

# Farklı Frekans İlinti Fonksiyonuna Sahip Kanallar İçin Tutarlı Bant Genişliklerinin Elde Edilmesi

Begüm Korunur Engiz<sup>1</sup>, Hülya Gökalp<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kurupelit, Samsun

<sup>1</sup>bkengiz@omu.edu.tr, <sup>2</sup>hgokalp@omu.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Frekans İlinti Fonksiyonu, Tutarlı Bant Genişliği*

## Özet

Üçüncü ve dördüncü kuşak sistemlerde kullanılan çoklu erişim yöntemleri frekans çeşitliliğinden yararlanmakta ve iletim bandını etkin kullanmayı amaçlamaktadır. Frekans çeşitliliği elde edebilmek için kanalın tutarlı bant genişliğinin (TBG) bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, kanalın frekans ilinti fonksiyonu (FİF) iki farklı yöntemle hesaplanıp buna bağlı TBG' ler elde edildi. Kanalın FİF' i, ilk yöntemde kanalın zamanla değişen geçiş işlevindeki ayrık frekanslar arasındaki ilinti hesaplanarak, ikincisinde ise kanalın ortalama yankı güç profiline ( $P_h(\tau)$ ) hızlı Fourier dönüşümü uygulanarak bulundu. 0.5, 0.75, 0.9 ilinti katsayıları için kanalın TBG' leri belirlendi. Sonuçlardan az yankılı kanal için kullanıcının hareket mesafesindeki azalmanın, eş zamanlamanın TBG' yi arttırdığı, gürültü tabanındaki artışın ise TBG' yi azalttığı görüldü. Ayrıca TBG ile yankı gecikme dağılımının etkin değerinin ( $\tau_{etkin}$ ) birbiriyle ters orantılı olarak değiştiği ve çarpımlarının bir alt sınırının olduğu görüldü.

## 1. Giriş

Gezgin haberleşme sistemlerindeki eğilimin ses iletişiminden veri iletişimine doğru kayması 2.Kuşak (2K) sistemlerden 3.Kuşak (3K) sistemlere geçilmesine neden olmuştur. Çok sayıda kullanıcının yüksek veri hızı ve kaliteli iletişim talep etmesi nedeniyle 3K sistemler için ayrılan bantlar hızlı internet erişimi, yüksek kalitede hareketli görüntü iletişimi gibi hizmetleri karşılayamayacaktır. Bu nedenle 4.Kuşak (4K) sistemler tasarlanmaya başlamıştır [1].

Hedeflenen yüksek hızlara erişebilmek için 4K sistemler ayrılan bant genişliğini etkin bir biçimde kullanmalıdır. Bu nedenle 4K sistemlerde kullanılacak modülasyon ve çoklu erişim yönteminin seçimi önemlidir.

Yüksek veri hızı elde edebilmek için kullanılan bant genişliğinin büyük olması gerekmektedir. Eğer kanalın TBG' si sinyalin bant genişliğinden daha dar ise kanal frekans seçicilik

özelliği göstermektedir. Çok taşıyıcı iletişim frekans seçici kanallar için bir çözümdür. Çünkü çok taşıyıcı iletişim frekans seçici sönmülmeye, dar bant girişimine ve semboller arası girişime dayanıklıdır [2].

Çok taşıyıcı iletişiminde kanalın TBG'si ile ilgili bilgi önem taşımaktadır. Kanalın TBG'si kanalın frekans seçiciliğini belirlemede kullanılır. Taşıyıcı frekanslar arasındaki ilintinin yüksek olması frekans seçiciliğini düşürür [2]. Sinyalin bant genişliğinin kanalın TBG'sinden büyük/küçük olmasına göre frekans seçici ya da frekansta düz sönmülenen kanal olarak adlandırılır. Bu nedenle TBG kanalın frekans düzlemi özelliklerini belirlemek, çeşitli modülasyon ve kanalın etkilerini azaltmak için kullanılacak çeşitlilik yöntemlerinin başarımının ve sınırlamalarının belirlenmesinde kullanılır [4].

Kanalın yayılım özelliklerini belirlemek üzere yapılan çalışmalarda kanalın FİF' leri kullanılmıştır. Kanalın FİF' i iki ayrı yöntemle hesaplanmıştır. İlk yöntemde  $P_h(\tau)$ ' ya Fourier dönüşümü uygulanmış [5], diğerinde ise geçiş işlevinde ayrık frekanslar arasındaki ilinti hesaplanmıştır [6].

