

ÖZET**ÜÇLÜ HİDROFON YAPISINA SAHİP ÇEKİLİ DİZİNLERDE ANA GEMİ
GÜRÜLTÜSÜ VE DİP/YÜZEY YANSIMALARININ SİLİNMESİNİ
5 SAĞLAYAN BİR YÖNTEM**

Bu buluş, triplet yapıya sahip çekili dizinlerde (T), çekici gemi (S) gürültüsünün doğrusal hat üzerinden ulaşan ve dip/yüzey yansımaları yoluyla ulaşan
10 bileşenlerinin bastırılarak, iskele-sancak belirsizliği olmayan bir sonar çıktısı elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir. En temel halinde, triplet dizininden alınan veride kardiod ve dipol yapıya sahip ışıma desenlerinin elde edilmesi, standart kardiod işleme çıktıları ile dipol işleme çıktısının birleştirilerek iskele/sancak ayrımı olan ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırıldığı bir imgenin
15 elde edilmesi adımlarını içeren bir yöntem ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. Triplet yapıya sahip çekili dizinlerde (T), doğrusal hat üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsü (DH), dip yansıması üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsü (DY) ve dip-yüzey yansıması üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsünün (DYY) bastırılarak, sonar çıktısı elde edilmesini sağlayan ve en temel halinde;
 - bir triplet dizininden alınan veriye kardiodik ışın demetleme algoritmasının uygulanması adımını **içeren ve**,
 - elde edilen kardiodik işleme çıktıları kullanılarak dipol yapıya sahip, deniz yüzeyine göre dik olan, aynı zamanda dizin ve gemiyi içeren düzlemdeki yayınları sıfırlayacak şekilde bir tepkisi olan bir ışıma deseninin elde edilmesi,
 - söz konusu kardiodik işleme çıktıları kullanılarak, bir sonraki adımda dipol çıktısıyla kardiodik çıktısının birleştirilmesi için kullanılacak olan, iskele-sancak ayırımına sahip bir ara sinyalin oluşturulması,
 - elde edilen ara sinyal ve dipol işleme çıktısının birleştirilerek, iskele/sancak ayırımına sahip olan ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırıldığı bir imgenin elde edilmesi
 adımları **ile karakterize edilen** bir yöntem.
2. “Elde edilen ara sinyal ve dipol işleme çıktısının birleştirilerek, iskele/sancak ayırımına sahip olan ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırıldığı bir imgenin elde edilmesi” adımımda söz konusu ara sinyal ve dipol işleme çıktısının doğrusal olmayan bir işleme yöntemiyle birleştirilmesi **ile karakterize edilen** istem 1’deki gibi bir yöntem.
3. “Elde edilen ara sinyal ve dipol işleme çıktısının birleştirilerek, iskele/sancak ayırımına sahip olan ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırıldığı bir imgenin elde edilmesi” adımımda söz konusu ara sinyal ve dipol işleme çıktısının çift pencereleme yöntemiyle birleştirilmesi **ile karakterize edilen** istem 1’deki gibi bir yöntem.

TARİFNAME

ÜÇLÜ HİDROFON YAPISINA SAHİP ÇEKİLİ DİZİNLERDE ANA GEMİ GÜRÜLTÜSÜ VE DİP/YÜZEY YANSIMALARININ SİLİNMESİNİ 5 SAĞLAYAN BİR YÖNTEM

Teknik Alan

10 Bu buluş, üçlü hidrofon (triplet) yapısına sahip çekili dizinlerde ana gemi gürültüsü ve dip/yüzey yansımalarının, iskele-sancak ayrımından feragat etmeden, bastırılmasını sağlayan bir yöntem ile ilgilidir.

15 Önceki Teknik

Çekili dizinler doğrusal sensör dizilimine sahiptir ve doğrusal dizinlerin kullanıldığı yön bulma problemi literatürde detaylı olarak çalışılmış bir problemidir. Doğrusal dizinlerdeki en önemli sorunlardan birisi, dizinin tek
20 ekseninde simetrik olmasından kaynaklanan simetrik ışıma desenleridir [1]. Bu simetri sebebiyle, hedefin geminin sağından (sancak) ya da solundan (iskele) geldiği ayırt edilememektedir. Bu sorun, sonar literatüründe iskele-sancak belirsizliği (port-starboard ambiguity) olarak bilinmektedir. Pratikte bu sorunu
25 çözmek için ana geminin manevra yapması gerekmektedir ve çekili dizinin şeklinin istenen hale gelmesi dakikalar mertebesinde zaman kaybına neden olmaktadır.

İskele-sancak belirsizliğinin çözümü için geliştirilen bir başka yöntem ise, her hidrofon biriminde tüm-yönlü (omni-directional) tek hidrofon kullanımı yerine,
30 bir eşkenar üçgenin köşelerine yerleştirilmiş, üç adet tüm-yönlü hidrofon kullanılmasıdır (Şekil 2). Bu yaklaşım literatürde “üçlü” (triplet) hidrofon yapısı

olarak adlandırılmaktadır [3], [4], [5]. Her üçlü hidrofon birimi, sinyal işleme yöntemleri kullanılarak yönlü sensör birimleri gibi çalışacak şekilde işlenebilmektedir. Bu sayede ana geminin manevra yapmasına gerek kalmadan, hedefteki sağ-sol belirsizliği anlık olarak çözülebilmektedir.

5

Literatürde, aktif triplet sistemleri hakkında bazı çalışmalar mevcuttur. Bu araştırmalarda; aktif bir triplet dizinden alınan veriye uygulanan “kardioid ışın demetleme algoritması” kaynak [3]’te anlatılmıştır. Yine aktif bir triplet dizini için adaptif triplet ışın demetleme ve kardioid ışın demetleme algoritmalarının karşılaştırılması kaynak [4]’te aktif triplet dizinlerinde kardioid ışın demetleme için bir normalizasyon yöntemi ise kaynak [5]’te ve [6]’da verilmiştir. Bu normalizasyon yöntemi farklı açılar için oluşturulan ışın desenlerinin kazançlarını eşitlemeyi amaçlamaktadır. Pasif triplet dizinlerde, aktif dizinler için geliştirilen yöntemler uygulanabilir. Çalışma prensibi olarak pasif dizinlerin aktif almaç dizinlerden farkı, pasif dizinlerin çalışma frekans bandının (genellikle) daha geniş olması ve ilgilenilen sinyalin şeklinin bilinmemesidir. Kaynak [3]’te anlatılan yöntemin pasif triplet dizinleri için kullanılması amacıyla önce her üçlü hidrofon setine kendi içinde ışın demetleme işlemi uygulanarak iskele ve sancak arasında yönlülük sağlayacak ışın desenleri elde edilebilir. Daha sonra bu yönlü yapıya sahip üçlü hidrofon dizinine klasik ışın demetleme yöntemleri uygulanarak, hedefin kerterizi daha net bir şekilde bulunabilir.

