

# Sonar Ark Haritası İşlenerek Haritalama Yöntemlerinin Karşılaştırmalı İncelemesi

## A Comparative Study of Map Building Techniques by Processing Sonar Arc-Maps

*Arda Kurt ve Billur Barshan*

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent Üniversitesi 06800, Bilkent, Ankara

{arda, billur}@ee.bilkent.edu.tr

### Özetçe

Bu çalışmada, düşük maliyetli akustik duyu-culardan elde edilen verilerin harita çıkarma çalışmalarında kullanımına yönelik sinyal işleme yöntemleri karşılaştırılmış, geliştirilen yönlü maksimum yöntemi sayesinde akustik duyu-culara özgün açısal belirsizliğin yarattığı sorunlar azaltılmıştır. Aynı alanda daha önce sunulmuş çalışmaların ve özellikle harita oluşturmaya yönelik uygulamaların başarımları ile kıyaslandığında, geliştirilen yöntemin ortalama mutlak hata ve işleme süresi açılarından üstün olduğu gösterilmiştir.

### Abstract

In this study, four signal processing schemes regarding sonar sensor based map-building applications were compared. The newly proposed method, Directional Maximum is found to be successful in terms of reducing the innate angular ambiguity of the sonar sensors. With respect to several works presented earlier in the same field and specifically map-building related studies, the new method is successful both in terms of mean absolute error and computational cost.

### 1. Giriş

Çevresindeki ortamın farkında olmak, akıllı gezici robotların ayırdedici özelliklerindedir. Tipik olarak

birden fazla duyu-cudan gelen veriyi işleyen robot, yöngüdüm, yol planlama, hedef ayrıştırma ve tanımlama, konum belirleme gibi temel görevlerini yerine getirebilir. Bulunulan ortamın haritasının önceden robota verilemediği durumlarda haritalama işlevinin de robot tarafından gerçekleştirilmesi gerekebileceğinden, gezici platformların haritalama yeteneğine sahip olması önem taşımaktadır.

Düşük maliyetli olmalarına rağmen net uzaklık ölçümü yapabilmeleri nedeniyle, sonar almaçlar gezici robotlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2]. Eğimli yüzeylerin profillerinin çıkarılmasına yönelik analitik çalışmalarda da kullanılan [3] ve uçuş süresine dayalı uzaklık ölçümü yapan akustik duyu-cuların görüş alanları, ses dalgalarının yapısı ve kullanılan frekans nedeniyle genişler. Bu nedenle de uzaklığı ölçülmekte olan yansıma yüzeyinin bu görüş alanının içerisinde tam olarak hangi açısal doğrultuda olduğunu saptamak tek bir duyu-cu ile mümkün olmamaktadır. Çoklu yansıma yaparak duyu-cuya dönen ses dalgaları ise, yanlış ölçümlere neden olabilmektedir.

Yukarıda değinilen belirsizlikler, sonar almaçın fiziksel yapısından kaynaklandığından, haritalama çalışmasında kullanılan almaç modelinde de temsil edilmelidir. Her uzaklık ölçümünü Şekil 1-a'da görüldüğü gibi sabit derinlikte ve görüş alanı içerisinde herhangi bir açısal doğrultuda olan olası yansıma noktalarının bütünü ile, yani duyu-cudan

sabit uzaklıkta çembersel bir ark ile tanımlayarak, ve birden fazla uzaklık ölçümünü aynı harita üzerinde belirterek, “ark haritası” adı verilen iki boyutlu sinyal elde edilebilir [6]. Bu iki boyutlu sinyalin işlenmesi ve ulaşılmaya çalışılan profilin ya da haritanın elde edilmesine yönelik bu çalışmada, hem aynı sayıda duyucu ile daha fazla veri elde edilmesine, hem de elde edilen verinin daha verimli işlenmesine yönelik yaklaşımlar öne sürülmüştür.

## 2. Yönlü Maksimum

Bir vericiden gönderilen sinyalin yüzeylerden yansdıktan sonra dizilimdeki diğer duyucular tarafından algılanmasına “çapraz konuşma” adı verilir. Bir vericiden kaynaklanan ses dalgaları sadece bir kez yansdıktan sonra başka bir algılayıcı tarafından algılanırsa buna doğrudan (direkt) çapraz konuşma, eğer birden fazla yansımadan sonra almaca ulaşırsa dolaylı (indirekt) çapraz konuşma denir. Bu çalışmada önerilen yöntemle birinci tip çapraz konuşmalar değerlendirildiği gibi ikinci tip çapraz konuşmadan kaynaklanan ve istenmeyen veriler seyrek oldukları için kolaylıkla yok edilebilmektedir.

