

Verimli Bir Demetleme Yöntemi İle Ultrasonik Görüntüleme

Hasan Şakir BİLGE, Turhan ÇİFTÇİBAŞI
Başkent Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bağlıca Kampüsü, Ankara
bilge@baskent.edu.tr, turhan@baskent.edu.tr

Özet: *Ultrasonik görüntüleme sistemlerinde sayısal yöntemlerin kullanılması ve sayısal ortamlarda işlem yapılması, karmaşık ve gelişmiş sistemlerin tasarlanabilmesine olanak tanımaktadır. Gelişen teknoloji kullanılarak üç boyutlu görüntüleme, damar içi görüntüleme ve taşınabilir görüntüleme sistemlerinin gerçekleştirilmesi ve yaygınlaştırılması kolaylaşmaktadır. Bu sistemlerde ya çok miktarda ultrasonik dönüştürücü elemanına ya da çok küçük bir alanda tasarıma gereksinim duyulmaktadır. Aynı anda aktif olan dönüştürücü eleman sayısını azaltarak istenen görüntü kalitesini elde edebilmek için ve dönüştürücü elemanlarını süren donanımı basitleştirmek için değişik yöntemler üzerinde yoğun çalışmalar devam etmektedir. Bu amaçlara yönelik olarak geliştirilen delta sigma analogtan sayısala çevirici ile örneklenen altdizilim sinyallerinin sayısal işlenmesine dayalı bir ultrasonik görüntüleme sistemi bu çalışmada sunulmaktadır.*

1. Giriş

Ultrasonik görüntüleme sistemlerinde, donanım yapısının boyutunu, maliyetini ve güç tüketimini, kullanılan aktif dizilim kanal sayısı ve örnekleme yöntemi belirlemektedir [1]. Altdizilim sinyallerinin sayısal olarak işlenmesi, görüntü kalitesinden ödün vermeden aktif kanal sayısını azaltan bir yöntemdir [2]. Bu yöntem, evreli dizilim ve sentetik açıklık yöntemlerinin avantajlı yönlerini birleştirerek düşük maliyetli gerçek zamanda sistemlerin tasarlanmasını sağlamaktadır. Altdizilim sinyallerinin sayısal olarak işlenmesini sağlamak için gerekli olan geleneksel 10-bitlik analogtan sayısala çeviriciler yerine tek bit çıkış üreten delta sigma çeviricilerin kullanılması, demetleme işleminin donanımını basitleştirmektedir. Ayrıca örnekleme hızı yüksek olduğu için demetlemede toplama işlemine girecek verilerin daha hassas zaman anlarında örneklenebilmesi sağlanmış olmaktadır [3]. Demetleme işlemindeki gecikmelerin daha hassas olarak hesaplanması, demetlemedeki toplama işlemine giren sinyallerin evreyuumluluğunu artırmaktadır, böylece demetleme çıkışında daha yüksek SNR değerlerine sahip görüntüler elde edilmektedir.

Delta sigma analogtan sayısala çevirici ile örneklenen dizilim sinyallerinin sayısal işlenmesi ile ilgili ilk deneysel çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir. Sinyal alma sırasında sabit odaklama kullanıldığında demetleme çıkışında kabul edilebilir SNR düzeyi elde edilebilmektedir, fakat dinamik odaklama uygulandığında görüntü kalitesi ciddi bir şekilde düşmektedir [3]. Dinamik odaklamada uygulanan farklı gecikmeler, delta sigma kodlarından bazı tek bitlik verilerin göz ardı edilmesine ve bazılarının ise tekrar edilmesine neden olmaktadır. Bu durum ise birbirine bağlı olan delta sigma örneklerinin yapısını bozmakta ve SNR düzeyini düşürmektedir. Başka bir deyişle delta sigma çeviricinin giriş ve çıkış senkronizasyonu bozulmaktadır [3-5].

