

Sentetik Açıklıklı Odaklanma Tekniği ile Ultrasonik Konum Netleştirme

Ultrasonic Location Clarification Using Synthetic Aperture Focusing Technique

Cemil ALTIN¹, M. Serdar Bascil¹, Mücella ÖZBAY KARAKUŞ², Orhan ER¹

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği
Bozok Üniversitesi
{cemil.altin, serdar.bascil, orhan.er}@bozok.edu.tr

²Bilgisayar Mühendisliği
Bozok Üniversitesi
mucella.karakus@bozok.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Sentetik Açıklıklı Odaklanma Tekniği ve Kaiser penceresi kullanılarak ultrasonik konum netleştirme yapılmıştır. Öncelikle tarama alanındaki cisimlere parlaklık-taraması (B-Scan) yapılmış ve cisimlerin yaklaşık konumlarını ifade eden ham veri ile cisim konumları resmedilmiştir. Çalışmada Roland DXY-1300-1200-1100 marka ve modelde plottera monte edilmiş Devantech SRF04 marka ve model ultrasonik sensör kullanılmış olup plotter yardımıyla x ekseninde 1 cm aralıklarla 76 noktadan ultrasonik tarama yapılarak tarama alanında ki 2 adet cismin ultrasonik verileri alınmıştır. Ham ultrasonik veriden elde edilen resimde cisimlerin konumları net olmamakla birlikte resimde gürültüler de bulunmaktadır. Bu nedenle bu ham verilerin işlenip konumların daha net ifade edildiği ve gürültülerden arındırılmış yeni resimlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu düzenlenmiş yeni resimlerin elde edilmesi Sentetik Açıklıklı Odaklanma Tekniği ile yapılmıştır teknik uygulanırken pencereleme tekniklerinden de faydalanılmıştır. Pencereleme tekniği olarak Kaiser penceresi kullanılmıştır. Kullanılan bütün teknikler ile ilgili teorik bilgiler çalışma içerisinde mevcut olup ham ultrasonik verilerle elde edilen resim ile Sentetik Açıklıklı Odaklanma tekniği ile işlenmiş yeni resim kıyaslanarak farklılıklar ve netleşmeler gözlemlenmiştir.

Abstract

In this work ultrasonic location clarification is made by using Synthetic Aperture Focusing Technique(SAFT) and using Kaiser windowing. Firstly ultrasonic brightness scan (B-Scan) is applied in the scanning area and the approximate locations of the objects are pictured with raw ultrasonic data. In the work Devantech SRF04 ultrasonic sensor which is mounted on Roland DXY-1300-1200-1100 plotter is used to get ultrasonic data and plotter scanned the x-axis by 1 cm intervals during 76 points to get the ultrasonic data of two objects located in the scanning area. Locations of the objects in the Picture formed by raw ultrasonic data is not clear and has noise. Because of this the Picture formed by raw ultrasonic data should be processed to get new Picture which shows the clear location of the objects. In order to realize clarification process

SAFT and Kaiser windowing techniques are used. Theoretical informations about the techniques used are described in the work and the differences and clarifications between SAFT applied Picture and raw Picture are observed.

1. Giriş

İnsanlık tarihinde insanoğlu doğal eksikliklerin bilim ve teknoloji ile aşılabileceğini kanıtlamıştır. Bunun en önemli örneklerinden biri ultrasonik görüntülemedir. Bizler beynimizde oluşan görüntüyü gözlerimiz tarafından gönderilen elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla oluştururuz. Fakat yarasalar, balinalar, ve yunus balıklarının ses vasıtasıyla görme yetenekleri vardır. Yarasalar yer tayini, mesafe tayini ve nesnelerin tanımlanmasını yüksek frekanslı ses dalgaları yayıp bu dalgaların yansımaları dinleyerek gerçekleştirmektedirler. İnsanoğlu doğal olarak ses vasıtasıyla beyninde görüntü oluşturmada çok başarılı değildir. Buna rağmen bizler yukarıda bahsi geçen hayvanların kullandığı ses ile görüntü oluşturma yöntemlerini çok basitte olsa kullanabilmekteyiz. Örneğin bir odada veya karşımızda duran bir duvara bağırıp geri yansıyan ses dalgamızı dinleyerek odanın büyüklüğünü veya duvarın uzaklığını beynimizde oluşturabiliyoruz. Bu prensip birinci dünya savaşında ki denizaltıların su altında navigasyonu için ilk yankı navigasyonu sisteminin gelişmesine zemin olan prensiptir.[1] Bu tekniğin ismi Sentetik Açıklıklı Görüntüleme tekniğidir. Bu teknik fiziksel bir merceği modelleme adına transdüserin farklı konumlardan algıladığı ultrasonik sinyallerin tutarlı biçimde toplanması esasına dayanmaktadır. Sentetik Açıklıklı Görüntüleme tekniğinin kullanıldığı birçok alan mevcuttur 1950 lerde geliştirilen ilk radar sistemlerinden, medikal teşhis, sismik keşifler, ve tahribatsız deneylere kadar birçok alanda kullanılmaktadır.[2]

