

GATAS : Gömülü Akustik Tespit ve Sınıflandırma Şamandıra Sistemi

GATAS : Embedded Acoustic Detection and Classification Buoy System

Mehmet Ali Çavuşlu, Serdar Tuğaç, Mehmet Öner, Aysun Ateş, Harun Yağmur,
Dilay Doğan, Tahir Taner Tımsı, Yaşar Hakan Başaran
Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri A.Ş.
Ankara, Türkiye

{ali.cavuslu, serdar.tugac, mehmet.oner, aysun.ates, harun.yagmur, dilay.dogan, tahir.timis, hakan.basaran}@kocsavunma.com.tr

Özetçe— Günümüzde harcanabilir algılayıcı (sonobuoy) ile deniz taşıtlarının tespiti, sinyal analizi ve sınıflandırma süreçleri yüksek kapasiteli, büyük hacimli sinyal işleme donanımlarıyla platformda, operatör tarafından yapılmaktadır. Daha küçük hacimli ve şamandıraya entegre gömülü donanıma haiz GATAS sistemi, kıyıda veya deniz taşıtında konuşlandırılmış olan alıcı birime ham veri iletmek yerine deniz taşıtlarının tespit, sınıflandırma ve hareket yön bilgilerini (referans hidrofonu göre yön açısı, manyetik kuzey açısı) ve şamandıranın konum bilgisi ile tarih/zaman bilgilerini iletmektedir. Böylece alıcı birime aktarılacak veri miktarını azaltmakla birlikte alıcı birimde analiz donanımı ve operatör gereksinimini ortadan kaldırmaktadır.

Anahtar Kelimeler — FPGA, Akustik Sinyal İşleme, Tespit ve Sınıflandırma, Şamandıra

Abstract— Today vessels detection, signal analyzing and classification processes are done using sonobuoy with high voluminous signal processing hardware by operator in the platforms. GATAS, which has smaller volume and hardware embedded on buoy, transmits knowledge of vessels detection, classification, moving direction information to the receiver unit located onshore or on a watercraft. Thus, requirement of analysis hardware and operator in the receiver unit aren't needed and amount of transmitting data is decreased.

Keywords — FPGA, Acoustic Signal Processing, Detection and Classification, Buoy

I. GİRİŞ

Su altı ortamında meydana gelen değişimleri ve hareketliliği analiz edip değerlendirebilen sistemler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aktif sistemler sualtı ortamına yaydıkları sinyali dinleyip anlamlandırmaktadırlar (Dalgıç Tespit Sonarı, Balıkçı Sonarları vb). Pasif sistemler ise deniz ortamına sinyal yaymadan, ortamda var olan sinyalleri dinleyerek anlamlandırmaktadırlar [1].

Günümüzde, pasif dinleme yapan sistemler, savunma sektörünün yanı sıra deniz hayatının takibi, veri toplama gibi farklı amaçlarla da kullanılmaktadır.

Pasif dinleme özelliğine sahip harcanabilir algılayıcı sistemleri, sahip olduğu yüksek kapasiteli, büyük hacimli

donanımlara sahiptir. Bu sistemlerde deniz ortamına yerleştirilen algılayıcılar tarafından ortamda var olan sinyalleri örnekledikten sonra, sistem üzerinde koşutlanan sinyal işleme yazılımları sonucunda elde edilen çıktıların bir operatör tarafından yorumlanması ile tespit, analiz ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilir.

GATAS, algılayıcılardan aldığı verileri şamandıraya entegre (Şekil 1) gömülü bir sistem içerisinde, operatörden bağımsız olarak deniz taşıtlarının tespiti, sınıflandırılması ve hareket yön bilgilerini özerk bir şekilde değerlendirip anlamlandırdıktan sonra RF haberleşme vasıtası ile alıcı birime iletmektedir. Alıcı birimde alınan bu verilerin, kullanıcı ara yüzünde gerçek zamanlı gösterimi ve takibi yapılmaktadır.