Literatürde  $\tau_{etkin}$  ile ilgili birçok çalışma varken [6–8] farklı kanal profilleri için FİF kullanılarak elde edilen kanalın TBG' sinin verildiği çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmada, farklı kanal profilleri için kanalın TBG' si ve  $\tau_{etkin}$ 'i arasındaki ters orantının [9] doğruluğu gösterilmiştir. Ayrıca TBG ile  $\tau_{etkin}$  çarpımının bir alt sınırının olduğu (0.5 ilinti katsayısı için) belirlenmiştir.

## 2. Gezgin Radyo Kanalının Özelliklerinin Belirlenmesi

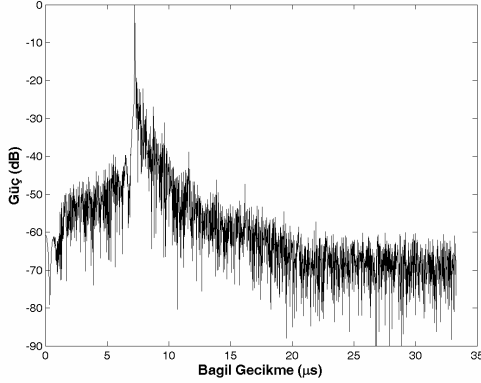
Alıcıya ulaşan sinyale radyo kanalının etkisi doğrusal kabul edilebilir. Bu yüzden kanal doğrusal bir süzgece benzetilebilir. Kanalın davranışı zamanla değiştiği için ona eşdeğer süzgecin

özelliklerinin de zamanla değişmesi gerekir. Doğrusal bir süzgecin girişi ve çıkışı arasındaki ilişki hem zaman hem de frekans düzleminde tanımlanır.

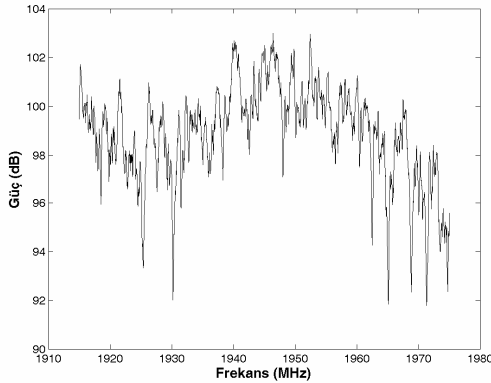
[10]'da kanal dört tane dönüşüm işlevi ile tanımlanmaktadır. Bu işlevlerden biri zamanla değişen geçiş işlevidir ( $T(f, t)$ ). Bu işlev kanalın çıkış tayfını, kanalın birim vuruş tepkisi ( $h(t, \tau)$ ) ile ilişkilendirir. Zamanla değişen geçiş işlevi ve birim vuruş tepkisi kanalın küçük ölçekli özelliklerinin belirlenmesinde öncelikli olarak kullanılır. Bu fonksiyonlardan öz-iltint fonksiyonları yardımıyla kanalın özellikleri belirlenir ve elde edilen istatistiklerin kullanımıyla büyük ölçekli özellikler elde edilir. Eğer kanala eşdeğer süzgecin birim vuruş tepkisi  $h(t, \tau)$  ise, kanalın zamanla değişen geçiş işlevi (1) eşitliğindeki gibidir. Bu fonksiyon her bir frekansın kanaldan geçerken nasıl etkilendiğini gösterir.

$$T(f, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t, \tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (1)$$

Eşitlikte  $h(t, \tau)$  kanalın zamanla değişen birim vuruş tepkisini,  $\tau$  ise yankı gecikmesini ifade eder. Az yankılı bir kanal için  $h(t, \tau)$  ve  $T(f, t)$  sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2' deki gibidir.