Bu çalışmada kullanılan Sentetik Açıklıklı Odaklanma tekniği ise Sentetik Açıklıklı Görüntüleme tekniğinin bir versiyonudur. Çalışmanın bundan sonraki kısmında adının uzunluğu nedeniyle Sentetik Açıklıklı Odaklanma Tekniği yazmak yerine İngilizce kısaltması ve literatürdeki ismi olan SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique) kelimesi kullanılacaktır. SAFT' in en büyük avantajı aynı anda bütün noktalara odaklanabilmesidir.

2. Teori

Çalışmanın teori kısmında ultrasonik sensörlerin çalışma prensibinden, ultrasonik görüntüleme yöntemi olan SAFT tan ve SAFT ile birlikte kullanılan pencereleme tekniklerinden bahsedilmektedir.

2.1. Ultrasonik Sensörlerin Çalışma Prensibi

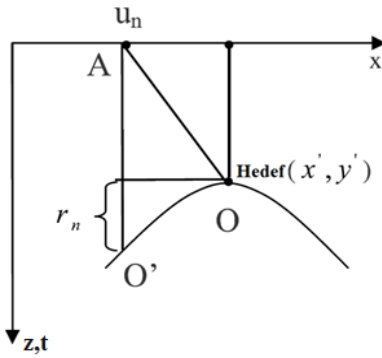
Ultrasonik sensörlerin çalışma prensibi ses dalgalarının yayılıp etrafta bulunan cisimlere çarpıtılıp geri dönen ses dalgalarının algılanması esasına dayanmaktadır. Mesafe hesabı yapmak basitçedir. Ses dalgası yayılıp dalganın geri geldiği algılandıktan sonra mesafe hesabı aşağıda ki formül sayesinde yapılır.[3]

$$mesafe = \frac{ses\ hızı * geçen\ zaman}{2} \quad (1)$$

Ses hızı 344 m/s (20°C de).[4]

2.2. Sentetik Açıklıklı Görüntüleme Tekniği

Bir ultrasonik sensör tarama alanında ki bir cisimi taradığında cismin B-Scan (Brightness Scan) yani parlaklık taramasını yapmış olur. Bu taramanın mantığı ultrasonik bir darbenin tarama anında taranan alana gönderilip darbenin geri yansması sonucu elde edilen darbe genliğinin bir parlaklık eşdeğeri olmasıdır. Burada genliği en büyük darbe en parlak genliği en küçük olan darbe ise parlaklığı en az olan ve siyaha yakın tondur. Yani tarama alanında ki bir cismin parlaklık taraması ile oluşturulan görüntüsü tarama sırasında her bir pozisyondan alınan darbe-yansıma yaklaşımı ile elde edilir. Ne var ki bu saf parlaklık taraması verilerinin işlenerek cisimleri daha net ifade edebilen yeni bir görüntünün oluşturulması gerekmektedir. Şekil 1 parlaklık taramasının (B-Scan) nasıl yapıldığını göstermektedir.



Şekil 1: Parlaklık taramasında ki hiperbolik eğrilerin oluşumu.

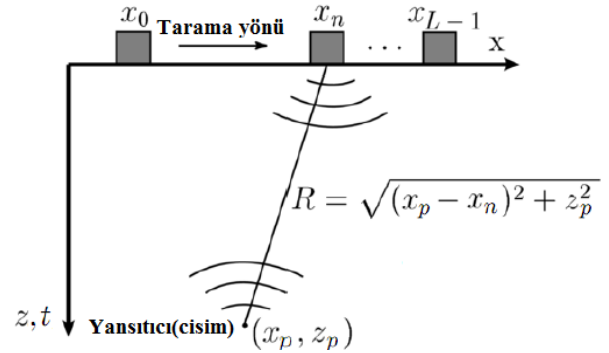
Şekil 1 de görüldüğü gibi transdüser A pozisyonundayken O noktasında ki hedeften bir yankı alır ve bu yankıyı sanki AO' = AO olan yani doğrudan kendi hizasında ki bir O' noktasından alıyormuş varsayar. Sensöre yakınlık ne kadar artarsa oluşan hiperboller o kadar daralır ve keskinleşir.[5] Sensöre uzaklık ne kadar artarsa da oluşan hiperboller o kadar genişler. Bunların yanında oluşan hiperbollerin genişliği transdüserin kulak genişliğine de bağlıdır. Parlaklık taramasında ki hiperbollerin oluşma sebebi ise tarama esnasında transdüserin farklı konumlarında ki cisimlere çarpıp gelen yankıların transdüserine varma sürelerinin farklı olmasından dolayıdır. Hiperbolik örnekler transdüserin

