SENKRON DİREKT-DİZİN KOD-BÖLMELİ ÇOKLU-ERİŞİM SİSTEMLERİ İÇİN HIZLI-KAYAN ÇOK-GÖNDERİM-YOLLU KANALLAR ÜZERİNDE ZAMAN-FREKANS KARAR-DESTEKLİ ÇOK-KULLANICILI DATA-BELİRLEME ALGORİTMALARINDA ÖN-BİRLESTİRİMLİ VE GERİ-BİRLESTİRİMLİ ENTERFERANS BASTIRIMININ KIYASLAMALI ANALİZİ ÜZERİNE

Özgür Ertuğ, Buyurman Baykal and Berna Sayrac Ünal

Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
oertug@metu.edu.tr, buyurman@metu.edu.tr, bunal@ea.eee.metu.edu.tr

Özetçe

CDMA sistemleri için çok-kullanıcılı data-belirleme algoritmalarini incelersek, algoritmalarin iki ana operasyon uyguladığını görebiliriz: Enterferans bastırımı ve zaman-frekans çeşitlilik birleştirimi, bu yüzden bu operasyonların uygulanım sırasına göre iki olası yapı vardır: enterferans bastırımı öncesi birleştirim (çeşitlilik birleştirimi ve sonra enterferans bastırımı) ve enterferans bastırımı sonrası birleştirim (enterferans bastırımı ve sonra çeşitlilik birleştirimi). Bu makalede amacımız uygulamalarındaki birbirlerine göre performanslarını analiz ederek ortaya çıkartmaktır. Gerçekçi hızlı-kayan kanal modeline dayanan simulasyon sonuçlarımızın gösterdiğine göre enterferans bastırımı sonrası birleştirim enterferans bastırımı öncesi birleştirime göre daha iyi bir bit hatası olasılığına sahip olup performans farkı zaman-frekans işlemenin boyutuyla artmaktadır, öte yandan enterferans bastırımı öncesi birleştirim enterferans bastırımı sonrası birleştirime göre daha düsük bir sayısal karmasıklığa sahiptir.

1 Giriş:

Kod-bölmeli çoklu-erişim (CDMA) uzun senelerdir üzerinde uğraşılan popüler bir rastlantısal erişim tekniği olmustur. Günümüzde kısa-mesafe telsiz haberleşme, uydu ağları veya hücresel mobil telsiz radyo haberleşme sistemleri gibi askeri veya ticari birçok işletilen CDMA sistemi mevcuttur. Örnek olarak, direkt-dizin yaygın-bant kod-bölmeli çoklu-erişim'in (DS-SS-CDMA) uygulanması IS-95 standardı ile başlatılmıştır [2]. Buna ek olarak, Geniş-Bant CDMA (WCDMA) [6] üçüncü jenerasyon hücresel iletişim sistemleri icin hava yüzeyi metodu olarak seçilmiştir.

Yakın zamanda bir seri makalede hızlı kayan çok gönderim yollu kanalların karakteristiklerinden yola çıkılan *zaman-frekans ortak çok gönderim yolu-Doppler çeşitliliği* adı altında yeni bir calışma çatısı önerilmiştir [7, 9, 8, 1, 5]. Bu fikrin temeli sistemlerde ana performans düşüşüne neden olan Doppler etkisini tam tersine bir ceşitlilik unsuru olarak kullanmaktır. Böyle bir formulasyon telsiz haberleşme sistemlerinde karşılaşılan ufak Doppler kaymaları ile bile uygun sinyalleme altında büyük performans kazançları sağlamaktadır.

Zaman-frekans ortak çok gönderim yolu-Doppler ceşitliliği alınan sinyali imza sinyalinin zaman ve frekans kaydırılmış halleriyle korele eden bir zaman-frekans RAKE almacı önyüzü ile sağlanmaktadır. [3] ve [4] makalelerimizde zaman-frekans çok gönderim yolu-Doppler çeşitliliği modelini baz alan zaman-frekans karar-destekli çok kullanıcılı almaç yapıları sunmuştuk. Bu almaçları incelersek almaçların iki ana operasyon uyguladığını görebiliriz: çok kullanıcı gürültüsü bastırımı ve zaman-frekans çeşitlilik birleştirimi. Bu iki operasyonun uygulanım sırasına göre iki değişik almaç yapısı mümkündür: ön-birleştirimli bastırıcı ve geri-birleştirimli bastırıcı. Bu makalede amacımız bu iki olası yapıyı inceleyerek performanslarını karşılaştırmaktır.