GATAS, Analiz ve Gösterim olmak üzere iki ana bileşene sahiptir (Şekil 2). Analiz Bileşeni, Güç Dağıtım Birimi ile Bataryadan sağlanan gücü Sinyal İşleme Birimi, Haberleşme Birimi ve GPS Alıcı Birimine dağıtmaktadır. GPS Alıcı Birimi algıladığı konum bilgisini Sinyal İşleme Birimine iletmektedir. Sinyal İşleme Birimi algılayıcılardan aldığı verilerin analizini yaptıktan sonra anlamlandırmaktadır. Aynı zamanda veri iletimi aşamasında GPS verisini, zaman ve tarih bilgisi, yön bilgisi, manyetik kuzey açı bilgisi, GATAS kimliği, tip tespiti bilgisini Haberleşme Birimi vasıtasıyla Gösterim Bileşenine göndermektedir. Gösterim Bileşeni, Analiz Bileşeni tarafından gönderilen bilgileri Haberleşme Birimi vasıtasıyla almaktadır. Alınan veriler Kullanıcı Ara Yüzü ile gösterilmektedir.

GATAS sistemine ilişkin özellikler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

II. YÖN TESPİTİ

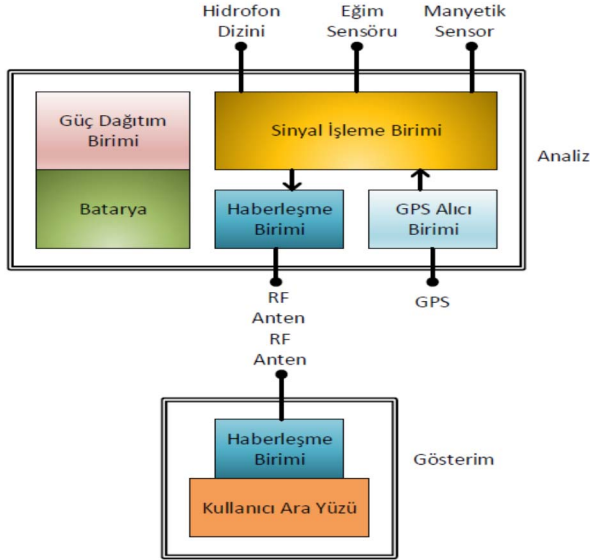
GATAS sisteminde deniz taşıtlarının hareket yön bilgilerinin tespiti işlemi için 120 derece aralıkla yerleştirilmiş 3 adet hidrofon kullanılmıştır (Şekil 3). Referans hidrofonu göre yön bilgisi tespiti işlemi için Capon algoritması olarak da bilinen En Düşük Değişinti Bozunumsuz Cevabı (EDDBC) Hüzme oluşturuç algoritması [2] kullanılmıştır. Bununla birlikte referans hidrofonun manyetik kuzey ile yaptığı açı hesaplanarak hedef platformun kerteriz hesabı yapılmaktadır.

A. En Düşük Değişinti Bozunumsuzluk Cevabı Hüzme Oluşturucu

GATAS akustik algılayıcı ara yüzü, üç kanallı donanımdan meydana gelmektedir. Şekil 4’den de görüleceği üzere hidrofon ara yüzü vasıtasıyla algılanan üç kanallı akustik sinyal, ön-yükseltme, filtre ve ayarlı kazanç süreçlerinin ardından örneklenir ve sayısal forma dönüştürülür. Sistemin ön alarm koşullarını aşması halinde, sualtı ortamında bulunan algılayıcılardan alınan sinyallerden, en yüksek genlikli sinyalin referans alınmasıyla yön bilgisi hesaplanır. Yön tespiti için, platformlardan yayılan ve özellikle kavitasyon meydana getiren geniş bant sinyallerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1 – Şamandıra Birimi



