C DO 10 K=1,N
 10 EO=EO+REAL(X(K))**2+AIMAG(X(K))**2
 C EO=2.*EO
 C Q1=1./EO
 C Q2=CMPLX(Q1*REAL(X(1)),-Q1*AIMAG(X(1)))
 C G=Q1*REAL(X(1))**2+AIMAG(X(1))**2
 C W=Q1*REAL(X(N))**2+AIMAG(X(N))**2
 C DEN=1.-G-W
 C Q4=1./DEN
 C Q5=1.-G
 C Q6=1.-W
 C F=X(1)
 C B=X(N)
 C H=Q2*CONJG(X(N))
 C S=Q2*X(N)
 C U=Q1*X(N)*X(N)
 C V=Q2*CONJG(X(1))
 C E=EO*DEN
 C Q1=1./E
 C C(1)=Q1*CONJG(X(1))


```

D(1)=Q1*X(N)
M=1.
SAVE1=(0.,0.)
N1=N+1
NM=N-1
DO 20 K=1,NM
20  SAVE1=SAVE1+X(K+1)*CONJG(X(K))
R(1)=2.*SAVE1
A(1)=CMPLX(-Q1*REAL(R(1)), -Q1*AIMAG(R(1)))
E=E*(1.-REAL(A(1))*2-AIMAG(A(1))*2)
30  IF (M.LT. MMAX) GO TO 40
STATUS=1
RETURN
C
C PREDICTION FILTER ERROR UPDATE
C
40  EOLD=E
M1=M+1
F=X(M1)
B=X(NM)
DO 50 K=1,M
F=F+X(M1-K)*A(K)
50  B=B+X(NM+K)*CONJG(A(K))
C
C AUXILIARY VECTORS ORDER UPDATE
C
Q1=1./E
Q2=CMPLX(Q1*REAL(F), -Q1*AIMAG(F))
Q3=CMPLX(Q1*REAL(B), Q1*AIMAG(B))
DO 60 K=M,1,-1
K1=K+1
C(K1)=C(K)+Q2*A(K)
60  D(K1)=D(K)+Q3*A(K)
C(1)=Q2
D(1)=Q3
C
C SCALAR ORDER UPDATE
C
Q7=REAL(S)**2+AIMAG(S)**2
Y1=REAL(F)**2+AIMAG(F)**2
Y2=REAL(V)**2+AIMAG(V)**2
Y3=REAL(B)**2+AIMAG(B)**2
Y4=REAL(U)**2+AIMAG(U)**2
G=G+Y1*Q1+Q4*(Y2*Q5+Q7*Q5+2.*REAL(CONJG(V)*H*S))
W=W+Y3*Q1+Q4*(Y4*Q5+Q7*Q5+2.*REAL(CONJG(S)*H*U))

```



```

H=(0.,0.)
S=(0.,0.)
U=(0.,0.)
V=(0.,0.)

```

```

DO 70 K=0,M

```

```

    K1=K+1
    NK=N-K
    H=H+CONJG(X(NM+K))*C(K1)
    S=S+X(NK)*C(K1)
    U=U+X(NK)*D(K1)

```

```

70    V=V+CONJG(X(K1))*C(K1)

```

```

C
C DENOMINATOR UPDATE
C

```

```

    Q5=1.-G
    Q6=1.-W
    DEN=Q5*Q6-REAL(H)**2-AIMAG(H)**2
    IF (DEN .GT. 0.) GO TO 80
    STATUS=2
    RETURN

```

```

C
C TIME SHIFT VARIABLES UPDATE
C

```

```

80    Q4=1./DEN
    Q1=Q1*Q4
    ALPHA=1./(1.+(Y1*Q6+Y3*Q5+2.*REAL(H*F*B))*Q1)
    E=ALPHA*E
    C1=Q4*(F*Q6+CONJG(B*H))
    C2=Q4*(CONJG(B)*Q5+H*F)
    C3=Q4*(V*Q6+H*S)
    C4=Q4*(S*Q5+V*CONJG(H))
    C5=Q4*(S*Q6+H*U)
    C6=Q4*(U*Q5+S*CONJG(H))
    DO 90 K=1,M
        K1=K+1
90    A(K)=ALPHA*(A(K)+C1*C(K1)+C2*D(K1))
        M2=M/2+1
        DO 100 K=1,M2
            MK=M+2-K
            SAVE1=CONJG(C(K))
            SAVE2=CONJG(D(K))
            SAVE3=CONJG(C(MK))
            SAVE4=CONJG(D(MK))
            C(K)=C(K)+C3*SAVE3+C4*SAVE4
            D(K)=D(K)+C5*SAVE3+C6*SAVE4

