

Hibrit Kontrast Kaynak Evirme Yöntemi

Serhat Dinleyen, Hüseyin Arda Ülkü
Gebze Teknik Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
41400 Gebze/Kocaeli
sdinleyen@gtu.edu.tr, haulku@gtu.edu.tr

Özet: Çarpımsal regülerize edilmiş ve çapraz ilişkili kontrast kaynak evirme yöntemleri (MR-CSIM ve CC-CSIM), CSIM'ye dayalı olan ve ters saçılma problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerdendir. Bu çalışmada, MR-CSIM ve CC-CSIM yöntemlerinin avantajlı özelliklerinden faydalanmak amacıyla oluşturulan hibrit CSIM (H-CSIM), iki boyutlu elektromanyetik ters saçılma probleminin çözümüne uygulanmış ve H-CSIM uygulanarak elde edilen sonuçlar MR-CSIM ve CC-CSIM ile karşılaştırılmıştır. H-CSIM ile elde edilen sonuçların MR-CSIM ve CC-CSIM'ye kıyasla daha doğru olduğu görülmüştür.

Abstract: Multiplicative regularized and cross-correlated contrast source inversion methods (MR-CSIM and CC-CSIM), which are based on CSIM, are well-known methods used to solve inverse scattering problems. In this work, hybrid CSIM (H-CSIM) is proposed to benefit from the advantageous characteristics of MR-CSIM and CC-CSIM and it is applied to the solution of the two dimensional electromagnetic inverse scattering problems. The results obtained by H-CSIM are compared with MR-CSIM and CC-CSIM. It is shown that H-CSIM provides more accurate results compared to MR-CSIM and CC-CSIM.

1. Giriş

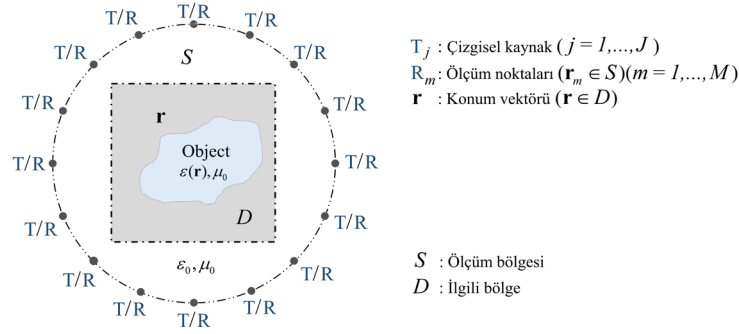
Ölçülmüş saçılan alanlardan elde edilen bilgilerle bilinmeyen cisimlerin, elektriksel özellikleri, konumu veya şeklinin tespiti ters saçılma problemi olarak adlandırılır [1]. Ters saçılma probleminin doğası gereği kötü konmuş ve doğrusal olmayışı problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Ters saçılma probleminin çözümü için birçok yaklaşım önerilmiştir [1]-[5]. Kontrast kaynak evirme yöntemi (CSIM), düz saçılma probleminin tam çözümüne ihtiyaç duymadığı ve daha az hafıza gereksiniminden dolayı sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir [2]. CSIM'de ters problem, bir optimizasyon problemi olarak formüle edilerek maliyet fonksiyonunun iteratif olarak minimize edildiği bir yöntemdir. CSIM'nin yakınsama hızını arttırmak ve kenar ayırt edebilme özelliğini iyileştirmek için toplam değişim faktörü, çarpımsal kısıtlama olarak CSIM'nin maliyet fonksiyonuna eklenmiştir [3]. Bu yöntem çarpımsal regülerize edilmiş CSIM (MR-CSIM) olarak adlandırılmaktadır [3]. CSIM'nin görece yüksek kontrast ve gürültü seviyelerinde sonuçlar üretebilmesi için ölçüm bölgesinde veri ve durum hatalarını birbirine bağlayan yeni bir hata terimi CSIM'nin maliyet fonksiyonuna eklenerek çapraz ilişkili CSIM (CC-CSIM) önerilmiştir [4]. CC-CSIM gürültü içeren durumlarda global optimuma yakın çözüm sağlamaktadır ve diğer CSIM'ye dayalı yöntemlere göre daha doğru ve kararlı sonuçlar vermektedir [4].

