

SEKTÖRİZE HÜCRESEL İLETİŞİM SİSTEMLERİNİN BAŞARIM ANALİZİ

Aysel ŞAFAK, Baran USLU

Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü,
Başkent Üniversitesi, Bağlıca Kampüsü, 06530 Ankara
asafak@baskent.edu.tr
ibusuln@baskent.edu.tr
fax: (0312) 234 1051

ÖZET

Çeşitli modülasyon metodları hesaba katılarak, sektörize hücresel iletişim sistemlerinin bit hata olasılığı ve spektrum verimliliği cinsinden başarımları hesaplandı. Sayısal hücresel gezgin iletişim sistemlerinin başarımları, istenen ve girişim sinyallerinin Gauss gürültülü, Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve ilintili gölgelemeli olduğu ortamlarda, çift eğimli yol kaybı modeli kullanılarak incelendi. Ayrıca, çeşitli kanallar için sistemin bit hata oranı (BER) karşılaştırıldı. Kullanılan anten tipinin, sektör açısının, frekans tekrarlama aralığının, sinyaller arasındaki ilinti katsayısının, Rice faktörünün, bit enerjisi-gürültü yoğunluğu oranının (E_b/N_0), trafik yükünün diferansiyel faz kaydırmalı anahtarlama modülasyonlu (DPSK) sayısal hücresel iletişim sistemlerinin başarımları ve sistem kapasitesi üzerindeki etkileri incelendi.

ANAHTAR KELİMELER

Sektörizasyon, hücre sektörlendirme, sektör açısı, sektör sistemi

1. GİRİŞ

Kullanıcı sayısı arttıkça, sistem performansını bozmadan daha fazla sayıda aboneye servis vermek için hücresel sistemin kapasitesinin genişletilmesi gerekir. En yaygın sistem genişletme teknikleri; yeni kanal eklenmesi, frekans ödünç alınması, hücresel yapının değiştirilmesi, hücre bölünmesi, sabit ve dinamik kanal tahsis algoritmaları ve sektörizasyon olarak sınıflandırılabilir.

Sektörizasyon yönteminde her hücre 120° , 60° gibi sektörlerle bölünür. Her sektöre ayrı bir yönlü (directional) anten ve kanal grubu tahsis edilerek trafik kapasitesi artırılır. Her sektör yeni bir hücre gibi düşünülür. Baz istasyonlar her hücrenin merkezine veya köşesine yerleştirilir. Birinci durumdaki hücreler merkez-ışmalı (center-excited) hücreler, ikinci durumdaki hücreler köşe-ışmalı (corner-excited) hücreler olarak tanımlanır. Sektörizasyon yönteminde yönlü antenlerin kullanımı, bit hata olasılığını azaltarak aynı frekans kullanan hücrelerin daha yakın

yerleştirilebilmelerine, dolayısıyla kapasite artışına olanak sağlar.

Analog sektörize iletişim sistemlerinin başarımları ve spektrum verimliliğinin incelenmesi çeşitli yayınlarda sunuldu[1-3]. Sayısal iletişim sistemlerinin başarımları ve spektrum verimliliği üzerinde sektörizasyonun etkisi, bugüne kadar sınırlı çalışmalar dışında yayınlanmadı[4-8]. Bu bildiride, çeşitli modülasyon metodları için belirli sistem parametreleri gözönüne alınarak, sayısal hücresel iletişim sistemlerinin hem başarımları, hem de sistem kapasitesi üzerinde sektörizasyonun etkileri incelenmiştir.

2. HÜCRE SEKTÖRLEME

Her hücrenin, yönlü antenlerin kullandığı radyal sektörlerle bölündüğü hücre sektörlendirme metodu, ortakkanal girişimine karşı performansı arttırabilmek için hücresel sistemlerde kullanılan çok yaygın bir metottür. Her hücreye tahsis edilen taşıyıcılar hücre sektörlerine ait alt gruplara bölünürler. Hücre sektörlendirme planı, N_c ; petek başına baz istasyon sayısını ve S ; baz istasyon başına sektör sayısını göstermek üzere ($N_c \times S$) formülüne uygun olarak yapılır.

