

Uzay Zaman Kodlanmış Çoklu Anten Sistemleri için Basit bir Döngülü Denkleştirici

A Simple Iterative Equalizer for Space Time Coded Multiple Antenna Systems

Tansal Güçlüoğlu

Kadir Has Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34083, Cibali, İstanbul

tansal@khas.edu.tr

Özetçe

Bu bildiri, uzay zaman kodlanmış çoklu anten sistemleri için düşük karmaşıklığa sahip basit bir döngülü denkleştirici tanıtılmakta ve frekans seçici hızlı ve yarı-durağan sönümlenmeli kanallardaki başarımı incelenmektedir. Benzetim sonuçları önerilen alıcıda başarımın her döngüyle iyileştiğini göstermektedir. En iyi denkleştiricilerin gerçekte kullanımını engelleyen yüksek karmaşıklığı göz önüne alındığında, önerilen döngülü alıcı özellikle işaret kümesi büyüklüğü, anten ve kanal kademe sayısı yüksek telsiz sistemler için daha cazip görünmektedir.

Abstract

In this paper, a simple low complexity iterative receiver for space-time coded (STC) transmission is proposed and the performance over frequency-selective fast and quasistatic fading channels is investigated. Simulation results show that the performance of the proposed structure improves with each iteration. Considering the practically prohibitive complexity of optimal equalizers, the proposed iterative receiver can be more desirable in wireless systems with large number of antennas, big constellation sizes and with lengthy multipaths.

1. Giriş

Telsiz iletişim sistemlerinde veri hızını artırmak için sembol süresi kısaltıldığında kanalın frekans seçici olma ihtimali artmaktadır. Frekans seçici kanallarda semboller arası karışımından kaynaklanan yüksek hata oranını azaltmak için alıcıda denkleştirici kullanılabilir [1]. Diğer taraftan, veri hızını ve güvenilirliğini artırmak için kullanılabilen uzay-zaman kodları frekans seçici kanallarda kullanıldığında [2, 3] uzay ve çoklu-yol çeşitliliği elde etmek mümkün olabilmektedir. Vericide kodlamadan sonra serpiştirici kullanılması ve alıcıda döngülü denkleştirici/kodçözücü çalıştırılması başarımı artırabilmektedir [4]. Bu tür alıcılar yumuşak bilgi üreten ve kullanabilen sezim algoritmaları gerektirmektedir. Örneğin döngülü alıcılarda denkleştirici veya kodçözücü olarak kullanılabilen MAP algoritması [5] optimal olmasına rağmen hesaplama karmaşıklığı kod veya kanal hafıza miktarıyla üssel olarak artmaktadır. Özellikle çoklu anten, büyük işaret kümesi kullanan iletişim sistemleri için karmaşıklığı düşük algoritmalar önerilmesi ve başarımlarının araştırılması fevkalade önemlidir.

Literatürde karar geribeslemeli denkleştiriciler (KGD) oldukça iyi anlaşılabilir olup karmaşıklığı optimal denkleştiriciye göre çok daha az olması ve basit yapısı nedeniyle pratik sistemlerde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Çok girdili çok çıktılı (ÇGÇÇ) sistemleri için KGD tabanlı döngülü alıcı tasarımlarına ihtiyaç vardır. Bu bildiri, tek antenli sistemlerde ve sönümlenmeli olmayan sabit sembollerarası karışım kanallarında kullanılmak üzere tasarlanan [6] yumuşak bilgi üretebilen döngülü karar geri-beslemeli denkleştiricisi (DKGD), çoklu anten sistemlerinde kullanılmak üzere [7]'de bahsedilen ÇGÇÇ KGD yapısı kullanılarak bit serpiştirilmiş uzay zaman kodlanmış sistemlerin frekans seçici kanallar üzerinde kullanılabilmesi için uyarlanmıştır. Önerilen yeni alıcının bit hata başarımı hızlı ve yarı-durağan sönümlenmeli çoklu anten sistemleri için grafiksel olarak gösterilmiştir.

