

KENTSEL ALANLARDA GÖLGELEME ETKİSİNİN BENZETİM VE ANALİZİ

SIMULATION AND ANALYSIS OF SHADOWING IN URBAN AREAS

Sibel SANCAKLI, Serdar ÖZEN

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
{sibelsancakli,serdarozen}@iyte.edu.tr

ÖZETÇE

Kablosuz radyo sistemlerinde, gölgelemenin alınan sinyalin üzerindeki etkisi incelenerek karmaşıklığı düşük ama bilinen modellerden daha başarılı bir ilinti modeli geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, ışın izleme yöntemi kullanılarak elde edilip, model parametreleri sayısal eniyileme uygulanarak bulunmuştur. Hesaplanan değerler L_2 -norm yöntemi kullanılarak önerilen modele uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar literatürdeki diğer modellerle karşılaştırılmış ve önerilen modelin daha az karmaşıklığa sahip ve donanımsal benzetimler için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

A low complexity correlation model for the received signal in shadowing in a mobile radio system was proposed. The predicted autocorrelation function is obtained via a site-specific radio propagation tool which uses ray tracing. L_2 -norm method is used to fit the proposed model to the experimental results and the model parameters of this method is acquired via numerical optimization. The predicted results are compared with the other models in the literature and we report that our model has lower computational complexity and more suitable for hardware emulator implementations than existing models.

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme sistemlerinde iletilen sinyalde güç kaybına yol açan *yol kaybı*, *sönümlenme* ve *gölgeleme* olmak üzere üç farklı etken bulunmaktadır. Literatürde büyük ölçekli sönümlenme olarak da bilinen yol kaybı, alıcı ile verici arasındaki mesafe ile bağımlıdır. Bu bildiride yol kaybının en sade modeli olan serbest uzay yol kaybı kullanılmıştır. Daha karmaşık modeller de bulunmaktadır [1, 2]. Sönümlenme için en çok Rayleigh, Rician, Nakagami gibi bazı sönümlenme modelleri kullanılmaktadır [3, 4]. Bu bildiride bu üç etkiden hareketli olmayan durumlarda, kentsel alanlarda ve boş uzay kaybı varsayımı altında gölgeleme etkisi incelenmiştir. Gölgeleme, alıcı ile verici arasındaki sinyal yolu içine bina, ağaç gibi nesnelerin girmesiyle oluşur. Gölgeleme etkisiyle, sinyalin bir kısmı kaybolacak ve iletilen sinyalde yol kaybından ayrıca bir kayba daha yol açacaktır.

Deneysel sonuçlara göre, gölgeleme etkisi en iyi log-normal dağılımı ile rasgele değişken olarak modellenmektedir [1, 5, 6]. Örneğin, Suzuki modelinde [7] ve Loo modelinde [8] log-normal dağılım süreci kullanılmıştır. Bu modeller, karasal gezgin radyo kanalları ve uydu kanalları için stokastik modeller olarak önerilmişlerdir. Bunun yanı sıra gezgin sistemlerinin kalite çalışmalarında kullanılmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, gölgelemenin istatistiksel değişimleri raporlanmıştır. Örneğin log-normal sürecin standard sapma değerleri makrohücreler içinde 5 dB ile 12 dB arasında [1, 6, 9, 10], kentsel alanlarda ise 6.5 dB ile 8.2 dB arasında değişmektedir [11].

Literatürde, gölgeleme modellenmesi ve benzetimi için farklı yöntemler önerilmiştir [5, 12]. Bu bildiride, Gudmundson gölgeleme modeli [5] ve Gudmundson'ın deney sonuçları kullanarak alternatif model oluşturan Pätzold-Nguyen [12] modelleri incelenmiştir. Gudmundson modeli basit bir yapıda olmasına ve de öğretici bir görüş kazandırmasına karşın, belli bir mesafeden sonraki ilinti fonksiyonunun deney sonuçlarından çok uzaklaşmaktadır ve bu modelin sağladığı ilinti fonksiyonunun kalitesi başarılı olamamaktadır. Gudmundson'ın deney sonuçları ile önerdiği modeli karşılaştırıldığında ilinti fonksiyonunun negatif değer alması gereken bölgelerde bile asla negatif değer almadığı görülebilir. Pätzold-Nguyen [12] model incelendiğinde ise matematiksel olarak karmaşık bir yapıda olduğu ve donanımsal uygulamalar için uygulanmasının zor olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen modelin daha az karmaşıklığa sahip ve donanımsal uygulamalar için uygulanması kolay bir benzetim yapısına sahip olması amaçlanmıştır.