120° ve 60° hücre sektörlendirme sistemlerinde girişim yapan kullanıcılar Şekil 1'de görülmektedir. Yönlü antenlerin kullanımından dolayı, 120° hücre sektörlendirme sisteminde girişim yapan kullanıcıların sayısı altıdan ikiye, 60° sisteminde bire düşer. Heryönlü (omnidirectional) anten sisteminde en kötü durum için taşıyıcı-girişim oranı aşağıdaki formülle verilir[1]:

$$\frac{\xi_d}{\xi_u} = \frac{1}{6(R_u - 1)^4} \quad (1)$$

Heryönlü anten sistemleri için, Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve gölgelemeli ortamda frekansı yeniden kullanım aralığının(R_u), Rice faktörünün(K), ilinti katsayısının(ρ), sinyal-gürültü oranının(E_b/N_0) bit hata oranı üzerindeki etkileri Şekil 2'de görülmektedir.

120° hücre sektörleme sisteminde taşıyıcı-girişim oranı:

$$\frac{\xi_d}{\xi_n} = \frac{1}{(R_u + 0.7)^{-4} + R_u^{-4}} \quad (2)$$

120° yönlü anten sistemleri için, Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve gölgelemeli ortamda frekansı yeniden kullanım aralığının (R_u), Rice faktörünün (K), ilinti katsayısının (ρ), sinyal-gürültü oranının (E_b/N_0) bit hata oranı üzerindeki etkileri Şekil. 3'te görülmektedir.

Bir hücreyi, altı tane 60° lik yönlü anten kullanarak altı tane sektöre bölebiliriz. Bu durumda her sektör için sadece bir girişim yapan kullanıcı vardır. (7x6) sektör sistemi için taşıyıcı-girişim oranı:

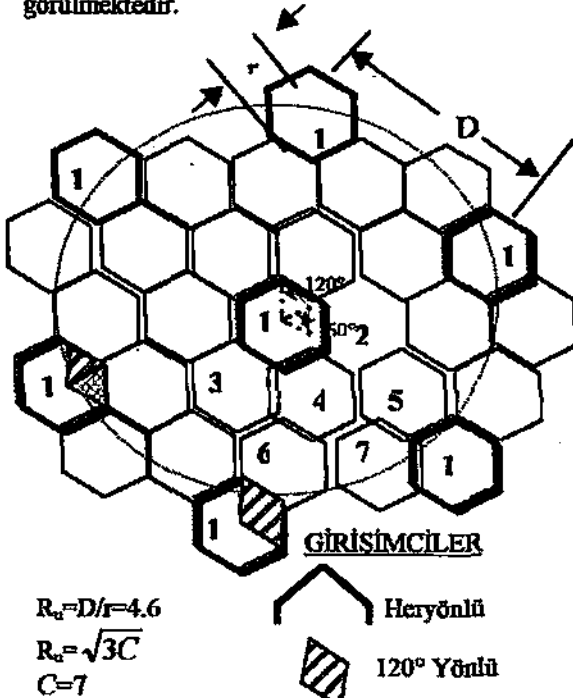
$$\frac{\xi_d}{\xi_i} = (R_u + 0.7)^4 \quad (3)$$

(4x6) sektör sistemi için taşıyıcı-girişim oranı:

$$\frac{\xi_d}{\xi_i} = (R_u + 1)^4 \quad (4)$$

60° yönlü anten sistemleri için, Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve gölgelemeli ortamda frekansı yeniden kullanım aralığının (R_u), Rice faktörünün (K), ilinti katsayısının (ρ), sinyal-gürültü oranının (E_b/N_0) bit hata oranı üzerindeki etkileri Şekil. 4'te görülmektedir.

Şekil. 2, 3 ve 4'te görüldüğü gibi frekans tekrarlar aralığının, petek büyüklüğünün, Rice faktörünün, sinyal-gürültü oranının ve sinyaller arasındaki ilinti katsayısının büyük değerlerine gidildikçe bit hata oranı düşmektedir. Şekil. 2,3 ve 4 karşılaştırıldığında sektörlizasyonun artmasıyla bit hata oranının azaldığı görülmektedir.