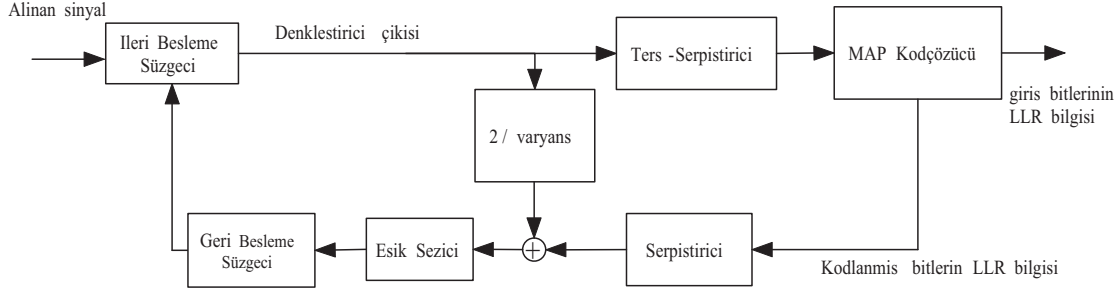
Bildiri şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2 karar geri beslemeli döngülü denkleştiriciyi açıklamaktadır. Bölüm 3 çoklu anten sistemleri için önerilen yeni alıcı yapısını tanıtmaktadır. Bölüm 4 benzetim sonuçlarını ve son olarak Bölüm 5 bu bildiriye bulguları özetlemektedir.

2. Döngülü Karar Geri-beslemeli Denkleştirici

Karar geri-beslemeli denkleştiricisi (KGD) ileri ve geri besleme olarak adlandırılan iki sonlu dürtü yanıtı süzgeçten oluşup ortalama karesel hatayı enküçükleme kriterini kullanarak sembollerarası girişim etkisini azaltmaktadır [1]. Süzgeçlerden biri yayılmış olan sembol enerjisini birleştirirken diğeri ise önceki sembollerin etkisini geribesleme yoluyla kanal bilgisini de kullanarak o anki sembolden çıkarmaktadır.

Blok diyagramı Şekil 1'de gösterilen döngülü karar geribeslemeli denkleştiricisi (DKGD) [6] geleneksel karar geribeslemeli denkleştiricisinin basitçe bir değişikliğiyle elde edilmiştir. Bu yapı serpiştirilip kodlanmış bitler frekansa bağlı kanallar üzerinden gönderildiğinde alıcıda döngülü denkleştirici/kodçözücü olarak kullanılabilir. Kodçözücü ve denkleştirici kodlanmış bitlerin yumuşak bilgilerini döngülü olarak değiştokuş ederek bilgi kaynağından gönderilen bitler için daha doğru karar verilmesini sağlamaktadır.

Genel olarak KGD çıkışındaki sembollerin histogramı incelendiğinde yaklaşık olarak Gaussian dağılımlı rastsal değişken



Şekil 1: Döngülü Karar Geribeslemeli Denkleştirici.

olarak temsil edilebileceği kolayca gözlenebilir [6]. Bu nedenle, k anında iletilen sembol $c(k)$ ile ilgili yumuşak bilgi (LLR) $L(\hat{c}(k))$, KGD çıkışındaki semboller $\hat{c}(k)$ ve onların varyansı σ^2 kullanılarak şu şekilde elde edilebilir,

$$L(\hat{c}(k)) = \frac{2}{\sigma^2} \hat{c}(k). \quad (1)$$

Örneğin ikili faz kaydırmalı kipleme sembolleri kullanıldığında, k anındaki KGD çıkışının varyansı yaklaşık olarak şu şekilde kestirilebilir [6],

$$\sigma_k^2 = \frac{(k-1)\sigma_{k-1}^2 + (|\hat{c}(k)| - 1)^2}{k}. \quad (2)$$

Döngülü alıcı yapısında KGD çıkışları ters-serpiştirildikten sonra optimal MAP kodçözücüsüne gönderilmektedir. Kodçözücü kodlanmış bitler için log-olabilirlik oranını ve girişteki mesaj bitlerinin kestirimlerini elde etmektedir. Kodçözücünden ve denkleştiriciden gelen LLR bilgileri toplanıp eşik seziciden geçerek geribesleme süzgecine gönderilmektedir.

