

İŞBİRLİKLİ KABLOSUZ AĞLARDA SENKRONİZASYON

Prof. Dr. Cebail ÇİFLİKLİ – Erciyes Üniversitesi Kayseri Meslek Yüksekokulu
KAYSERİ – cebrailc@erciyes.edu.tr

BİLGİN YAZLIK – Erciyes Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi – Erciyes
Teknopark KAYSERİ – bilgin@erciyes.edu.tr

1. ÖZET

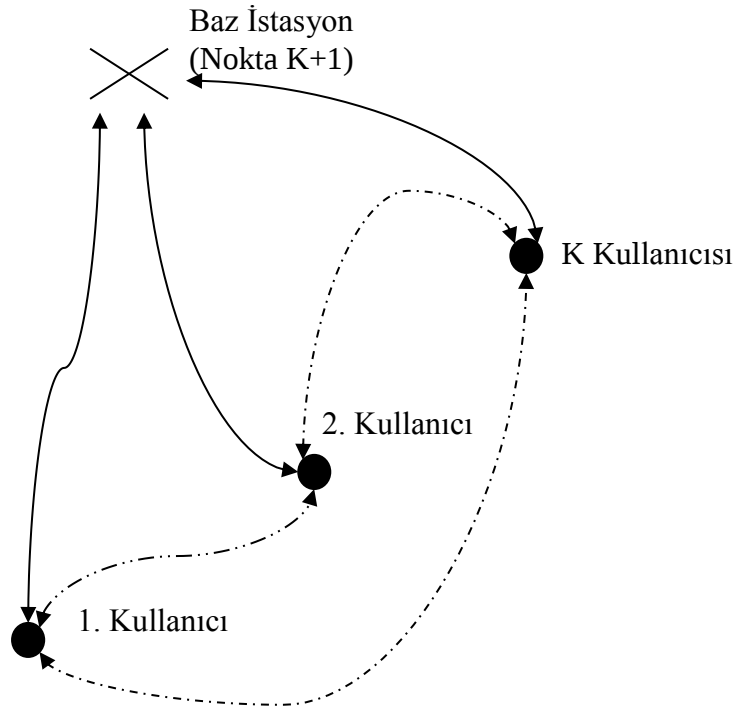
Anahtar kelimeler: İşbirlikli kablosuz ağlar, sekronizasyon, aaf, daf, senkronizasyon. MIMO tekniklerinin gelişimi, sadece hücresele mobil cihazların ebat ve güç sınırlamalarının varlığından ötürü değil aynı zamanda son yıllarda popülerlik kazanan kablosuz algılayıcı ve ad-hoc ağlarında kullanılabilirliğinden dolayı devam etmektedir. İşbirlikli çeşitleme, uzaysal çeşitlemeyi çoklu anten yayılımı olmaksızın işletmek için ortaya atılan yenilikçi bir yaklaşımdır ve aynı zamanda işbirlikli iletişim olarak bilinmektedir [1]. İşbirlikli iletişim kavramı noktadan noktaya iletişim üzerine inşa edilmiş geleneksel ağ tasarımı esaslarının geliştirilmesiyle öne çıkmaktadır. Birbirinden izole olarak çalışan iletişim araçlarından müteşekkil klasik ağ yapısı yerine işbirlikli ağlarda her bir düğüm noktası bir diğerine yardım etmekte ve bu sayede uzaysal çeşitlemenin avantajları kullanılmaktadır, bu yolla her düğüm noktası hem kendi performansını hem de bütün ağın performansını artırmaktadır, yani her bir düğüm bütün bir ağı ve kendisine fayda sağlamaktadır. İşbirlikli iletişim tekniği işbirliği yapan noktalar arasında verimli biçimde sanal bir anten dizisini oluşturarak kablosuz iletişimin yayılım tabiatının avantajını kullanır. Bu yeni iletişim modeli, bağlantı güvenilirliği, spektral verimlilik, sistem kapasite ve iletim sahası konularında dikkate şayan bir performans artışı vaat etmektedir [2]. Bu çalışmada işbirlikli kablosuz ağlar ve bu ağlarda meydana gelen senkronizasyon sorunları ve çözümleri incelenmektedir.