2 Sistem Modeli ve Ön-birleştirimli/Geri-birleştirimli Zaman-Frekans Çok Kullanıcı Almaçları:

Takip eden ve ispatı [9] makalesinde bulunabilecek olan teorem hızlı kayan çok gönderim yollu kanalın ve alınan sinyalin kanonik belirlemesini yapar ve zaman-frekans çok gönderim-yolu-Doppler modelinde önemli bir rol oynar:

Teorem. Alınan sinyal $s(t)$ aşağıdaki sonlu-boyutlu tanımı kabul eder:

$$s(t) \approx \frac{T_c}{T} \sum_{n=0}^{N} \sum_{l=-K}^{K} \hat{H}(\frac{l}{T}, nT_c)\, u_{l,n}(t), \tag{1}$$

where $N = \lceil T_m/T_c \rceil \approx \lceil T_m B \rceil$ ve $K = \lceil B_d T \rceil$.
Temel dalga formları $u_{l,n}(t)$ şu şekildedir:

$$u_{l,n}(t) = (\mathbf{F}_{\frac{l}{T}} \mathbf{T}_{nT_c} q)(t) = q(t - nT_c) e^{\frac{j2\pi lt}{T}}, \tag{2}$$

ve yaklaşık olarak birbirine diklerdir. Şekil 1 (1)'deki $D_p = (N+1)x(2M+1)$ boyutlu zaman-frekans örneklemesini göstermektedir.

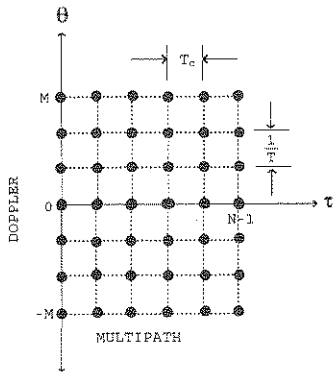


Figure 1: Kanonik kanal tanımındaki zaman-frekans örneklemesi.

(1) ayrıca bağımsız çok gönderim yolu-Doppler kanallarındaki yeterli istatistikleri elde etmek için gerekli uyumlu filtre yapılarını da vermektedir:

$$u_{l,n}^m(t) = (\mathbf{F}_{\frac{l}{T}} \mathbf{T}_{nT_c} q^m)(t) = q^m(t - nT_c) e^{j\frac{2\pi lt}{T}},$$

$$k = -K, ..., 0, ..., +K,\ n = 0, 1, ..., N-1., \tag{3}$$

Uyumlu filter çıktılarını tam olarak örneklenmiş kısa-zaman Fourier transformu ile veya diğer bir deyişle zaman-frekans RAKE önyüzü ile elde edilebilceği görülebilir ve bu yeterli istatistikler şu şekildedir [8]:

$$\langle r, u_{l,n}^m \rangle = \mathbf{STFT}_r(\frac{l}{T}, nT_c; q^m), \tag{4}$$

Şekil 2 zaman-frekans RAKE önyüzünün kısa-zaman Fourier transform ile bulunmasını göstermektedir.

Tek kullanıcı durumuna karşılık gelen çok kullanıcı gürültüsünün yokluğunda optimal almaç TF-RAKE-MRC almacıdır, fakat TF-RAKE-MRC almacı çok kullanıcı durumunda çok kullanıcı gürültüsünü ihmal ettiğinden uzak-yakın etkisinden önemli performans düsüsüne uğramaktadır. Bu performans

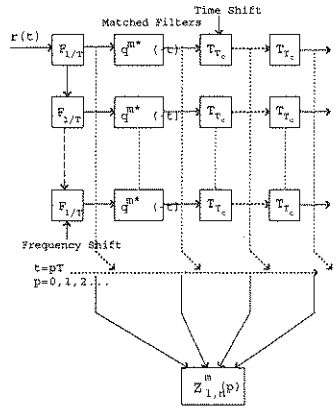


Figure 2: Örneklenmiş kısa-zaman Fourier transformun zaman-frekans uyumlu filtreler ile implementasyonu.