Kullanılan temel birim olarak iki akustik duyucunun bir çift olarak kullanılması ve bir duyucu tarafından gönderilen sinyalin bu çiftin her iki üyesi tarafından dinlenmesi sayesinde, yollanan her sinyale karşılık biri Şekil 1-a’daki gibi çembersel, diğeri ise Şekil 1-b’deki gibi eliptik iki ark elde edilebilir. Bu sayede oluşturulacak olan ark haritası gönderilen her sinyale karşılık tek bir çembersel ark çıkararak yönteme kıyasla daha dolu olacak, ve sinyal işleme yöntemleri sonucunda daha doğru bir sonuç elde etmemize olanak sağlayacaktır. Şekil 2-a’da görülen profilin bu yöntem ve 60 rasgele dağıtılmış duyucu konumu ile çıkarılmış ark haritası Şekil 2-b’de gösterilmiştir.

Bu şekilde oluşturulmuş ark haritası, sadece “yönlü maksimum” noktaları geride kalacak şekilde gereksiz uzantı, parça ve kalıntılardan arındırılır. Çıkarılmakta olan profilin genel doğrultusu önceden biliniyor veya haritalama uygulamalarında olduğu gibi uygulanan yöntem tarafından kestiriliyor olabilir. Bu verinin ortama dair bir bilgi elde yokken robot tarafından çıkarılıyor olması, robota genel fakat yararlı bir

“yön” kavramı kazandırması açısından önemlidir. Eldeki ark haritası, profilin genel yönüne dik yönde taranır ki elimizdeki örnekte bu iki boyutlu sinyalin sütunlarına karşılık gelmektedir. Ark haritası her sütunda sadece en yüksek değer kalacak şekilde temizlenir. Bu adımdan sonra yaygın morfolojik imge işlemlerinden kalınlaştırma veya bağlama [4, 5] uygulanırsa, sonucun daha da başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak morfolojik işleme olmadan dahi sonuçlar tatminkar seviyededir. Şekil 2-b’deki ark haritasının sonuçları Şekil 2-c’de görülebilir.

## 3. Sonuç

Yöntemin başarısı, daha önce geliştirilmiş olan morfolojik işleme [6], oylama ve eşikleme [7] ve ark kesişimlerinin medyanına dayalı olan ATM [8] yöntemleri ile üç değişik ölçüt çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Bunlardan birincisi gerçek profil ile elde edilen sonuç arasındaki piksel başına mutlak fark, ikincisi gerçek profilin oransal olarak ne kadarının çıkarılabildiği, üçüncüsü ise işlemin bilgisayar ortamında harcadığı süre olarak tanımlanmıştır. Harcanan sürenin özellikle ele alınmış olmasının temel nedeni, gerçek zamanlı uygulamalarda elde edilen verinin ne denli kısa sürede işlenebilir olduğunun önem kazanmasıdır.

Başarım ölçütlerinin hesaplanmasında kullanılan ilk düzenek, yöntemin tanımlanmasında da değinilmiş olan ve sonuçları Şekil 2-b ve 2-c’de incelenebilecek profil belirleme çalışmasıdır.

örnek 1 yöntem	ortalama mutlak hata (piksel)	doldurma yüzdesi	hesaplama süresi (saniye)
morfolojik işleme	9.8	%33	0.76
oylama ve eşikleme	<b>2.4</b>	%39	<b>0.07</b>
ATM	6.4	%22	8.65
yönlü maksimum	5.9	<b>%98</b>	1.07

Tablo 1: başarımların karşılaştırılması - örnek 1

Benzer bir başarımların ölçümü, açılmal olarak

taranmış iki boyutlu bir cisim için yapıldığında ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

örnek 2 yöntem	ortalama mutlak hata (piksel)	doldurma yüzdesi	hesaplama süresi (saniye)
morfolojik işleme	35.4	%100	1.11
oylama ve eşikleme	8.4	%99.8	<b>0.12</b>
ATM	10.7	%57.9	18.9
yönlü maksimum	<b>4.6</b>	<b>%100</b>	5.1

Tablo 2: başarımların karşılaştırılması - örnek 2

Sabit uzaklıktan ve 3 derece aralıklarla değişen açısal doğrultulardan 120 sonar ölçümü alınarak taranan cismin aslı Şekil 3-a'da, bu ölçümlerin ortaya koyduğu ark haritası Şekil 3-b'de, yönlü maksimum yöntemi kullanılarak işlenen ark haritasının son hali ise Şekil 3-c'de görülebilir. Göreceli olarak küçük bir cisme 2.5 metre uzaklıktan bakıldığında oluşan çok sayıda gereksiz parçacıklar ve kalıntılar göz önünde bulundurulduğunda, özellikle mutlak ortalama hata değerlerinin profil başarımlarından daha yüksek çıkması doğaldır. Yine görece küçük bir cisim ele alındığı için, doldurma oranları da yüksek çıkmaktadır. Tüm bunlar dikkate alındığında yönlü maksimum yönteminin başarımların değerleri tatmin edici seviyededir.