Özellikle sığ sularda (ya da ana geminin yaydığı gürültünün yüksek seviyelerde olduğu durumlarda), ana geminin gürültüsü deniz dibinden ve yüzeyinden yansarak çekili dizine parazit sinyal olarak ulaşmaktadır. Aynı zamanda, ana geminin gürültüsü doğrusal hat üzerinden dizine ulaşarak aynı sorunu oluşturmaktadır. Şekil 3’teki yansıma geometrisine dikkat edilirse, bahsi geçen parazit sinyallerin tamamı aynı düzlemde bulunmaktadır. Çekili dizinlerde oluşturulan ışın desenleri konik bir yapıya sahip olduğundan, deniz dibinden yansarak gelen bu parazit sinyaller, daha geniş açılar için oluşturulan ışın huzmelerinden geçerek ortamda farklı bir hedef varmış izlenimi yaratmaktadırlar.

Aynı zamanda ana geminin gürültüsünün dizin tarafından yakın mesafeden alınması da sorun teşkil etmektedir. Literatürde ana gemi gürültüsünün silinmesi için önerilen bazı yöntemler mevcuttur, [9, 10, 11]. Bu yöntemler, uygulamaya da bağlı olmakla beraber, yüksek işlem yükü getirebilmektedir. Ayrıca, adaptif filtre

5 tabanlı uygulamalarda sistem parametrelerinin seçiminin dikkatli yapılmaması durumunda stabilite sorunları ortaya çıkmaktadır. Önerilen teknik bu kaynaklarda belirtilen yöntemlerden farklı olarak, (sadece triplet yapıdaki dizinler için) düşük işlem yükü ile ana gemi gürültüsü kaynaklı parazit sinyalleri silebilmektedir.

10 Çekili dizinlerle ortam gürültüsünün bastırılması ile ilgili olarak yapılmış bazı patent başvuruları aşağıda verilmiştir.

Tekniğin bilinen durumunda yer alan US4310904 A sayılı Birleşik Devletler patent dokümanında, su ortamındaki gürültülerin giderilmesini sağlayan bir sistem

15 ve yöntemden bahsedilmektedir. Söz konusu buluşta bir adet tümyönlü bir adet de dipol desene sahip yönlü bir hidrofön kullanarak kardiooid desenler üretilmektedir. Üretilen bu kardiooid desenler, farklı frekans bantları için, deniz yüzeyine ve deniz dibine yönlendirilerek “ortam” gürültüsünün azaltıldığı iddia edilmektedir. Ancak bu buluşta anlatılan yöntemde, standart triplet dizinlerden farklı olarak, yönlü bir

20 hidrofön kullanılmıştır. Yine bu buluşta;

- oluşturulan kardiooid desenler deniz dibine/yüzeyine yönlendirilmiştir. Standart kardiooid işleme yöntemlerinde kardiooid desenler iskele/sancak yönlerine yönlendirilirler.

- dipol desenlerin sıfır tepkisi yatay düzlemdedir. Bu dokümanda önerilen

25 yöntemde ise, ana gemi gürültüsü ve bu gürültünün dip/yüzey yansımalarını silmek için, dipol desenin sıfır tepkisi, deniz yüzeyine dik olan ve çekili dizini kapsayan düzlemdedir (Bkz. Şekil 3, xz düzlemi),

- ortam gürültüsünün azaltılması sağlanmakta ancak ana gemi kaynaklı gürültüler bastırılmamaktadır ve

30 - iskele/sancak belirsizliğinin korunmasıyla ilgili bir açıklama bulunmamaktadır.

Dolayısıyla yukarıda yapılan açıklamalardan dolayı, US4310904 A sayılı patent dokümanına bakılarak, gemi gürültüsünün ve bu gürültünün dip/yüzey yansımalarının bastırılması mümkün değildir.

- 5 Tekniğin bilinen durumunda yer alan US8659976 B2 sayılı Birleşik Devletler patent dokümanında sensör dizisi ile tespit edilen istenmeyen gürültülerin azaltılmasını sağlayan bir sistem ve yöntemden bahsedilmektedir. Söz konusu buluşta basınç ve basınç gradyan sensörleri (hidrofon ve akustik vektör sensörleri) kullanılarak yönlü bir tepki elde edilmektedir. Ancak kullanılan sensör tipi triplet
- 10 dizinlerden tamamen farklıdır (çünkü triplet dizinlerde sadece basınç algılayıcıları (hidrofonlar) kullanılmaktadır). Ayrıca söz konusu buluşta ana gemi gürültüsünün bastırımıyla ilgili bir kısım yoktur.

- 15 Tekniğin bilinen durumunda yer alan US8619498 B2 sayılı patent dokümanında spektral sızıntının üstesinden gelinmesi amacıyla uygulanacak anti sızıntı fourier transformu (ALFT) için pencereleme yapılmasından bahsedilmektedir. Ancak bu buluşta, ana gemi gürültüsünün ve bu gürültünün dip ve yüzey yansımalarının bastırılmasından bahsedilmemektedir.

- 20 Özetle yukarıda bahsedilen patent dokümanlarının hiçbirisinde triplet yapısındaki dizinler kullanılmamakta, ana gemi gürültüsü ve bu gürültünün dip ve yüzey yansımalarının bastırılması sorununa yönelik çözümler üretilmemekte, bunun yerine sadece ortam gürültüsünün bastırılmasına ilişkin çözümler sunulmaktadır.