3. Çoklu Anten Sistemleri için Döngülü Karar Geribeslemeli Denkleştirici

Bu bölümde, ÇGÇÇ frekans seçici sönmülemeli kanallarda kullanılmak üzere önerilen döngülü karar geri-beslemeli denkleştirici tanıtılmaktadır. Blok diyagramı Şekil 2'de gösterilen bit serpiştirilip uzay zaman kodlanmış sistemler için kullanılmak üzere Şekil 3'de gösterilen ÇGÇÇ DKGK bir önceki bölümde anlatılan alıcı tekniğinin çoklu anten sistemleri için uyarlanmasıyla elde edilmiştir. ÇGÇÇ frekans seçici sönmülemeli kanal üzerinden M verici ve N alıcı anten kullanılarak yapılan iletimde denkleştirme işlemi için NM ileri besleme ve M^2 geri besleme süzgeci kullanılması gerekmektedir [7].

M verici N alıcı antenli ve D kademeli frekans seçici sönmülemeli kanal modelindeki n 'inci alıcıda k anındaki sinyal aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$y_n(k) = \sqrt{\frac{\rho}{MD}} \sum_{d=0}^{D-1} \sum_{m=1}^M h_{m,n}^d(k) c_m(k-d) + w_n(k). \quad (3)$$

Bu ifadede $h_{m,n}^d(k)$ k anındaki m 'nci verici ve n 'inci alıcı antenler arasında d 'ninci kanal kademesindeki kanal katsayısını, $c_m(k)$ k anındaki m 'nci vericiden iletilen sembolü ve $w_n(k)$ de

n 'inci alıcıdaki gürültüyü temsil etmektedir, ($k = 1, \dots, K$, $K =$ çerçeve uzunluğu). $h_{m,n}^d(k)$ ve $w_n(k)$ bağımsız özdeşçe dağılmış sıfır ortalamalı her boyutta $1/2$ varyanslı karmaşık Gauss dağılımlıdır. ρ her bir alıcı antenindeki ortalama SNR değeridir.

ÇGÇÇ kanal modeli gözönüne alındığında denkleştiricinin m 'nci verici anteninin k anındaki sembolü için kestirimi şu şekilde yazılabilir [7],

$$\tilde{c}_m(k) = \sum_{n=1}^N \mathbf{a}_{mn}^T(k) \mathbf{y}_n^f(k) - \sum_{i=1}^M \mathbf{b}_{im}^T(k) \hat{\mathbf{c}}_i^f(k). \quad (4)$$

Bu ifadedeki alıcı sinyal vektörü $\mathbf{y}_n^f(k)$,

$$\mathbf{y}_n^f(k) = [y_n(k+K_1) \ y_n(k+K_1-1) \ \dots \ y_n(k)]^T, \quad (5)$$

ve en sonki karar sembolleri $\hat{\mathbf{c}}_i^f(k)$, $i = 1, 2, \dots, M$

$$\hat{\mathbf{c}}_i^f(k) = [\hat{c}_i(k-1) \ \hat{c}_i(k-2) \ \dots \ \hat{c}_i(k-K_2)]^T, \quad (6)$$

olarak yazılabilir. Süzgeç katsayıları kanal katsayıları kullanılarak elde edilmektedir [7]. $K_1 + 1$ elemanlı ileri besleme süzgeci katsayıları vektörü

$$\mathbf{a}_{mn}(k) = [a_{mn}^{(-K_1)}(k) \ a_{mn}^{(-K_1+1)}(k) \ \dots \ a_{mn}^{(0)}(k)]^T, \quad (7)$$