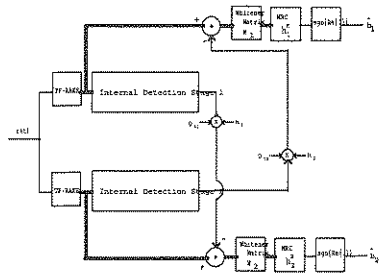


Figure 3: Geri-birleştirimli almaçlarin genel şematiği.

düsüşünden motivasyon alarak TF-RAKE önyüzüne dayalı uzak-yakın etkisinden bağımsız çok kullanıcı almaç yapıları literatürde araştırılmıştır. TF-RAKE-MRC almacının performansını çok kullanıcı gürültüsünü bastırarak geliştiren zaman-frekans optimum maksimum-yakınlık (TF-OPT-ML), zaman-frekans dekorelasyon (TF-DEC) ve zaman-frekans minimum averaj hata kare (TF-MMSE) almaçları [1, 5]'de geliştirilmiştir.

[3, 4]'da nonlineer zaman-frekans karar-destekli çok kullanıcı almaçlarını TF-RAKE önyüzünün ürettiği yeterli istatistiklerden çok kullanıcı gürültüsünü zaman-frekans çok aşamalı genel almaç (TF-MS-CONVFS), zaman-frekans çok a{samali dekorelasyon (TF-MS-DECFS) veya zaman-frekans çok aşamalı MMSE (TF-MS-MMSEFS) yapıları gibi bir önceki iç sinyal işleme aşamasının ürettiği ara kararları kullanarak temizleme fikrine dayanarak geli{stirmiştik ve bu yapılar karar-destekli olmayan yapılara nazaran daha iyi bir bit hata olasılığı sergilemişti. Bu almaçlarin genel şematik diagramları {Sekil 3 ve 4'de verilmiştir.

Bu almaçları incelersek, almaçların iki ana operasyon uyguladığını görebiliriz: çok kullanıcı gürültüsü bastırımı ve çeşitlilik birleştirimi, bu yüzden bu operasyonların uygulanım sırasına göre iki çeşit almaç mümkündür: ön-birleştirimli bastırım ve geri-birleştirimli bastırım. Açıkça görülebileceği gibi ön-birleştirimli bastırım geri-birleştirimli bastırıma göre daha düşük bir sayısal karmaşıklığa sahiptir fakat simulasyonlar bölümünde görüleceği gibi geri-birleştirimli bastırım almaçları ön-birleştirimli bastırımlı almaçlara göre daha iyi bir bit hatası olasılığına sahiptir.

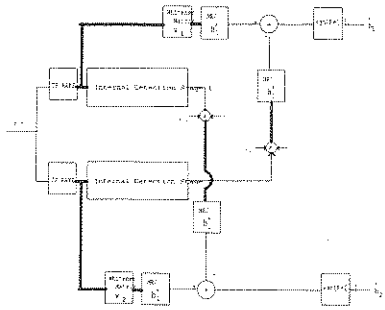


Figure 4: Ön-birleştirimli almaçların genel şematiği.

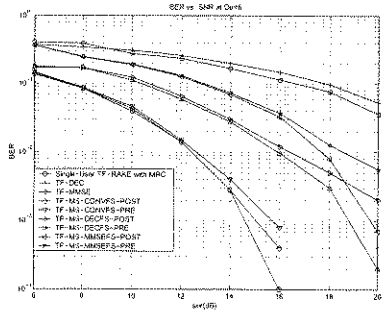


Figure 5: Simule Edilmis Bit Hata Orani vs. SNR, $D_p = 6$.

3 Simulasyonlar:

Bu bölümün amacı ön-birleştirimli ve geri-birleşitirimli çok kullanıcı almaçlarının performanslarını simulasyonlar sonucu ortaya çıkarmaktır. Kullanılan genişletme dalga formları kazanç katsayısı 7 olan Gold-kodu setinden seçilmiştir. 10 KHz data hızı, tasıyıcı frekansı 1800 MHz ve mobil hızı maksimum 50 mph için çözülen gönderim yolu sayısı, Doppler sayısı, gönderim yolu gecikme dağılımı ve Doppler yayınımı Tablo 1'de verilmiştir. Monte-Carlo simulasyonları her data noktası için 10000 bağımsız deney üzerinden gerçekleştirilmiştir.

D_p	M	D	T_m (msec)	B_d (KHz)
1	1	1	0.014	10
3	1	3	0.014	30
6	2	3	0.028	30
15	3	5	0.042	50

Table 1: Gönderim yolu parçaları(M), Doppler parçaları(D), gönderim yolu gecikme yayınımı ve Doppler frekans yayınımı tablosu

$D_p = 6$'da çok kullanıcı almaçlarını bit hata oranı Şekil 6'da verilmiştir. Tek kullanıcı TF-RAKE-MRC almaçı alt performans sınırını vermektedir Simulasyon sonuçlarının gösterdiğine göre D_p=6'da ön-birleştirimli almaclar geri-birleştirimli almaclara göre çeşitlilik kazancının kaybından kaynaklanan daha kötü bit hata oranına sahiptir.