Şekil 2 – GATAS Bileşenleri



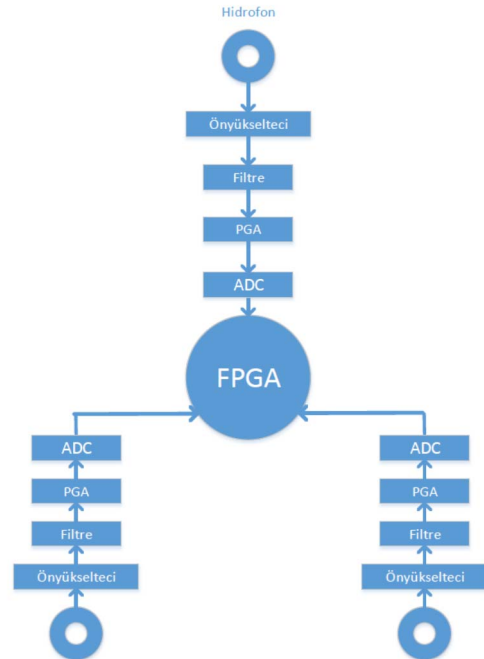
Şekil 3 – GATAS hidrofonları

Sinyal işlemede en çok bilinen dizin hüzme oluşturma yöntemi, Geciktir ve Topla (GT) yöntemidir. Bu yöntemde her bir muhtemel geliş açısı için sinyal gücü hesaplanır ve gücün en yüksek olduğu açı tahmini seçilir. GT’de N zaman anında dizin elemanı m ($m \in [0, M-1]$)’de kaydedilen sinyal, uygun bir $\Delta_m[n]$ gecikmesi ile geciktirilerek hüzme yönlendirilir. Geciktirilen veri $x_m[n]$ ile ifade edilmektedir. Hüzme oluşturma çıkışı $z[n]$, w_m katsayısı ile ağırlıklandırılan tüm dizin elemanlarının toplamı ile hesaplanmaktadır (Denklem 1).

$$z[n] = \sum_{m=0}^{M-1} w_m^* x_m[n] = W^H X[n] \quad (1)$$

Denklem (1)’de $(\cdot)^H$ Hermitian transpozunu göstermektedir.

GT yöntemi gerçekleştirilmesi kolay bir yöntem olmakla birlikte, çözünürlüğü oldukça düşüktür. Çözünürlüğü artırmak için çok sayıda dizin elemanına ihtiyaç duymaktadır. Buna ek olarak, ortamda birden fazla kaynak sinyali olduğu durumda performansı düşük kalmaktadır.



Şekil 4 – Akustik Verilerin Örneklenmesi

Yukarıda bahsedilen problemleri aşmak amacıyla GATAS sisteminde EDDBC yöntemi kullanılmıştır. EDDBC hüzme oluşturuca da GT gibi tüm muhtemel yönlerdeki sinyal gücünü ölçmektedir. Farklı olarak, geliş açısı θ 'daki sinyal gücünü ölçerken bu yöndeki hüzme oluşturma kazancını 1 ve diğer yönlerden gelen katkıları en düşük yapmaktadır. Böylece diğer yönlerden gelen girişimler bastırılmaktadır [2]. Bu durumda problem, matematiksel olarak kısıtlı en küçük yapma olarak ifade edilebilir. Temel düşünce, her bir muhtemel θ açısı için $w^H \alpha(\theta) = 1$ şartını sağlayacak ağırlık katsayıları w 'a göre Denklem 2'deki sinyal gücünü en küçük yapmaktır.

$$\min_w E \left[|z[n]|^2 \right] = \min_w w^H R w \quad (2)$$

Denklem 2'de R kovaryans matrisidir ve Denklem 3'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$R_{xx} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} x_m x_m^H \quad (3)$$

Denklem 2'deki tepe noktaları sinyalin geliş açılarını göstermektedir. Buradaki kısıtlı en iyileme probleminin çözümü EDDBC hüzme oluşturuca olarak bilinmektedir ve ağırlık katsayıları Denklem 4'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$w = \frac{R^{-1} \alpha(\theta)}{\alpha(\theta)^H R^{-1} \alpha(\theta)} \quad (4)$$

B. Manyetik Kuzey Açısı Tespiti

Manyetik kuzey açısının tespiti için 3 eksenli manyetik algılayıcı ve eğim algılayıcı verileri kullanılmıştır. Açık hesaplama işlemi Denklem 5'de verilmiştir. Denklem 5'de ψ manyetik kuzey açısı, B manyetik algılayıcı ve A eğim algılayıcı değerlerini göstermektedir. g yer çekimi nedeniyle oluşan ivme değeridir.