2. UZAMSAL GÖLGELEME SÜRECİ BENZETİMİ

Uzamsal gölgeleme özilintisi birçok yazar tarafından çalışılmıştır [5, 12],[13]-[15]. Gudmundson [5] tarafından üstel olarak modellenirken, Pätzold-Nguyen [12] tarafından Gudmundson model temel alınarak sinüslerin toplamı prensibi kullanılarak modellenmiştir.

2.1. Gudmundson Modeli

Gudmundson modelinde [5], gölgelemenin etkisi log-normal dağılımına göre Denklem (1)'deki gibi modellenmiştir.

Model, makro ve mikro hücelere uygulanmış fakat yalnızca makro hücelerde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Mikro hücelere için yeterli sonuçlara ulaşılamamıştır. Gölgeleme etkisi genellikle Denklem (1)'deki log-normal dağılım sürecine göre modellenmektedir:

$$\lambda(t) = 10^{[\sigma_L \nu(t) + m_L]/20}. \quad (1)$$

Denklemdeki $\nu(t)$, birim değişinti reel Gauss süreç değeri, σ_L gölgeleme standart sapması ve m_L alan ortalamasıdır. m_L değeri, alıcı ile verici arasındaki yol kaybına göre bulunmuştur. σ_L değeri, anten yüksekliğine ve çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Gölgeleme standard sapması 900 MHz frekansta genellikle 5 dB ve 12 dB arasında değişmektedir. Makro hücre uygulamalarında 8 dB değeri kullanılmaktadır [1, 5]. Dizinleme $x = 0$ noktasından başlanıp x eksenini boyunca c ışık hızı ile hareket edilip, $t = x/c$ zaman-mesafe ilişkisi kullanıldığında, $\lambda(t)$ ve $\nu(t)$ Gauss süreci x mesafesine bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilebilir, örneğin $\lambda(x)$ ve $\nu(x)$. Deneysel çalışma sonuçlarına göre Denklem (2)'deki uzamsal özilinti fonksiyonu $r_{\nu\nu}(\Delta x)$ Gudmundson [5] tarafından önerilmiştir:

$$r_{\nu\nu}(\Delta x) = e^{-|\Delta x|/D}. \quad (2)$$

D değeri ortama bağlı sabit bir değer olup ilintisizleşme uzaklığı olarak, Δx ise iki lokasyon arasındaki uzamsal ayırım miktarı olarak bilinmektedir.

2.2. Pätzold-Nguyen Modeli

Pätzold-Nguyen Modeli [12], Gudmundson modelinden [5] sinüsler toplamı prensibi kullanılarak türetilmiştir. Log-normal dağılımlı $\lambda(t)$ için stokastik bir sürekli zamanlı benzetim modeli, Denklem (1)'deki $\nu(t)$ Gauss sürecinin yerine N tane sinüs toplamı konularak Denklem (3) elde edilmiştir:

$$\tilde{\nu}(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cos(2\pi f_n t + \Theta_n). \quad (3)$$

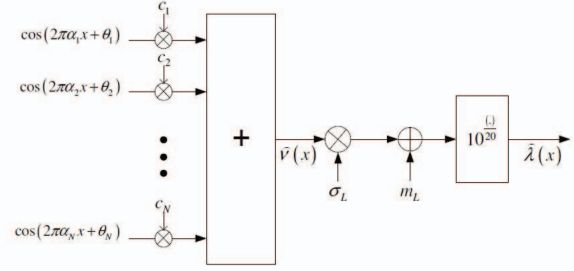
Denklem (3)'deki, c_n kazançları ve f_n frekansları sıfır olmayan gerçek değerli sabit nicelikler, Θ_n fazları ise $(0, 2\pi]$ aralığında birörnek dağılmış bağımsız özdeş dağılımlı rasgele değerlerdir. $\tilde{\nu}(t)$ stokastik bir süreci gösterir, birinci derece durağan ve ergodiktir [16]. $\tilde{\nu}(x)$ fonksiyonu da Bölüm 2.1'deki zaman-mesafe değişimi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçta $\tilde{\nu}(x)$, Denklem (4)'deki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{\nu}(x) = \sum_{n=1}^N c_n \cos(2\pi\alpha_n x + \Theta_n). \quad (4)$$