konumundan yansıtıcının(cismin) bulunduğu noktaya olan uzaklığı veya zaman gecikmesini açıklar.[6] SAFT algoritması yeni görüntüyü oluştururken oluşan bu hiperbolik örnekleri hesaba katarak işlem yapar. Basit olarak SAFT in yaptığı işlem şudur, parlaklık taraması ile oluşturulan görüntüde ki bütün pikseller taranır ve taranan pikselde bir yansıtıcı(cisim) olsaydı oluşacak hiperbolün şekli nasıl olurdu şeklinde bir varsayım yapılır. Daha sonra örnek hiperbol o pikselde gerçekten yansıtıcı(cisim) olup olmadığını saptamak için etrafında ki piksellerle kıyaslanabilir.

2.3. Sentetik Açıklıklı Odaklanma Tekniği(SAFT)

Bu bölümde SAFT algoritması detaylı bir biçimde açıklanacaktır. Şekil 2 de görüldüğü gibi SAFT için gerekli düzlem x-z düzlemidir. Öncelikle tarama alanında şu koordinatta $\vec{x}_p = (x_p, z_p)$ bir yansıtıcı(cisim) olduğu kabul edilmiştir. Transdüser $\vec{x}_n = (x_n, 0)$ noktasından ultrases dalgası yayar yayılan bu ses dalgası cisme çarpıp geri yansıyana kadar geçen süre aşağıda ki formül ile hesaplanır.

$$t_p(\vec{x}_n) = \frac{2}{c} |\vec{x}_p - \vec{x}_n| = \frac{2}{c} \sqrt{z_p^2 + (x_n - x_p)^2} \quad (3)$$



Şekil 2: SAFT in geometrisi

Bu denklemde c ses hızıdır. Yayılan dalga $g(t)$ ise ve geri yansıtılan dalganın orijinal dalganın biraz gecikmiş veya ölçeklenmiş hali olabileceği kabul edilirse algılanan geri yansıma dalganın denklemi aşağıda ki gibidir

$$r(t, x_n) = \sigma_p g(t - t_p(\vec{x}_n)) = \sigma_p g(t - \frac{2}{c} \sqrt{z_p^2 + (x_n - x_p)^2}) \quad (4)$$

Burada σ_p geri saçılım katsayısıdır. Bütün ikinci ve daha yüksek dereceli saçılımlar ihmal edilerek, tarama alanında ki yansıtıcılar(cisimler) topluluğundan transdüserin \vec{x}_n konumunda aldığı geri yansıma dalgasının ifadesi şu şekildedir

$$r(t, x_n) = \sum_p \sigma_p g(t - \frac{2}{c} \sqrt{z_p^2 + (x_n - x_p)^2}) \quad (5)$$

Tarama alanında ki bütün noktalara odaklanılarak yeniden oluşturulmuş görüntü transdüserin bütün pozisyonlarında ki verilerin toplamı olarak ifade edilir

$$\hat{f}_m(z_p, x_p) = \sum_n r_m(t_p(x_n), x_n) = \sum_n r_m(\frac{2}{c} \sqrt{z_p^2 + (x_n - x_p)^2}, x_n) \quad (6)$$

Burada $r_m(t, x_n)$ transdüser tarafından gönderilen ve alınan sinyalde ki faz kaymasını telafi etmek için kullanılan filtredir. Yeni görüntü oluşturulurken yan kulak gürültülerini azaltmak için apodizasyon ağırlığı w_n kullanılabilir. Apodizasyon

ağırlığından bir sonra ki bölümde daha ayrıntılı bahsedilecektir.

$$\hat{f}_m(z_p, x_p) = \sum_n w_n r_m \sqrt{z_p^2 + (x_n - x_p)^2}, x_n \quad (7)$$

SAFT in bu zaman domeninde ki uygulamasının bir dezavantajı vardır o da ses hızının sabit oluşudur.[2]