Şekil 1: Kanalın birim vuruş tepkisi



Şekil 2: Kanalın geçiş işlevi

Yankılı kanalları tanımlamada kullanılan  $P_h(\tau)$  kanalın küçük ölçekli özelliklerinden yararlanılarak elde edilir. Kanalın durağanımsı olarak tanımlandığı bir aralıkta kanalın zamanla değişen birim vuruş tepkesinin zamanda ortalamasının alınmasıyla elde edilir.  $P_h(\tau)$  kullanılarak kanalı temsil eden, ortalama yankı gecikmesi ( $\tau_{ort}$ ),  $\tau_{etkin}$  ve yankı profil genişliği gibi kanal değişkenleri hesaplanır. Bu değişkenlerden  $\tau_{etkin}$  iletişim sistemlerinin başarımının belirlenmesinde öncelikli olarak kullanılır. Bu nedenle literatürde  $\tau_{etkin}$  istatistiklerinin sunulduğu çalışma sayısı fazladır.  $P_h(\tau)$ 'dan elde edilecek  $\tau_{ort}$  (2) eşitliğindeki gibidir.

$$\tau_{ort} = \frac{\sum_i \tau_i P_h(\tau_i)}{\sum_i P_h(\tau_i)} - \tau_A \quad (2)$$

Bu eşitlikte  $\tau_A$  profilin başlangıç noktasını,  $\tau_i$  i. yankının zamanda gecikmesini,  $P_h(\tau_i)$  ise i.yankının güç seviyesini ifade eder.  $\tau_{etkin}$  ise  $P_h(\tau)$ ' nun ikinci merkez momentinin karekökü alınarak elde edilir ve

$$\tau_{etkin} = \sqrt{\frac{\sum_i (\tau_i - \tau_{ort})^2 \cdot P_h(\tau_i)}{\sum_i P_h(\tau_i)}} \quad (3)$$

biçiminde ifade edilir.

### 3. FİF ve TBG

Kanal zamana bağlı olarak rastsal değişiyorsa kanalın tahmin edilmesinde istatistiksel hesaplamalar kullanılarak kanalın geniş alanlardaki (büyük ölçekli) özellikleri belirlenir. FİF bu tür kanalları ifade etmede kullanılır. FİF iletim bant genişliğinin farklı bölgelerinde meydana gelen sönümlenmelerin iltint bilgilerini içerir ve  $P_h(\tau)$ ' nun zamanda gecikme değişkenine göre Fourier dönüşümü alınarak hesaplanır.

$$R_T(\Omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_h(\tau) e^{-j2\pi\Omega\tau} d\tau \quad (4)$$

Ayrıca geçiş işlevinde ayırık frekanslar arasındaki iltintinin hesaplanmasıyla da FİF elde edilir.

[11]'de FİF ve kanalın TBG'si arasındaki ilişki FİF' in genliğinin 0.5, 0.9, 1/e veya 0.37'ye düştüğü andaki bant genişliği olarak verilmiştir.

TBG ile  $\tau_{etkin}$  arasındaki ilişki belli bir matematiksel eşitlik olarak ifade edilememektedir.

Ancak her ikisi arasındaki ilişkinin

$$B_T \propto \frac{1}{\tau_{\text{etkin}}} \quad (5)$$

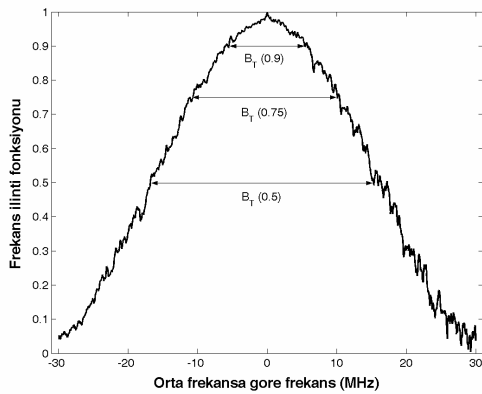
biçiminde olduğu söylenebilir [9]. Kanalin  $\tau_{\text{etkin}}$  'i ile FİF' i arasındaki ilişki şu şekildedir: Az yankılı kanallarda  $\tau_{\text{etkin}}$  değerleri küçük olup FİF eğrileri geniştir. Çok yankılı kanallarda ise  $\tau_{\text{etkin}}$  değeri büyük olup FİF eğrileri de oldukça dardır. Bu, TBG ile  $\tau_{\text{etkin}}$  arasında (5) ile verilen ilişkiyi doğrular niteliktedir.

### 3.1. FİF Eğrilerinin Biçimini Belirleyen Etmenler

Bu inceleme için sürekli dalga frekans modülasyon (FMCW) işaretini kullanan kanal sondalama cihazı ile 1915-1975 MHz aralığının doğrusal artan bir biçimde taranmasıyla elde edilen veriler [4] kullanıldı.

