

# RADAR GÖRÜNTÜLERİ VE HARİTA BİLGİLERİNİN DENKLEŞTİRİLMESİ İLE DENİZ ARAÇLARI İÇİN KONUM BELİRLEME SHIP POSITIONING BY MATCHING RADAR IMAGES AND MAP DATA

*Ali Eşref Aytac<sup>1</sup>, Orhan Aksoy<sup>2</sup> ve Yusuf Sinan Akgül<sup>1</sup>*

1. GIT Vision Lab, <http://vision.gyte.edu.tr>  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü,  
Kocaeli, 41400, Türkiye  
{aeaytac,akgul}@bilmuh.gyte.edu.tr

2. Deniz Savaş Yönetim Sistemi  
Teknolojileri Merkezi  
HAVELSAN A.Ş.  
İstanbul, 34890, Türkiye  
oaksoy@havelsan.com.tr

## ÖZETÇE

Deniz araçlarının dünya üzerindeki konumlarının belirlenmesi için kullanılan en hassas, güvenilir ve pratik yöntem, uydu ağı tabanlı Yerküresel Konumlandırma Sistemlerinin (YKS, İng. GPS) kullanımudur. Ancak YKS sistemleri işletim halinde dışarıdan müdahalelere açık durumda olup, kritik durumlarda kullanımları tercih edilmemektedir. Bu çalışmada, üzerinde seyir veya gözlem amaçlı radar bulunduran deniz araçlarının radar görüntüleri ile uydu görüntülerinin denkleştirilerek konumunun belirlenebilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Bu amaçla bir aday konum için geliştirilen özgün bir yöntem kullanılarak varolan uydu ya da hatita görüntüsünden tahmini bir radar görüntüsü üretilmiştir. Üretilen radar görüntüsü gerçek radar görüntüsü ile çapraz korelasyon yöntemi ile karşılaştırılarak bir başarımlı sonuç çıkarılmıştır. Daha sonra aday konum yineleme yöntemiyle güncellenerek başarımlı sonucu iyileştirilmiştir. Algoritma hem benzetilmiş radar görüntüleri hem de gerçek radar görüntüleri kullanılarak koşturulmuş, hesaplanan gemi konumu doğruluğu nicel olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucu elde edilen sonuçların, önerilen yöntemin geliştirilerek endüstriye kazandırılabilmesi açısından ümit verici olduğu değerlendirilmektedir.

## ABSTRACT

Satellite network based GPS system is the most accurate, accountable and practical method for determining geographical ship locations. However, GPS systems are not preferable since they are prone to external interferences, (ie, jammers). In this study, a method for determining ship positions by matching navigation or surveillance radar images and satellite images is introduced. For this purpose, an estimate for radar image is generated by a novel method using satellite or map image. Then, the estimated radar image is compared with the real radar image using cross correlation to generate a success rate. Then, this success rate is improved iteratively by updating estimated ship position. The algorithm was run with both simulated radar images and real radar images to evaluate the correctness of the estimated ship positions. The study results are promising in the sense that introduced algorithm can be industrialized after improvements.

## 1. GİRİŞ

Deniz araçlarının dünya üzerindeki konumlarının belirlenmesi için Atalet Tabanlı Seyrüsefer Sistemleri (ATSS , İng. INS) ve uydu ağı tabanlı Yerküresel Konumlandırma Sistemleri (YKS, İng. GPS) kullanılmaktadır.

Bunlardan ATSS sistemi, işletim halinde dıştan müdahalelere daha dayanıklı olmakla beraber YKS sistemleri kadar doğru bilgi üretememektedir. YKS sistemleri hassas, güvenilir ve pratik olmalarına rağmen, işletim halinde dışarıdan müdahalelere açık durumda olup, kritik durumlarda kullanımları tercih edilmemektedir.