ve K_2 elemanlı geribesleme süzgeci katsayıları vektörü

$$\mathbf{b}_{im}(k) = [b_{im}^{(1)}(k) \ b_{im}^{(2)}(k) \ \dots \ b_{im}^{(K_2)}(k)]^T \quad (8)$$

olarak gösterilmektedir. ÇGÇÇ KGD süzgeç katsayıları aşağıdaki ifadeler kullanılarak elde edilmektedir, $i, m = 1, 2, \dots, M$.

$$\mathbf{a}_{mn}(k) = E [c_m(k) \ \mathbf{y}_n^{f*}(k)] E [\mathbf{y}_n^f(k) \ \mathbf{y}_n^{f*}(k)]^{-1}, \quad (9)$$

$$\mathbf{b}_{im}(k) = \sum_{n=1}^N \mathbf{a}_{in}(k) [\mathbf{h}_{mn}^{(d)}(k) \ \mathbf{h}_{mn}^{(2)}(k) \ \dots \ \mathbf{h}_{mn}^{(D)}(k)], \quad (10)$$

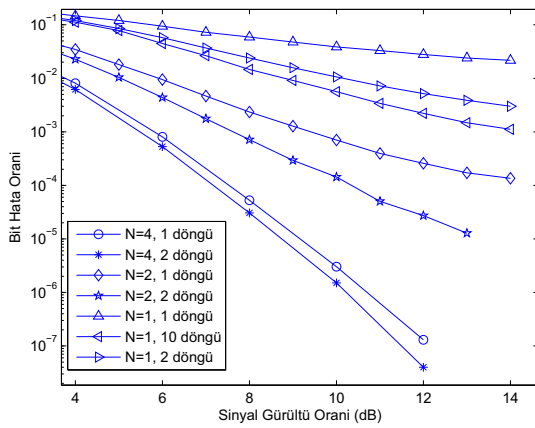
Bu ifadelerdeki E ortalama alınması işlemi ve $\mathbf{h}_{mn}^{(d)}(k)$ kanal katsayı vektörünü göstermektedir,

$$\mathbf{h}_{mn}^{(d)}(k) = [h_{mn}^{(d+K_1)}(k+K_1) \ \dots \ h_{mn}^{(d)}(k)]^T. \quad (11)$$

4. Bilgisayar Benzetim Sonuçları

Bu bölümde, tasarlanan sistemin hata başarımları sunulmaktadır. Uzunluğu 1000 bitten oluşan çerçeve (5,7) konvolüsyonel kodlanıp daha sonra rastsal olarak serpiştirilip ikili faz kaydırmalı kiplenip 2 verici anten üzerinden hızlı veya yarı-durağan Rayleigh sönümlenmeli, tekbiçimli güç dağılımlı frekans seçici kanallar üzerinden gönderilmektedir.

Şekil 4, 2 kademeli frekans seçici her sembolde bağımsız değişen hızlı sönümlenmeli kanal için ÇGÇÇ DKGD'nin bit hata oranı başarımlarını göstermektedir. Hata oranı artan döngü sayısı ve artan alıcı anten sayısı ile düşmektedir. En çok artış ilk döngüde gerçekleştiğinden genel olarak sadece 2. döngü başarımları gösterilmiştir ve hiç döngü kullanmayan sisteme göre daha düşük hata oranı elde edilebilmektedir. Şekil 5, 2 kademeli frekans seçici yarı-durağan sönümlenmeli