Şekil 1

Yedi Hücreli Sistemde Girişim Yapan Hücreler

3. BİT HATA OLASILIĞI

Hareketli iletişim sistemlerinde bit hata olasılığı P_b aşağıdaki denklemle verilir[4]:

$$P_b = \sum_{n=1}^6 \binom{6}{n} P_n(e|n) ac^n (1-ac)^{6-n} \quad (5)$$

Burada n , etkin ortak kanal girişim sinyallerinin sayısı, ac , Erlang cinsinden kanal başına taşınan trafiği göstermektedir. n tane aktif ortak kanal girişim sinyallerinin varlığında ve Rice sönümlü ortamlarda nonkoherent DPSK&FSK için şartlı bit hata olasılığı $P_n(e|n)$:

$$P_n(e|n) = \frac{1}{2(1+R)} e^{\left(\frac{K_d R}{1+R}\right)} \quad (6)$$

Burada, Rice faktör $K_d = P_{sd}/P_{od}'$ ve istenen sinyalin yerel ortalama gücü $P_{sd} = P_{sd} + P_{od}' = P_{od}'(1+K_d)$ dir. P_{sd} istenen sinyalin alıcıya direkt ulaşan (LOS) bileşenlerinin toplamı ve P_{od}' , yansıyarak gelen (diffüze) bileşeni gösterir.

$$R = \frac{P_{od}' T_b}{AP_{on} T_b + BN_0} = \frac{1}{1+K_d} \left[\frac{1}{\frac{A}{P_{od}/P_{on}} + \frac{B}{E_b/N_0}} \right] \quad (7)$$

Nonkoherent DPSK için; $A=B=1$, nonkoherent FSK için; $A=B=2$ dir. Koherent BPSK&SK için;

$$P_n(e|n) = (1/2) \operatorname{erfc}(P_d T_b / AP_{on} T_b + BN_0)^{1/2} \quad (8)$$

Burada $E_b/N_0 = P_{sd} T_b / N_0$ dir. N_0 Gauss istatistikli gürültü yoğunluğunu ve T_b bit süresini gösterir. Frekansı yeniden kullanım aralığı, $R_u = D/r$ ve yol kayıp eğrisinin dönmüş noktası, $G = g/r$ olmak üzere,

$$P_{sd} / P_{on} = R_u^a [(G + R_u) / G + 1]^2 / n \quad (9)$$

ile verilmiştir. $K_d=0$ için (6) denklemi Rayleigh sönümlü ve $K \rightarrow \infty$ için sönümsüz duruma dönüşür. İstenen sinyali gölgelemeli LOS bileşenli ve Rice sönümlü olduğunda, şartlı bit hata olasılığı $P_n(e|n)$,

$$P_n(e|n) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}(1+R)} \int_0^\infty e^{-t^2/2} e^{\left(\frac{K_d R}{1+R} e^{-at}\right)} dt \quad (10)$$

Burada $K_d' = \exp(m_{sd}) / P_{sd}'$ dir. İstenen ve enterferans sinyallerinin tamamen ilintili gölgelemeli olması durumunda, şartlı bit hata olasılığı $P_b(e|n)$,

$$P_e(e|n) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2(1+R)} e^{-\left(\frac{K_d R}{1+R}\right)} f_{P_{od}, P_{on}}(P_{od}, P_{on}) dP_{od} dP_{on} \quad (11)$$

Burada R, (7) denklemi ile tanımlanmıştır. R ifadesindeki $E_b/N_0 = (T_b \xi_d / N_0) e^{\sigma_d x}$ dir. R denklemiindeki P_{od}/P_{on} aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\frac{P_{od}}{P_{on}} = \left(\frac{G+R_d}{G+1} \right)^b R_d^a e^{[m_d - m_d (\alpha_d - \alpha_d \rho_{d,n}) x - \alpha_d \sqrt{1-\rho_{d,n}^2} y]} \quad (12)$$

Burada

$$x = \tau_d = \frac{1}{\sigma_d} \ln \frac{P_{od}}{\xi_d}$$

$$y = (\tau_d - \rho_{d,n} \tau_n) / (1 - \rho_{d,n}^2)^{1/2}$$

$$\tau_n = \frac{1}{\sigma_n} \ln \frac{P_{on}}{\xi_n} \quad (13)$$

ξ_d, ξ_n istenen ve toplam enterferans sinyallerinin alan ortalama gücüdür. R_d , en yakın ortakkanal hücrelerinin merkezleri arasındaki D uzaklığının, r hücre yarıçapına oranı olarak tanımlanmıştır. α_d standart sapmayı, m_d logaritmik ortalama gücü, $\rho_{d,n}$ ise istenen sinyal ile n tane ilintili gölgelemeli enterferans sinyallerinin toplamı arasındaki ilinti katsayısıdır.