Bu problemi gidermek için modülatörde değişiklik yapılmasına yönelik bazı çözümler yakın zamanda önerilmiştir [3]. Bu çözümler bit sayısının artmasına veya fazla işlem yapılmasına neden olmaktadır. Farklı bir çözüm ile bu dezavantajlar ortadan kaldırılabilir; bu önerilen yöntemde delta sigma çevirici düzenli saat darbelerinde kod üretmek yerine dinamik odaklama için veri gerektiği anlarda örnekleme yapar. Bu düzgün olmayan örnekleme yöntemi ile hem çeviricinin basit yapısı korunmaktadır, hem de diğer önerilen çözümlerdeki gibi fazla bit kullanımına gerek kalmamaktadır. Üretilen delta sigma örnekleri arasında herhangi bir bit kaybı veya tekrarı söz konusu olmayacağı için çeviricinin giriş ve çıkış senkronizasyonu bozulmamış olur. Dolayısıyla SNR düzeyi yükseltilebilir önceki uygulamaya göre görüntü kalitesi iyileştirilmiş olur [5].

Bu çalışmada, delta sigma düzgün olmayan örnekleme ile altdizilim sinyallerinin sayısal işlenmesine dayalı verimli bir demetleme yapısı sunulmaktadır.

2. Yöntem

Önerilen yöntem şu adımlardan oluşmaktadır: altdizilim yapısı kullanılarak veri edinme, düzgün olmayan zaman anlarında delta sigma analogtan sayısala çevirme (ve bu arada örnek yükseltme), dinamik odaklama ile alınan sinyallerin kısmi olarak toplanması (kısmi demetleme), zaman bölgesinde örnek seyreltme, demet uzam bölgesinde aradeğerleme ve son demet toplama [1,4]. Altdizilim ile demetleme yöntemi aşağıdaki formülle ifade edilir [2,6]:

$$Z(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{N_r} A_{rc}[l] \cdot \sum_{m=1}^{N_t} A_{tr}[m] \cdot S\left(t - \frac{\rho_{k,l}}{c} - \frac{\rho_m}{c}\right) \quad (1)$$

Burada; N_t ve N_r , gönderme/alma işleminde aktif olarak kullanılan dönüştürücü eleman sayısı; K , toplam ateşleme sayısı; $A_{tr}(m)$ ve $A_{rc}(l)$, ortama sinyal gönderilirken ve yansıyan sinyaller alınırken kullanılan dönüştürücü elemanlarının oluşturduğu açıklığın (aperture) ağırlık fonksiyonu; ρ_m ve $\rho_{k,l}$, gönderme/alma işleminde dönüştürücü elemanı ile odak noktası arasındaki uzaklık; $S(t - \rho_{k,l}/c - \rho_m/c)$ ise gönderme ve alma işlemlerine ait gecikmeler ile kaydırılmış kaynak sinyalidir. Bu denklemde en içteki toplam, gönderici elemanların bir odak noktasına bir demet göndermesine karşılık gelir. Ortadaki toplam, alıcı altdizilim elemanlarının yansıyan akustik sinyalleri algılamasına ve evreyumlu olarak toplamasına karşılık gelir. En dıştaki toplam ise aktif altdizilim elemanlarının çoğullanmasına ve düşük çözünürlüklü görüntülerin toplanmasına karşılık gelir. Yukarıdaki denklem, k değişkenine (ateşleme adım indisine) bağlı olarak ($A_{tr}(m)$ ve $A_{rc}(l)$ ağırlık fonksiyonları 1 olarak alındığında) şöyle yazılır:

$$Z_k(t) = \sum_{l=1}^{N_r} \sum_{m=1}^{N_t} S\left(t - \frac{\rho_{k,l}}{c} - \frac{\rho_m}{c}\right) \quad (2)$$

$S(t) = e^{j\omega_0 t}$, sistemin girişi olarak alındığında kısmi demetleyici sisteminin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$H_k(t) = \frac{Z_k(t)}{S(t)} \quad (3)$$

Buradan demetleyici sisteminin belirli bir derinlikteki noktasal dağılım fonksiyonu, yani yanal (açısal) cevabı aşağıdaki gibi bulunur:

$$H_k(\theta) = e^{j\Phi_k(\theta)} \cdot \frac{\sin\left(N_r \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin(\theta)\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin(\theta)\right)} \cdot \frac{\sin\left(N_t \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin(\theta)\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin(\theta)\right)} \quad (4)$$