25

30

Kaynaklar

- [1] H.L. Van Trees, "Optimum Array Processing", Wiley and Sons Inc., 2002
- [2] P. Felisberto, S. M. Jesus, "Towed array beamforming during ship's
5 maneuvering", IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, IET, 1996.
- [3] D. T. Hughes, "Aspects of cardioid processing", SACLANTCEN SR-329,
2000.
- [4] J. Groen, S. P. Beerens, R. Been, Y. Doisy, E. Noutary, "Adaptive Port-
Starboard Beamforming of Triplet Sonar Arrays", IEEE Journal of Oceanic
10 Engineering, vol. 30, no. 2, April 2005.
- [5] A. Baldacci, G. Haralabus, M. van Velsen, "Cardioid receive array calibration
for active systems", Underwater Defence Technology Europe, Hamburg,
Germany, 27-29 June 2006.
- [6] J. Groen, "Adaptive motion compensation in sonar array processing", Doktora
15 Tezi, 2006.
- [7] David J. Battle, Peter Gerstoft, William A. Kuperman, William S. Hodgkiss,
Martin Siderius "Geoacoustic Inversion of Tow-Ship Noise via Near-Field-
Matched-Field Processing", IEEE Journal Of Oceanic Engineering, Vol. 28,
No. 3, July 2003.
- 20 [8] J. R. Preston, "Using triplet arrays for broadband reverberation analysis and
inversions", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 32, no. 4, Oct. 2007.
- [9] Edmund J. Sullivan, James V. Candy, "Enhanced Processing for a Towed
Array Using an Optimal Noise Cancelling Approach", OCEANS 2005,
Proceedings of MTS/IEEE, vol., pp. 1093-1098, Sept. 2005.
- 25 [10] M. E. G. D. Colin, J. Groen, "Passive Synthetic Aperture Sonar techniques in
combination with towship noise cancelling: Application to a triplet towed
array", OCEANS 2002, MTS/IEEE, vol. 4, pp. 2302-2309, Oct. 2002.
- [11] W. Fan, X. Zhang, L. Xu, Z. Xia, "Tow ship interference suppression
combined with blind temporal-spatial algorithm and adaptive beamforming",
30 Journal of Computational Information Systems, 2012.

[12] H.C. Stankwitz, R. J. Dallaire, and J. R. Fienup, Non-linear apodization for side-lobe control in sar imagery. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 31(1), January 1995.

5

Buluş ile Çözülen Sorunlar

Bu buluşun amacı, ana gemiden doğrudan gelen gürültünün yanı sıra, ana gemi gürültüsünün deniz dibi ve yüzeyinden yansıması sonucu oluşan parazit sinyallerinin bastırılmasını sağlayan bir yöntem gerçekleştirmektir. Söz konusu yöntemde parazit sinyallerin bastırılması için triplet yapıdaki çekili dizin kullanılarak, dipol olarak adlandırılan bir şekle sahip bir ışıma deseni oluşturulmakta, kardiod işleme ve dipol işleme ile elde edilen sonar imgeler birleştirilerek parazit sinyallerin bastırıldığı imgeler elde edilmektedir.

15

Bu buluşun diğer amacı, ana gemiden gelen ve yansımalar sonucu oluşan söz konusu parazit sinyallerinin, yapılan standart işlemlerin çıktılarının kullanıldığı, çok düşük bir işlem yüküyle bastırılmasını sağlayan bir yöntem gerçekleştirmektir.

20

Buluşun Ayrıntılı Açıklaması

Bu buluşun amacına ulaşmak için gerçekleştirilen bir yöntem, ekli şekillerde gösterilmiş olup bu şekillerin açıklamaları aşağıda listelenmiştir.

- Şekil 1.** Buluş konusu yöntemin akış diyagramıdır.
- Şekil 2.** Aralarında 120° açı bulunan üç adet tüm-yönlü hidrofondan oluşan triplet yapıdaki çekili dizinin görünüşüdür.
- Şekil 3.** Ana gemi gürültüsünün dip ve yüzey yansımalarının görünüşüdür.
- Şekil 4.** Üretilen dipol ışıma deseninin xy düzlemindeki kesit görünüşüdür.

Şekil 5. x - z düzleminde sıfır tepkisi olan dipol ışıma deseninin üç boyutlu görünüşüdür.

Şekil 6. Denklemlerde kullanılan açıların tanımlarıdır.

Şekil 7. Buluş konusu yöntemin alternatif akış diyagramıdır.

5

Şekillerdeki parçalar tek tek etiketlenirilmiş olup, bu etiketlerin karşılığı aşağıda verilmiştir.

S. Gemi

10 **T.** Çekili dizin

Y. Deniz yüzeyi

D. Deniz dibi

DH. Doğrusal hat üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsü

DY. Dip yansıması üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsü

15 **DYY.** Dip-yüzey yansıması üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsü

Triplet yapıya sahip çekili dizinlerde (T), doğrusal hat üzerinden söz konusu dizine ulaşan gemi gürültüsü (DH), dip yansıması üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsü (DY) ve dip-yüzey yansıması üzerinden dizine ulaşan gemi gürültüsünün (DYY) bastırılarak, sonar çıktısı elde edilmesini sağlayan bir yöntem, en temel halinde;

20

- bir triplet dizininden alınan veriye kardiod ışıma demetleme algoritmasının uygulanması,

25

- elde edilen kardiod işleme çıktıları kullanılarak dipol yapıya sahip, deniz yüzeyine göre dik olan, aynı zamanda dizin ve gemiyi içeren düzlemdeki yayınları sıfırlayacak şekilde bir tepkisi olan bir ışıma deseninin elde edilmesi,

30

- kardiod işleme çıktıları kullanılarak, bir sonraki adımda dipol çıktısıyla kardiod çıktısının birleştirilmesi için kullanılacak olan, iskele-sancak ayırımına sahip bir ara sinyalin oluşturulması,

- elde edilen ara sinyal ve dipol işleme çıktısının birleştirilerek, iskele/sancak ayırımına sahip olan ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırıldığı bir imgenin elde edilmesi,

adımlarını içermektedir.