```

```

      IF (MK .EQ. K) GO TO 100
      C(MK)=C(MK)+C3*SAVE1+C4*SAVE2
      D(MK)=D(MK)+C5*SAVE1+C6*SAVE2
100    CONTINUE
C
C ORDER UPDATE
C
      M=M+1
      NM=N-M
      M1=M-1
      DELTA=(0.,0.)
      C1=CONJG(X(N1-M))
      C2=X(M)
      DO 110 K=M1,1,-1
      R(K+1)=R(K)-X(N1-K)*C1-CONJG(X(K))*C2
110    DELTA=DELTA+R(K+1)*A(K)
      SAVE1=(0.,0.)
      DO 120 K=1,NM
120    SAVE1=SAVE1+X(K+M)*CONJG(X(K))
      R(1)=2.*SAVE1
      DELTA=DELTA+R(1)
      Q2=CMPLX(-REAL(DELTA)/E,-AIMAG(DELTA)/E)
      A(M)=Q2
      M2=M/2
      DO 130 K=1,M2
      MK=M-K
      SAVE1=CONJG(A(K))
      A(K)=A(K)+Q2*CONJG(A(MK))
      IF (K .EQ. MK) GO TO 130
      A(MK)=A(MK)+Q2*SAVE1
130    CONTINUE
      Y1=REAL(Q2)**2+AIMAG(Q2)**2
      E=E*(1.-Y1)
      IF (Y1 .LT. 1.) GO TO 140
      STATUS=3
      RETURN
140    IF (E .GE. EO*TOL1) GO TO 150
      STATUS
      RETURN
150    IF ((EOLD-E) .GE. EOLD*TOL2) GO TO 30
      STATUS=5
      RETURN
      END