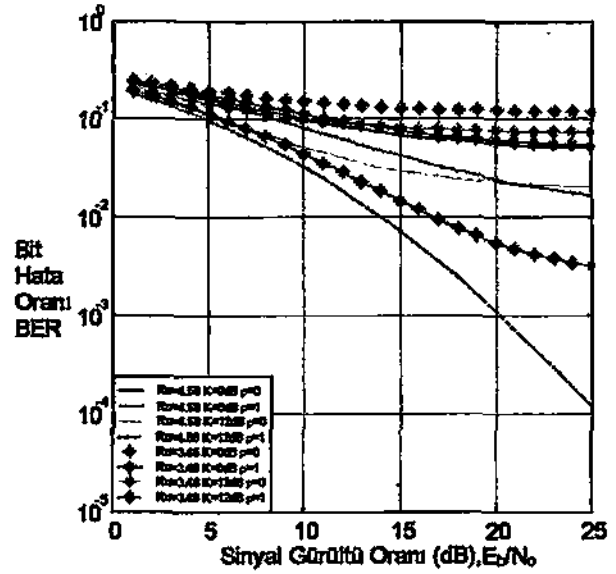
Altıgensel yapıdaki hücresel radyo sistemleri için spektrum verimliliği, (12) ile tanımlanmıştır.

$$E_s = \frac{ac}{WKS_c} = \frac{ac\eta}{R_s KS_c} \text{ erlang/MHz/km}^2 \quad (14)$$

Burada ac (erlang) kanal başına taşınan trafiği, $W(\text{MHz}) = R_s/\eta$ kanal başına bant genişliği, $S_c(\text{km}^2)$ hücre alanı, $K = R_s^2/3$ öbek başına hücre sayısı, η kullanılan modülasyon tekniğinin etkin bant genişliğini, R_s data hızını gösterir.

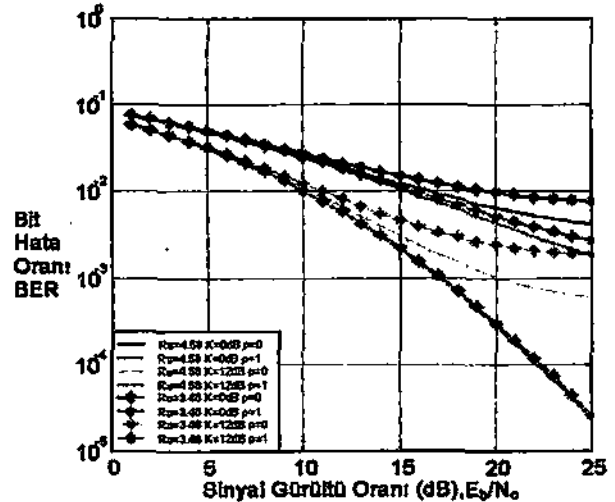
Heryönlü anten sistemleri için Rician/Rayleigh sönümlmeli ve gölgelemeli ortamda Rice faktörünün(K) ve kanal başına trafiğin(ac) spektrum verimliliği üzerindeki etkileri Şekil. 5'te görülmektedir. Burada, toplam bit hata oranının alınan sabit bir değeri için Rice faktörünün ve trafik parametresinin artmasıyla spektrum verimliliği artmaktadır.

Rician/Rayleigh sönümlmeli ve gölgelemeli ortamda, Rice faktörünün(K) ve ilinti katsayısının(ρ) spektrum verimliliği üzerindeki etkileri, heryönlü anten sistemleri için Şekil. 6'da; 120° yönlü anten sistemleri için Şekil. 7'de görülmektedir. Şekil. 6'da, Rice faktörünün ve sinyaller arasındaki ilinti katsayısının artmasıyla spektrum verimliliğinin alınan sabit bir değeri için bit hata oranı azalmakta dolayısıyla sistemin başarımı artmaktadır. Şekil. 6 ve 7 karşılaştırıldığında sektörisizasyonun artmasıyla bit hata oranı düşmektedir.