$\alpha_n = f_n/(\lambda_c f_{max})$ uzamsal frekanslardır. $\tilde{\nu}(x)$ 'in benzetimi Şekil (1)'deki gibi yapılabilir. Denklem (1)'e benzer şekilde uzamsal log-normal dağılım süreci için stokastik bir benzetim modeli Denklem (5)'deki gibi elde edilmiştir:

$$\tilde{\lambda}(x) = 10^{[\sigma_L \tilde{\nu}(x) + m_L]/20}. \quad (5)$$

c_n kazançları, α_n uzamsal frekansları sabit ve Θ_n fazları



Şekil 1: Denklem (3)'deki Pätzold [12] benzetim yönteminin blok şeması

bağımsız özdeş dağılımlı rasgele değişkenleri olduğu için Denklem (4)'den $\tilde{\nu}$ nün beklenen değeri $E[\tilde{\nu}(x)] = 0$ dır. Değişinti ise $Var\{\tilde{\nu}(x)\} = \sum_{n=1}^N c_n^2/2$ olarak ifade edilir. c_n kazançlarını $c_n = \sqrt{2/N}$ olarak tanımlarsak, $\tilde{\nu}(x)$ 'in değişintisi birim ve $\nu(x)$ değişintisi ile özdeşdir. $\tilde{\nu}(x)$ 'in $\tilde{r}_{\nu\nu}(\Delta x) = E[\tilde{\nu}(x)\tilde{\nu}(x + \Delta x)]$ olarak tanımlanan uzamsal özilinti fonksiyonu Denklem (6)'daki gibidir:

$$\tilde{r}_{\nu\nu}(\Delta x) = \sum_{n=1}^N \frac{c_n^2}{2} \cos(2\pi\alpha_n \Delta x). \quad (6)$$

Denklem (7) kullanılarak uzamsal frekansların α_n başlangıç değerleri hesaplanabilir [12]:

$$\alpha_n = \frac{1}{2\pi D} \tan\left[\frac{\pi(n-0.5)}{2N}\right]. \quad (7)$$

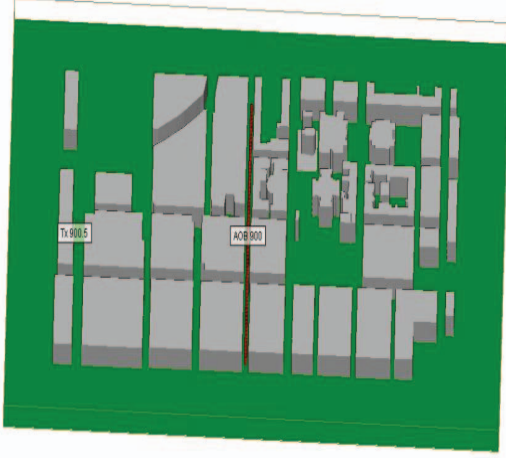
Denklem (8) kullanılarak L_2 -norm yöntemi uygulanmış ve Fletcher-Powell algoritması [17] kullanılarak sayısal eniyilemesi yapılmıştır.

$$E_{r_{\nu\nu}}^{(2)} = \left[\frac{1}{\Delta x_{max}} \int_0^{\Delta x_{max}} |r_{\nu\nu}(\Delta x) - \tilde{r}_{\nu\nu}(\Delta x)|^2 d(\Delta x) \right]^{1/2}. \quad (8)$$

