

Eşleyici Ortam Yaklaşımıyla Kayıplı Ortam Güç İletimi Optimizasyonu ve Yapay Sinir Ağları ile Doğrulanması

Kadircan Godeneli, Uzay Bengi, Omer A. Kati, Cemre Cadir, Z. Pelin Yıldırım ve Sema Dumanli Oktar
Boğaziçi Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul
sema.dumanli@boun.edu.tr

Özet: *İmplant iletişiminde, biyolojik dokuların yüksek su içeriği sebebiyle yüksek elektromanyetik kayıplar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, yakın alan, yol ve yansıma kayıpları olarak sınıflandırılan kayıplar, eşleyici ortam konsepti kullanılarak dengelenmiş ve bunu gerçekleyecek optimum parametreler, iletilen gücü en iyileştirecek şekilde benzetimler ve yapay sinir ağları algoritmaları ile doğrulanmıştır.*

Abstract: *In implant communications, high electromagnetic losses occur due to the high water content of the biological tissues. Here, these losses, which are near field, path, and reflection losses, are balanced using the concept of matching media, and selection of the optimum parameters are verified by simulations and artificial neural network algorithms such that transmitted power is maximized.*

1. Giriş

Biyolojik dokuların yüksek su içeriği, bu dokulara tamamen veya kısmen gömülü antenlerin yakın alanlarında yüksek kayıplara sebep olmaktadır [1]. İmplant antenlerin verimliliği tartışılırken bu yakın alan kayıpları da göz önünde bulundurulduğunda iletken insan dokusunun komşuluğunda bulunan antenin veriminin düşük olduğu söylenebilir [2]. Bu etkileşim aynı zamanda antenin radyasyon paterninde bozulmalara ve rezonans frekansında kaymaya yol açar [3]. Antenin beden ile etkileşimini minimize etmenin yollarından birisi anten ile beden arasında kontrollü bir ortam yerleştirmektir. Eşleyici ortam adı verilen bu ortam antenin yakın alanını olabildiğince içine alarak verimliliği arttırmayı ve yansımayı azaltmayı hedefler [4]. Literatürde yüzeyel hipertermi ve mikrodalga görüntüleme uygulamalarında da karşımıza çıkan eşleyici ortam için, uygulama sırasında kullanılmak üzere silikon yağı [5], su [6] gibi sıvılar önerilmiştir. Tabakanın varlığı ile penetrasyon derinliği az değişim gösterirken etkin alan boyutunun büyük ölçüde değiştiği gözlenmiştir. Yol kaybı söz konusu olduğunda, eşleyici ortamın dielektrik sabitinin artırılması, yol kaybında $\epsilon_r = 20$ 'ye kadar bir azalmayla sonuçlanır. $\epsilon_r > 20$ için, yol kaybı giderek artar. Bu nedenle, eşleyici ortam için tavsiye edilen geçirgenlik değeri, [7] 'e göre $\epsilon_r = 20$ 'yi geçmemelidir. Yansıma düşünüldüğünde ise antenin yakın alanında bulunulduğundan benzetimlerle optimizasyon gerçekleştirilmelidir.

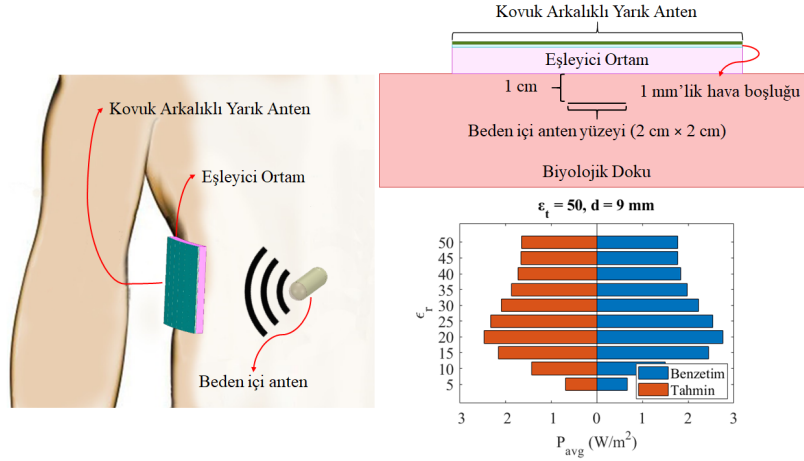
Bu bildiride, beden içine yayım yapacak beden üzeri bir anten için optimum eşleyici ortam araştırılmaktadır. Belirli kalınlıktaki bir eşleyici ortam için seçilmesi gereken dielektrik sabiti, yakın alan kayıpları ve de eşleyici ortam ile beden arasındaki yansımalar kapsamında incelenmektedir. Problem modellenirken [8] ve [2]'te tartışıldığı gibi, giysilerin varlığını taklit etmek için insan dokusu ve beden üzeri anten arasında 1 mm kalınlığında hava tabakası yerleştirilmiştir. Daha önce 2-4.5 GHz aralığında, hangi eşleyici ortam kullanılırsa kullanılsın, yansıma katsayısının 0.3'ün altına indirilemeyeceği iddia edilmiştir [9]. Başarılı bir eşleyici ortam tasarımı sayesinde yansıma ve yakın alan kayıpları dengelenebilir. Yazarların bilgisine göre, bu tür eşleyici ortam yapısı daha önce hiç bu kapsamda analiz edilmemiştir. Geçmiş çalışmaların ışığında gelecek bölümlerde, karşılaştırmalı bir şekilde hem teorik hem simülasyon verileriyle eşleyici ortamın farklı yapıları ve tasarıma katkıları tanıtılacaktır. EM dalgaların kayıplı kas dokusu içerisinde ne kadar ilerleyebildiğinin bir ölçüsü olması sebebiyle Poynting vektör değerleri karşılaştırılarak en uygun tasarım sunulacaktır. Bununla birlikte yapay sinir ağları aracılığıyla 2.4 GHz ISM bandındaki optimum eşleyici ortam parametreleri teyit edilecektir. Tüm benzetimler Ansys HFSS yazılımıyla gerçekleştirilmiştir.

