

Işın İzleme Tabanlı Nümerik Bir Model ile 5G Milimetre Dalga Haberleşmesinde Yayılım Kaybı Hesabı

Cihan Barış FINDIK⁽¹⁾, Özlem ÖZGÜN⁽¹⁾

⁽¹⁾Hacettepe Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
cihan.findik@gmail.com

Özet: Hızla artan kablosuz haberleşme sistemleri ve gelişen 5G teknolojisine paralel olarak, hızlı ve güvenilir bir şekilde kanal modellerinin elde edilmesinin önemi gittikçe artmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar genel olarak bina içi ve açık alan yayılım kaybı hesaplamalarına dayanır. İlgili çalışmada açık alan sistemler için yayılım kaybı hesabını yapacak web tabanlı bir yazılım aracı geliştirilmiştir. Web tabanlı harita servisi sağlayan uygulamalar ve dijital yükseklik verileri aracılığıyla bölgeye ilişkin arazi profili ve ortam bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen veri üzerinde ışın izlemeye dayalı tekniklerin kullanılmasıyla yayılım kaybı hesapları yapılmıştır.

Abstract: With rapidly increasing wireless communication systems and developing 5G technology, the demand for obtaining channel models in a fast and reliable way is increasing. Studies conducted in this regard are generally based on indoor and open area propagation loss calculations. In this study, a web-based software tool has been developed to calculate propagation loss for outdoor systems. By using web-based mapping service applications and digital elevation data, land profile and environmental information related to the region are obtained. By applying ray tracing techniques on area, propagation loss is calculated.

1. Giriş

Hızla artan kablosuz haberleşme sistemleri ve gelişen 5G teknolojisine paralel olarak, hızlı ve güvenilir bir şekilde kanal modellerinin elde edilmesinin önemi gittikçe artmaktadır. Kanal modellemelerinde yayılım kaybı, ele alınış biçimine göre deterministik, stokastik veya ampirik olarak ifade edilir. Bu yaklaşımların her biri, alıcı-verici arasındaki uzaklık, ilgili antenlerin yüksekliği gibi bölgenin karakteristik özelliklerini esas alarak, doğruya yakın bir çözüm sunmaya çalışır. Deterministik modellemeler, elektromanyetik dalganın davranışını açıklayan fizik kurallarını esas alır. Modellemenin gerektirdiği matematiksel çözümün karmaşık ve zor olması, diğer modellemelerin tercihine sebep olmaktadır. Ampirik modellemeler ise deney alanlarında ölçülen değerler doğrultusunda şekillenir.

Bu çalışmada, 5G açık alan sistemleri için yayılım kaybı hesabını yapan ışın izleme tabanlı bir yazılım aracı geliştirilmiştir. Kentsel yerleşim yerleri için veri OpenStreetMap (OSM) aracılığıyla elde edilmiştir. OSM, açık kaynaklı bir harita servisi. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) ise kırsal alanlar için veri kaynağı olarak kullanılmıştır. SRTM, NASA tarafından yeryüzünün topoğrafik verisinin elde edilmesi için gerçekleştirilmiş, erişimin açık olduğu bir projedir. Söz konusu web tabanlı uygulamaların kullanılmasıyla elde edilen arazi profili üzerinde ışın izleme tabanlı tekniklerin uygulanması ile yayılım kaybı hesabı yapılmıştır.

2. Işın İzleme Tabanlı Kanal Modeli

Işın izlemede, yüksek frekanslarda elektromanyetik dalga davranışının ışındaki gibi değiştiği varsayılır. Çevredeki engel ve nesnelere bağlı olarak ışın kırınımına, kırılmaya veya saçılmaya uğrar. Yüksek frekans teknikleri arasında Geometrik Optik (GO) ve Düzgün Kırınım Teorisi (DKT) ışın temellidir ve yansıma, kırılma ve kırınım gibi yayılım mekanizmalarını hızlı ve doğru bir şekilde hesaba katabilirler. Literatürde GO tekniğinin belli bir sistematığe göre uygulanmasına dayanan çeşitli ışın izleme teknikleri (örneğin, İmaj Teorisi (IT) ve Seken Işın Yöntemi (SIY) [1]) vardır.