Bu çalışmada, ATSS ve YKS sistemlerine alternatif olarak, deniz platformları tarafından seyir ve/veya gözleme amaçlı kullanılan radarlara ait görüntülerin, elde hazır bulunan uydu ya da harita bilgileri ile otomatik olarak denkleştirilmesi yöntemiyle konum hesaplaması yöntemi sunulmaktadır. Bu ve takip eden çalışmalar ile birlikte bu yöntemin geliştirilerek endüstrileşmesi ve Dz.K.K. envanterindeki deniz platformlarında kullanılması, YKS sistemlerinin işlevlerini yitirdiği durumlarda küresel konumun tespitini sağlayacaktır.

[1]'de, Genişletilmiş Kalman Filtresi (İng. Extended Kalman Filter) kullanılarak elektronik haritalar ve radar görüntülerinden konum belirleme yöntemi önerilmiştir. Ancak, bu yöntemde, operatörün hem harita üzerinde hem de radar görüntüsü üzerinde aynı noktaları belirlemesi ve işaretlemesi beklenmektedir [2].

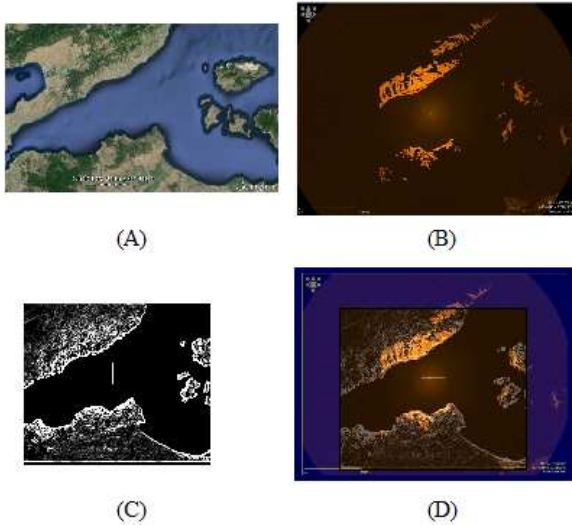
[3-7]'de belirtilen diğer yöntemler, hedef nesnelere tümünün veya bir kısmının önünün kapanması veya radar tarama mekanizmasının doğası sebebiyle oluşacak bozulmalar sebebiyle yeterince iyi sonuçlar vermemektedir. Bu kısıtlamalar, Hausdorff Uzaklığı (İng. Hausdorff Distance) yöntemine dayalı uyuşturma teknikleri (İng. Correspondence techniques) kullanılarak ortadan kaldırılmıştır [2]. [2]'de ayrıca deniz platformuna ait konum ve hızın yanında radar sapmaları da tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada, literatürde kullanılan kaba kuvvet (İng. Brute force) yaklaşımlardan farklı olarak, yineleme yöntemiyle radar ve uydu görüntüleri karşılaştırılan verimli bir algoritma önerilmiştir. Literatürde tanımlanan tekniklerin tümü, verilen bir aday gemi konumunun eldeki radar görüntüleriyle uyumuna bakmakta ve en uygun aday konum elde edilinceye kadar yeni konumları denemektedir. Bu çalışmada geliştirilen yöntem ise, verilen bir gemi aday konumunun radar görüntüsüyle olan uyumluluğunu ölçümü sırasında, tahmini doğru konumu da üreterek bir sonraki adımda daha doğru bir tahmin yapılabilmesini sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak, denenecek deniz platformu konum sayısı oldukça azalmakta ve sonuçlar oldukça hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir.

Bu bildirinin geri kalanında, harita ve radar bilgilerinin denkleştirilmesi 2. bölümde, denkleştirme algoritmasının veriminin artırılması 3. bölümde, geliştirilen sistem üzerinde yapılan deneyler 4. bölümde anlatılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve gelecek için yapılması planlanan çalışmalar ise 5. bölümde yer almaktadır.