2. Teori

İletilen güç miktarını etkileyen başlıca faktörler geçirgen katsayısı ve yakın alan kaybıdır. Düzlem dalga varsayımı kullanılarak total geçirgen katsayısı (T_m), faz kayması (θ), farklı ortamlar arasındaki geçirgen katsayısı (T_{mn}) ve

yansıma katsayısı (Γ_{xy}) parametreleri cinsinden formül 1’de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Faz kayması; dalga numarası (β) ve eşleyici ortam kalınlığı (d) ile ilişkili olup $\theta = \beta \cdot d$ formülü ile ifade edilir [10].

$$T_{in} = \frac{T_{21} T_{32} e^{-j\theta}}{1 - \Gamma_{21} \Gamma_{23} e^{-j2\theta}} \quad (1)$$



Şekil 1. Solda: Eşleyici ortamlarla birlikte beden üzerine yerleştirilmiş anten; Sağ üstte: Yan perspektiften HFSS benzetim modeli; Sağ altta: Ortalama güç değerlerinin eşleyici ortam dielektrik sabitine göre değişimi.

Yakın alan kaybı, yakın alan uzunluğu ile bağlantılıdır. $D = \lambda_{eff} / 2$, $\lambda_{eff} = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{eff}}$ ve $\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$ olmak üzere, yakın alan uzunluğunun formülü aşağıda verilmiştir [11]:

$$NF = \frac{2D^2}{\lambda_g} \quad (2)$$

Yakın alan uzunluğu antenin yaydığı elektromanyetik dalganın dalga boyuyla orantılıdır. Dalga boyunu belirlerken etkin elektriksel geçirgenlik hesaplanmalıdır. Bu hesaplama; ortamın doldurma faktörü (ff), antenin alttaşımın elektriksel geçirgenliği (ϵ_{in}) ve antenin gördüğü ortamın elektriksel geçirgenliği (ϵ_{out}) kullanılarak yapılır [11]-[12]:

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_{in} \cdot ff + \epsilon_{out} \cdot (1 - ff) \quad (3)$$

Şekil 1’de görüldüğü gibi antenin gördüğü ortam birden çok katmandan oluşsa da belirleyici olan eşleyici ortamın elektriksel geçirgenliğidir. Bu sebeple etkin elektriksel geçirgenlik, ortamın elektriksel geçirgenliğine eşit olarak alınabilir ve yakın alan uzunluğunun ortamın dielektrik sabitinin karekökü ile ters orantılı olduğu görülür.

Sabit kalınlıktaki eşleyici ortam için yakın alandan kaynaklı kayıp, dielektrik sabitine bağlı monoton azalan bir fonksiyondur ancak aynı durum yansımadan kaynaklı kayıp ve geçirim kazancı için geçerli değildir. Geçirim katsayısı düşük dielektrik değerlerinde dielektrik sabiti arttıkça artarken; yüksek dielektrik değerlerinde dielektrik sabiti arttıkça azalır. Geçirim katsayısı hesabı ve yakın alan kaybı yaklaşımı ortak bir formülasyon ile ifade edilemediği için maksimum güç iletimine karşılık gelen optimum dielektrik sabiti benzetimlerle belirlenmiştir.