5

Sığ sularda ya da ana geminin (S) yaydığı gürültünün yüksek seviyelerde olduğu durumlarda, ana geminin (S) gürültüsünün deniz dibinden ve yüzeyinden yansiyarak çekili dizine (T) ulaşan parazit sinyallerin tamamı, Şekil 3'teki yansıma geometrisine dikkat edilirse, aynı düzlemde bulunmakta ve (konik ışıma

- 10 desenleri nedeniyle) farklı bir hedef varmış izlenimi yaratmaktadır. Buluş konusu yöntemde söz konusu parazit sinyallerin bastırılması için triplet dizin yapısı kullanılarak, bu düzlemden gelen sinyalleri bastıran, deniz yüzeyine dik olan ve çekili dizinle (T) ana gemiyi (S) kapsayan düzlemdeki tepkisi sıfır olan, dipol olarak adlandırılan bir şekle sahip bir ışıma deseni oluşturulmaktadır (Şekil 4).
- 15 Çekili dizin (T) ve ana gemiyi (S) kapsayan düzlem, Şekil 3'te xz düzlemi ile gösterilen düzlemdir. Derivasyonlarda kullanılan açı tanımları Şekil 6'da verilmiştir.

- 20 Dipol ışıma deseni oluşturulması için ilk adım olarak kardiod deseni elde edilmektedir. Bunun için de triplet yapıdaki çekili dizinden (T) alınan veriye kardiod ışın demetleme algoritması uygulanmaktadır. Kardiod ışın oluşturulması yöntemi, daha öncede bahsedilmiş olan kaynak [3]'te anlatılmış olup, söz konusu yöntem şu şekilde özetlenebilir.

- 25 Tripletlerin yönlendirilmek istendiği yükselti ve yanca açıları sırasıyla $\theta = \theta_0$ ve $\phi = \phi_0$ olsun. Bu durumda, birim kazanç istenen yönü gösteren birim vektör şu formda olacaktır:

$$u_1 = \begin{bmatrix} \cos(\phi_0) \sin(\theta_0) \\ \sin(\phi_0) \sin(\theta_0) \\ \cos(\theta_0) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

u_1 yönünden gelen sinyaller için yönlendirme vektörü şu şekilde olacaktır:

$$c_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} e^{jk(p_1 \cdot u_1)} \\ e^{jk(p_2 \cdot u_1)} \\ e^{jk(p_3 \cdot u_1)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

- 5 Bu ifadede k dalga numarasını (wavenumber = $2\pi/\lambda$) gösterir. p_m ($m=1, 2, 3$) ise triplet içindeki “i” numaralı hidrofonun kartezyen koordinatlardaki konumunu içeren 3×1 ’lik bir vektördür. $\frac{1}{\sqrt{3}}$ katsayısı vektörü normalize etmek amacıyla eklenmiştir. Yarıçapı “ r ” olan ve y-z düzleminde bulunan bir triplet birimi (Şekil 2) için p_m vektörü şu formu alacaktır:

10

$$p_m = \begin{bmatrix} 0 \\ r \sin(\beta + (m-1)\frac{2\pi}{3}) \\ r \cos(\beta + (m-1)\frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix}, \quad m = 1, 2, 3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Elde edilmek istenen dipol yapıdaki sıfır tepkisinin ana gemiden gelen parazit sinyalleri silebilmesi için, sıfır tepkisinin Şekil 3’teki geometride xz düzlemini

- 15 sıfırlayacak şekilde olması gerekmektedir. Sıfır tepki istenen yön $\theta = \theta_0$ ve $\phi = -\phi_0$ şeklindedir. Bu yöne işaret eden birim vektör de aşağıdaki gibidir:

$$u_0 = \begin{bmatrix} \cos(\phi_0) \sin(\theta_0) \\ -\sin(\phi_0) \sin(\theta_0) \\ \cos(\theta_0) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

- 20 u_0 yönünden gelen sinyaller, tripletteki hidrofonlara şu gecikmelerle ulaşmaktadır:

$$c_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} e^{jk(p_1 \cdot u_0)} \\ e^{jk(p_2 \cdot u_0)} \\ e^{jk(p_3 \cdot u_0)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

$\frac{1}{\sqrt{3}}$ katsayıları c_1 ve c_2 vektörlerini normalize etmek amacıyla eklenmiştir:

$$c_1^H c_1 = 1, \quad c_2^H c_2 = 1 \dots\dots\dots (6)$$

5

Burada H operatörü “konjüge devrik” operatörüdür (“Hermitian transpose”).

Sonuç olarak, bulunmak istenen 3×1 'lik triplet ışın demetleme katsayıları (w) için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

$$10 \quad w^H c_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad w^H c_2 = 0 \dots\dots\dots (7)$$

Bu iki koşul matris formunda şu şekilde yazılabilir:

$$C^H w = b, \quad C = [c_1, c_2], \quad b = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

Sinyal gürültü oranını maksimize eden (sensörler arası gürültü korelasyonu yok varsayımıyla) triplet ışın demetleme katsayıları şu şekilde bulunur:

15

$$w_{opt} = C(C^H C)^{-1} b \dots\dots\dots (9)$$

Bu kısma kadar olan açıklamalar kordoid işleme olarak bilinen yöntemle ait bilgilerdir ve kaynak [3]'te ve [8]'de detayları bulunabilir. Bundan sonraki kısımda ise ana gemi (S) gürültüsünün ve bu gürültünün dip ve yüzey yansımalarından kaynaklanan parazit sinyallerin bastırılmasına yönelik olarak geliştirilmiş yöntem adımları anlatılmaktadır.

20

- Buluş konusu yöntemin ikinci adımı olarak, triplet yapıya sahip söz konusu çekili dizinde (T) dipol yapıya sahip bir ışıma deseni elde edilmektedir. Dipol şekle sahip ışıma deseninin üretilebilmesi için, yukarıda kardiod şekil elde etmekte kullanılan sıfır tepki kısıtları güncellenmektedir. Bu kısıtlar şu şekilde seçilirse,
- 5 dipol şekle sahip ışıma deseni elde edilebilir;

$$|w^H c_1| = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad |w^H c_2| = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad w^H c_3 = 0 \quad \dots\dots (10)$$

- Burada, triplet işlemeden farklı olarak üçüncü bir kısıt eklenmiştir. c_1 ve c_2 kısıt vektörleri, triplet işlemede kullanılan yönlere karşılık gelen faz gecikmelerini içermektedir. Buradaki farklılık, kısıtların mutlak değer üzerinden uygulanması ve c_2 için birim kazanç kullanılmış olmasıdır. c_3 kısıtı da xz düzlemindeki tepkiyi sıfırlama amaçlı eklenmiştir. Eğer bu kısıt eklenmezse, optimizasyon sonucu apaçık çözüme (trivial solution) yakınsayabilir. Örneğin ilk iki kısıtı sağlayan bir
- 10 çözüm $w = [1, 0, 0]^T$ olabilir ancak bu katsayılar sadece tek bir hidrofona kullanıldığında elde edilen tüm-yönlü ışıma desenini oluşturacaktır. c_3 kısıtı için
- 15 kullanılan açılar şu şekildedir; $\theta = \frac{\pi}{2}$ ve $\phi = 0$. Bu durumda c_3 vektörü şu formu almaktadır.