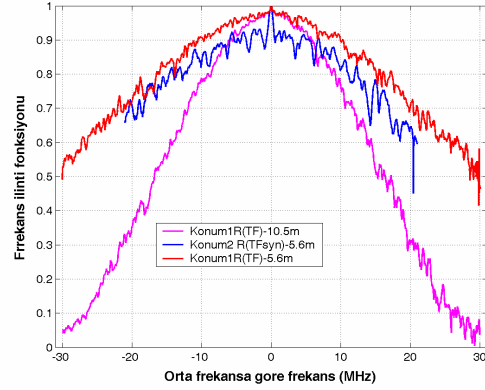
Bu çalışmada FİF her iki yöntem kullanılarak elde edildi. Geçiş işlevinden FİF' i hesaplamak için MATLAB' da yer alan *'corrcoef'* komutu kullanıldı. *'corrcoef'* fonksiyonunun girişi boyutu  $n \times m$  olan bir matristir. Bu matrisin her bir satırı bir taramaya ait geçiş işlevini, her bir sütunu ise frekans bileşeninin zamanla değişen zarfını içerir. *'corrcoef'* işleminin sonucunda boyutu  $m \times m$  olan bir matris elde edilir. İlinti fonksiyonu bu  $m \times m$  boyutlu matrisin  $m/2$ . satırı veya sütunu olarak seçilir. FİF' i elde etmek için kullanılan diğer yöntemde ise  $P_h(\tau)$ ' ya hızlı Fourier dönüşümü uygulandı ve elde edilen sinyal maksimum değerine bölünerek normalize edildi.

İlinti katsayıları olarak 0.5, 0.75 ve 0.9 kullanıldı. TBG, FİF' in orta banda göre bu ilinti katsayılarını ilk kez kestiği noktalar arasında kalan bant genişliği ( $B_T(0.5)$ ,  $B_T(0.75)$ ,  $B_T(0.9)$ ) olarak hesaplandı (Şekil 3).

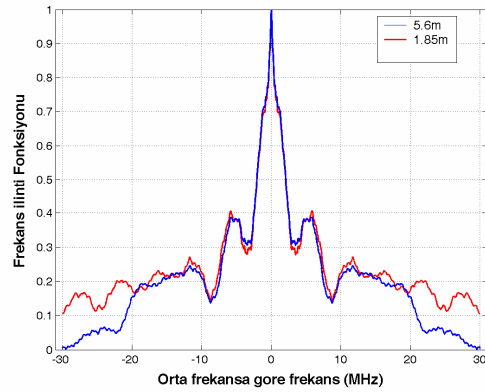


Şekil 3: FİF' den TBG' nin elde edilmesi

A) Hareket Mesafesinin Etkisi: Bu tür bir etkinin incelenmesi için aynı süre boyunca örneklenen konumlar seçildi. Az yankılı kanallarda hareket mesafesinin kısalmasının FİF' i ve TBG' yi genişlettiği (Şekil 4) ancak orta derecede yankılı kanallarda hareket mesafesindeki değişimin FİF' i etkilemediği görüldü (Şekil 5).

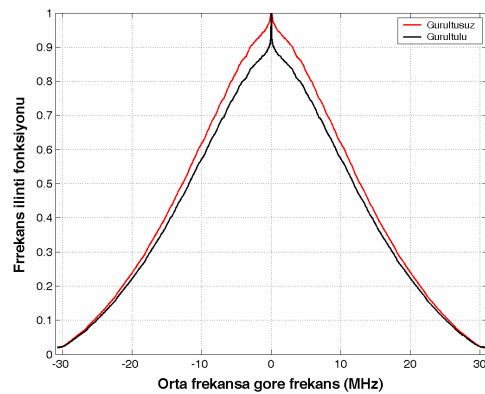


Şekil 4: Az yankılı kanalda hareket mesafesindeki değişimin FİF' e etkisi



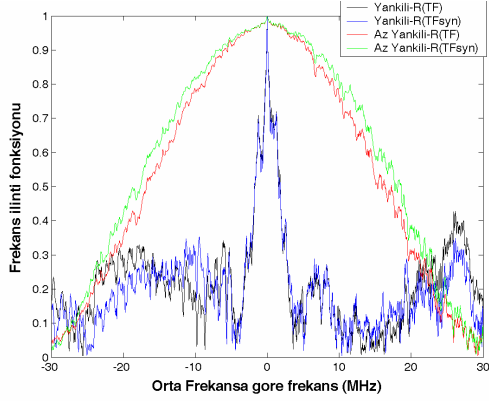
Şekil 5: Orta derecede yankılı kanalda hareket mesafesindeki değişimin FİF' e etkisi

B) Gürültü Tabanının Etkisi: Bu etkinin incelenmesi için az yankılı kanal verisine toplamsal beyaz Gauss gürültüsü eklendi. Gürültü tabanındaki yükselmenin FİF' i daralttığı gözlemlendi (Şekil6).