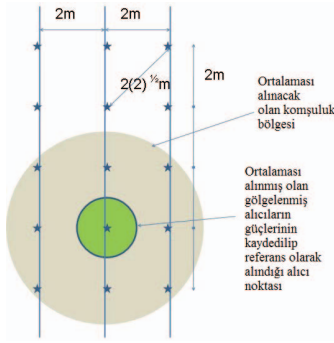
2.3. Gölgeleme Deneyi

Gölgeleme özilintisini elde etmek için kullandığımız kentsel alan, alıcı ve vericileri gösteren proje görüntümüz Şekil (2)'deki gibidir. Kırmızı çizgi alıcıları, yeşil nokta ise vericiyi göstermektedir. Verici için dar hüzmeli yönlü anten ve herbir alıcı için monopoller kullanılmıştır. Verilen sinyal, 900.5 MHz taşıyıcı frekanslı sinusoidal dalga biçimindedir. Her bir bina parametresi bilinmeksizin tüm kent için tuğla ya da beton gibi tek bir materyal kullanılmıştır. Bu analiz için bina parametresi olarak dielektrik sabiti 5.0 olan beton materyali kullanılmıştır. Gelen sinyal değerleri, doğrudan görüşü bulunan AOB sokağından elde edilmiştir.

Deneyde çevresel etkilerden dolayı oluşan küçük yerel değişimlerin etkileri azaltmak için, alınan sinyalin Şekil (3)'deki gibi komşuluk bölgesindeki uzamsal ortalaması alınmış ve denklemlerde alınan sinyal değerleri olarak ortalaması alınmış bu değerler kullanılmıştır. Şekil (3)'deki gibi ortalama alabilmek için AOB sokağının ortasına, 2 metre sağına ve 2 metre soluna eşit sayıda alıcılar yerleştirilmiş olup, her bir alıcı * işaretiyle gösterilmiştir.



Şekil 2: Verici ve alıcıları gösteren proje görüntüsü



Şekil 3: Alınan sinyal üzerindeki küçük yerel değişimlerin etkilerinin azaltılması için uzamsal ortalamasının şekilsel gösterimi

$$\tilde{x}_i = x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (9)$$

$$\hat{r}_{\nu\nu}(k) = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n \tilde{x}_i \tilde{x}_{i-k}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2}. \quad (10)$$

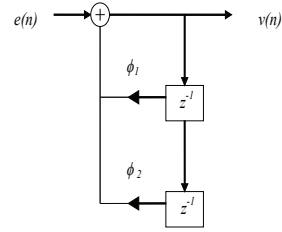
Uzamsal gölgeleme sürecinin özilinti değeri Denklem (9-10) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem (9)'daki x_i değeri, gelen sinyalin güç değerlerinden yol kaybını çıkartarak hesaplanan değeri göstermekte olup, $\hat{r}_{\nu\nu}(k)$ ise deneysel ölçüm sonuçlarından elde edilmiş olan özilinti fonksiyonunu göstermektedir, fonksiyonun dizin değerleri olan k değerleri ise 1 ile 500 arasında uzamsal ortalaması alınmış her bir alıcı noktasına denk gelmektedir.

2.4. Önerilen Model

Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi Gudmundson modeli deneysel ölçüm sonuçlarından çıkan negatif özilinti değerlerini modelleyememektedir. Ancak performansı çok daha iyi olan

Tablo 1: Önerilen Model Parametreleri

| Deneysel Sonuçlar | α | D_1 | D_2 | Δx_{max} |
|-------------------|----------|--------|--------|------------------|
| Gölgeleme Deneyi | 1.9084 | 41.698 | 94.306 | 80m |