Gerçek zamanda görüntüleme için ancak sınırlı sayıda tarama açısına bakılabilmektedir [2]. Tarama açısı sayısı, her verici-alıcı altdizilimi kombinasyonuna ait evre dikkate alınarak demet uzam bölgesinde aradeğerleme yapılarak artırılmaktadır. Yukarıdaki formülde gözükten bu evre,

$$\Phi_k(\theta) = \frac{\pi \cdot d \cdot \sin(\theta)}{\lambda} [2k - K - 1] \cdot N_r \quad (5)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada; d , iki dönüştürücü arasındaki uzaklık; λ , dalga boyudur.

Analogtan sayısala çevirme işleminde kullanılan delta sigma çeviricilerin ürettikleri tek bitlik sayısal çıkışlar yüksek frekanslarda büyük genlikli nicemleme gürültüsü içerirler [7]. Nicemleme gürültüsünü sinyal bandının dışına atmak için Nyquist frekansından daha büyük bir frekansla örnekleme yapılarak bu problem ortadan kaldırılır, zaten çeviricinin yapısı da buna uygundur. Sonra alçak geçiren bir filtre ile nicemleme gürültüsü giderilir. Alçak geçiren filtre delta sigma çeviricinin bir parçası olup, bu işlemde sonra demetleme yapılır. Halbuki sistemin doğrusallığından yararlanarak demetleme işleminin tek bitlik veriler üzerinde yapılması ve filtrenin daha sonra uygulanması da mümkündür [8]. Böylece demetleme donanımı tek bitlik bir yapı ile

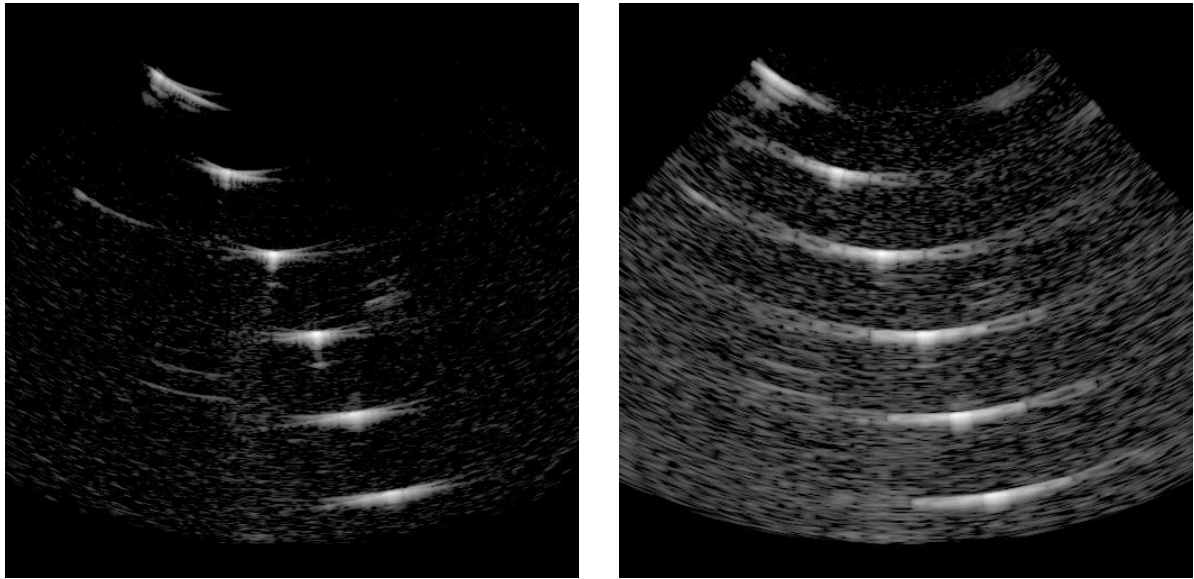
tasarlandığı için daha basit olmaktadır. Bununla birlikte her kanal için ayrı filtreye gerek kalmayıp demetlemenin çıkışında bir defa filtreleme ile fazla filtre devrelerinden kurtulmak mümkün olmaktadır. Ayrıca çeviricinin örnekleme hızı yüksek tutulduğu için demetlemede toplama işlemine girecek verilerin daha hassas zaman anlarında örneklenebilmesi sağlanmış olmaktadır. Böylece, demetlemedeki toplama işlemine giren sinyallerin evreyuyluluğu artmaktadır ve daha yüksek SNR değerlerine sahip görüntüler elde edilmektedir.