Normalde alınan sinyaller sayısallaştırılır ve ayrık versiyon şu şekilde elde edilir: ilk olarak dy transdüserin tarama yönünde ki ardışık konumları arasında ki mesafeyi temsil etmesi için atalım. Sonra transdüserin her konumundan ($x_n = nd, n = 0, 1, \dots, N-1$) M uzunluğunda bir data vektörü alınırsa parlaklık taraması matrisi olan $Y = M \times N$ boyutlu matris oluşturulmuş olur. Daha sonra SAFT in oluşturduğu yeni görüntüyü temsil etmesi için \hat{O} matrisi oluşturulur o matrisi üzerinde ki ters üçgen görüntünün yeniden oluşturulduğunu ifade etmektedir. Yeniden oluşturulmuş görüntü örneklenen konumsal noktalarda şu değerleri almaktadır $x_{\tilde{n}} = \tilde{n} \Delta x$ ve $z_m = m \Delta z$, ($m=0, 1, \dots, M-1$) burada $\Delta z = T_s c$ (c =ses hızı ve T_s örnekleme periyodudur). SAFT algoritması görüntünün her pikseline ait yansıma gecikmesini telafi ederek görüntüyü yeniden oluşturur. Bu olay hiperboller boyunca $2K+1$ adet terimin toplanmasıyla oluşturulur.[7]

$$(\hat{O})_{m,n} = \sum_{\tilde{n}=\tilde{n}-K}^{\tilde{n}+K} w_n(Y)_{k,n} \quad (8)$$

Ayrık zaman vektör indisi k , transdüser pozisyonu x_n ile gözlem noktası ($x_{\tilde{n}}, z_m$) arasında ki mesafenin bir fonksiyonudur ve aşağıda ki gibi tanımlanır.

$$k \doteq \frac{2}{c} (\sqrt{z_m^2 + (x_{\tilde{n}} - x_n)^2}) \frac{1}{T_s} \quad (9)$$

Sinyal ayrık olduğundan faz kayması en yakın örnekleme noktasına yuvarlanmalıdır ki buda az da olsa gürültüye sebep olmaktadır. Bu gürültüleri telafi etmek için interpolasyon tekniklerinden faydalanılmalıdır. \doteq operatörü k nın en yakın tamsayıya yuvarlandığını göstermektedir. [6]

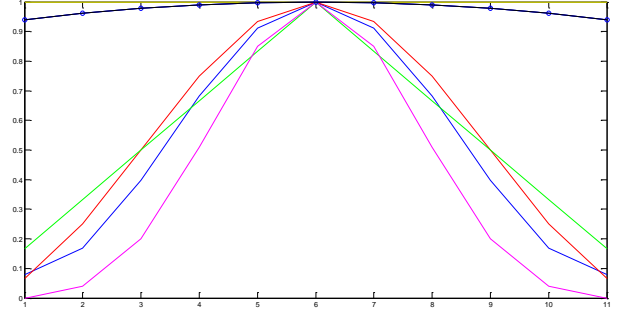
2.4. Pencereleme Teknikleri

Pencereleme teknikleri yan kulak gürültülerini bastırmak için kullanılan yöntemlerdir. Başlıca pencereleme fonksiyonları şunlardır.

- **Dikdörtgenel pencere**
Dikdörtgenel fonksiyon tanımlandığı aralıkta bütün örnekleri 1 dir ve sinyalin budanmasını sağlar.
- **Üçgensel, Bartlett pencereleri**
Bu pencereleme fonksiyonları zaman domeninde üçgen şeklinde olan fonksiyonlardır. Üçgensel pencere sıfır olmayan değerlerle başlar ve biter, Bartlett fonksiyonu ise sıfır ile başlar ve biter.
- **Blackman, Hamming, Hann pencereleri**
Pencere fonksiyonları 2. ve 3. Dereceden kosinüs polinomlarından oluşur.
- **Kaiser, Chebyshev, Gauss pencereleri**
Özel polinomlarla oluşturulan daha gelişmiş pencereleme fonksiyonlarıdır.

Hangi pencereleme yönteminin kullanılacağı işlenecek sinyalin tipine ve uygulamaya bağlıdır. Yan kulak gürültüleri için pencerenin genişliğini küçültmek daima tercih edilir. Ana kulağın daraltılması ise yüksek çözünürlük meydana getirir.