20
$$c_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Sonuç olarak, dipol ışıma desenine sahip katsayıların şu kısıtları sağlaması gerekir;

25
$$|w^H c_1| = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| w^H \begin{bmatrix} e^{jk(p_1 \cdot u_1)} \\ e^{jk(p_2 \cdot u_1)} \\ e^{jk(p_3 \cdot u_1)} \end{bmatrix} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$|w^H c_2| = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| w^H \begin{bmatrix} e^{jk(p_1 \cdot u_0)} \\ e^{jk(p_2 \cdot u_0)} \\ e^{jk(p_3 \cdot u_0)} \end{bmatrix} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$|w^H c_3| = w^H \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$p_m \cdot u_0$ ve $p_i \cdot u_1$ ifadeleri, ($m = 1, 2, 3$), $\theta_0 = 90^\circ$ için açık bir şekilde yazılırsa, kısıt
5 vektörleri için şu ifadeler elde edilebilir.

$$p_m \cdot u_1 = r \sin \left(\beta + (m-1) \frac{2\pi}{3} \right) \sin(\phi_0), \quad m=1,2,3 \quad \dots (15)$$

$$p_m \cdot u_0 = -r \sin \left(\beta + (m-1) \frac{2\pi}{3} \right) \sin(\phi_0), \quad m=1,2,3 \quad \dots (16)$$

$$|w^H c_1| = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| w^H \begin{bmatrix} e^{jk(r \sin(\beta) \sin(\phi_0))} \\ e^{jk(r \sin(\beta + \frac{2\pi}{3}) \sin(\phi_0))} \\ e^{jk(r \sin(\beta + \frac{4\pi}{3}) \sin(\phi_0))} \end{bmatrix} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| w^H \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \right| \quad \dots (17)$$

$$|w^H c_2| = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| w^H \begin{bmatrix} e^{-jk(r \sin(\beta) \sin(\phi_0))} \\ e^{-jk(r \sin(\beta + \frac{2\pi}{3}) \sin(\phi_0))} \\ e^{-jk(r \sin(\beta + \frac{4\pi}{3}) \sin(\phi_0))} \end{bmatrix} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| w^H \begin{bmatrix} E_1^* \\ E_2^* \\ E_3^* \end{bmatrix} \right| \quad \dots (18)$$

Yukarıdaki ifadelerde notasyonu kısaltmak amacıyla E_1, E_2, E_3 ifadeleri
kullanılmıştır. Kullanılan kısıtların standart yöntemlerle çözülmesi mümkündür.
Ancak pasif işleme yapıldığı durumlarda çok fazla frekans hücresi için işlemlerin
15 tekrarı gerekmekte ve işlem yükü artmaktadır. Bunun yerine dipol şekle sahip
olması öngörülen aşağıdaki katsayıların kullanımı değerlendirilecektir;

$$w_d(\phi) = w_c(\phi) - w_c(-\phi) \quad \dots\dots\dots (19)$$

Bu ifadede w_d dipol ışıma desenine sahip katsayıları, $w_c(\phi)$ ise ϕ açısına yönlendirilmiş kardiod katsayılarını göstermektedir. $w_c(\phi)$ katsayıları standart kardiod işleme sırasında üretildiğinden, eğer w_d için önerilen bu ifade yukarıdaki

5 kısıtları sağlarsa, işlem yükünden büyük bir kazanç sağlanacaktır. Sonraki bölümde önerilen katsayıların bu kısıtları sağladığı gösterilecektir.

- $|w_d^H c_1| = \frac{1}{\sqrt{3}}$ (20)

$$|w_d^H c_1| = |[w_c(\phi) - w_c(-\phi)]^H c_1| \quad \dots\dots\dots (21)$$

10 $\quad = |w_c^H(\phi)c_1 - w_c^H(-\phi)c_1| \quad \dots\dots\dots (22)$

$$= \left| \frac{1}{\sqrt{3}} - 0 \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

- $|w_d^H c_2| = \frac{1}{\sqrt{3}}$ (24)

$$|w_d^H c_2| = |[w_c(\phi) - w_c(-\phi)]^H c_2| \quad \dots\dots\dots (25)$$

15 $\quad = |w_c^H(\phi)c_2 - w_c^H(-\phi)c_2| \quad \dots\dots\dots (26)$

$$= \left| 0 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right| = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

- $w_d^H \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 0$ (28)

20 $\quad \circ \quad w_c(\phi) = C(C^H C)^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (29)$

- $C = [c_1, c_2] = \begin{bmatrix} E_1 & E_1^* \\ E_2 & E_2^* \\ E_3 & E_3^* \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (30)$

$$\blacksquare \quad (C^H C)^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} 3 & -\sum_{i=1}^3 (E_i^*)^2 \\ -\sum_{i=1}^3 E_i^2 & 3 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$\bullet \quad \Delta = 9 - \left(\sum_{i=1}^3 E_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^3 (E_i^*)^2 \right) \quad \dots\dots\dots (32)$$

5

$$\blacksquare \quad w_c(\phi) = \frac{1}{\Delta} (3c_1 - (\sum_{i=1}^3 E_i^2) c_2) \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$\circ \quad w_c(-\phi) = C(C^H C)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (34)$$

10

$$\blacksquare \quad w_c(-\phi) = \frac{1}{\Delta} (3c_2 - (\sum_{i=1}^3 (E_i^*)^2) c_1) \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\circ \quad w_d(\phi) = w_c(\phi) - w_c(-\phi) \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$\blacksquare \quad w_d(\phi) = \frac{1}{\Delta} \left(3 + \left(\sum_{i=1}^3 (E_i^*)^2 \right) \right) c_1 - \frac{1}{\Delta} \left(3 + \left(\sum_{i=1}^3 E_i^2 \right) \right) c_2 \quad \dots\dots (37)$$

