

Elektromanyetik Zaman Tersinim İşlemi - Sonlu Tel Uygulaması

Bariş Bozkurt, Kemal Özmehmet
Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Buca, İZMİR
bozkurt@eee.deu.edu.tr, ozmehmet@eee.deu.edu.tr

Özet

Sesbilimde, 1990'ların başlarında uygulanmaya başlanan zaman tersinim işlemi (time reversal process) tıbbi tümör tedavisinde [1], sessel görüntülemelerde [2] ve deniz altı iletişimde [3] uygulama alanları bulmuştur. Ses dalgaları kullanılarak gerçekleştirilen zaman tersinim deneyleri ile ilgili ilk sonuçlar 1992 yılında yayınlanmıştır [4]. Bu düzeneğin elektromanyetik alanlara uygulanması ile ilgili çalışmalar çok yenidir. Bu bildiride ilk kez olarak, elektromanyetik zaman tersinim işlemi zaman düzleminde çözümlenmiştir. Sonuçlar sesbilimindeki uygulamalar ile örtüşmektedir.

1. Giriş

Zaman tersinim düzeneği temel olarak bir darbe-yansıma düzeneğidir. Amaç, belirli bir ortamda bulunan belirli bir hedefi (saçıcı) tespit etmektir. Bu yolla istenilirse hedefin görüntüsü çıkarılabilmekte ya da hedef üzerinde örselemeyen sınağa gerçekleştirilebilmektedir. Alıcı/verici bir sistem tarafından belirli bir ortama gönderilen bir elektromanyetik darbe, ortamdaki hedeflerden yansıyarak alıcı/verici düzeneğine geri dönecektir. Geri dönen bu işaretin zaman tersinimi alınır, bunun için gelen işaret örneklenir ve belirli bir zaman aralığı için, örneklenmiş işaretler en son örneklenen işaret ilk, ilk örneklenen işaret en sonda olacak şekilde ortama geri gönderilir. Bu işlem ardışıl olarak tekrarlanır. Bu yolla, ortamda bulunan ve gönderilen işarete bağlı olarak, en yüksek saçılma işareti üreten hedef ardışıl işlemler sonucu seçilir. İşlem, şu ana kadar sesbilimde uygulama alanı bulmuştur. İşlemin elektromanyetik alanlar kullanılarak gerçekleştirilebilirliği yeni tartışılmaya başlanan bir konudur.

Bu çalışmada zaman tersinim işlemi, elektromanyetik darbe uyarımlı sonlu uzunluklu bir tele uygulanmış ve zaman düzlemi benzeşim sonuçları verilmiştir. Sayısal çözüm sonuçlarının güvenilirliği, artık alan tanımı ile denetlenmiştir.

2. Elektromanyetik Saçılma - Sonlu İletken Tel

d uzunluklu bir tel z eksenine yerleştirilmiştir. Tel, bir Gauss düzlem dalga ile aydınlatılmaktadır. Elektrik alan fark denklemi şu şekilde verilir [5],

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_z}{\partial t^2} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_z^g}{\partial t^2}, \quad z \in (-d/2, d/2) \quad (1)$$

Gelen elektrik alan, E_z^g , ile endüklenen akım, $I(z, t)$, arasındaki ilişki, yardımcı bir işlev olan manyetik vektör potansiyeli, $A_z(z, t)$, ile verilir;

$$A_z(z, t) = \mu \int_{z'=-d/2}^{d/2} \frac{I(z', t - \frac{|z-z'|}{c})}{4\pi\sqrt{|z-z'|^2 + a^2}} dz' \quad (2)$$

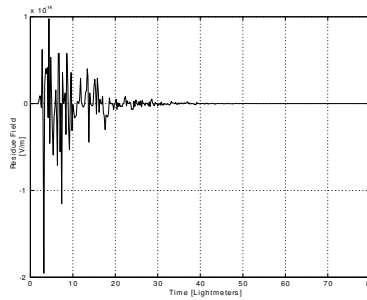
Teli N bölüme ayırıp, taban kümeler kullanılarak, verilen çözümlemeli denklemi sayısallaştırırsak [5],

$$I_{m,n} \kappa_{m,m} = -\tilde{A}_{m,n} + 2A_{m,n-1} - A_{m,n-2} + (c\Delta t)^2 F_{m,n-1} + \left(\frac{c\Delta t}{\Delta z}\right)^2 [A_{m+1,n-1} - 2A_{m,n-1} + A_{m-1,n-1}]$$

