

Tam Çoklama Kablosuz Haberleşme

Aksay Fatih Öncel, Ali Özgür Yılmaz, Fatih Koçer
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

aksay2000@gmail.com, aoyilmaz@metu.edu.tr, fkocer@metu.edu.tr

Özet: Tam çoklama, kablosuz haberleşmede ümit vaat eden yeni bir çoklama tekniğidir. Geleneksel zaman veya frekans bölümlü çoklamaların aksine, tam çoklama yapan bir alıcı-vericide, alınan ve verilen sinyaller aynı anda ve aynı frekans bandında aktiftirler. Bu eş kullanım spektrum verimliliğini iki misline çıkarabilir. Tam çoklamanın önündeki en büyük engel gönderilen sinyalin alınan sinyale yaptığı güçlü girişimdir. Bu bildiride, literatürde sunulmuş bir dijital girişim bastırma yöntemi deneylerle test edilmiş ve düşük sinyal güçlerinde girişim gürültü tabanına kadar indirilmiştir.

Abstract: Full duplex is a promising new duplexing method in wireless data communications. Unlike the traditional time and frequency division duplexing, in the full duplex the transmit and receive signals are active at the same time and at the same frequency band at a radio. This can double the spectral efficiency. The biggest impediment to full duplex is the obvious interference problem caused by the very strong transmit signal to the received signal. In this paper, based on a recently proposed method of digital domain interference cancellation, some experiments are conducted. It is shown that at low transmit powers, mitigation of interference to the noise floor is possible.

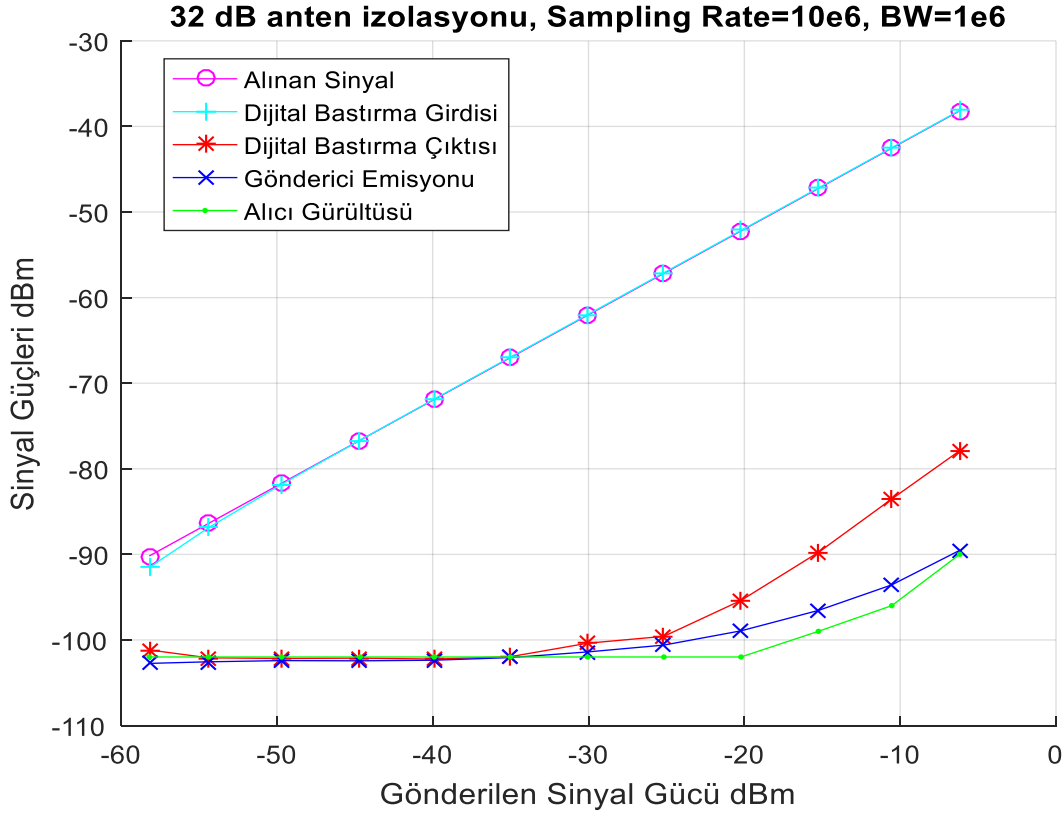
1. Giriş

Kablosuz haberleşmede bir radyonun aynı frekans bandında ve aynı anda sinyal alıp göndermesi, özellikle gönderilen sinyalin yarattığı güçlü girişim yüzünden genel olarak mümkün kabul edilmemekte idi, [1]. Bu potansiyel girişimden kaçınmak için alınan ve gönderilen sinyaller zaman veya frekans bölmeli çoklama ile birbirine dik (*orthogonal*) yapılmaktadır. Bu dikleştirme işlemi potansiyel spektrum verimliliğini yarıya indirmektedir. Yeni popülerlik kazanan tam çoklamada ise alınan ve gönderilen sinyaller aynı frekans bandında ve aynı anda aktiftirler, dolayısıyla birbirlerine dik değildirler. Bu sayede spektrum verimliliği dikgen çoklama yöntemlerine göre iki katına çıkartılabilir. Tam çoklamadan istifade edebilmek için yukarıda bahsi geçen girişimin bastırılması gerekmektedir. Bu bastırma temelde üç alanda yapılmaktadır: uzamsal, analog ve dijital.