15

$$\bullet \quad \sum_{i=1}^3 (E_i^*)^2 = \sum_{i=1}^3 e^{-j2kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)} \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 (E_i^*)^2 &= \sum_{i=1}^3 \cos(2kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)) - \\ &\quad j \sum_{i=1}^3 \sin(2kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)) \quad \dots\dots\dots (39) \end{aligned}$$

20

$$\bullet \quad kr \ll 1 \text{ ise;}$$

$$\sum_{i=1}^3 \sin(2kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)) \approx \quad \dots\dots\dots (40)$$

$$\sum_{i=1}^3 2kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0) \dots\dots\dots (41)$$

$$\sum_{i=1}^3 \sin(\beta_i) = 0, \quad \beta_i = (i-1) \frac{2\pi}{3} \dots\dots\dots (42)$$

$$\sum_{i=1}^3 \sin(2kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)) \approx 0 \dots\dots\dots (43)$$

$$5 \quad \bullet \quad \sum_{i=1}^3 (E_i^*)^2 \approx \sum_{i=1}^3 E_i^2 \dots\dots\dots (44)$$

$$\approx \sum_{i=1}^3 \cos(2kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)) = \alpha, \quad \alpha \in R \quad \dots (45)$$

$$\blacksquare \quad w_d(\phi) = \frac{1}{\Delta} (\alpha c_1 - \alpha c_2), \quad \alpha \in R \quad (kr \ll 1 \text{ ise}) \dots\dots\dots (46)$$

$$10 \quad \circ \quad w_d^H \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = [1 \quad 1 \quad 1] w_d = \frac{\alpha}{\Delta} [1 \quad 1 \quad 1] (c_1 - c_2) \dots\dots\dots (47)$$

$$= \frac{\alpha}{\Delta} \left(\sum_{i=1}^3 e^{jkr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)} - \sum_{i=1}^3 e^{-jkr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)} \right) \dots\dots\dots (48)$$

$$= -2j \frac{\alpha}{\Delta} \sum_{i=1}^3 \sin(kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0)) \dots\dots\dots (49)$$

$$\approx -2j \frac{\alpha}{\Delta} \sum_{i=1}^3 kr \sin(\beta_i) \sin(\phi_0) = 0, \quad \left(\sum_{i=1}^3 \sin(\beta_i) = 0 \right) \dots (50)$$

- 15 Yukarıdaki derivasyonda da gösterildiği gibi, kullanılması önerilen katsayılar $w_d(\phi) = w_c(\phi) - w_c(-\phi)$ dipol ışıma desenine sahip katsayıların sağlaması gereken kısıtları sağlamaktadır. Bu katsayılarla elde edilen ışıma deseni Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi ana gemi (S) x-z düzleminde bulunmaktadır ve dipol ışıma deseninin bu düzlemdeki tepkisi sıfırdır.

- Dipol ışıma deseniyle ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırılması sağlanabilir, ancak sağ-sol (iskele-sancak) ayrımı kaybedilmiş olur. Şekil 4'te de görüleceği gibi ışıma deseni sağdan ($\phi > 180^\circ$) ya da soldan ($\phi < 180^\circ$) gelen sinyallere aynı bastırımı uyguladığından bu sinyaller ayırt edilemeyecektir. Sağ-sol ayrımına sahip olan standart kardiod işleme çıktısı ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin silindiği dipol işleme çıktısı birleştirilebilir. Bu işlemin sonucunda sağ-sol ayrımı olan ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırıldığı bir imge elde edilecektir. Bunun için buluş konusu yöntemin üçüncü adımında sağ/sol ayrımı olan ve ana gemiden (S) gelen parazit sinyallerin bastırıldığı bir imgenin elde edilmesi için; kardiod işleme ve dipol işleme ile elde edilen sonar imgeler aşağıda anlatılan yöntemle birleştirilmektedir.
- İki imgenin birleştirilmesi için doğrusal olmayan bir işleme yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem şu şekilde özetlenebilir:

$$x_d(\phi) = \frac{1}{2}x_c(\phi) - \frac{1}{2}x_c(-\phi) \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$x_a(\phi) = \frac{1}{2}x_c(\phi) + \frac{1}{2}x_c(-\phi) \quad \dots\dots\dots (52)$$

$$y(\phi) = |x_d(\phi)| e^{j4x_a(\phi)} + x_d(\phi) \quad \dots\dots\dots (53)$$

- Yukarıdaki denklemlerde, $x_d(\phi)$ dipol işleme çıktısını, $x_c(\phi)$ standart kardiod işleme çıktısını, $x_a(\phi)$ kardiod çıktısından üretilen ara sinyali, $y(\phi)$ ise birleştirilmiş sonar imgesini göstermektedir. Belirtilen tüm sinyaller ($x_d(\phi), x_a(\phi), y(\phi)$) kompleks sinyallerdir. Ara sinyal adı verilen $x_a(\phi)$ sinyali, kardiod çıktısının reel kısmının çift bileşeni ve kardiod çıktısının sanal kısmının tek bileşeninden oluşmaktadır. $\mathcal{Z}$ operatörü sinyalin fazını hesaplayan operatördür.
- Denklem (53) daha şu şekilde de yazılabilir:

$$y(\phi) = |x_d(\phi)| [\exp(j\mathcal{Z}x_a(\phi)) + \exp(j\mathcal{Z}x_a(\phi))] \quad \dots\dots\dots (54)$$