Dikdörtgenel pencere en dar ana kulağa neden olurken yan kulak gürültülerini bastırmada zayıftır. Hann ve Hamming pencereleri yan kulak gürültülerini iyi bir şekilde bastırırken geniş bir ana kulağa neden olur. Kaiser penceresinde filtrenin uzunluğu geçirilecek bantgenişliğini ayarlarken, bant geçiren ve bantbastıran filtrede ki dalgalanmayı kontrol eden değiştirilebilir parametreleri nedeniyle çok esnekdir.[8]

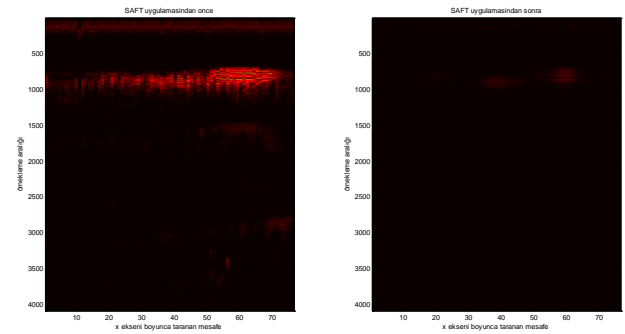


Şekil 3: Pencereleme fonksiyonları

Şekil 3 de görüldüğü gibi yukarıda bahsi geçen pencereleme fonksiyonları çizdirilmiştir. Bunlardan Hamming(mavi), Hanning(kırmızı), dikdörtgenel(sarı), üçgensel(yeşil), Blackman(pembe) ve Kaiser(siyah) olanıdır. Daha önce de bahsedildiği gibi bu çalışmada pencereleme tekniği olarak kaiser penceresi kullanılmıştır.

3. Sonuçlar

Bu bölümde deneysel sonuçlarımızın değerlendirmesi yapılacaktır. Kullandığımız ultrasonik sensörle x ekseninde 76 noktadan veri alınmıştır x ekseninde her noktadan alınan veriler 1024 örnekten oluşan bir data vektörü biçimindedir. Tarama alanında ise 2 adet tahta kalemi bulunmaktadır. Daha sonra bu veriler $Y = M \times N$ matrisini oluşturacak şekilde 1024x76 lık matris şeklinde düzenlenip işlemlere devam edilmiştir. Oluşturulan bu matrise SAFT algoritması uygulanmış ve yeni görüntü ile eski görüntü Şekil 4 te ki gibi kıyaslanmıştır.



Şekil 4: Ham veri ile çizilmiş ve SAFT uygulanmış görüntüler

Şekillerde görüldüğü üzere ayrık zaman vektör indisi k nın en yakın tamsayıya yuvarlanması sonucu oluşacak hataları telafi etmek için 4 kat interpolasyon yapılmıştır yani transdüserin her x konumundan aldığı 1024 örnekli data vektörü aynı alanda 4096 veriden oluşan data vektörü haline getirilmiştir. Ham verilerden elde edilen çizimlerde 2 adet tahta kaleminin konumları net değildir ancak SAFT algoritması uygulandıktan sonra kalemlerin konumları önemli derecede netleştirilmiştir.

Yan kulak gürültülerini yok etmek için Kaiser penceresi kullanılmış ve görüntü gürültülerden arındırılmıştır.

4. Teşekkür

Bu çalışmada ki ultrasonik verilerin alınmasında yararlanılan Dalarna Üniversitesi/İsveç ölçme sistemleri laboratuvarına ve teorik bilgilerinden yararlanılan Per Liljas' a teşekkür ederiz

5. Kaynaklar

- [1] Diaz, M.A., Leija, L. ve Vera, A., "Image Reconstruction Using the Synthetic Aperture Focusing Technique", *PAHCE conference*, Sayfa 15-18
- [2] Barkefors, A. , *3D Synthetic Aperture Technique for Ultrasonic Imaging*, Uppsala/Sweden, 2010.
- [3] http://classes.engr.oregonstate.edu/eecs/spring2003/ece44x/groups/g14/white%20papers/whitepaper_matt.htm (erişim tarihi 27/06/2012)
- [4] Murata Manufacturing Co.Ltd. Cat.No.S15E-5 Ultrasonic Sensor Application Manual
- [5] Stepinski, T., *Synthetic Aperture Focusing Technique in Ultrasonic Inspection of Coarse Grained Materials*, SKI Report, Uppsala/Sweden, 2007.
- [6] Lingvall, F., *Time Domain Reconstruction Methods for Ultrasonic Array Imaging*, Thesis Work, Uppsala University, 2004.
- [7] Lingvall, F., Olofsson, T. ve Stepinski, T., "Synthetic Aperture Imaging Using Sources With Finite Aperture: Deconvolution of the Spatial Impulse Response", *Acoustical Society of America*,2003, Sayfa 225-234.
- [8] http://home.vxu.se/jveme03/docs/draft_I_thesis.pdf (erişim tarihi 27/06/2012)