Şekil 6: Gürültü tabanının FİF' e etkisi

C) Eş Zamanlamanın Etkisi: Bu etkinin [11] incelenebilmesi için kanalın eş zamanlaması yapılmış geçiş işlemindeki ayrık frekanslar arasındaki ilinti hesaplandı ve eş zamanlaması yapılmamış geçiş işleminde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Az yankılı kanalda eş zamanlamanın TBG'yi arttırdığı, orta derecede yankılı bir kanal için ise değiştirmedeği belirlendi (Şekil7).

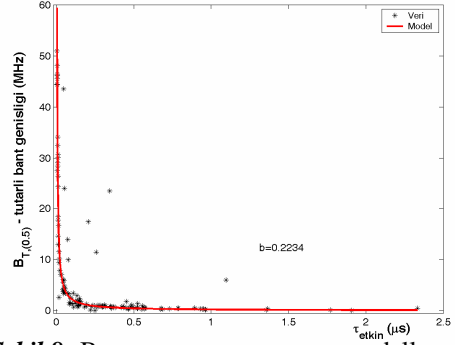


Şekil 7: Eş zamanlamanın FİF'e etkisi

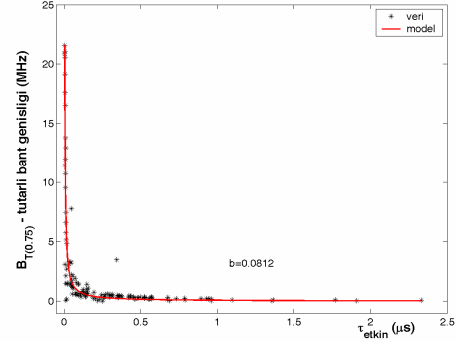
#### 4. $\tau_{\text{etkin}}$ 'den TBG'nin Elde Edilmesi

Literatürde  $\tau_{\text{etkin}}$  ile ilgili çalışma sayısı oldukça fazladır. Buna rağmen TBG ile ilgili bilgiye fazla rastlanmamaktadır. TBG kanalın frekans seçiciliği ile ilgili bilgi verir ve 4K iletişim sistemleri için kullanılması düşünülen çok taşıyıcılı sistemler için önemi büyüktür. Eğer TBG ile  $\tau_{\text{etkin}}$  arasında bir bağıntı bulunabilirse literatürdeki  $\tau_{\text{etkin}}$  değerlerinden karşılık gelen TBG değerleri tahmin edilebilir. TBG ile  $\tau_{\text{etkin}}$  arasında (5)'deki gibi bir ters orantının varlığını incelemek için 136 farklı konum için elde edilen FİF'ler kullanılarak TBG'ler hesaplandı ve bir matriste toplandı. Modelleme aşamasında sadece hızlı Fourier dönüşümü uygulanarak hesaplanan TBG'ler kullanıldı. Eğri uydurma yolu ile modellerden  $B_{T(0.5)} = 0.223 / \tau_{\text{etkin}}$  (Şekil 8),  $B_{T(0.75)} = 0.081 / \tau_{\text{etkin}}$  (Şekil 9) ve  $B_{T(0.9)} = 0.017 / \tau_{\text{etkin}}$  ilişkileri elde edildi.

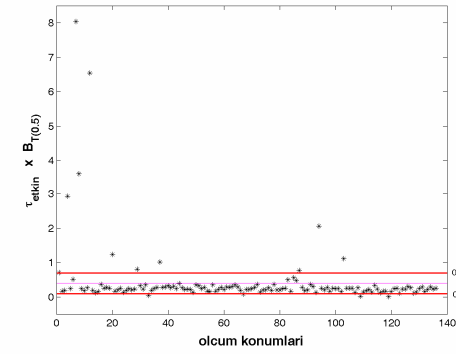
[12]'de öne sürüldüğü gibi TBG ile  $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımının alt sınırının belirlenmesi için 136 farklı konum için elde edilen TBG ve  $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımı hesaplandı.  $B_{T(0.5)}$  ve  $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımının alt sınırının 0.1 (Şekil 10) olduğu ancak  $B_{T(0.75)}$  (Şekil 11) ve  $B_{T(0.9)}$  ile  $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımı için böyle bir alt sınırın olmadığı gözlemlendi.