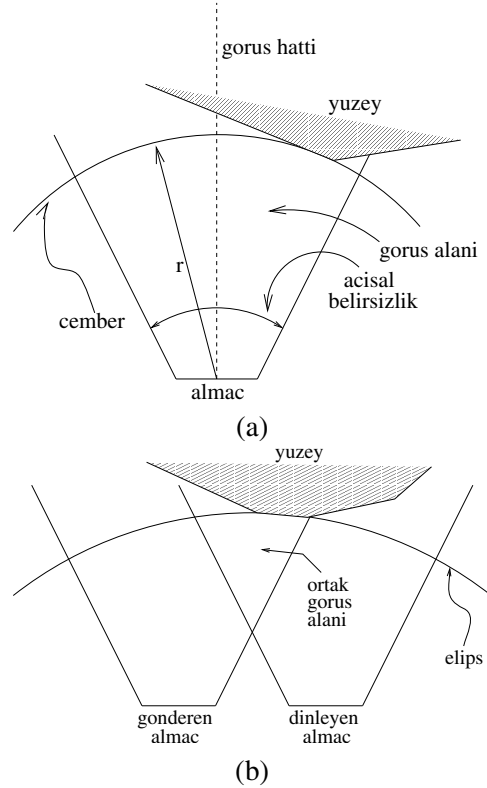
Açısal tarama örneğinde elde edilen sonuçların görsel karşılaştırması Şekil 4'te incelenebilir. Yukarıdaki sayısal değerlendirme ile tutarlı olarak, morfolojik işlemenin yoğun ark haritalarında çok sayıda kalıntı bıraktığı ve bu yüzden ortalama mutlak hata değerlerinin yüksek çıktığı; oylama ve eşiklemenin kalıntı temizlemede daha başarılı olduğu ve keskin hatlar elde etmekle birlikte yönlü maksimum yöntemi kadar temiz bir harita oluşturmadığı; ATM'nin ise her arktan tek bir nokta bırakmaya dayalı yaklaşımı nedeniyle diğerlerine kıyasla gerçek cismin az bir kısmının haritasını çıkarabildiği bu karşılaştırmada gözlemlenebilir.

Başarı ölçütleri incelendiğinde, yeni yöntemin özellikle doldurma oranı alanında son derece

başarılı olduğu, hız ve doğruluk açısından ise en başarılı yöntemle yeterince yakın olduğu görülebilir.

Doldurma oranında elde edilen yüksek değer, birden fazla etkene bağlı değerlendirilebilir. Almaçların çiftler halinde kullanılması, işlenecek veri miktarını önemli ölçüde arttırmakta, genel olarak izlenmekte ve haritalanmakta olan yüzeyin yönünün bilincinde olduğu varsayılan yönlü maksimum yöntemi de profil bütünlüğünü korumaktadır.

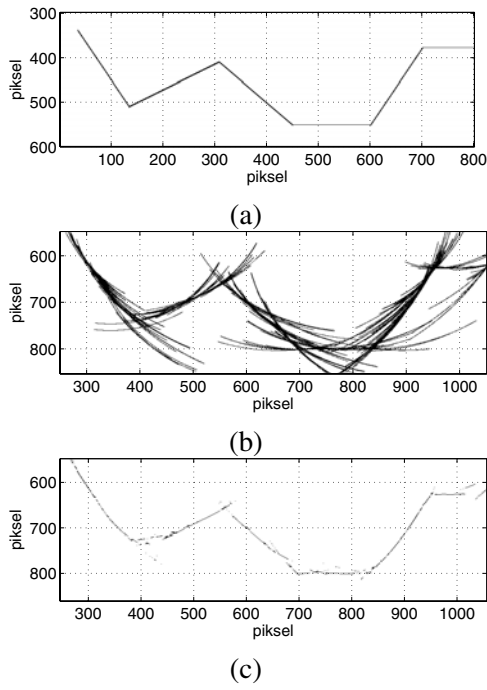
Çalışma iç mekan haritalama çalışmalarına genişletilmekte ve deney düzeneği oluşturulmaktadır.