```



ÇIKIŞ PARAMETRELERİ

$M = 3$

$E = 0.14808320E+00$

$A(1) = (-1.4761450, 0.0000000)$

$A(2) = (1.4558820, 0.0000000)$

$A(3) = (-0.9781907, 0.0000000)$

STATUS = 1

$M = 4$

$E = 0.13405600E+00$

$A(1) = (-1.6810510, 0.0000000)$

$A(2) = (1.7730110, 0.0000000)$

$A(3) = (-1.2734650, 0.0000000)$

$A(4) = (0.1868162, 0.0000000)$

STATUS = 1

$M = 5$

$E = 0.71767750E-02$

$A(1) = (-2.0513000, 0.0000000)$

$A(2) = (3.3343540, 0.0000000)$

$A(3) = (-3.3197490, 0.0000000)$

$A(4) = (2.0062290, 0.0000000)$

$A(5) = (-0.9694707, 0.0000000)$

STATUS = 4

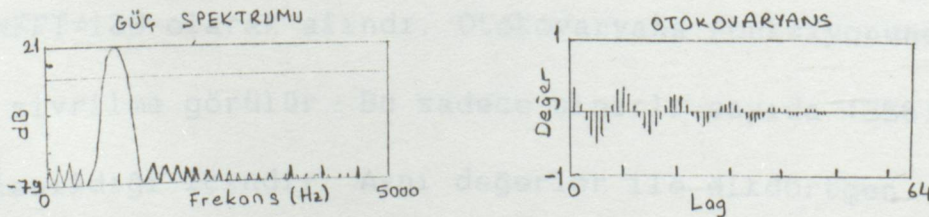
Tablo 3.3.2



BÖLÜM 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

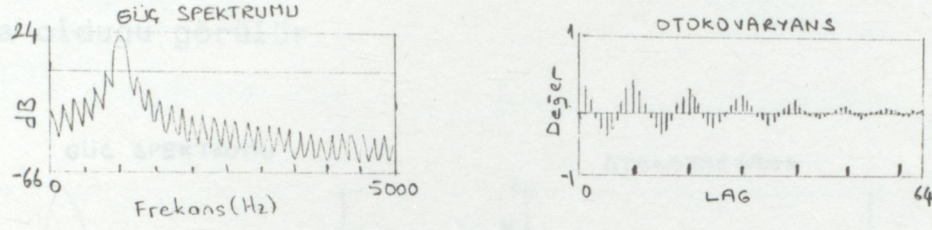
Geleneksel Spektral analiz yöntemlerinden, Periodogram yöntemiyle yapılan analizde FS/10 frekanslı bir sinüsoidalın örneklerini temsil eden $x(n) = \cos(2\pi n/10)$ dizisi alınmıştır. Bölüm 3.1.1.'de Örnek 1'de $M=128$, $IWIN=2$, $L=64$, $N=256$ ve $FS=10000$ olarak alındı. 256 uzunluklu bir segman, herbiri 64 uzunluklu Hamming pencerele 7 bölmeye ayrılmıştır. Aynı değerler ile dikdörtgen pencere kullanıldığında, ana kulakçık genliği büyümekte fakat aynı oranda yan kulakçık bölmeleri de yükselmektedir. Hamming penceresi ile daha iyi bir çözülme sağlanmaktadır. $M=L$ alındığında en iyi verim sağlanır. Bu durumda datanın 256 örneğinden, segmanların yarısı kadarı elde edilir fakat çözülme iki kat daha iyidir. Fakat daha detaylı bir spektrum isteniyorsa, $M > L$ alınmalıdır.

Tablo 3.1.1, 3.1.2 ve 3.1.3'ün çizimleri sırasıyla Şekil 6,7 ve 8'de kabaca verilmiştir.



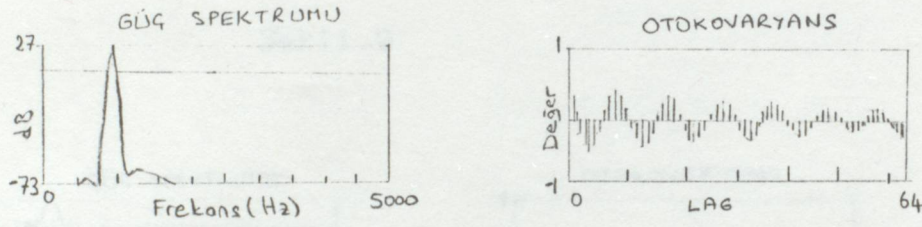
ÖRNEK.1.

Şekil.6



ÖRNEK 2.