Şekil 4: İkinci derece özbağlanım süzgeci

Pätzold modeli ise karmaşık bir yapıdadır. Bu modellere alternatif bir model olarak

$$r_{\nu\nu}(\Delta x) = \alpha e^{-|\Delta x|/D_1} + (1 - \alpha) e^{-|\Delta x|/D_2} \quad (11)$$

denklemini önerilmektedir. Gölgeleme deneyi sonucunda Denklem (10) kullanılarak hesaplanan özilinti fonksiyonunun $\hat{r}_{\nu\nu}(k)$ değerleri, Denklem (11)'de önerilen modeldeki α , D_1 ve D_2 parametreleri bulmak için kullanılmıştır. Denklem (8)'de verilen L_2 -norm minimum noktaya ulaşana kadar model parametrelerinin sayısal eniyilemesi yapılmıştır. Bu değerler Tablo (1)'de gösterilmektedir. Denklemdeki $r_{\nu\nu}(\Delta x)$ değerleri ise gölgeleme deneyi sonucunda hesaplanan özilinti değerlerini göstermektedir. Hesaplanan model parametreleri ile önerilen özilinti fonksiyonu Denklem (11)'deki gibi elde edilmiştir. Önerilen Denklem (11)'deki bu uzamsal özilinti modeline sahip olan $\nu(n)$ gölgeleme sürecinin benzetimi, Şekil (4)'teki beyaz gürültü ile sürülen ikinci derece özbağlanım süzgeci ile gerçekleştirilebilir. İkinci derece özbağlanım süzgeci Denklem (12)'deki gibi gösterilebilir:

$$\nu(n) = \phi_1 \nu(n-1) + \phi_2 \nu(n-2) + e(n). \quad (12)$$

Denklem (12)'deki $e(n)$ beyaz gürültü süreci olup, $r_{ee}(n) = \sigma_e^2 \delta(n)$ özilinti fonksiyonuna sahiptir; ϕ_1 ve ϕ_2 parametreleri ise, Denklem (13) ve Denklem (14) deki gibidir:

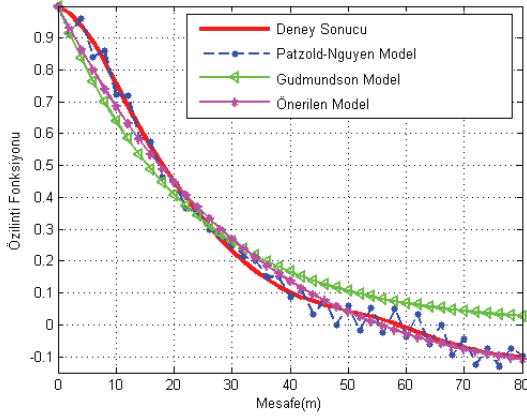
$$\phi_1 = \frac{r_{\nu\nu}(1)(1 - r_{\nu\nu}(2))}{1 - r_{\nu\nu}(1)^2}, \quad (13)$$

$$\phi_2 = \frac{r_{\nu\nu}(2) - r_{\nu\nu}(1)^2}{1 - r_{\nu\nu}(1)^2}. \quad (14)$$

Tablo (1) kullanılarak, ϕ_1 ve ϕ_2 değerleri sırasıyla 0.9644 ve -1.7552 olarak hesaplanmıştır. Tablo (2)'ye bakılarak Pätzold-Nguyen benzetim modeli [12] ile önerilen benzetim modeli karşılaştırıldığında önerilen modelin matematiksel olarak daha sade bir yapıda olduğunu gözlemlenmektedir. Önerilen modeldeki Denklem (12)'de her bir gölgeleme örneği üretilebilmek için 2 tane toplama ve 2 tane çarpma işlemi gerekirken

Tablo 2: Matematiksel Karmaşıklıkla Karşılaştırılması

| Model Adı | Toplama İşlemi | Çarpma İşlemi |
|----------------------|----------------|---------------|
| Pätzold-Nguyen Model | 49 | 75 |
| Önerilen Model | 2 | 2 |



Şekil 5: Uzamsal Gölgeleme Sürecinin Deneysel Sonucu, Pätzold-Nguyen Model, Gudmundson Model ve Önerilen Model Özilinti Fonksiyonları

Pätzold-Nguyen modelindeki Denklem (4)'de minimum 49 tane toplama, 75 tane çarpma işlemi gerekmektedir. Uzamsal gölgeleme sürecinin özilinti fonksiyonları deney sonuçlarına, Pätzold-Nguyen modeline [12], Gudmundson modeline [5] ve önerilen modele göre Şekil (5)'deki gibi elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR