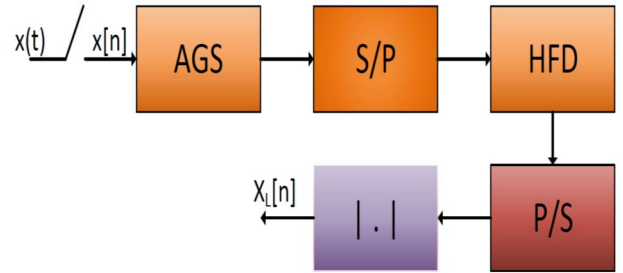
$$\tan \psi = \frac{-B_y A_z + B_z A_y}{A_y (B_x A_y - A_x B_y) + A_z (B_x A_z - A_x B_z)} g \quad (5)$$

III. SINIFLANDIRMA

Deniz taşıtlarının sınıflandırılabilmesi için periyodik işaretlerin (ana tahrik sistemi kaynaklı, pervane kaynaklı, vb) kestiriminin yapılması gerekmektedir [3, 4]. Düşük frekans bandında yer alan ana tahrik sistemi kaynaklı sinyallerden iz bilgilerinin çıkarımı için LOFAR (Low Frequency Analysis and Recording) analizi kullanılmıştır. Kavite olarak yüksek frekanslara taşınan pervane kaynaklı gürültülerden iz bilgisinin çıkarımı için kavite analiz olarak da bilinen DEMON (Detection of Enveloped Modulation on Noise) analizi kullanılmıştır. Algılayıcıda alınan sinyallerden ortam gürültüsünün ayrıştırılıp iz bilgilerini ortaya çıkarılması işlemleri Hücresel Ortalamalı Sabit Yanlış Alarm Olasılığı tabanlı eşikleme tekniği ile yapılmıştır [5].

A. LOFAR ANALİZLERİ

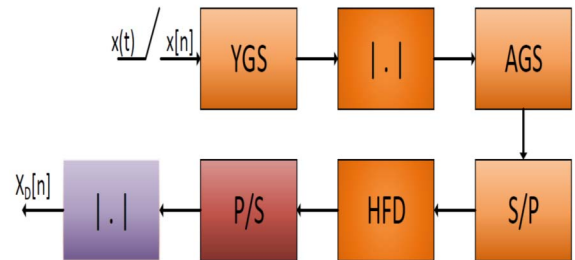
Düşük frekans bantlarında deniz araçlarına ait makine, yardımcı makine, türbin, dişli vb. iz bilgileri görülebilmektedir. LOFAR analizlerinde öncelikle algılayıcı vasıtasıyla algılanan sinyal örneklendikten sonra Alçak Geçiren Süzgeç'ten (AGS) geçirilmektedir. Daha sonra Hızlı Fourier Dönüşüm (HFD) işlemi yapılabilmek amacıyla seri giriş örnekleri paralelleştirilir ve HFD işlemine tabi tutulur. Dönüşüm sonucunda elde edilen sonuçlar paralelden seriye dönüştürülür. Seri girişler mutlak değer işlem bloğundan geçirilerek LOFAR analizi tamamlanır. Detaylı blok şema Şekil 5'de verilmiştir [5].