3. Deneysel Sonuçlar

Deneysel incelemelerde, noktasal kaynak gibi davranan 6 adet tel ile oluşturulmuş deney ortamından 13.89 MHz frekansında 10-bit örneklenecek alınan RF verileri kullanılmıştır [9]. Sayısal aradeğerleme kullanılarak ham verilerin örnek sayısı 16 kat artırılmıştır. Böylece elde edilen 222.2 MHz frekansındaki örnekleme hızı, delta sigma çeviricilerin örnekleme hızına ulaşmıştır. Delta sigma çevirici ve sayısal demetleme sistemi sayısal ortamda yazılımlar aracılığıyla öykünmüştür. Demetleme işleminin sinyal gönderme adımlarında sabit odaklama, sinyal alma adımlarında ise dinamik odaklama kullanılmıştır. Altdizilim sinyal işleme yöntemiyle ilgili sistem parametreleri Tablo-1'de verilmiştir. Son olarak demetleme çıkışlarına zarf sezim ve logaritmik sıkıştırma işlemleri uygulanmıştır. Sonuçlar 70 dB'lik bir dinamik aralıkta gösterilmiştir.

Aktif gönderici eleman sayısı	16
Aktif alıcı eleman sayısı	16
Toplam ateşleme sayısı	6
Kullanılan toplam eleman sayısı	96
Her ateşlemede alınan demet sayısı (bakılan açı sayısı)	32
Demet aradeğerleme katsayısı	3
Aradeğerlemeden sonraki demet sayısı	96

Tablo 1. Altdizilim sinyal işleme ile ilgili sistem parametreleri

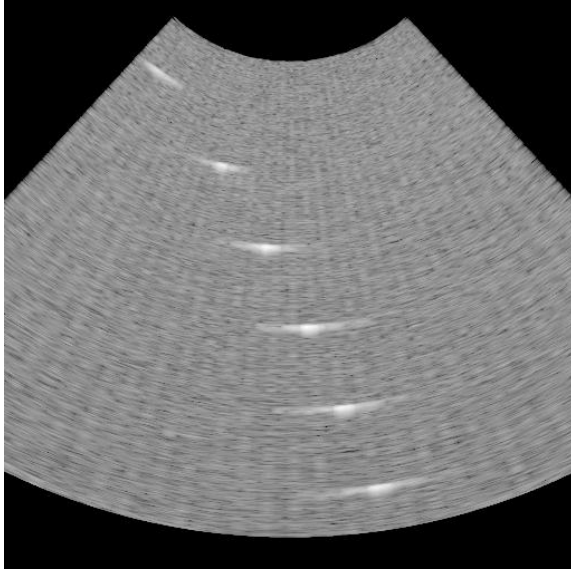


a) Evreli dizilim ile

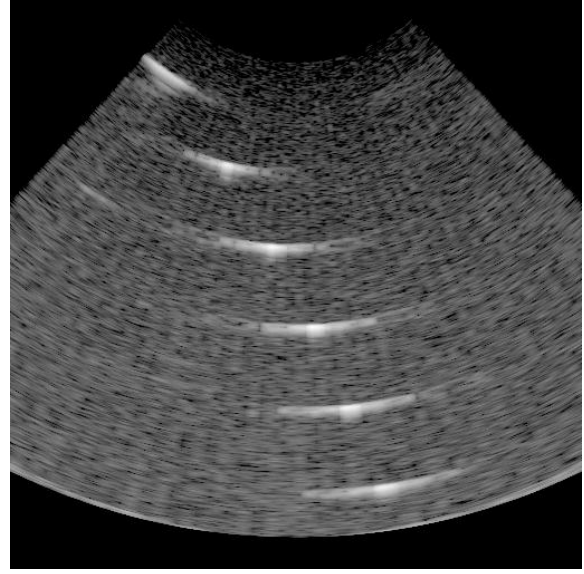
b) Altdizilim ile

Şekil 1. 10-bit örneklenecek RF demetleme.