Bu çalışmada, ters saçılma probleminin çözümünde kullanılan MR-CSIM ve CC-CSIM yöntemlerinin hibritleştirilmesi önerilmiştir. Hibrit CSIM (H-CSIM) olarak adlandırılan bu yöntemde iteratif çözüme CC-CSIM ile başlanıp belirli bir değişim iterasyonunda MR-CSIM'ye geçilmiştir. Başlangıçta CC-CSIM kullanılması gürültüye rağmen çözümün global optimuma yaklaşmasını sağlarken, global optimuma yaklaştıktan sonra MR-CSIM'nin kullanılması ile MR-CSIM'nin kenar ayırt edebilme ve hızlı yakınsama özelliklerinden faydalanılır. Değişim iterasyonu, CC-CSIM'nin yakınsama özellikleri dikkate alınarak ya da CC-CSIM'nin her iterasyondaki yakınsaması kontrol edilerek seçilebilir.

İki boyutlu elektromanyetik ters saçılma problemine uygulanan H-CSIM, MR-CSIM ve CC-CSIM'nin performansları, gürültülü ölçüm için incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Nümerik sonuçlar, H-CSIM'nin gürültülü veri ve yüksek kontrast değeri için kararlı ve daha doğru sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

2. Formülasyon

İki boyutlu ters saçılma probleminin geometrik kurulumu TM_z durumu için Şekil 1'de gösterilmiştir. Burada \mathbf{r} konum vektörü ve $\epsilon_r(\mathbf{r})$ rölatif dielektrik sabiti olmak üzere, manyetik olmayan ($\mu_r = \mu_0$) ve kompleks dielektrik geçirgenliği $\epsilon(\mathbf{r}) = \epsilon_r(\mathbf{r})\epsilon_0$ olan bilinmeyen cisim D ilgili bölgesi içinde gömülüdür. D bölgesi, alıcı ve vericiler, manyetik olmayan ve dielektrik geçirgenliği ϵ_0 olan S ölçüm bölgesi içinde yer almaktadır.



Şekil 1. İki boyutlu ters saçılma problemi.

D bölgesi gelen elektrik alanlar $E_{z,j}^{\text{inc}}$ ($j=1,2,\dots,J$) ile aydınlatılır. Toplam elektrik alan $E_z(\mathbf{r})$ ve saçılan elektrik alan $E_z^{\text{scat}}(\mathbf{r})$ için durum ve veri denklemleri, sırasıyla,

$$E_z(\mathbf{r}) = E_z^{\text{inc}}(\mathbf{r}) - k_0^2 \int_D G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \chi(\mathbf{r}') E_z(\mathbf{r}') d\mathbf{r}', \quad \mathbf{r} \in D, \quad (1)$$

$$E_z^{\text{scat}}(\mathbf{r}_m) = -k_0^2 \int_D G(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}') \chi(\mathbf{r}') E_z(\mathbf{r}') d\mathbf{r}', \quad \mathbf{r}_m \in S, \quad (2)$$