Şekil.7

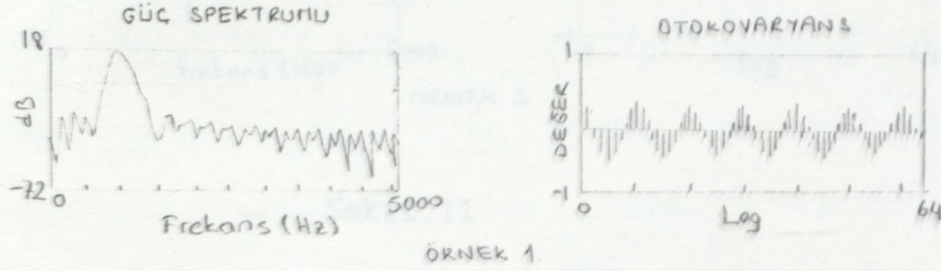


ÖRNEK 3

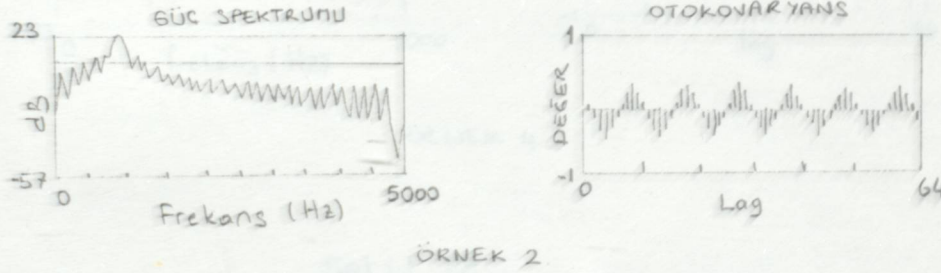
Şekil.8

Bölüm 3.2.2'de ilişki yöntemiyle güç spektrumu analizinde yine FS/10. frekanslı iki sinüsoidal data dizisi $x(n)=\cos(2\pi n/10)$ ve $y(n)=\sin(2\pi n/10)$ alınmıştır. Örnek 1'de $M=128$, $N=256$, $MOD=2$ (otokovaryans), $FS=10000.$, $IWIN=2$, $L=32$ ve $NFFT=128$ olarak alındı. Otokovaryans fonksiyonunda zayıf bir sivrilme görülür. Bu sadece sınırlı sayıda (256) örnek kullanıldığı içindir. Aynı değerler ile dikdörtgen pencere kullanıldığında, Hamming pencerenin aynı boyuttaki dikdörtgen pencereden iki kat daha geniş ana kulakçıga

sahip olduğu fakat yan kulakçık bölmelerinin çok daha aşağıda olduğu görülür.

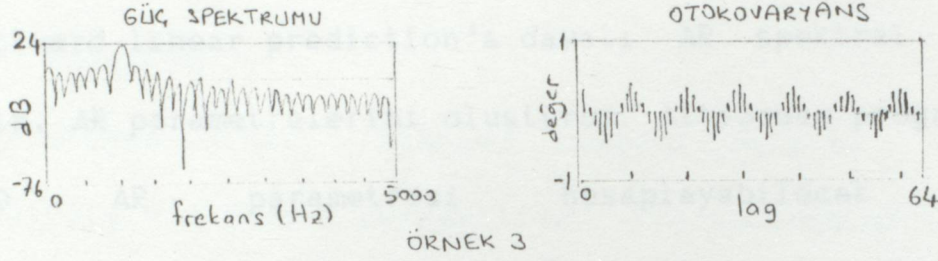


Şekil.9



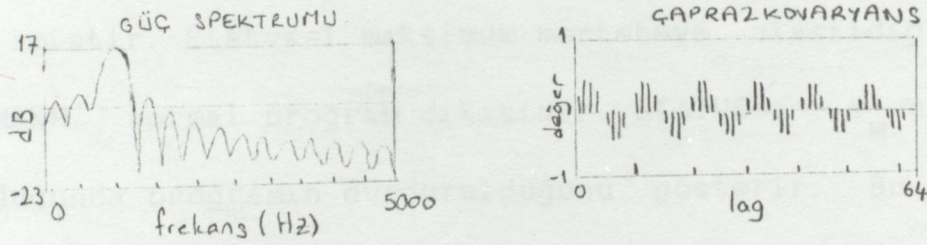
Şekil.10

Örnek 3'te bu kez FFT boyutu değiştirildi. Bu kez daha yumuşak bir spektrum elde edildi. Bununla beraber bu, gerçek spektrumun doğru bir gösterimi değildir fakat oldukça detaylı bir gösterimdir. Örnek 4'te $MOD=3$ (otokovaryans) alınmıştır. $y(n)=x(n-2.5)$ 'tir, $R_{xy}(m)$ Örnek 2'deki otokovaryans fonksiyonu ile hemen hemen aynıdır fakat 2.5 örnek sağa kaymıştır.



ÖRNEK 3

Şekil.11



ÖRNEK 4.

Şekil.12

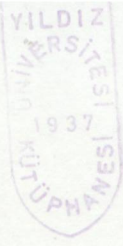
Bölüm 3.3'te AR spektral kestirim yöntemleri incelendi. Giriş olarak $x(n)=1.44x(n-1)-1.26x(n-2)+0.81x(n-3)$ AR prosesi alındı. Bu, $a_1=-1.44$, $a_2=1.26$, $a_3=-0.81$ üçüncü mertebeden bir AR prosesi'dir. Program, $M=2$ ve $M=3$ için kovaryans ve korelasyon metodlarıyla AR parametre kestirimi sonuçlarını verir. $M=3$ ile 40 noktalı dizi için her iki metod da özdeş sonuçlar vermektedir. Sonuçlar, Bölüm 3.3'te Tablo 3.3.1'de verilmiştir.