2.İŞBİRLİKLİ KABLOSUZ AĞLAR

Kablosuz çoklu ortam ve etkileşimli İnternet hizmetlerine karşı artan talep iletişim çeşitliliği ve bilgisayarlara bağlanılabilirlik için hızla artan ilgiyi de beraberinde

getirmektedir. Bu durumun tabii bir neticesi olarak yüksek hızlı, güvenilir ve verimli kablosuz iletişim sistemleri için araştırmalar devam etmektedir [3]. Geçtiğimiz on yıl içerisinde, uzay-zaman kodlama ve ayırık oğullama gibi pratik uygulamaları gün yüzüne çıkaran MIMO (oklu Giriş oklu Giriş) teknolojisinin gündeme gelmesiyle iletişim teorisi dikkate değer bir gelişim sergilemiştir. Bu tarz sistemler hem alıcı hem de verici tarafında çok sayıda anten kullanılması sayesinde bağlantı güvenliği ve spektral verimlilik açısından dikkate değer bir iyileştirme sağlamaktadırlar. Çoklu anten teknikleri baz istasyonlarındaki hücresel yayılım uygulamalarında oldukça ilgi çekici bir performans sergilemektedir, bununla beraber 3. nesil hücresel standartlara halihazırda dahil edilmiştir. MIMO tekniklerinin eşitleri şu an bilinen ve gelişen kablosuz standartların bir parçası durumundadırlar, rneğin IEEE 802.11 (WiFi), IEEE 802.16 (WiMax) ve IEEE 802.20 (MBWA) [2], [4], [5].

MIMO tekniklerinin gelişimi, sadece hücresel mobil cihazların ebat ve g sınırlamalarının varlığından ötürü değil aynı zamanda son yıllarda popülerlik kazanan kablosuz algılayıcı ve ad-hoc ağlarında kullanılabilişliğinden dolayı devam etmektedir. İşbirlikli eşitleme, uzaysal çeşitlemeyi çoklu anten yayılımı olmaksızın işletmek için ortaya atılan yenilikçi bir yaklaşımdır ve aynı zamanda işbirlikli iletişim olarak bilinmektedir [1]. İşbirlikli iletişim kavramı noktadan noktaya iletişim üzerine inşa edilmiş geleneksel ağ tasarımı esaslarının geliştirilmesiyle ne çıkmaktadır. Birbirinden izole olarak çalışan iletişim araçlarından müteşekkil klasik ağ yapısı yerine işbirlikli ağlarda her bir düğüm noktası bir diğerine yardım etmekte ve bu sayede uzaysal çeşitlemenin avantajları kullanılmaktadır, bu yolla her düğüm noktası hem kendi performansını hem de bütün ağın performansını arttırmaktadır, yani her bir düğüm bütün bir ağa ve kendisine fayda sağlamaktadır. İşbirlikli iletişim tekniği işbirliği yapan noktalar arasında verimli biçimde sanal bir anten dizisini oluşturarak kablosuz iletişimin yayılım tabiatının avantajını kullanır. Bu yeni iletişim modeli, bağlantı gvenilişliği, spektral verimlilik, sistem kapasite ve iletim sahası konularında dikkate şayan bir performans artışı vaat etmektedir [2].