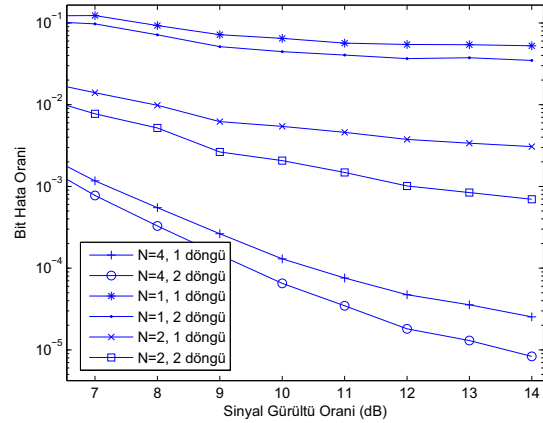


Şekil 4: D= 2 kademeli frekans seçici hızlı sönümlenmeli kanal için ÇGÇÇ DKGD'nin bit hata oranı başarımları, $M = 2$.

kanal için ÇGÇÇ DKGD'nin bit hata oranı başarımlarını göstermektedir. Hata oranı birçok optimal olmayan ÇGÇÇ denkleştiricilerinde olduğu gibi artan SNR değerlerinde bir doygunluğa ulaşmaktadır ve ancak artan alıcı anten sayısı ile düşmektedir. KGD'lerin genel dezavantajı olan hata yayılımı düşük alıcı anten sayısında istenilen hata oranlarına ulaşmayı engellemektedir. Alıcı anten sayısını artırmak veya anten seçimi gibi teknikler kullanmak başarımları artırmaktadır. Yukarıda gösterilen benzetim sonuçlarına benzer sonuçlar farklı kanal ve kodlama durumları için de elde edilmiş ve benzer sonuçlar gözlenmiştir. Bu bildiride gösterilmemesine rağmen artırılan süzgeç veya serpiştirici uzunluğu bit hata oranını düşürmektedir. Önerilen yeni denkleştiricinin anten seçme ve değişik işaret kümeleri ile kullanımı konularında başarımları artırması devam etmektedir.

5. Sonuç

Bu bildiride, bit serpiştirilip uzay zaman kodlanmış telsiz iletişim sistemleri için düşük karmaşıklığa sahip basit bir döngülü denkleştirici tanıtılmış ve frekansa bağlı sönümlenmeli kanallardaki başarımları sunulmuştur. Önerilen denkleştirici



Şekil 5: D= 2 kademeli frekans seçici yarı-durağan sönümlenmeli kanal için ÇGÇÇ DKGD'nin bit hata oranı başarımları, $M = 2$.

döngüsüz alıcılardan daha düşük hata oranı elde edebilmekte olup optimal denkleştiriciden çok daha düşük karmaşıklığa sahiptir. Önerilen alıcı yapısı özellikle veri hızını artırmak amacıyla büyük işaret kümesine sahip bit serpiştirilip uzay zaman kodlanmış pratikte kullanılacak sistemler için cazip olacaktır.

6. Kaynakça

- [1] J. G. Proakis, "Digital Communications," *McGraw-Hill Inc.*, 4th edition, 2000.
- [2] H. E. Gamal, A. R. Hammons, Y. Liu, M. P. Fitz, and O. Y. Takeshita, "On the design of space-time and space frequency codes for MIMO frequency selective channels," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 49, no. 9, pp. 2277-2292, Sept. 2003.
- [3] A. M. Tonello, "Space-time bit-interleaved coded modulation over frequency selective fading channels with an iterative decoding," *IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 3, pp. 1616-1620, 2000.
- [4] K.K.Y. Wong, P.J. McLane, "Reduced-complexity equalization techniques for ISI and MIMO wireless channels in iterative decoding," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 26, pp. 256-268, Feb 2008.
- [5] L. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, J. Raviv, "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. IT-20, pp. 284-287, March 1974.
- [6] M. Marandian, M. Salehi, J. G. Proakis, F. Blackmon, "Iterative decision feedback equalizer for time dispersive channels," *Conference on Information Sciences and Systems*, March 2001.
- [7] B. A. Bjerke, J. G. Proakis, "Multiple transmit and receive antenna diversity techniques for wireless communications," *Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control Symposium*, vol. 1, pp. 70-75, Oct 2000.