Şekil 5 - LOFAR analizi blok şeması

B. DEMON ANALİZLERİ

Düşük frekanslarda ortam gürültü seviyesinin çok fazla olması nedeniyle pervane hareketinden meydana gelen düşük frekanslardaki iz bilgilerinin tespit edilme olasılığı düşüktür. Kavite gürültüsü ile pervane hareketinden kaynaklanan iz bilgileri, yüksek frekanslara taşınır. Yüksek frekanslarda ortam gürültüsü seviyesinin düşük frekanslara göre daha düşük seviyede olması nedeniyle, DEMON analizi ile pervane kaynaklı iz bilgilerinin tespiti olasıdır. Şekil 6'da DEMON analizi blok şeması gösterilmektedir. Şekil 6'dan da görüleceği üzere, algılayıcıda alınan sinyaller örneklendikten sonra yüksek geçiren süzgeçten geçirilmektedir. Süzgeçten geçirilen sinyal, mutlak değer alma işlemi ile tekrar düşük frekans bandına taşınmaktadır. Frekans bandının taşınması işleminden sonra ise HFD işleminin gerçekleştirilmesi için seri olan girişler paralelleştirilmektedir. Paralelleştirilen veriler HFD işlemine tabi tutulduktan sonra elde edilen çıkış değerleri, seri olarak mutlak değer alma işlemi bloğuna aktarılmaktadır. Mutlak değer alma işlemi sonucunda elde edilen çıktı ile analiz tamamlanmış olmaktadır [5].



Şekil 6 - DEMON analizi blok şeması

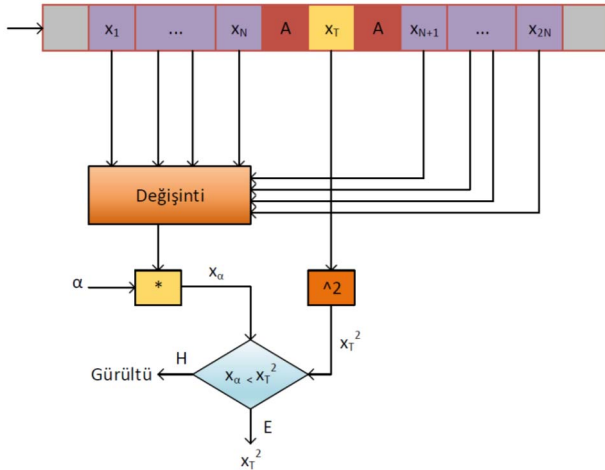
C. ORTAM GÜRÜLTÜSÜNÜN AYRIŞTIRILMASI

Hücresel Ortalama Sabit Yanlış Alarm Oranı (HO-SYAO) T anındaki örneğin, N uzunluğundaki gecikme örneklem penceresi ile N uzunluğundaki ön örneklem pencereleri kullanarak işlemler gerçekleştirilir [3, 5, 6]. Şekil 7’den de görüleceği üzere gecikme örneklem penceresi ile ön örneklem pencerelerinin örneklerinin değışintisi hesaplandıktan sonra, sabit katsayı ile çarpılarak eşik değeri bulunmaktadır [3].

Çarpım sonucunda elde edilen x_α eşik değeri, x_T sinyalinin karesinden küçük ise x_T sinyalinin ortam gürültüsü olduğu kabulü yapılmaktadır. Aksi durumda ise ortam gürültüsünden farklı nesneye ait sinyal olduğu varsayımı yapılır. x_α eşik değeri hesaplanması (7)’de verilmiştir.

$$x_\alpha = -2\sigma^2 \ln(p_{FA}) \quad (7)$$

Denklem (7)’de x_α eşik seviyesini, σ^2 değışintiyi ve p_{FA} yanlış alarm olasılığını göstermektedir.



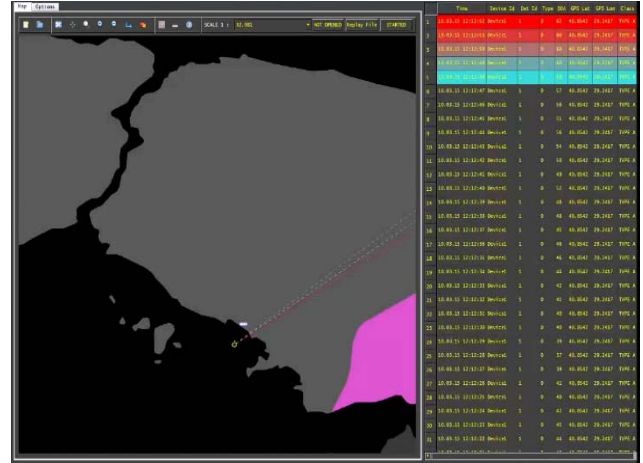
Şekil 7 - HO-SYAO [3]