3. Benzetim ve Rehber

HFSS benzetimleriyle çeşitli dielektrik sabiti değerlerindeki eşleyici ortam için elde edilen toplam iletilen güç, antenden kaynaklı olumsuz etkilerden kaçınmak için 2,4 GHz’deki geri dönüş kaybı değeri kullanılarak normalize edildi. Elde edilen verilerin en uygun eşleyici ortamın tahmini için yeterli olmaması ve yeterli olacak verilerin elde edilmesi üzere koşullar benzetimlerin hesaplama yükünün fazla olması sebebiyle yapay sinir ağları tekniklerinden

faidalandıldı. En verimli sonuç veren yapay sinir ağı her biri 3 nörona sahip 3 saklı katmandan oluşmaktadır. Belirtilen sinir ağı için teoriye en yakın sonuçları tahmin edebilen model belirlendi. Bu modelde “L2 norm” maliyet fonksiyonu, “Adam” optimizasyonu ve saklı katmanlarındaki nöronlar için “ReLU” aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Bahsi geçen model, bu proje için önceden koşulmuş verilerin normalize haliyle beslenerek önceden koşulmamış bentezimler için sayısal tahminler elde edildi. Benzetimler sonucunda, Poynting vektörlerin 4 cm² boyutundaki kare yüzeyde integrali alınarak hesaplanan ortalama güç değerleri, elde edilen tahminler ile birlikte Şekil 1’de verilmiştir. Bu tahminler ışığında 9 mm kalınlıkta en uygun dielektrik sabiti 22 olarak belirlenmiştir.

Bu değerden hareketle 2,4 GHz’te tasarlanmış olan kovuk arkalı yarık anten geri dönüş kaybı iyileşecek şekilde güncellendi. Modelin önerdiği optimum dielektrik sabiti, 22, ile benzetimde görülen maksimum Poynting vektör değerinin, 3,48 W/m², elde edildiği dielektrik sabiti, 22, birbiri ile uyumludur.

4. Sonuç

Yakın alan, yol ve yansıma kayıpları uygun eşleyici ortam seçimiyle dengelenebilir. Bu uygulamada bedenden 1 cm uzaklıktaki anten için eşleyici ortam optimizasyonu amaçlanmış, empirik çalışmalar sonucunda ideal eşleyici ortam dielektrik sabiti 22 olarak belirlenmiş ve yapay sinir ağı ile doğrulanmıştır. Bunun sonucu olarak kas içine iletilen toplam güç projede amaçlandığı gibi maksimize edilmiştir.

Bu yayın/tebliğ TÜBİTAK-2247-A Ulusal Lider Araştırmacılar Programından (Proje No:120C131) yararlanılarak oluşturulmuştur. Ancak yayın/tebliğ ile ilgili tüm sorumluluk yayının/tebliğin sahibine aittir. TÜBİTAK’tan alınan maddi destek, yayının/tebliğin içeriğinin bilimsel anlamda TÜBİTAK tarafından onaylandığı anlamına gelmez.

Kaynaklar

- [1]. Felicio J., Costa J. ve Fernandes C., ”Dual-Band Skin-Adhesive Repeater Antenna for Continuous Body Signals Monitoring”, IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology, cilt.2, no. 1, s. 25-32, 2018.
- [2]. Agneessens S., Van Torre P., Tanghe E., Vermeeren G., Joseph W.ve Rogier H., ”On-Body Wearable Repeater as a Data Link Relay for In-Body Wireless Implants”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, cilt. 11, s. 1714-1717, 2012.
- [3]. Agarwal K. ve Guo Y. X., ”Interaction of Electromagnetic Waves with Humans in Wearable and Biomedical Implant Antennas”, APEMC, 2015.
- [4]. Sangwan A., Pandey H., Johari P. ve Jornet J. M., ”Increasing the Communication Distance between Nano-biosensing Implants and Wearable Devices”, IEEE 19th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2018.
- [5]. Stauffer P. R., Rossetto F., Leoncini M. ve Gentili G. B., ”Radiation Patterns of Dual Concentric Conductor Microstrip Antennas for Superficial Hyperthermia”, IEEE Transactions On Biomedical Engineering, cilt. 45, no. 5, s.605-613, 1998.
- [6]. Singh S., Sahu B. ve Singh S., "Hyperthermia performance of conformal applicator for limb tumor in presence of water bolus", 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), 2017.
- [7]. Chavez-Santiago R., Khaleghi A. ve Balasingham I., "Matching layer for path loss reduction in ultra wideband implant communications", 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2014.
- [8]. Kiourti A., Costa J., Fernandes C. ve Nikita K., ”A Broadband Implantable and a Dual-Band On-Body Repeater Antenna: Design and Transmission Performance”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, cilt. 62, no. 6, s. 2899-2908, 2014.
- [9]. Rappaport C., "Determination of Bolus Dielectric Constant for Optimum Coupling of Microwaves through Skin for Breast Cancer Imaging", International Journal of Antennas and Propagation, cilt. 2008, s. 1-5, 2008.
- [10]. Advanced Engineering Electromagnetics, Wiley, 2012(2. versiyon).
- [11]. Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., 2016(4. versiyon).
- [12]. Cil E. ve Dumanli S., “The design of a reconfigurable slot antenna printed on glass for wearable applications,” IEEE Access, cilt. 8, s. 95417–95423, 2020.