Şekil 1. Bir baz istasyonu ve K adet kullanıcıdan oluşan bir işbirlikli hücresel ağ

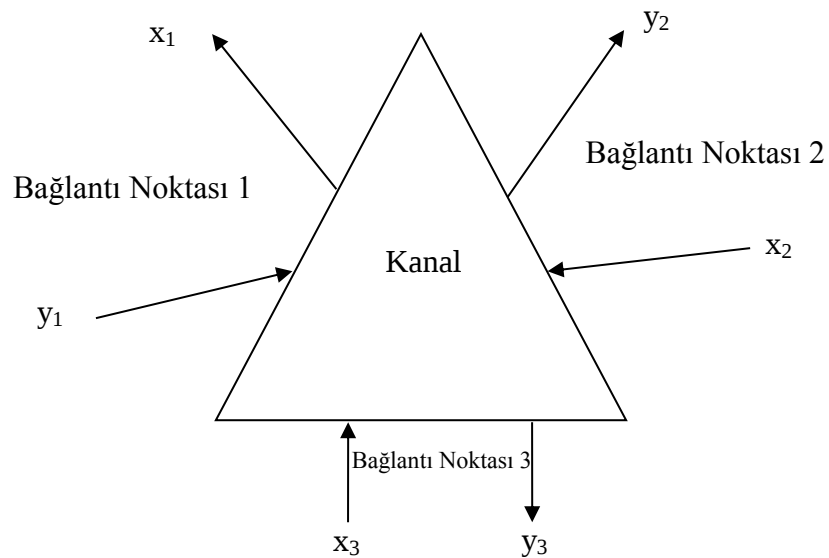
İşbirlikli iletişim WLAN (Kablosuz yerel ağlar), WMAN (Kablosuz şehir ağları) gibi *altyapı-tabanlı* hücresel ağlara uygulandığı gibi, MANET (Gezgin ad-hoc ağları), VANET (Taşıt ad-hoc ağları) ve WSN (Kablosuz sensör ağları) gibi *altyapısız* ağlara da uygulanabilir. Geniş uygulama sahalarının varlığı ve su götürmez avantajları sayesinde işbirlikli ağlar bugün kablosuz iletişim alanında mükemmel fırsatlar sunan ciddi etki yaratan bir araştırma konusudur. İşbirlikli iletişim konusu, sanayi ve akademik camia arasında ortaklaşa yürütülen ve yürütülebilecek çalışmalarla her geçen gün gelişimine devam etmektedir.

Geleneksel iletişim ağlarında veri doğrudan doğruya alıcı ve verici arasında iletilmektedir ve herhangi bir kullanıcının bir başkasından yardım talep etmesi söz konusu değildir. Bununla beraber, genel bir iletişim ağında, yardıma hazır çok sayıda ara nokta bulunmaktadır. Örneğin bir kablosuz iletişim ağında yayın yapan herhangi bir noktaya komşu bütün noktalar bu yayının varlığını bilirler. Bu mesajların işlenmesi ve hedef noktaya yönlendirilmesi ile sistem performansı, sistem çıkışı, sistem ömrü veya kapsama alanı arttırılabilir. İşbirlikli ağlarla ne oranda bir performans artışının elde edilebileceğini anlayabilmek için öncelikle teorik bilgiye ihtiyaç söz konusudur [6]. Bu

bilgi güncel işbirlikli ağların nasıl oluştuğu ve gelecek işbirlikli ağların bel kemiğinin inşası konusunda yardımcı olacaktır.

İşbirliği mantığı ilk defa bilgi teorisi alanında aktarımlı kanalın temelinden kurularak van der Meulen (1971) tarafından ortaya atılmıştır. Bir aktarımlı kanal üç bağlantı noktalı bir ağıdır. Bu ağda bağlantı noktası 1 (kaynak) veriyi bağlantı noktası 3'e (hedef), bağlantı noktası 2'nin (aktarıcı) katkısı ile iletmeyi amaçlamaktadır ve bu durum şekil 2'de gösterilmektedir. Buradaki amaç bağlantı noktası 1 ve bağlantı noktası 3 arasında mümkün olan en yüksek iletişim hızına ulaşmaktır. Genelde ara aktarıcı sayesinde bağlantı noktası 1 ve 3 arasındaki doğrudan bağlantının hızı artmaktadır [2].