## 2. HARİTA BİLGİLERİ İLE RADAR GÖRÜNTÜSÜNÜN DENKLEŞTİRİLMESİ

Harita görüntüsü ile radar görüntüsünün denkleştirilmesi, temel olarak, bir gemi konumu için tahmini bir radar görüntüsü oluşturarak gerçek radar görüntüsü ile kıyaslamaya dayanır. Daha sonra tahmini konum güncellenerek yineleme yöntemiyle en az hata içeren konum bulunmaya çalışılır. Örnek bir denkleştirme Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Örnek Denkleştirme. (A): Uydu (ya da harita) Görüntüsü, (B): Gerçek Radar Görüntüsü, (C): Üretilen tahmini radar görüntüsü, (D): Denkleştirme sırasında örtüştürülmüş görüntü

Deniz Platform'unun konumunun belirlenmesi yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşur:

1. Tahmini gemi konumunun ilk Aday Konum (AK) olarak belirlenmesi
2. Aday Konum (AK) için uydu görüntüsü seçilmesi,
3. AK ve uydu görüntüsü kullanılarak tahmini radar görüntüsü oluşturulması,

4. Gerçek radar görüntüsü ile tahmini radar görüntüsünün denklik ölçümünün yapılması,
5. Aday Konumun güncellenerek 4. adımdaki farklılık belirli bir seviyenin altına ininceye kadar 2, 3 ve 4. adımların tekrarlanması ve en az hata içeren konumun belirlenmesi.

Yukarıda belirtilen adımlar, aşağıdaki alt bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

### 2.1. İlk Aday Konumun Belirlenmesi

Deniz platformunun konumu, YKS veya benzeri bir teknoloji kullanılmadan tam olarak bilinemez de, platform üzerinde bulunan sensörler (çayro, parakete, vs.) ve/veya manuel yöntemlerle bir tahmin yapılabilir. Bu tahmin, algoritmanın ilk aday konumu olarak kullanılacaktır.

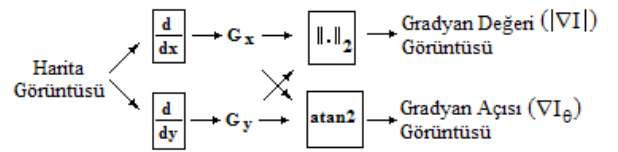
### 2.2. Aday Konum İçin Uydu Görüntüsü Seçilmesi

Deniz platformunun bulunduğu sahaya ait uydu görüntüleri, Google Earth'ten alınmıştır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ticari olarak da elde edilebilir[8]. Algoritmanın ikinci adımında, tahmini radar görüntüsü üretme algoritmasında kullanılmak üzere aday konumun merkezi olduğu sahaya ait uydu görüntüsü seçilmiştir. Örnek uydu görüntüsü Şekil 1-A'da görülebilir.

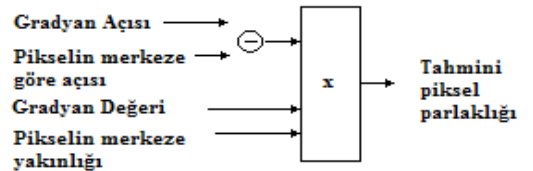
### 2.3. Tahmini Radar Görüntüsünün Oluşturulması

Tahmini radar görüntüsünü oluşturmak için, bir önceki adımda elde edilen harita ya da uydu görüntüsü girdi olarak kullanılarak aşağıdaki algoritma çalıştırılmaktadır.

1. Görüntünün her bir pikseli için gradyan vektörü elde edilir (Şekil 2).
2. AK noktası ile piksel arasındaki uzaklık ve vektör açısı hesaplanır.
3. Pikselin gradyan büyüklüğü değeri ve gradyan açısının vektör açısına yakınlığı değeri, merkezden uzaklaştıkça küçülen bir katsayı ile çarpılarak (radar enerjisi) tahmini radar piksel parlaklığı hesaplanır. (Şekil 3)

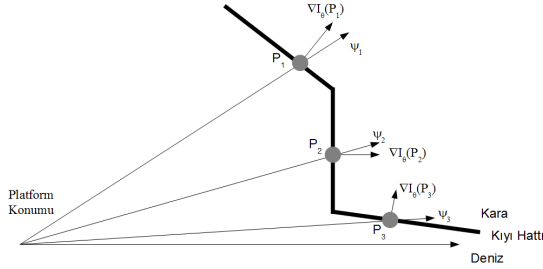


Şekil 2 Her bir piksel için gradyan değeri hesaplanması



Şekil 3: Tahmini Radar Görüntüsünün Oluşturulması

Gradyan açısı ile pikselin merkeze göre açısının birbirine yakın olması, o noktada radar görüntüsünün parlak çıkmasını sağlamaktadır. Örnek bir kıyı hattı için açılar Şekil 4'te gösterilmiştir:



Şekil 4: Tahmini radar görüntüsünde piksel parlaklığına açılarının etkisi

Şekil 4'teki P<sub>1</sub> pikseli, gradyan açısı ile piksel yönü arasındaki fark küçük olduğu için parlak, P<sub>3</sub> pikseli ise bu fark büyük olduğu için soluk olacaktır. Örnek tahmini radar görüntüsü Şekil 1-C'de görülebilir. Bu görüntüden de anlaşılacağı üzere, kullanılan tahmini radar görüntüsü üretme yöntemi, gerçek radar görüntüleriyle tam olarak aynı görüntüler üretmek üzere tasarlanmamıştır. Örneğin, tahmini radar görüntüleri oluşturulurken, radar tarafından görülemeyen kısımlar (dağların ya da adaların arka kısımları) için de piksel parlaklıkları üretilmektedir. Bu türlü bir görüntünün oluşturulmasının temel nedeni, oluşturulan tahmini radar görüntüsü üzerinde gerçek radar görüntüsünün şablon denkleştirme yöntemiyle aranabilmesi içindir. Bu aramanın dataları 3. bölümde açıklanmıştır.

#### 2.4. Görüntülerin Denklik Ölçümünün Yapılması

Bir aday konum için üretilen tahmini radar görüntüsü ile gerçek radar görüntüsünün birbirine ne kadar yakın olduğunun ölçülebilmesi için radar denkleştirme problemine, *Normalize Çapraz Korelasyon Algoritması* özgün bir şekilde uyarlanarak uygulanmıştır. Bu algoritma, iki görüntü üzerindeki anlamlı alanların benzerliğini ölçmektedir. Tahmini radar görüntüsü (R) ve gerçek radar görüntüsü (I) için denkleştirme ölçütü Eşitlik 1 kullanılarak elde edilmektedir.

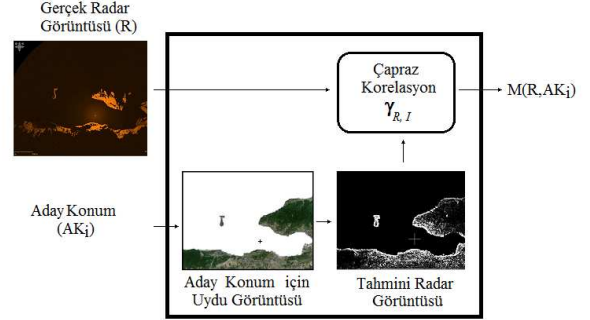
$$\gamma_{R,I} = \frac{1}{n} \sum_{x,y} \frac{(R(x,y) - \bar{R})(I(x,y) - \bar{I})}{\sigma_R \sigma_I} \quad (1)$$

Burada,

- R(x,y) : Tahmini radar görüntüsü x,y pikseli parlaklığı
- I(x,y) : Gerçek radar görüntüsü x,y pikseli parlaklığı
- $\bar{R}$  : R görüntüsü piksel parlaklık ortalaması
- $\bar{I}$  : I görüntüsü piksel parlaklık ortalaması
- $\sigma_R$  : R görüntüsü piksel parlaklık standart sapması
- $\sigma_I$  : I görüntüsü piksel parlaklık standart sapması
- n : Toplam piksel adedi

olarak alınmıştır.

Bir aday konum(AK<sub>i</sub>) için tahmini radar görüntüsünün üretilmesi ve gerçek radar görüntüsü ile karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir:



Şekil 5: Tahmini radar görüntüsü üretilmesi ve gerçek radar görüntüsü ile karşılaştırılması

Şekil 5'te denkleştirme algoritmasının çıktısını temsil eden M fonksiyonu, tahmini konum ve gerçek radar verisine karşılık bir radar benzerlik değeri üretmektedir.