Şekil 7'de ön-birleştirimli ve geri-birleştirimli çok kullanıcılı almacların bit hata oranı perfor-

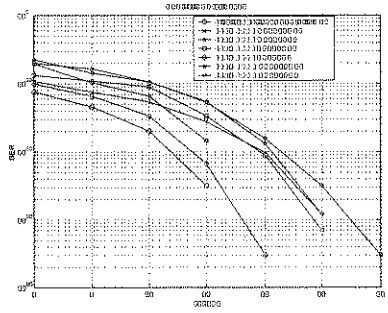


Figure 6: Simule Edilmi{s
Bit Hata Oranı vs. SNR, $D_p = 15$.

mansı $D_p = 15$'de verilmiştir. TF-RAKE-MRC almacı yine alt performans sınırını vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bağımsız çeşitlilik kanallarının sayısı 6'dan 15'e çıktığında ön-birleştirimli ve geri-birleşitirimli almaclar arasındakı bit hata oranı performans farkı daha yüksek çeşitlilik kazancı kaybından dolayı daha da açılmaktadır.

4 Sonuçlar:

Mobil komunikasyon sistemlerinde hızlı kayan çok gönderim yollu kanallar majör bir performans kısıtlayıcı faktördür ve optimal performans için zaman-frekans işleme teknikleri kullanlmalıdır. CDMA sistemleri için çok-kullanıcılı data-belirleme algoritmalarini incelersek, algoritmalarin iki ana operasyon uyguladığını görebiliriz: Enterferans bastırımı ve zaman-frekans çeşitlilik birleştirimi, bu yüzden bu operasyonların uygulanım sırasına göre iki olası yapı vardır: enterferans bastırımı öncesi birleştirim (çeşitlilik birleştirimi ve sonra enterferans bastırımı) ve enterferans bastırımı sonrası birleştirim (enterferans bastırımı ve sonra çeşitlilik birleştirimi). Bu makalede amacımız uygulamalarındakı birbirlerine göre performanslarını analiz ederek ortaya çıkartmaktır. Gerçekçi hızlı-kayan kanal modeline dayanan simulasyon sonuçlarımızın gösterdiğine göre enterferans bastırımı sonrası birleştirim enterferans bastırımı öncesi birleştirime göre daha iyi bir bit hatası olasılığına sahip olup performans farkı zaman-frekans işlemenin boyutuyla artmaktadır, öte yandan enterferans bastırımı öncesi birleştirim enterferans bastırımı sonrası birleştirime göre daha düsük bir sayısal karmasıklığa sahiptir.

References

[1] B. Aazhang A. M. Sayeed and Andrew Sendonaris. Multiuser detection in fast-fading multipath environments. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. JSAC-16:1691–1701, December 1998.

[2] Telecommunication Industry Association. Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular systems, July 1993.

[3] O. Ertug and B. Baykal. Time-frequency decision-driven multiuser detectors over fast-fading multipath channels for synchronous ds-cdma systems. Submitted to PIMRC 2001, San Diego, CA, USA.

[4] O. Ertug and B. Baykal. Time-frequency decorrelating decision-feedback multiuser detector over fast-fading multipath channels for synchronous ds-cdma systems. Proceedings of IEEE Signal Processing Advances in Wireless Communications Conference (SPAWC'01), s. 170-173, March 20-23, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.

[5] T. Kadous and A. M. Sayeed. Decentralized multiuser detection for time-varying multipath channels. Submitted to IEEE Transactions on Communications, July 1999.

[6] T. Ojanpera and R. Prasad. *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications.* Artech House, 1998.

[7] A. M. Sayeed. Canonical multipath-doppler coordinates in wireless communications. In *36th Annual Allerton Conference*, September 1998.

[8] A. M. Sayeed and B. Aazhang. Communication over multipath fading channels: A time-frequency perspective. In *PIMRC'97*, September 1997.

[9] A. M. Sayeed and B. Aazhang. Joint multipath-doppler diversity in mobile wireless communications. *IEEE Transactions on Communications*, vol. COMM-47:123–132, January 1999.