IV. DATA TRANSFERİ

GATAS sistemi, GPS algılayıcısından aldığı tarih, saat ve koordinat bilgisini, referans hidrofonta göre tespit açısını, manyetik kuzey açısı bilgilerini RF haberleşme vasıtasıyla alıcı birime iletmektedir. Alıcı birim tarafında, geliştirilen yazılım ile alınan verilerin gösterim işlemleri yapılmaktadır. Geliştirilen kullanıcı arayüzü aşağıdaki özelliklere sahiptir :

- Jenerik Harita Arayüzü
- Canlı Taktik Resim Gösterimi
- Kayıtlı Veriyi Yeniden Oynatma
- Harita İzlerinin Kaydı
- Vektör ve Raster Harita Yükleme
- Yakınlaşma/Uzaklaşma
- Odaklanma
- Harita Renk Skalası Değişirme

Şekil 8’de İstanbul Tuzla’da gerçekleştirilen bir teste ait tespit sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 8 – Gösterim Birimi Kullanıcı Arayüzü

V. SONUÇLAR

Mevcut harcanabilir algılayıcı sistemleri algılayıcılardan alınan sinyalleri ham veri olarak iletmekte ve sinyal işleme yazılımları yüksek kapasiteli ve büyük hacimli donanımlar ile platformda; tespit, sinyal analizi ve sınıflandırma süreçleri de yine platformda ve operatör tarafından yapılmaktadır.

GATAS ile, platformda sadece sınıflandırılmış ve anlamlandırılmış veriler sergilenmektedir. Anlamlandırma süreçleri operatör-bağımsız olarak işletilebilmektedir.

Özellikle savunma sanayiine yönelik ileri sinyal işleme teknik ve algoritmaları ile çoklu sensör bilgisinin düşük güç tüketimli gömülü bir sistem içerisinde gerçekleştirilmiş; sensör verilerinin analizi ve anlamlandırılması ile alıcı birime iletilen veri miktarı azaltılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Waite, A.D., “Sonar for Practising Engineers”, 3rd Edition, Wiley (2002)
- [2] Capon, J., “High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis,” Proc. IEEE, Vol. 57, No. 8, August 1969, pp. 2408–2418.
- [3] Çavuşlu, M. A., Öner, M., Helvacılar, E., Başaran, Y. H., “Sualtı Akustik Sinyallerden LOFAR Analizi ile Deniz Taşıtlarına Ait Öznitelik Çıkarımının Donanımsal Gerçeklenmesi”, Signal Processing and Communications Applications, 2015. SIU 2015. IEEE 23th
- [4] İlğü, A. C., Öner, M., Çavuşlu, M. A., Tatar, Ö., Helvacılar, E., Başaran, Y. H., “Sualtı Akustik Sinyallerden Deniz Taşıtlarının Sınıflandırılması”, SAVTEK 2014
- [5] Özen, S., Çavuşlu M.A., Öner, M., İlğü, A.C., Tatar, Ö., Başaran, Y.H., “Sualtı Akustik Tonların Kestiriminde Farklı Eşikleme Yöntemlerinin Kullanımı ve Analizi”, 10. Ulusal Akustik Konferansı, İstanbul, 2013
- [6] Serdar Özen, Mehmet Ali Çavuşlu, Mehmet Öner, Ahmet Ceyhan İlğü, Önder Tatar, Yaşar Hakan Başaran, “Sualtı Akustik Tonların Kestiriminde Farklı Eşikleme Yöntemlerinin Kullanımı ve Analizi”, 10. Ulusal Akustik Kongresi, s:378-387