SIY yönteminde verici anten etrafında belli açı aralıklarına bağlı olarak bir ışın demeti oluşturulur ve GO'ya göre ışının takibi yapılır. Vericinin ilgilenilen noktaya olan uzaklığına ve ışın demetinin açı aralıklarına göre ilgili

noktada bir küre oluşturulur [2]. Küreyi kesen ışınlar, kaybın hesabına katılır. SIY yöntemi kırsal alanlar için uygulanmıştır. SRTM'den alınan topoğrafik verinin üzerinde yansıma ve kırınım olarak ışın takibi yapılabilmesi için MATLAB'da bulunan üçgenleme yöntemlerinden faydalanılmıştır. Işınlardan her bir üçgen kesitin normali ile yaptığı açıya bağlı olarak Fresnel yansıma katsayıları hesaplanan yansıyan ve doğrudan ilgililenen noktayı gören ışınlar, elektrik alanın hesabına katılarak yayılım kaybına geçiş yapılmıştır. Hızlı olan Möller-Trumbore [3] algoritmasından kesim noktalarının bulunmasında faydalanılmıştır. Kaybın daha doğru tahmini alınan kesitteki verinin ayrıntılı olması, bitki örtüsünün modellenerek hesaba katılması ve kırınım davranışının eklenmesiyle sağlanabilir.

Yoğun kentsel mikro hücre alanlarına yönelik 2.5D ışın izleme yöntemleri geliştirilmiştir. Işınlardan ilgili OSM kesitindeki binalara etkisiyle oluşan yansıma, kırınım davranışları daha önceden belirlenen ağırlık derecesine göre oluşturulan görünürlük ve imaj ağaçları aracılığıyla modellenir [4]. Ağırlık derecesi, ışın davranışının gösterdiği değişikliği sınırlar. Işınlardan takibi öncelikle iki boyutlu olarak gerçekleştirilir. Her bir 2D ışın üzerinde verici ve alıcı yüksekliklerine göre yaklaşır yapılarak, birinde yerin etkisinin katıldığı iki türlü 3D ışın elde edilir [5]. Sezgisel DKT [6] yöntemleri kullanılarak hesaplanan kırınım ve Fresnel yansıma katsayılarıyla yayılım kaybı hesabı gerçekleştirilir.

İki ışın izleme için yayılım kaybı hesabında benzer yaklaşımlar kullanılmıştır. Uzak alan yaklaşımıyla, verici antenden serbest uzayda (θ, φ) yönünde, r kadar uzaklıktaki elektrik alanın ifadesi aşağıdaki gibi bulunur.

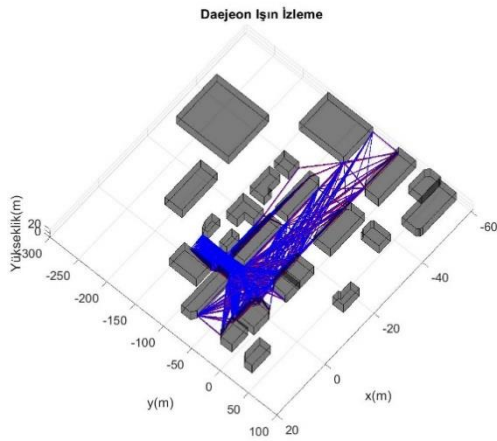
$$\mathbf{E}(r, \theta, \varphi) = [E_{0,\theta}(\theta, \varphi)\hat{a}_\theta + E_{0,\varphi}(\theta, \varphi)\hat{a}_\varphi] \frac{e^{-j\beta r}}{r} \quad (1)$$

İlgilenilen yerdeki elektrik alanın θ ve φ bileşenlerinin şiddeti, yansıma ve kırınım katsayılarının kullanılmasıyla elde edilebilir. İki defa kırınım, ilk kırınımından önce N , iki kırınım arasında Q ve sonrasında M defa yansıma uğramış bir ışın için kompleks elektrik alanın θ bileşeninin şiddeti aşağıdaki gibidir [7].