Zaman Δt aralıklara bölünmüştür. Burada $I_{m,n}$, m.'inci bölütteki, $(n.\Delta t)$ anındaki akım bileşenidir. Akımın önceki değerleri kullanılarak (m,n) noktasındaki çözümü bulunur. Çözüm değeri durağan duruma gelene kadar zaman adımı artırılarak işleme devam edilir. Kullanılan sayısallaştırılmış işlevler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \left[A_{m,n} = \sum_{k=1}^N I_k \left(t_n - \frac{|z_m - z_k|}{c} \right) \kappa_{m,k} \right] & \quad \left[\kappa_{m,k} = \mu \int_{z'=z_k-\Delta z/2}^{z_k+\Delta z/2} \frac{dz'}{4\pi \sqrt{(z_m - z')^2 + a^2}} \right] \\ \left[F_{m,n} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial E_z^g(z_m, t_n)}{\partial t} \right] & \quad \left[E_z^i(t) = 120\sqrt{\pi} \frac{4}{T} e^{-\gamma^2}, \gamma = \frac{4}{T}(ct - ct_0) \right] \end{aligned}$$

Tel 10 bölüte ayrılmıştır ve telin yarıçapı 0.01 m olarak seçilmiştir. Işık metre tanım olarak ışığın 1 metre mesafeyi alması için gereken süredir ve birimi IM'dir. Gelen alan, darbe süresi $T = 2$ IM, merkezi $ct_0 = 3$ IM de olan bir Gauss düzlem dalgasıdır. Artık alan, $\left(\left[\frac{\partial E}{\partial t} \right]_{\text{gerçek}} - \left[\frac{\partial E}{\partial t} \right]_{\text{yaklaşık}} \right)$ ile verilmiştir. En yüksek artık alan 8. bölütte bulunmuş ve şekilde verilmiştir.



Şekil 1 Sayısal çözüm ile gerçek çözüm arasındaki fark işlevi

3. Elektromanyetik Yayılm - Sonlu İletken Tel

Kusursuz elektrik iletken tel bir yürüyen dalga antenidir, bu yüzden ışıma çözümlemesi antenin uçlarından yansıyan dalgalar (akım) aracılığı ile yapılabilir.

Telin her noktasındaki akımı önceki çözümlemelerimizle bulduğumuzdan, aşağıda verilen telin uzak alan ışıması tanımı kullanılabilir[6];

$$E(r, \theta, t) \hat{a}_\theta = \frac{\eta_0 \sin \theta}{4\pi cr} \int_0^d \frac{\partial I(\tau)}{\partial t} dz' \hat{a}_\theta \quad (3)$$

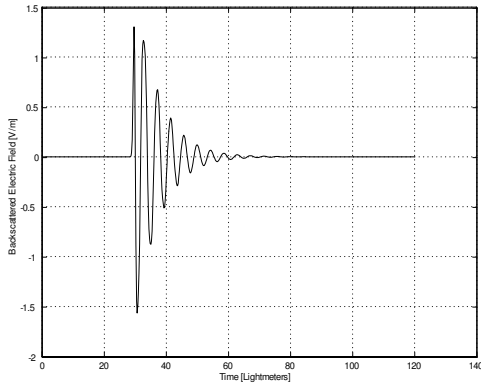
Burada, $z' \in [0, d]$. Kesme imi olan birimler kaynağı, yani teli göstermektedir. Bu yaklaşımda tel üzerinde akımın bozuluma uğraması ihmal edilmiştir. Yaklaşımımızda telin her iki ucundaki akım bileşenleri sıfır kabul edilmiştir. Tümler işlevinde sayısallaştırma yaparak aşağıdaki denklemi elde ederiz;

$$E(r, \theta, t) \hat{a}_\theta \approx \hat{a}_\theta \left(\frac{\eta_0 \sin \theta}{4\pi r} \right) \left(\frac{\Delta z}{c \Delta t} \right) \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^{T-1} I'_k(t_m) \quad (4)$$