Aktarma vasıtası ile iletişim hızının nasıl arttığını gözler önüne sermek için (van der Meulen, 1971)'den bir örnek verilecektir. Tablo 1'de hedefin sessiz ($x_3=0$) olması durumunda, giriş çiftlerine (x_1, x_2) karşılık kanal çıkış olasılıkları $P(y_2, y_3|x_1, x_2)$ verilmektedir. Gözlemliyoruz ki, $x_2=1$ olması durumunda, x_1 her en olursa olsun y_2 ve y_3 'ün her ikisinin de 1'e eşit olduğunu görmekteyiz. Ne aktarıcı ne de hedef gerçek x_1 değerine karar veremezler, ancak kaynak ve aktarıcı arasındaki iletişim hızı ve kaynak ve hedef $x_2=1$ verilmesi durumunda sifıra eşit olurlar [2].



Şekil 2. Üç Bağlantı Noktalı Bir İletişim Kanalı

$x_2=0$ olduğunda, kaynak ve aktarıcı arasındaki ile kaynak ve hedef arasındaki kanallar, kapasitesi sıfır olan, çapraz olasılığı $\frac{1}{2}$ olan ikili simetrik kanala eşit olmaktadır. Bundan dolayı, kaynak ve aktarıcı veya kaynak ve hedef arasında hiçbir doğrudan bağlantı mümkün değildir. Bununla beraber, kaynaktan hedefe kurulan sıfır olmayan iletişim hızları aktarıcının katkısı ile gerçekleştirilebilir. $x_2=0$ ise ve hedef kanal çıkışı y_2 'yi biliyorsa, bu şart altında kaynak 1 biti gürültüsüz olarak hedefe gönderebilir [7]. Diğer taraftan, aktarıcı kaynağa yardım eder ve çıkış sinyalini kendi gözlemi tamamlandığında iletirse hedef y_2 'yi öğrenebilir. Bu bilgi x_1 , 0 olarak ayarlandığında 0.32 bit/kanal kullanım hızı ile gönderilebilir. Bu iki strateji arasında uygun bir zaman bölümlemesi kullanımında bu örnek için kanal kapasitesi vanishig hata olasılığı ile 0.243 bit/kanal kullanım olarak bulunmaktadır. Bu örnek açıkça göstermektedir ki, aktarma işlemi aslında doğrudan iletme kıyasla ciddi oranda hız artışı sağlamaktadır.

Aktarma kanalı hem kablolu hem de kablosuz ağlar için elzem durumdadır. Kablolu ağlarda, çok sayıda kaynak ve hedef çiftleri birbirlerine ara bağlantı aktarıcı noktaları üzerinden bağlanmaktadır. Kablosuz ağlarda, kablosuz yayın avantajına bağlı olarak boşa bekleyen noktalar yakın iletimlere kulak misafiri olurlar. Bu noktalar bilgiyi aktarabilirler ve yüksek veri transfer hızlarına erişimi mümkün kılarlar.

Aktarımlı kanal kapasitesi (van der Meulen, 1971) tarafından sama bazı belirli örnek kanallar için hesaplanmış idi. Genel bir aktarımlı kanal için iletişim/aktarım prensipleri çalışması Cover ve El Gamal (1979) tarafından sonradan geliştirilmiştir. (Cover ve El Gamal (1979)) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, hafızasız aktarım kanalı incelenmiş ve iki temel aktarım tekniği ortaya konulmuştur: çöz-ve-ilet (DF) ve sıkıştır-ve-ilet (CF).