Şekil 1: a) tek sonar kullanımı, b) çift sonar kullanımı

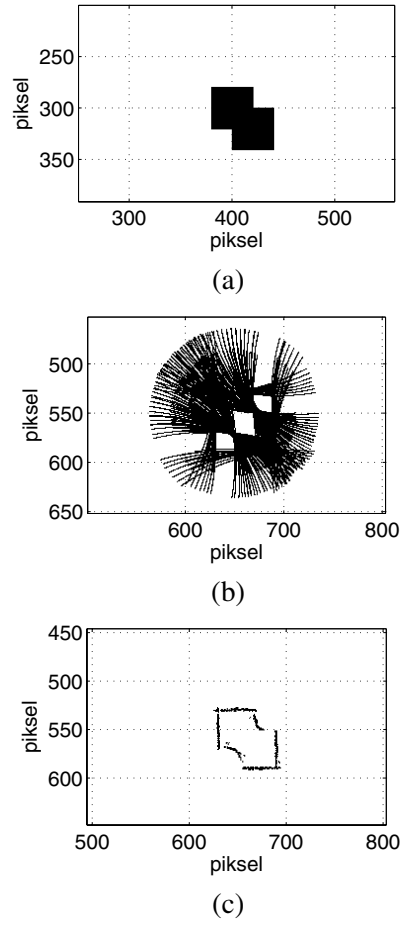
## 4. Kaynakça

- [1] J. L. Crowley. Navigation for an intelligent mobile robot. *IEEE Trans. Robot. and Automat.*, RA-1:31-41, Mart 1985.
- [2] A. Elfes. Sonar based real-world mapping and navigation *IEEE Trans. Robot. Automat.*, RA-3:249-265, Haziran 1987.

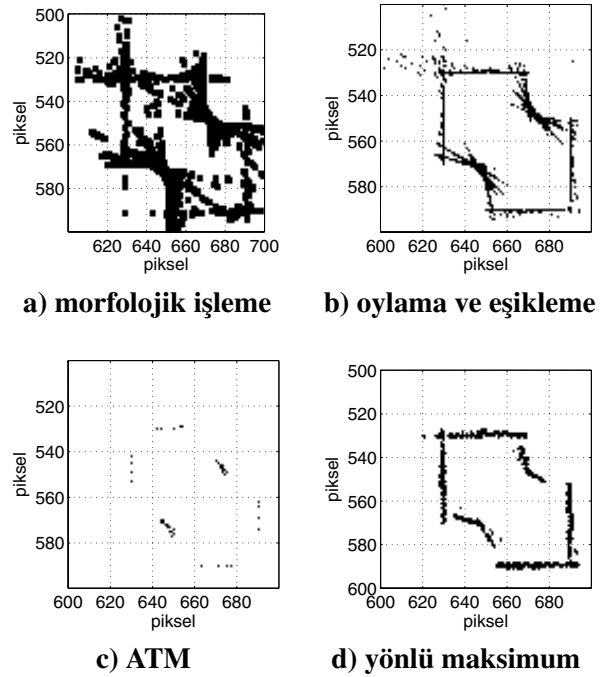


Şekil 2: a) gerçek profil, b) ark haritası , c) yönlü maksimum ile işlenmiş harita

- [3] M. K. Brown. The extraction of curved surface features with generic range sensors. *International Journal of Robotics Research*, 5:3-18, 1986.
- [4] A. Low. *Introductory Computer Vision and Image Processing*, New York: McGraw-Hill, 1991.
- [5] E. R. Dougherty. *An Introduction to Morphological Image Processing*, Bellingham, Washington: SPIE Optical Engineering Press, 1992.
- [6] D. Başkent ve B. Barshan. Morphological surface profile extraction with multiple range sensors. *Pattern Recognition*, 34(7):1459-1467, Temmuz 2001.
- [7] B. Barshan. Ultrasonic surface profile determination by spatial voting. *Electronics Letters*, 35(25):2232-2234, Aralık 1999.
- [8] H. Choset, K. Nagatani ve N. A. Lazar. The arc-transversal median algorithm: a geometric approach to increasing ultrasonic sensor azimuth accuracy. *IEEE Trans. Robot. Automat.*, 19(3):513-521, Haziran 2003.



Şekil 3: a) gerçek cisim , b) ark haritası , c) yönlü maksimum ile işlenmiş harita



Şekil 4: görsel karşılaştırma