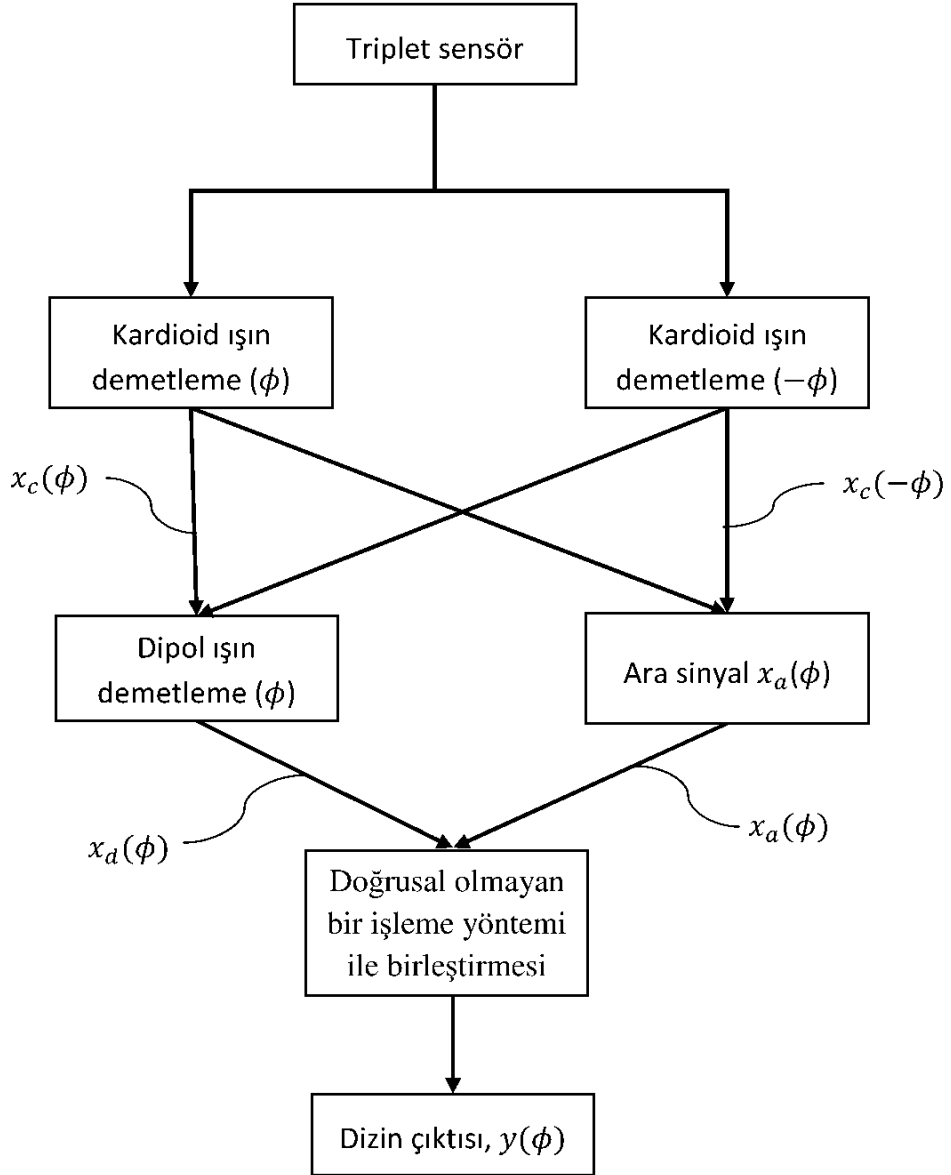
Denklem (51)-(54) arasında anlatılan yöntemle hesaplanan sonar imgesinde hem sağ-sol belirsizliği giderilmiş hem de ana gemi kaynaklı parazit sinyaller bastırılmış olacaktır.

- 5 Buluşun bir diğer uygulamasında, kardiod işleme ve dipol işleme ile elde edilen sonar imgeler, önerilen doğrusal olmayan bir işleme yöntemiyle birleştirilmesine alternatif olarak, kaynak [12]'de anlatılan “çift pencereleme” yöntemiyle birleştirilmektedir. Çift pencereleme yöntemi, iki adet pencere fonksiyonunun özelliklerinin birleştirilmesini sağlayan, genellikle daha dar ana lob genişliği ve
- 10 daha düşük yan lob seviyeleri elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Standart uygulamalardan farklı olarak, iki farklı ışınma deseniyle oluşturulan imgeleri birleştirmek için de kullanılabilir. Söz konusu çift pencereleme yöntemi şu şekilde özetlenebilir;

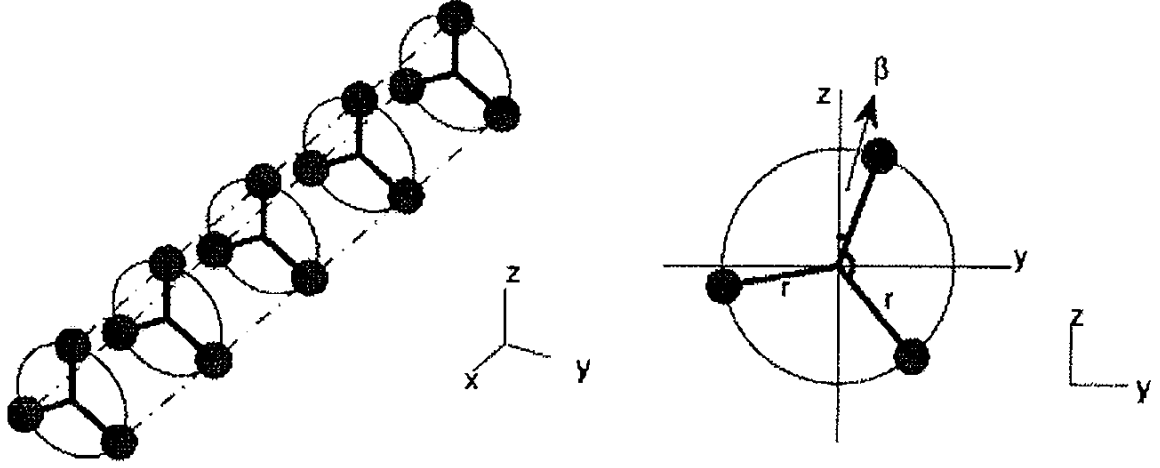
$$15 \quad x_d(\phi) = \frac{1}{2}x_c(\phi) - \frac{1}{2}x_c(-\phi) \quad \dots\dots\dots (55)$$