Bölüm 3.3'te incelenen başka bir teknik te Marple'ın

Least Squares algoritmasıdır. LS algoritması forward ve backward linear prediction'a dayalı AR spektral kestirim için, AR parametrelerini oluşturur. Altyordam programı max. 100 AR parametresi hesaplayabilecek şekilde oluşturulmuştur. C, R, ve D dizileri hesaplanacak AR katsayıları sayısından bir fazla olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. $TOL1=2.10^{-3}$ ve $TOL2=9.10^{-3}$ olarak set edilmiştir. Status=1 maksimum mertebeye ulaşıldığı andaki $M=MAXM$, normal program çıkışıdır. STATUS=4, $e_M/e_O < TOL1$ olduğunda programın durdurulduğunu gösterir. Bu demektir ki; residual prediction error enerjisi, toplam sinyal enerjisinin çok küçük bir kısmıdır. (Tablo 3.3.2) STATUS=5 durumu $(e_{M-1} - e_M)/e_{M-1} < TOL2$ olduğunda programın sona erdiğini gösterir. Yani; M.'inci mertebedeki residual prediction error enerjisinin bir önceki M-1'inci mertebedekinden çok küçük bir farkla değiştiğini gösterir. STATUS=3 $|a_{M,M}| > 1$ olduğunda, $0 < |a_{M,M}| \leq 1$ olduğundan sayısal bir hatayı, veya olası bir tekil matrisi belirtir. STATUS=2 $DEN_M \leq 0$ olduğunda programın durduğunu gösterir. Buda sayısal bir hatanın göstergesidir, çünkü; DEN_M pozitif değerli olmalıdır.

KAYNAKÇA

- 1 - Steven M.Kay, Stanley Lawrens Marple, "Spectrum Analysis - A modern perspective". Proceedings of the IEEE, Vol.69, No.11, November 1981.
- 2 - Larry Marple, "A New Autoregressive Spectrum Analysis Algoritm", IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol.ASSP-28, No.4, August 1980.
- 3 - Prof. Dr. Nezihi Canitez, "Jeofizikte Veri İşlem", İTÜ Yayınları, 1984.
- 4 - Paul A. Lynn, Wolfgang Fuerest, "Introductory Digital Signal Processing with computer applications", John Wiley & Sons, 1989.
- 5 - David J. DeFatta, Joseph G. Lucas, William S. Hodgkiss, "Digital Signal Processing: A system design approach". John Wiley & Sons, 1988.
- 6 - İşaret ve Sistem Analizinde Olasılık Yöntemleri, Prof. George R. Cooper, Prof. Clare D. McGillum, Çeviren: Doç. Metin Yücel, Yıldız Üniversitesi, Öğretim Üyesi.
- 7 - Mustafa Aktar, "Modern Spectrum Estimation", Doktora Tezi, 1983.



ÖZGEÇMİŞ

Dilek Biçki 19.12.1962'de Balıkesir'de doğdu. İlkokulu Umurbey İlkokulu'nda bitirdi. Orta öğrenimini Bursa Kız Lisesi'nde tamamladı. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1985 yılında Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 1986 yılında TRT-Ankara Televizyonu, Teknik Müdürlük, Yurt Dışı Naklen Yayınlar Başmühendisliği'nde mühendis olarak çalışmaya başladı. 1988 yılında Yüksek Öğretim Kurulu Dünya Bankası Meslek Yüksekokulları Projesi ile İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Düzce Meslek Yüksekokulu'na Öğretim Görevlisi olarak atandı. Aynı proje kanalıyla göreve başlamadan önce dokuz ay süreyle yurt dışına gönderildi. İngiltere'de Huddersfield Polytechnic'te teknik eğitim üzerine iki ay, Amerika Birleşik Devletleri Wisconsin eyaletinde, Waukesha County Technical College'da Control & Instrumentation üzerine yedi ay eğitim gördü. 1989'da Türkiye'ye dönerek Düzce Meslek Yüksekokulu'nda göreve başladı. Bu arada Yıldız Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde Yüksek Lisans çalışmasına başladı. 1991 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne geçti. Halen bu bölümde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.