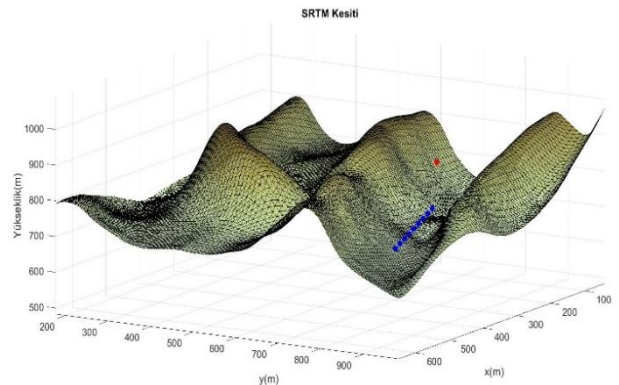
$$E_\theta = E_{0,\theta}(\theta, \varphi) \frac{e^{-j\beta r}}{r} \prod_{n=1}^N R_n^\perp D_{s1} \sqrt{\frac{r_{T1}}{r_{12}(r_{T1} + r_{12})}} \prod_{q=1}^Q R_q^\perp D_{s2} \sqrt{\frac{r_{T1} + r_{12}}{r_{2R}(r_{T1} + r_{12} + r_{2R})}} \prod_{m=1}^M R_m^\perp \quad (2)$$

r_{T1} , r_{12} ve r_{2R} sırasıyla verici ile ilk kırınım noktası, kırınım noktaları ve verici ile ikinci kırınım noktası arasındaki uzaklıklardır. D_{s1} , D_{s2} yatay polarizasyonda (soft/horizontal) DKT ile elde edilen kırınım parametreleri ve R yansıma parametresine karşılık gelir. E_φ bileşeni benzer şekilde verilen denklem üzerinde polarizasyona bağlı ilgili yansıma ve kırınım katsayıları seçilerek hesaplanır. Toplam alan bulunduktan sonra, yol kaybına aşağıdaki gibi geçiş yapılır.

$$PL = 20 \log_{10} \left[\frac{\lambda}{4\pi} \left| \frac{E_{total}}{E} \right| \right] \quad (3)$$



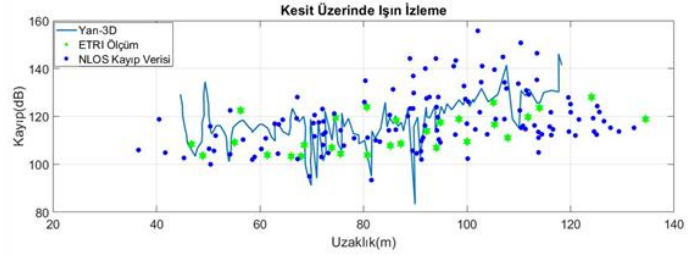
(a)



(b)

Frekans	28 GHz
Verici Anten Yüksekliği	10 m
Rota Üzerindeki Noktalar için Yükseklik	1.5 m
Anten	Boynuz Anten
ϵ_r	8
σ	0.001 S/m
Anten Yönlendirilme Açısı	150° - 320°

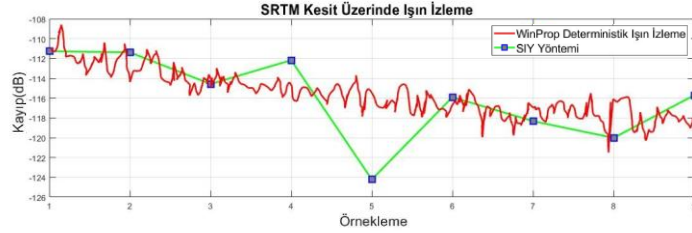
(c)



(d)