Kablosuz bir radyo sisteminin içinde gölgeleme etkisi altında gelen sinyalin ilinti modeli önerilmiştir. Deney sonuçlarının önerilen modele uygulanmasında L_2 -norm yöntemi kullanılmıştır. Önerilen model, Gudmundson [5] ve Pätzold-Nguyen [12] modelleriyle karşılaştırılmış, Gudmundson'ın deney sonuçları ile önerdiği modeli karşılaştırdığında ilinti fonksiyonunun negatif değer alması gereken bölgelerde bile asla negatif değer almadığı gözlemlenmiş, Pätzold-Nguyen [12] modeli incelendiğinde ise matematiksel olarak karmaşık bir yapıda olduğu ve donanımsal uygulamalar için uygulanmasının zor olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kentsel bir alan için önerilen modelin, Pätzold-Nguyen modeline [12] göre daha az karmaşık ve Gudmundson modeline [5] göre ise daha doğru olduğu gözlemlenerek donanımsal uygulamalar için başarılı bir gölgeleme süreci benzetimi sunulmuştur.

4. TEŞEKKÜR

Bu araştırma, kısmen Turkcell Teknoloji Araştırma ve Geliştirme A.Ş. ve de Avrupa Komisyonu MIRG-2005-029157 numaralı proje hibeleriyle desteklenmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Y. Okumura, E. Ohmori, and T. Kawano, "Field strength and its variability in VHF-UHF land mobile radio", *Rev. Elec. Commun. Lab.* vol. 16, p. 825-873, 1968.
- [2] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, VT-29, pp. 317-325, 1980.
- [3] James K. Cavers, "Mobile Channel Characteristics" *Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA* 2000.
- [4] Y. R. Zheng and C. Xiao, "Simulation models with correct statistical properties for Rayleigh fading channels", *IEEE Trans. Commun.* 51(6): 920-928, 2003.
- [5] M. Gudmundson, "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems", *Electron. Lett.* 27(23):2145-2146, 1991.
- [6] D.M. Black and D. O. Reudink, "Some characteristics of mobile radio propagation at 836 Mhz in the Philadelphia Area", *IEEE Trans. Veh. Tech.* 21: 45-51, 1972.
- [7] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation", *IEEE Tr. Comm.*, v.25, no.7, pp.673-680, Jul. 1977.
- [8] C. Loo and J. S. Butterworth, "Land mobile satellite channel measurements and modeling", *Proc. of the IEEE*, vol. 86, no. 7, pp. 1442-1463, Jul. 1998
- [9] D. O. Reudink, "Comparison of radio transmission at X-band frequencies in suburban and urban areas", *IEEE Trans. Ant. Prop.*, vol. 20, pp. 4702173, Jul. 1972.
- [10] M. F. Ibrahim and J. D. Parsons, "Signal strength prediction in built-up areas", *Proc. IEEE*, vol. 130F, no. 5, pp. 377-384, 1983.
- [11] P. E. Mogensen, P. Eggers, C. Jensen, and J. B. Andersen, "Urban area radio propagation measurements at 955 and 1845 MHz for small and micro cells", *IEEE Global Commun. Conf. Phoenix, AZ*, pp. 1297-1302, 1991.
- [12] M. Pätzold, and V. D. Nguyen, "A spatial simulation model for shadow fading processes in mobile radio channels", *Proc. 15th IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE PIMRC*, 2004.
- [13] M. Marsan and G. Hess, "Shadow variability in an urban land mobile radio environment", *Electron. Lett.*, vol. 26, pp. 646-648, 1990.
- [14] D. Giancristofaro, "Correlation model for shadow fading in mobile radio channels", *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 11, pp. 958-959, May 1996.
- [15] E. Perahia and D. C. Cox, "Shadow fading correlation between uplink and downlink", *Proc. IEEE VTC2001-Spring* pp. 308-312, 2001.
- [16] M. Pätzold, "On the stationary and ergodicity of fading channel simulators basing on Rices sum-of-sinusoids", *Proc. 14th IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE PIMRC* 2003.
- [17] R. Fletcher and M. J. D. Powell, "A rapidly convergent descent method for minimization" *Computer Journal* 6(2):163-168, 1963.