#### 2.5. En Az Hata İçeren Konumun Belirlenmesi

Verilen bir radar görüntüsü için konum tespiti yöntemi, M fonksiyonunu değişik aday konumları için hesaplayıp en yüksek başarıyı veren aday konumu bulmaya dayanmaktadır. Dolayısıyla verilen bir radar görüntüsü için yapılan konum tahmini (2) numaralı denklemde gösterilmiştir:

$$P = \underset{AP_i}{\operatorname{argmax}} \{ M(R, AK_i) \} \quad (2)$$

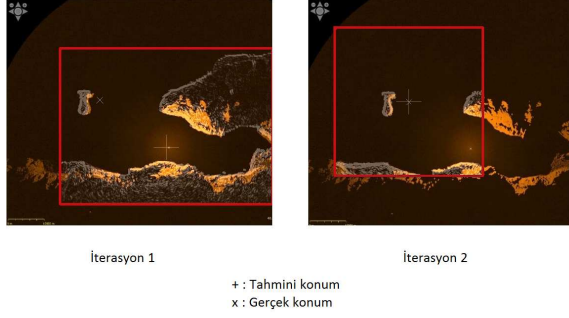
Örüntüleştirilmiş örnek görüntü Şekil 1-D'de görülebilir.

Çalışmanın ilk aşamasında, yukarıda açıklanan denkleştirme algoritması, olabilecek tüm gemi aday konumları ardarda denenecek en iyi sonucu veren konum platform konumu olarak belirlenmiştir (Kaba kuvvet algoritması). Bu algoritma olası en iyi konumu hesaplamasına rağmen zaman bakımından yeterli ölçüde verimli değildir.

### 3. DENKLEŞTİRME ALGORİTMASININ VERİMİNİN ARTIRILMASI

Bölüm (2)'de belirtilen algoritmadaki verimsizliği aşmak amacıyla denkleştirme algoritma iyileştirilmiştir. Bu amaçla, üretilen tahmini radar görüntüsü, gerçek radar görüntüsü üzerinde aranmıştır. Bu türlü bir arama, kullanılan tahmini radar görüntüsü oluşturma yönteminin sadece aday pozisyonu civarında değil, radar tarafından görülemeyen bölgelerde de parlaklık üretmesi sebebiyle mümkün olabilmştir. Yapılan arama, temel olarak bir şablon eşleme algoritmasıdır. Bu türlü algoritmalar uzun süredir görüntü analizi için kullanılmakta olup[9], son zamanlarda GPU kullanan hızlı şablon eşleştirme algoritmaları da önerilmiştir[10].

Yapılan deneylerde, tahmin edilen konum ile gerçek konum arasında büyük fark olduğu durumlarda dahi geliştirilen algoritma, sentetik radar görüntüsünü gerçek görüntünün üzerinde bulabilmiştir. Dolayısıyla daha ilk yinelemede, tahmini konumun gerçek konumdan yaklaşık olarak ne kadar uzakta olduğu belirlenmiş, ikinci yinelemede bu yeni konum üzerinden arama tekrarlanmıştır. İki aşamada platform konumunun tespiti Şekil 6'de gösterilmiştir



Şekil 6: Aramaya Dayalı Denkleştirme

#### 4. DENEYLER

Bu çalışmada geliştirilen algoritma, Cambridge Pixel SPX Radar Simulator uygulaması tarafından üretilmiş, benzetilmiş radar görüntüleri üzerinde çalıştırılmıştır. Bu uygulama, DTED yükseklik verilerini ve uygun radar parametrelerini kullanarak istenilen konumlara ait radar görüntülerini üretebilmektedir.

Şekil 7'de Marmara Denizi üzerinde üç farklı konum için algoritmanın örnek çıktıları görülebilir:

Uydu Görüntüsü	Simulator Radar Görüntüsü	Sentetik Radar Görüntüsü	Eşleştirme Sonucu	Hata (Metre)
				380.9
				85.4
				526.3

Şekil 7: Örnek Algoritma çıktıları

Yapılan çalışmada algoritmanın belirlediği konum ile gerçek konumlar arasındaki farklar aşağıdaki tabloda görülebilir:

Resim No	Pixel Cinsinden Hata	Metre Cinsinden Hata
1	2	380.9
2	4	526.3
3	4.2	411.7
4	6.3	906.4
5	2	85.4

Tablo 1 Konum Belirleme Hataları

Algoritmanın çıktısı ile gerçek gemi konumları arasındaki piksel cinsinden hata, metre cinsinden hataya çevrilirken, algoritmanın koştığı radar görüntüsündeki çözünürlük ve radar görüntüsünün üzerine oturduğu haritanın x ve y eksenlerindeki metre cinsinden büyüklüğü kullanılmıştır.