Frekans	28 GHz
Verici Anten Yere Göre Yüksekliği	20 m
Rota Üzerindeki Noktaların Yere Göre Yüksekliği	10 m
Anten	Boynuz Anten
ϵ_r	15
σ	0.005 S/m
Anten Yönlendirilme Açısı	320°

(e)



(f)

Şekil 1. (a) Kentsel alan üzerinde (c) verilen girdiler için elde edilen (d) kayıp değeri ile (b) kırsal alan üzerinde (e) verilen girdiler için elde edilen (f) kayıp değeri

Şekil 1(a)'da kentsel alan ve Şekil 1(b)'de kırsal alan üzerinde bahsi edilen ışın izleme tekniklerinin uygulamalarına yer verilmiştir. Kentsel alan için görüş alanı bulunmayan senaryolar üzerinde Şekil 1(c)'de verilen parametreler doğrultusunda elde edilen sonuçlar, [8]'deki 28 GHz'de 30° yarım-güç hüzmeye genişlikli boynuz antenle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 1(d)). OSM'den alınan kesitte bulunan bina dağılımının ve elektriksel parametrelerin seçiminin kayıpta etkilerinin olduğu söylenebilir. Aynı anten yapısıyla kırsal alanda Şekil 1(e)'de verilen girdiler için elde edilen SIY çıktısı, Winprop deterministik kayıp modeli ile karşılaştırılmıştır (Şekil 1(f)). Arazi, belli aralıklarla örneklenerek hesaplama yapılmıştır. Uzaklığın yüksekliğe oranla fazlaca artması, üçgenleme yöntemini ve yüzey normallerinin bulunmasını olumsuz etkiler. Böyle bir durumda kayıp hesabı çoğunlukla direk olarak ilgili noktayı gören ışınlar üzerinden hesaplanır. Son olarak, MATLAB Compiler SDK derleyicisi aracılığıyla oluşturulan kütüphaneler ile birlikte ASP.NET tabanlı bir web arayüzü hazırlanarak değişen profil ve parametreler için yöntemlerin uygulanması sağlanmıştır.

3. Teşekkür

Bu çalışma Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu koordinasyonunda yürütülen 5G ve Ötesi Ortak Lisansüstü Destekleme Programı kapsamında Vodafone tarafından kısmen desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Yun Z. ve Iskander M. F., "Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications", IEEE Access, cilt.3, s.1089-1100, 2015.
- [2]. Schaubach K. R. ve Davis N. J., "Microcellular radio-channel propagation prediction", IEEE Antennas and Propagation Magazine, cilt.36 no.4, s.25-34, Ağustos 1994.
- [3]. Möller T. ve Trumbore B., "Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection", Journal of Graphics Tools, cilt.2 no.1, s.21-28, 1997.
- [4]. Liu Z.-Y., Guo L.-X., ve Fan T.-Q., "Microcellular propagation prediction model based on an improved ray tracing algorithm", Journal of the Optical Society of America A, cilt.30 no.11, s.2372-2380, 2013.
- [5]. Schettino D. N., Moreira F. J. S. ve Rego C. G., "Efficient Ray Tracing for Radio Channel Characterization of Urban Scenarios", IEEE Transactions on Magnetics, cilt.43 no.4, s.1305-1308, Nisan 2007.
- [6]. El-Sallabi H. M., Rekanos I. T. ve Vainikainen P., "A new heuristic diffraction coefficient for lossy dielectric wedges at normal incidence", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, cilt.1 no.8, s.165-168, 2002.
- [7]. Soni S. ve Bhattacharya A., "An efficient two-dimensional ray-tracing algorithm for modeling of urban microcellular environments", AEU- Int J Electron Commun., cilt.66 no.6, s.439-447, Haziran 2012.
- [8]. Lee J., Choi J., Lee J. ve Kim S., "28 GHz Millimeter-Wave Channel Models in Urban Microcell Environment Using Three-Dimensional Ray Tracing", Antennas Wirel. Propag. Lett., cilt.17 no.3, s.426-429, Mart 2018.