$$y(\phi) = \min(|x_d(\phi)|, |x_c(\phi)|) \quad \dots\dots\dots (56)$$

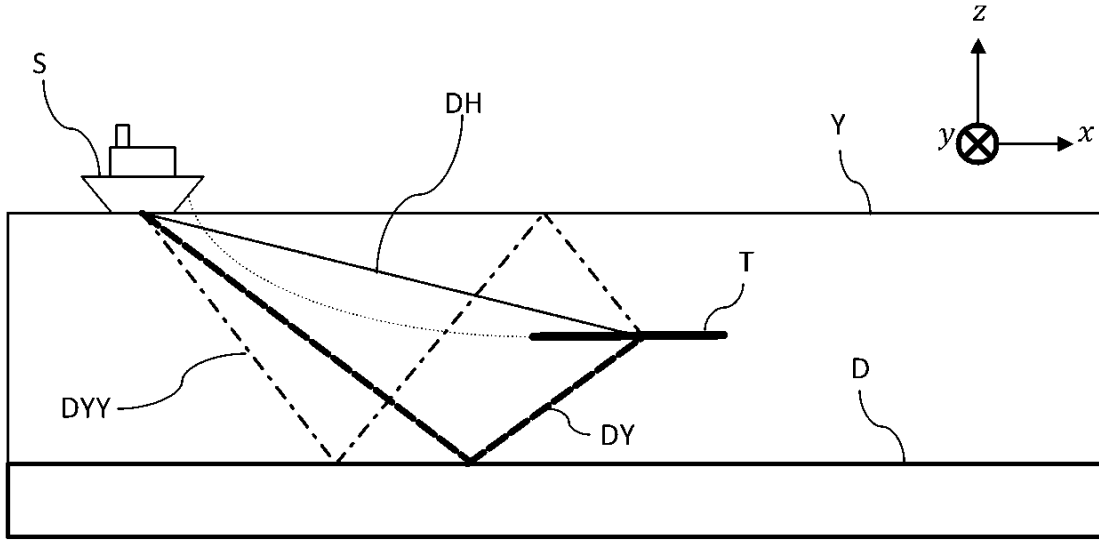
ŞEKİL 1



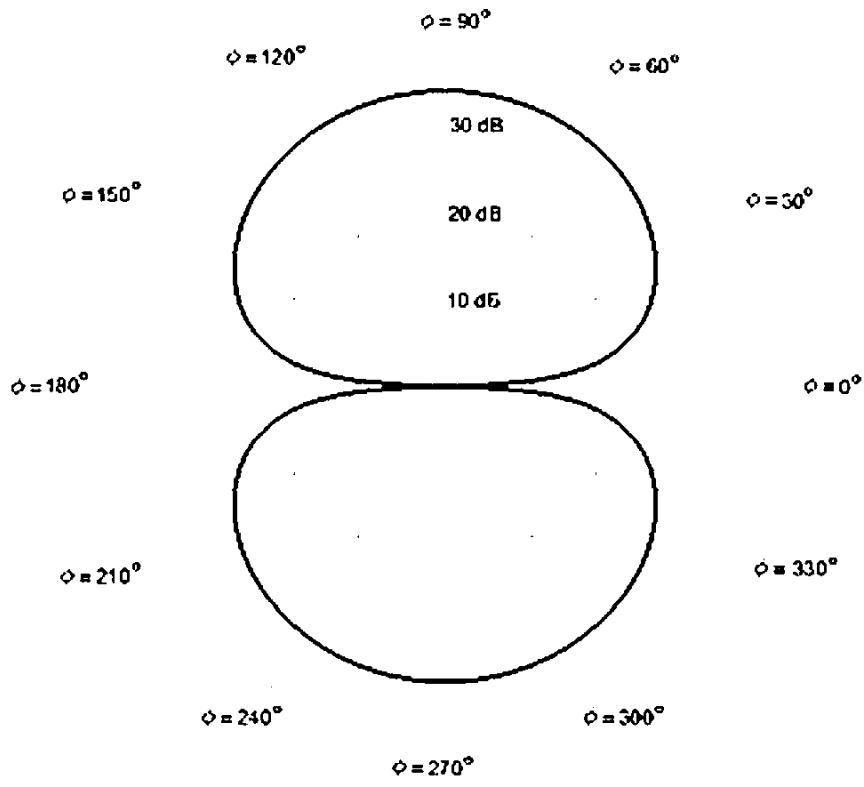
ŞEKİL 2



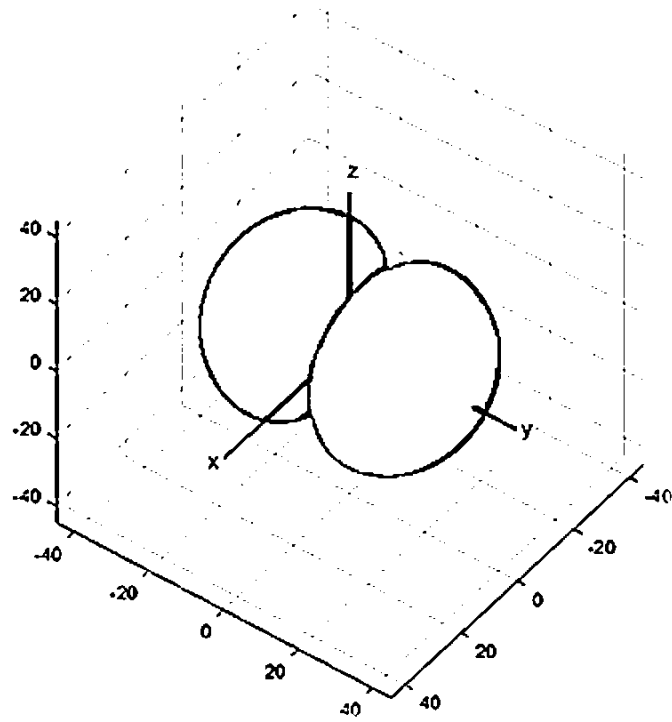
ŞEKİL 3



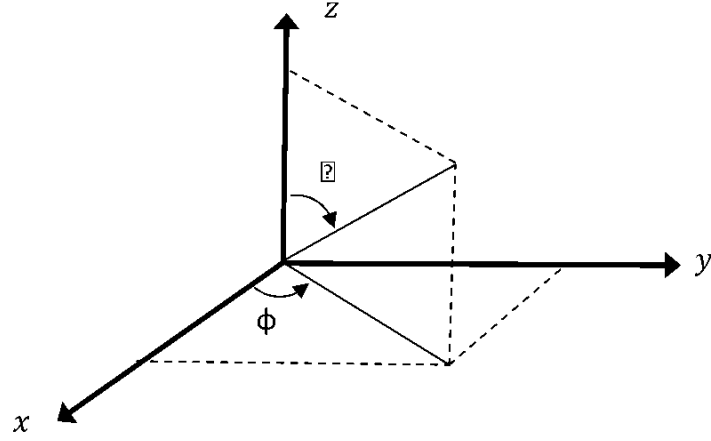
ŞEKİL 4



ŞEKİL 5



ŞEKİL 6



ŞEKİL 7