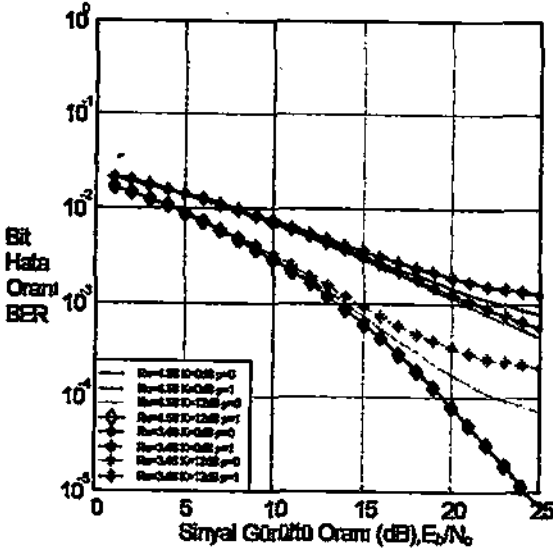
Şekil 2

Heryönlü anten sistemleri için, Rician/Rayleigh sönümlmeli ve gölgelemeli ortamda frekansı yeniden kullanım aralığının(R_s), Rice faktörünün(K), ilinti katsayısının(ρ), sinyal-gürültü oranının(E_b/N_0) bit hata oranı üzerindeki etkileri.



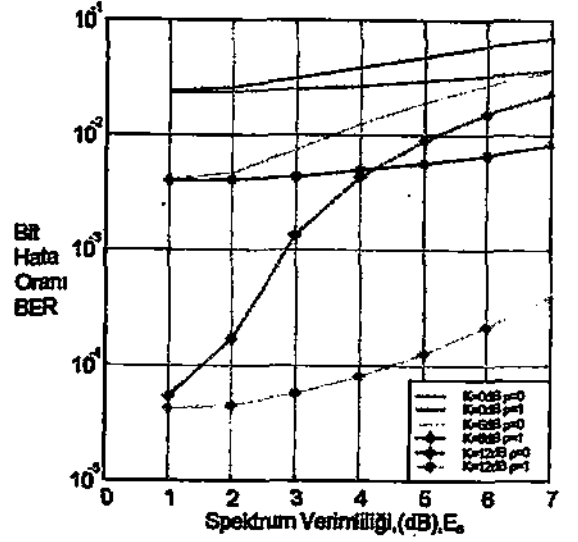
Şekil 3

120° yönlü anten sistemleri için, Rician/Rayleigh sönümlmeli ve gölgelemeli ortamda frekansı yeniden kullanım aralığının(R_s), Rice faktörünün(K), ilinti katsayısının(ρ), sinyal-gürültü oranının(E_b/N_0) bit hata oranı üzerindeki etkileri.



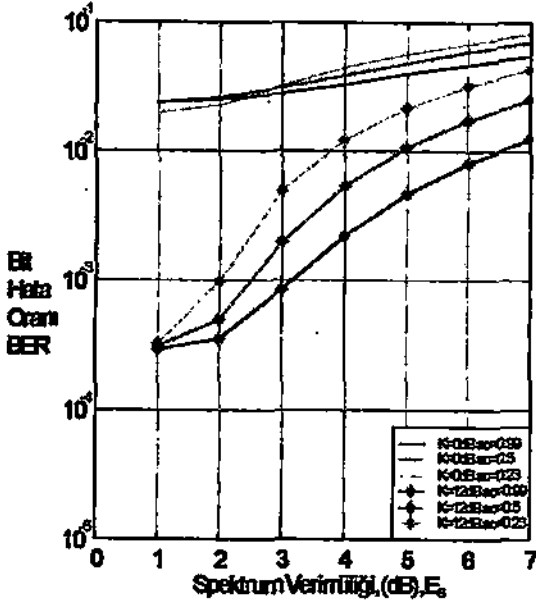
Şekil. 4

60° yönlü anten sistemleri için, Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve gölgelemeli ortamda frekans yeniden kullanımı arabirimi(R_u), Rice faktörünün(K), ilinti katsayısının(ρ), sinyal-gürültü oranının(E_b/N_0) bit hata oranı üzerindeki etkileri.