Tam çoklama, radar alanında 1940'lardan beri bilinen ve uygulanan bir konsepttir. Sürekli dalga radarlarda alıcı ve verici antenler arası izolasyon yapılarak uzamsal olarak girişim belli bir seviyeye kadar bastırılmıştır. Kablosuz aktarma röleleri de tam çoklama kullanılmaktadır: röle yapısı gereği alıcı ve verici antenler arasında bulunan izolasyon, girişimi makul seviyede tutmak için yeterlidir. Bu uygulamalardan farklı olarak çift yönlü kablosuz data haberleşmesi için tam çoklama ancak yakın zamanda uygulama alanı bulabilmiştir. Özellikle mobil teknolojilerde artan yüksek veri hızı ihtiyacı araştırmacıları spektrum verimliliğini artırma yolları aramaya itmiştir. Third Generation Partnership Project'in (3GPP) 5G için hazırladığı taslak yol haritasında da spektrum verimliliğinin artırılması gerekliliği vardır, [2].

Diğer uygulamaların aksine çift yönlü kablosuz data haberleşmesi girişime daha duyarlıdır ve ufak girişimler bile istenmeyen şekilde kapasite kaybına neden olur, dolayısıyla girişimin tamamen bastırılması hedeflenmektedir. Uzamsal yöntemlerle vericiden çıkan girişim sinyalinin daha alıcıya girmeden bastırılması hedeflenir. Bu yöntemler iki anten arası uzak mesafe koymak gibi basit olabileceği gibi antenler arası elektromanyetik izolasyon malzemesi koymak veya anten ışınma örüntülerini ayarlamak gibi daha karmaşık ve masraflı da olabilir. Analog yöntemler ise girişim alındıktan sonra daha dijital alana geçmeden girişimi bastırmayı hedefler. Analog parçaların ve özellikle analog-to-digital converterların sınırlı dinamik aralıkları analog bastırma için ana sebeptir; çünkü asıl alınmak istenen sinyalin dijital alana gelmeden girişim yüzünden düzeltilemeyecek şekilde bozulması istenmez. Analog bastırma, girişim sinyalinin analog bir replikasının oluşturulması ve bu replikanın alınan sinyalden çıkartılarak, alınan sinyal içerisindeki girişimin bastırılması şeklinde icra edilir. Dijital bastırma, prensipte analog bastırma ile aynıdır: dijital replika, alınan sinyalden dijital alanda çıkartılır.

Bu bildiride [3]'te sunulan dijital bastırma yöntemleri kullanılarak yapılan bir tam çoklama deneyi sunulmuştur.



Şekil 1. Gönderilen sinyal güçlerine karşılık girişim bastırma performansı.

2. Dijital Bastırma Yöntemi

Girişim sinyalinin kesin bir replikasının oluşturulabilmesi için sinyalin verici digital-to-analog converterından çıkıp alıcı analog-to-digital-converterına kadar maruz kaldığı etkilerin tam olarak kestirilmesi gerekir. Bunun için özellikle güç yükselteçlerinin sebep olduğu doğrusaldışı etkiler ve IQ karıştırıcılardaki faz ve genlik dengesizlikleri hesaba katılmalıdır. Bu etkileri hesaba katan doğrusaldışı sinyal tabanlı bir bastırma yöntemi kısmen aşağıda sunulmuştur, [3].

Doğrusaldışı sinyal tabanları yükselteçler için paralel Hammerstein modeli kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\psi_p(n) = |x(n)|^{p-1}x(n) = x(n)^{\frac{p+1}{2}}x(n)^{\frac{p-1}{2}} \quad (1)$$

x ve P sırasıyla girişim sinyalini ve varsayılan azami doğrusaldışılık mertebesini temsil eder, $p = 1, 3, \dots, P$. Buna göre yükselteçten çıkan sinyal aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$x^{PA}(n) = \sum_{p=1, p \text{ tek}}^P \sum_{q=0}^p \sum_{m=0}^M h_p^{(q,p-q)}(m) \times x(n-m)^q x^*(n-m)^{p-q} \quad (2)$$

$h_p^{(q,p-q)}$ ve M sırasıyla model katsayılarını ve varsayılan model hafıza derinliğini ifade eder. Buradaki model katsayıları jenerik parametrelerdir ve sinyal tabanları değişmediği sürece girişim sinyalinin maruz kaldığı bütün etkileri içerebilir. Bu sinyal tabanları kullanılarak en küçük kareler yöntemiyle katsayı kestirimi yapılır ve girişim replikası üretilir. Bu replika alınan sinyalden çıkartılarak girişim bastırılması hedeflenir. Ara adımlar ve ayrıntılar için [3]'e bakılabilir.