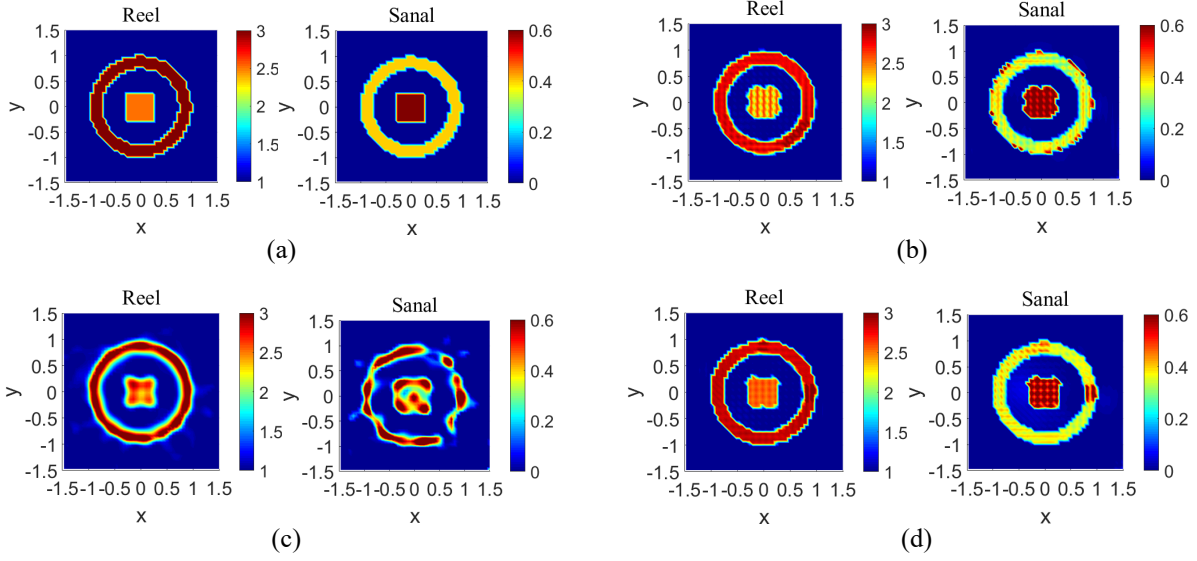
olarak verilmiştir [1]. Yukarıdaki denklemlerde $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ iki boyutlu homojen Green fonksiyonunu, \mathbf{r}_m ölçüm noktalarını ve $k_0 = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ dalga sayısını göstermektedir. Kontrast $\chi(\mathbf{r}) = \varepsilon(\mathbf{r})/\varepsilon_0 - 1$ olarak tanımlanmıştır. Kontrast kaynak evirme tabanlı yöntemler literatürde yaygın bir şekilde kullanıldığı için burada tekrar edilmemiştir, ancak CSIM, MR-CSIM ve CC-CSIM hakkında ayrıntılı bilgi, sırasıyla, [2], [3] ve [4]'te bulunabilir. [4]'te performansları karşılaştırılan CSIM tabanlı yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre, MR-CSIM görece yüksek kontrast değeri ve gürültü seviyeleri için gerçek dielektrik geçirgenliği elde etmede başarısız olurken CC-CSIM'nin MR-CSIM'ye göre daha kararlı olduğu ve gerçek değere yakınsadığı gösterilmiştir. Ancak, CC-CSIM sonuçlarının, MR-CSIM'nin kenar ayırt edebilme özelliğinden yoksun olduğu ve özellikle keskin değişim gösteren bölge sınırlarının ayrımının tam olarak elde edilemediği gösterilmiştir [4]. Bu nedenle bu çalışmada hem CC-CSIM hem de MR-CSIM'nin faydalı özelliklerinden yararlanmak amacıyla hibrit CSIM (H-CSIM) önerilmiştir. H-CSIM'de, başlangıçta kullanılan CC-CSIM kararlılığı sağlayıp gürültüye dayanıklı sonuçlar verirken, kenar ayırt etme ve hızlı yakınsama gibi özelliklerinden yararlanmak için değişim iterasyonundan sonra MR-CSIM uygulanır. Sonuç olarak, önerilen yöntem gürültü bağıışıklığı yüksek ve daha kararlıdır, ayrıca keskin kenarlı saçıcılar içeren problemlerde daha doğru sonuçlar vermektedir.