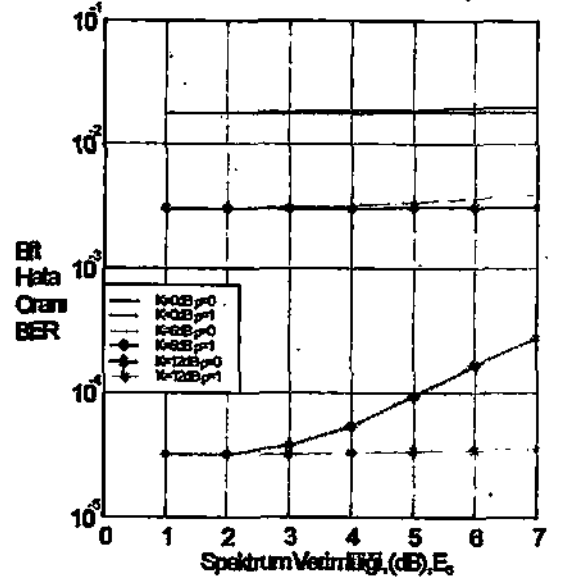
Şekil. 6

Heryönlü anten sistemleri için Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve gölgelemeli ortamda Rice faktörünün(K) ve ilinti katsayısının(ρ) spektrum verimliliği üzerindeki etkileri.



Şekil. 5

Heryönlü anten sistemleri için Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve gölgelemeli ortamda Rice faktörünün(K) ve kanal başına trafiğin(ρ) spektrum verimliliği üzerindeki etkileri.



Şekil. 7

120° yönlü anten sistemleri için Rician/Rayleigh sönümlenmeli ve gölgelemeli ortamda Rice faktörünün(K) ve ilinti katsayısının(ρ) spektrum verimliliği üzerindeki etkileri.

5. SONUÇ

Frekans tekrarlama aralığının, petek büyüklüğünün, Rice faktörünün, sinyal-gürültü oranının ve sinyaller arasındaki ilinti katsayısının artmasıyla bit hata oranı düşmektedir. Sektörizasyonun artmasıyla bit hata oranı azalmakta dolayısıyla sistemin başarımı artmaktadır. Ayrıca sektörizasyonun artmasıyla spektrum verimliliği artmaktadır. Hücresel sistemin kapasitesini artırmak için hücre alanını veya petek büyüklüğünü küçültmek yerine dar bantlı sektörleri seçmek daha uygun görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] W.C.Y.Lee, "Elements of Cellular Mobile Radio Systems", IEEE Trans. Veh. Tech., vol.35, no.2, pp.48-56, May 1986
- [2] A. Şafak and R. Prasad, "Effects of Correlated Shadowing Signals on Channel Reuse in Mobile Radio Systems", IEEE Trans. Veh. Tech., vol.40, no.4, pp.708-713, November 1991
- [3] G.K. Chan, "Effects of Sectorization on the Spectrum Efficiency of Cellular Radio Systems", IEEE Trans. Veh. Tech., vol.41, no.3, pp.217-225, August 1992
- [4] R. Prasad, A. Kegel and C. Rönne, "Performance Analysis of a Sectorized Mobile Microcellular Radio System with Diversity and Forward Error Correction Coding", Proc. IEEE/PIMRC'94 Conf., The Hague, the Netherlands, vol.1, pp.357-361, September 1994
- [5] T.S.P. Yum and W.S. Wang, "Hot-Spot Traffic Relief in Cellular Systems", IEEE J. Select. Areas Commun. vol. SAC-11, no.6, pp. 934-939, August 1993
- [6] R. Haas and J.C. Belfiore, "Spectrum Efficiency Limits in Mobile Cellular Systems", IEEE Trans. Veh. Tech., vol.45, no.1, pp.33-40, February 1996
- [7] G. Yang, K. Pahlavan and T.J. Holt, "Sector Antenna and DFE Modems for High Speed Indoor Radio Communications", IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 43, no.4, pp.925-933, November 1994
- [8] H. Jiang and S.S. Rappaport, "Channel Borrowing without Locking for Sectorized Cellular Communications.", IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 43, no.4, pp.1067-1077, November 1994