Gerçek gemi konumları ile algoritmanın belirlediği konumlar arasındaki farkların kaynağının, radar benzetiminin kullandığı coğrafi veri çözünürlüğünün düşük olması (DTED verileri) ve geliştirilen algoritmanın, radar dinamiğine doğrudan etki eden coğrafi yükseklik verilerini değil, yalnızca kıyı

hatlarını kullanması olduğu değerlendirilmektedir.

Aynı algoritma, savunma sanayinin önde gelen firmalarından birinde gerçek radar görüntü örnekleri ile çalıştırılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

#### 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, deniz platformları için, YKS'ye ihtiyaç duymadan küresel konumlarını bulabilmeleri için bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde, deniz platformları üzerinde bulunan, seyir ve/veya gözleme amacıyla kullanılan radarlara ait görüntüleri, harita ile denkleştirilmekte, haritaya en çok uyan platform referansı, gemi konumu olarak belirlenmektedir.

Radar görüntüleri, doğrudan harita resmi ile eşleştirilmek istendiğinde, her iki görüntü arasında ortak özellikler bulunmadığından bir ara adıma ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla harita görüntüsü kullanılarak tahmini bir radar görüntüsü üretilmiş, gerçek radar görüntüsü bu tahmini görüntünün üzerine oturtulmuştur.

Çalışma sonucu elde edilen sonuçların, önerilen yöntemin geliştirilerek endüstriye kazandırılabilmesi açısından ümit verici olduğu, sunulan algoritmanın, coğrafi yükseklik verileri ile dünyanın yuvarlaklık bilgisini de kullanacak şekilde güncellenerek hata miktarının daha düşük seviyelere çekilebileceği değerlendirilmektedir.

#### 6. KAYNAKÇA

- [1] A. Guesalaga, "Recursive estimation of radar biases using electronic charts", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 40, no. 2, pp. 725-733, 2004.
- [2] Torres-Torriti, M, "Automatic ship positioning and radar biases correction using the hausdorff distance", 10<sup>th</sup> International Conference on Information Fusion, Quebec(Canada), 2007, pp. 1-8.
- [3] S. Brock-Gunn and T. J. Ellis, "Using colour templates or target identification and tracking", *Proc. British Machine Vision*, 1992, Leeds, UK, pp. 207-216.
- [4] K. Fredriksson, G. Navarro and E. Ukkonen, "Optimal exact and fast approximate two dimensional pattern matching allowing rotations", *Proc. of the 13th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching*, 2002, Fukuoka, Japan, pp. 235-248.
- [5] P. Prokopowicz, M. Swain and R. Kahn, "Task and environment-sensitive tracking", *Proc. Workshop on Visual Behaviors*, 1994, Seattle, USA, pp. 73-78.
- [6] A. D. Worrall, R. F. Marslin, G. D. Sullivan and K.D. Baker, "Model-based tracking", *Proc. British Machine Vision. Conf.*, 1991, Glasgow, Scotland, pp. 310-318.
- [7] L. Yuille, D. S. Cohen and P. Hallinan, "Feature extraction from faces using deformable templates", *Int. Journal of Computer Vision*, 1992, 8, pp. 99-112.
- [8] Digital Globe, Inc. Internet: [www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com)
- [9] Rosenfeld, Azriel, and Gordon J. Vanderbrug. "Coarse-fine template matching." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 7.2 (1977): 104-107.
- [10] Uchida, Akihiro, Yasuaki Ito, and Koji Nakano. "Fast and accurate template matching using pixel rearrangement on the GPU." *Networking and Computing (ICNC)*, 2011 Second International Conference on. IEEE, 2011.