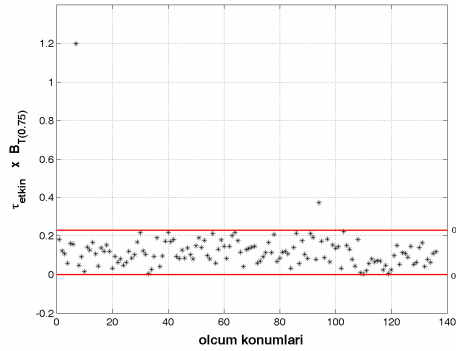
Şekil 8:  $B_{T(0.5)}$   $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımının modellenmesi



Şekil 9:  $B_{T(0.75)}$   $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımının modellenmesi



Şekil 10:  $B_{T(0.5)}$   $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımının ölçüm konularına göre değişimi



Şekil 11:  $B_{T(0.75)}$   $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımının ölçüm konularına göre değişimi

## 5. Vargılar

Bu çalışmada FİF' in etkileyen etmenler incelendi. Benzer yankı durumu için hareket mesafesi uzadıkça TBG' nin daraldığı görüldü. Yankı profilinde gürültü tabanının artmasıyla (sinyal/gürültü oranının azalmasıyla) TBG' nin azaldığı belirlendi. Eş zamanlamanın etkisi sadece az yankılı kanal durumunda görüldü ve TBG' yi genişlettiği gözlemlendi. Ayrıca TBG' nin  $\tau_{\text{etkin}}$  değerlerinden hesaplanabilmesi için bu ikisi arasındaki bağıntının varlığı araştırıldı ve birbiriyle ters orantılı olarak değiştiği belirlendi.  $B_{T(0.5)}$  ve  $\tau_{\text{etkin}}$  çarpımının bir alt sınırı olduğu görüldü.

## 6. Kaynakça

- [1] Van den Bergh R.M. & Chitamu P.J. "Design Considerations for the Fourth Generation Mobile Network Architecture", University of the Witwatersrand, Johannesburg
- [2] Yang L.L., Hanzo L., 2003, "Multicarrier DS – CDMA: A Multiple Access Scheme for Ubiquitous Broadband Wireless Communications", IEEE Communications Magazine, 116-123
- [3] Fazel, K., Kaiser, S., 2003, "Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems", John Wiley&Sons Ltd, England
- [4] Gokalp H., 2001, "Characterisation of UMTS FDD Channels", 2001, A thesis submitted to the university of Manchester Institute of Science and Technology for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Electrical Engineering and Electronics, Manchester, United Kingdom
- [5] Cox D.C., Leck P.R., 1975, "Correlation Bandwidth and Delay-Spread Multipath Propagation Statistics for 910 MHz Urban Mobile Radio Channels", IEEE Trans. On Communications, Vol. 23, No 11, 1271-1280
- [6] Bultitude R.J.C., Bedal K., 1989, "Propogation Characteristics on Microcellular Urban Mobile Radio Channels at 910 MHz", IEEE Journal on selected areas in communications, Vol7, No1,31-39
- [7] Cox D.C., Leck P.R., 1975, "Distribution of Multipath Delay Spread and Average Excess Delay for 910 MHz Urban Mobile Radio Paths", IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Vol. AP-23, No 2, 206-213
- [8] Salous S., 1999, "Measurements of Multipath Delay Statistics Over 72-90 MHz Bandwith at 1.8 GHz in two European Cities Using a Chirp Sounder, Radio Science", Vol. 34, No 4, 796-816
- [9] Rappaport T.S., 1996, "Wireless Communications", Prentice Hall PTR, New Jersey, 635 p.
- [10] Parsons J.D., 1992, "The Mobile Radio Propogation Channel", John Wiley&Sons Ltd, England, 418 p.
- [11] Bultitude R.J.C., 2002, "Estimating Frequency Correlation Functions From Propogation Measurements on Fading Radio Channels: A Critical Review", IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 20, No 6, 1133-1143
- [12] Fleury B.H., 1995, "New Bounds for the Variation of Mean – Square – Continuous – Wide – Sense – Stationary Processes", IEEE Trans. Theory, Vol. 41, 849-852