3. Deneş

Denyde yukarıda önerilen yöntemde göre dijital bastırma performansı ölçülmüştür. Denyde AD-FMCOMMS3-EBZ *evaluation kit*'i AD9361 alıcı-verici ile kullanılmıştır, [4]. Değişik verici gücü değerleri için data toplanmış ve daha sonra MATLAB'da bunlar işlenerek girişimin bastırılması denenmiştir. Kullanılan sinyal 64 alttaşıyıcı, 1 MHz bantgenişlikli bir OFDM sinyalidir. Alınan örnek sayısı $N = 32240$ 'tır. Kanal hafızası $M = 16$ örnek varsayılmıştır. Alıcı ve verici arasında elektromanyetik yol zayıflamasıyla 32 dB'lik bir izolasyon sağlanmıştır.

Şekil 1'de deney sonuçları görülebilmektedir. Düşük sinyal güçlerinde gürültü tabanına kadar girişim bastırılabilir. Girişim yeteri kadar kuvvetli olduğunda 35-40 dB arasında bastırma sağlanabilmektedir. Alıntı [5]'te de benzer bir alıcı-verici ile benzer sonuçlar bulunmuştur. Gönderilen yüksek sinyal güçlerinde alıcının doymasının engellenmesi için alıcı kazancı düşürülmüş, bu da gürültü tabanında bir artışa sebep olmuştur. Gönderici emisyonu, gönderici açık fakat hiçbir sinyal basılmazken ölçülmüş alınan sinyaldir. Alınan sinyal ile dijital bastırma girdisi arasındaki görülen ufak fark sinyale uygulanan filtre işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

Dikkat edilmelidir ki bu deneyde analog bastırma uygulanmamıştır. Literatürde analog alanda 30-70 dB arası girişim bastırılabilir olduğu görülmüştür, [6-8]. Örneğin 40 dB'lik bir analog bastırma yapıldığı varsayılırsa +20 dBm'lik bir çıkış gücünde, yukarıdaki sonuçlara göre girişim gürültü tabanının 5 dB üzerine kadar indirilebilir.

4. Sonuç

Yakın zamanda artan mobil veri hızı ihtiyacını karşılamak için araştırmacılar spektrum verimliliğini arttırmanın yollarını aramaktadırlar. Tam çoklamanın için ümit vaat eden bir adaydır. Tam çoklamanın önündeki girişim engelini kaldırmak için literatürde çeşitli girişim bastırma yöntemleri teklif edilmiş, deneylerle test edilmiş ve pratik tam çoklamanın yapılabileceği gösterilmiştir. Bu bildiride yakın zamanda literatürde teklif edilen bir dijital bastırma yöntemini kullanarak deneyler yapılmış ve sadece dijital bastırma kullanarak düşük girişim güçlerinde girişimin gürültü tabanına kadar bastırılabilir olduğu gösterilmiştir. Bunun üzerine analog bastırma da eklendiğinde pratik verici güçlerinde tam çoklama uygulanabilir bir yöntemdir.

Kaynaklar

- [1]. A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, NY, ABD 2005.
- [2]. K. Mallinson, *The 2020 Vision for LTE*.
- [3]. L. Anttila, D. Korpi, E. Antonio-Rodríguez, R. Wichman ve M. Valkama, "Modeling and efficient cancellation of nonlinear self-interference in MIMO full-duplex transceivers," 2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Austin, TX, 2014, s. 777-783.
- [4]. AD9361, Analog Devices.
- [5]. E. Ahmed ve A. M. Eltawil, "On Phase Noise Suppression in Full-Duplex Systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, cilt 14, no. 3, s. 1237-1251, Mart 2015.
- [6]. D. Bharadia, E. McMillin, ve S. Katti, "Full duplex radios," *Proc. ACM SIGCOMM*, 2013, s. 375-386.
- [7]. M. Jain vd., "Practical, real-time, full duplex wireless," *Proc. 17th Annu. Int. Conf. Mobile Comput. Netw.*, 2011, s. 301-312.
- [8]. A. Sahai, G. Patel, ve A. Sabharwal, "Pushing the limits of full-duplex: Design and real-time implementation," *CoRR*, 2011, abs/1107.0607.