Şekil-1'de evreli dizilim ve altdizilim kullanarak RF demetleme (zaman bölgesinde geciktir ve topla) yapıldığında elde edilen ultrasonik görüntüler görülmektedir. Altdizilim kullanıldığında evreli dizilime çok yakın bir görüntü kalitesi elde edilmektedir, sadece 7 dB'lik bir SNR farkı gözlenmektedir.



a) Düzenli örnekleme ile



b) Düzgün olmayan örnekleme ile

Şekil 2. Delta sigma örneklemeli altdizilim sinyalleri kullanarak dinamik odaklamalı demetleme.

Şekil-2’de delta sigma örneklemeli altdizilim yöntemi ile yapılan demetleme işleminin sonucunda elde edilen ultrasonik görüntüler görülmektedir. Delta sigma örneklemede dinamik odaklamanın modülatörde neden olduğu senkronizasyon bozukluğu sonucunda SNR düzeyinde yaklaşık 30 dB’lik bir düşüş gözlenmektedir. Düzgün olmayan örnekleme yöntemi kullanıldığında ise SNR düzeyinin kabul edilebilir bir seviyeye çıktığı gözlenmektedir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Önerilen bu yöntem ile donanım karmaşıklığı azaltılarak hem maliyet verimli ve küçük sistemler tasarlanabilmekte, hem de çok sayıda dönüştürücünün etkin bir şekilde sürülebilmesi mümkün olabilmektedir. Yöntemin başarılı bir şekilde uygulanabildiği deneysel sonuçlarla gözlenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı deneysel veriler ve sayısal ölçümler ile (SNR, CNR, v.s.) sistemin verimi incelenecektir.

Kaynaklar

- [1] Bilge H.Ş., Güven N., Özparlak L., Karaman M., “Delta-sigma örneklemeli altdizilim sinyallerinin sayısal işlenmesine dayalı evreyuymulu görüntüleme,” IEEE-Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı Bildiriler Kitabı, 687-691, Haziran 2000.
- [2] Karaman M., O’Donnell M., “Subaperture processing for ultrasonic imaging,” IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 45: 126-135, Ocak 1998.
- [3] Freeman S.R., Quick M.K., Morin M.A., Anderson R.C., Desilets C.S., Linnenbrink T.E., O’Donnell M., “Delta-sigma oversampled ultrasound beamformer with dynamic delays,” IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 46(2): 320-332, Mart 1999.
- [4] Bilge H.Ş., Karaman M., “Alt dizilimden dinamik odaklama ile alınan sinyallerin sigma delta çevirici ile örneklenecek etkin bir yöntemle işlenmesi”, 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı Bildiriler Kitabı, 344-349, Haziran 2002.
- [5] Kozak M., Karaman M., “Digital phased array beamforming using single-bit delta-sigma conversion with non-uniform oversampling,” IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 48: 922-931, Temmuz 2001.
- [6] Norton, Stephen J., “Synthetic aperture imaging with arrays of arbitrary shape-Part I: general case”, IEEE Transactions On Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 49(4): 399-403, Nisan 2002.
- [7] Aziz P.M., Sorensen H.V., Spiegel J.V., “An overview of sigma-delta converters,” IEEE Signal Processing Magazine, 61-84, Ocak 1996.
- [8] Oppenheim A.V., Shafer R.W., “Discrete-time signal processing”, Prentice Hall
- [9] <http://bul.eecs.umich.edu>, “The Biomedical Ultrasonics Laboratory at the University of Michigan”.