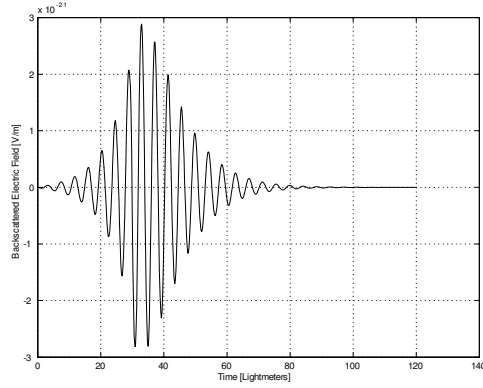
Sunulan çözümde telin boyu $d = 2$ m, bölüt sayısı $N = 10$, telin yarıçapı $a = 0.01$ m, zaman adımı ile bölüt uzunluğu arasındaki ilişki $\Delta t = \Delta z/c$ 'dir.

Gauss düzlem dalgasının darbe genişliği $T = 2$ IM ve darbenin merkezi, $t_0 = 30$ IM; İşlem $TT = 600.$ $\Delta t = 120$ IM zaman aralığında incelenmiştir. Kaynak ile hedef arasındaki uzaklık $|\mathbf{R}| = 50$ m'dir.

6.6 ns ($T = 2$ IM)'lik darbe genişliği ve üçüncü ardışıl zaman tersinim işlemi için sonuçlar zaman düzleminde izleyen sayfada verilmiştir;



Şekil 2. Endüklenen Akım - Gauss Tepkisi



Şekil 3. Endüklenen Akım - Üçüncü Zaman Tersinim İşlemi

4. Sonuç

Şekillerden de görüldüğü gibi zaman tersinim işlemi, alanları zaman tersinim karşılıkları ile birleştirmektedir. Sonuç alanın maksimum değeri, alanın kaynaktan ateşlendiği zamanın başlangıcıdır. Zaman tersinim işlemi alan maksimum değerini, alanın ilk geçici tepkisini olduğu zamana taşımaktadır (belirli bir zamandan önce tüm alan değerlerinin sıfır olması - zayıf nedensellik koşulu).

İşlemin başka önemli bir özelliği, yayılım sırasında eklenen ortam etkilerinden sonuç alanın etkilenmemesidir. Yayılım alanının maksimum değeri ile karşılaştırılmayacak bu etkiler, sonuç maksimum değerinin zamansal konumunu değiştirmediğinden, sonuç alanı etkilemez. Standart işaret/gürültü oranı (S/N) yerine zaman tersinim işleminde işaret maksimumu/gürültü (S_{max}/N) oranından bahsetmemiz yeterli olmaktadır.

Düşük gürültü hassasiyeti ve yeniden biçimlendirme zaman tersinim işleminin en önemli iki özelliğidir.

Zaman Tersinim İşlemi çoklu disiplinler bir konudur. Kökeni çeyrek yüzyıldır bilinmektedir. Ses dalgalarının yavaş zaman değişimi ve hızlarından dolayı ilk başlarda sessel dalgalara uygulanmış ve bu alanda uygulanabilirliğini kanıtlamıştır. Uyarlamalı bir yöntem olan zaman tersinim işlemi, yüksek hızlı işlemciler sayesinde önümüzdeki yıllarda elektromanyetik alanlara uygulanmaya başlanacaktır. Nitekim ilk basit deneylerin sonuçları yeni yeni yayınlanmaya başlanmıştır. Bu konudaki çalışmalar önümüzdeki yıllarda daha da artacaktır.

Kaynaklar

- [1] Porter M., "Tumor Treatment By Time-Reversal Acoustics", , IEEE Proc. ICASSP-99, 1999
- [2] Chakroun N., *Ultrasonic Non Destructive Testing With Time Reversal Mirrors*, IEEE Ultrasonic Symp., 1992
- [3] Edelman G.F., *Underwater Acoustic Communication Using Time Reversal*, ,IOCEANS, 2001. MTS/IEEE Conference and Exhibition , Volume: 4 , 5-8 Nov., s.2231 - 2235, 2001
- [4] Fink M., *Time Reversal of Ultrasonic Fields-Part I:Basic Principles*, IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferro-electrics and Frequency Control, Eylül 1992
- [5] Rao S.M., *Time-Domain Electromagnetics*, Academic Press, 1999.
- [6] Martin R.G. "Some Thoughts About Transient Radiation by Straight Thin Wires", IEEE Ant. and Prop. Mag., 1999