3. Nümerik Örnek

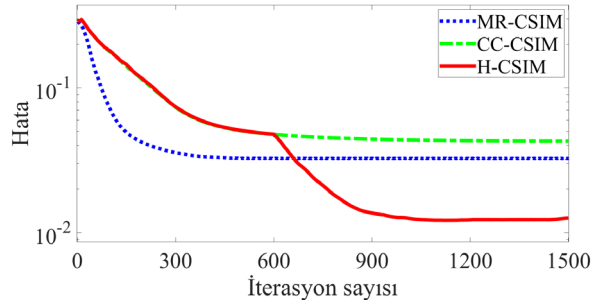
Bu bölümde, Şekil 2(a)'da gösterilen dairesel halka tipi saçıcı [5], H-CSIM, MR-CSIM ve CC-CSIM kullanılarak gürültülü ölçüm verisi için incelenmiştir. Şekil 2(a)'da cisimlerin rölatif dielektrik geçirgenlikleri ($\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j\varepsilon''_r$), dış halka için $\varepsilon_r = 3 - j0.4$ ve iç kare için $\varepsilon_r = 2.5 - j0.6$ 'dır. D bölgesi kenar uzunluğu 3 m olan kare olarak seçilmiştir. D bölgesi 300 MHz çalışma frekansında 24 çizgisel kaynakla aydınlatılmış ve 48 farklı noktada ölçüm bilgileri alınmıştır. Alıcı ve vericiler D bölgesinin etrafında dairesel olarak 3λ mesafesinde konumlandırılmıştır. Ölçüm verisinin üretimi için düz problem momentler yöntemi (MoM) [6] kullanılarak ayrıklaştırma boyutu 0.03996 m için çözülmüştür ve elde edilen ölçüm verisine, [3]'te uygulanan yöntem ile %30 rastgele beyaz gürültü eklenmiştir. Ters saçılma probleminde ayrıklaştırma boyutu 0.0632 m olarak seçilmiştir. İterasyon sayısına göre elde edilen hata oranı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{Hata}_n = \frac{\|\varepsilon_r - \varepsilon_r^{(n)}\|_2^2}{\|\varepsilon_r\|_2^2}. \quad (3)$$

Burada, n iterasyon sayısını ve $\|\cdot\|_2$ L_2 normunu göstermektedir. ε_r ve $\varepsilon_r^{(n)}$, sırasıyla gerçek ve n . iterasyonda elde edilmiş rölatif dielektrik geçirgenliktir. Tüm yöntemlerde, kontrasta her iterasyonda pozitiflik kısıtlaması uygulanmıştır [2]. H-CSIM'de, CC-CSIM'den MR-CSIM'ye değişim iterasyonu 600 seçilmiştir. 1500 iterasyon sonrası elde edilen rölatif dielektrik geçirgenliklerin reel ve sanal kısımları Şekil 2(b)-(d)'de gösterilmiştir. Şekil 3'te yöntemlerin uygulanması sonucu elde edilen hata oranlarının iterasyon sayısına göre değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2. %30 gürültülü ölçüm durumunda elde edilmiş rölative dielektrik geçirgenliklerin reel ve sanal kısımları: (a) gerçek değer, (b) MR-CSIM, (c) CC-CSIM, (d) H-CSIM.



Şekil 3. Hata oranının iterasyon sayısına göre değişimi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, MR-CSIM ve CC-CSIM'nin avantajlı özelliklerinden faydalanılarak H-CSIM önerilmiştir. H-CSIM, MR-CSIM ve CC-CSIM iki boyutlu elektromanyetik ters saçılma problemine uygulanarak gürültülü durumlar için performansları karşılaştırılmıştır. Nümerik örnekte, uygulanan tüm yöntemlerin gürültülü ölçüm için cisim belli oranlarda belirlediği görülürken, H-CSIM için hata oranının diğer yöntemlere göre daha düşük seviyede çıktığı ve elde edilen dielektrik geçirgenliklerde kenarları daha iyi belirlediği görülmüştür. Önerilen hibrit yöntemin farklı gürültü seviyeleri ve saçıcılar için performansı sunum sırasında gösterilecektir.

Kaynaklar

- [1]. Pastorino M., Microwave Imaging, Wiley, 2010.
- [2]. Van Den Berg P. M. ve Abubakar A., "Contrast source inversion method: state of art," J. Electromagn. Waves Appl., cilt 15, no 11, s. 1503–1505, 2001.
- [3]. Van Den Berg P. M., Abubakar A. ve Fokkema J. T., "Multiplicative regularization for contrast profile inversion," Radio Sci., cilt 38, no 2, s. 23–1-23–10, 2003.
- [4]. Sun S., Kooij B. J., Jin T. ve Yarovoy A. G., "Cross-correlated contrast source inversion," IEEE Trans. Antennas Propag., cilt 65, no 5, s. 2592–2603, 2017.
- [5]. Desmal A. ve Bağcı H., "Sparse electromagnetic imaging using nonlinear Landweber iterations," Progress In Electromagnetics Research, cilt 152, no 2, s. 77–93, 2015.
- [6]. Harrington R. F., Field Computation by Moment Methods, Wiley-IEEE Press, 1993.