Tablo 1. Bir aktarım örneği (van der Meulen, 1971)

		y_2y_3			
		00	10	01	11
x_1x_2	00	1/2	0	0	1/2
	10	0	1/2	1/2	0

	01	0	0	0	1
	11	0	0	0	1

Fakat bu kadar ciddi miktarda ilerleme kaydedilmiş olmasına rağmen, genel bir aktarımlı kanalın kapasitesi geçmiş otuz yılda çözülememiştir [17]. İşbirlikli bağlantılar hakkındaki en güncel çalışmalar potansiyel kablosuz uygulamalar üzerine yoğunlaşmış durumdadır. Dikkate değer kazanç ve geniş uygulama alanları sayesinde işbirlikli iletişim sistemleri literatürü oldukça genişlemiştir. Kapasite hakkında çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, işbirlikli ağların kapasitesi konusunda hala bir sonuç elde edilememiştir.

Aktarıcı noktanın işlem kabiliyeti, aktarımlı kanallarda önemli bir sınırlamadır. Aktarıcı, yarı veya tam çift yönlü olabilir. Eğer aktarıcı tam çift yönlü ise eş zamanlı olarak aynı frekans bandında hem iletim hem de alım yapabilir. Yarı çift yönlü sistemlerde, iletim ve alım dikgen kanallarda gerçekleşir. Tam çift yönlü bir varsayımını gerçekleştirmek her ne kadar mümkün olmasa da aktarımlı kanalın karakteristiklerini anlamada bize yardımcı olmaktadır. Diğer taraftan, pratik uygulamaları algılayabilmek ve gerçekleştirebilmek için yarı çift yönlü hatlara ilişkin varsayımlar kullanılır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmalarda hata olasılığı ve ulaşılabilen hızlar ölçekleriyle güvenilirliğin ve aktarımlı/işbirlikli şemaların çıkışının başarı seviyesinin tespiti gerçekleştirilmektedir. Diğer bir performans ölçütü ise çeşitleme-çoğullama takası (DMT)'dir. DMT sönümlü kanallara uygun yüksek SNR analizidir ve MIMO sistemler için çeşitleme ve çoğullama arasında temel takas gerçekleştirir. DMT aynı zamanda işbirlikli/aktarımlı sistemler için faydalı bir ölçüttür. Genel olarak aktarımlı bir kanalın kapasitesi bilinmese de DMT açısından uygun aktarım şemalarının bulunması mümkündür.

2.1 Aktarım Stratejileri

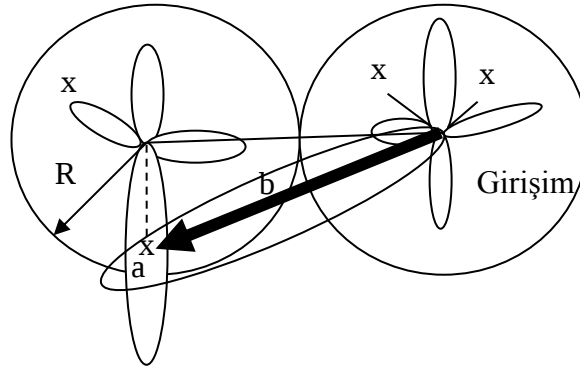
Kablosuz bir ağda çok sayıda kaynak-hedef çifti bulunabilir, işbirlikli iletim sayesinde aktarıcı noktaları ortalama ağ performansını arttırırlar [8]. Bir aktarıcı veya aktarıcı grubu kaynak ile hedef arasına fiziksel olarak yerleştirildiğinde, bu aktarıcılar iletme

önce iletilen kod tümcesini çözerek başlarlar daha sonra bu kod tümcesini hedefe yönlendirirler ve bu sayede iletişime yardımcı olurlar. Bu strateji çöz-ve-yönlendir (DF) olarak bilinir. Bir aktarıcı aynı zamanda kendisine gelen işareti güçlendirip iletebilir, bu stratejiye güçlendir-ve-yönlendir (AF) stratejisi denilir. Her iki durumda da aktarıcılar ortalama iletim hızını, performansı arttırlar ve/veya kablosuz ağı çeşitliliğini arttırlar.

Fiziksel katman aktarım stratejilerinde kaynak ve aktarıcı aynı frekansı kullanarak iletişimi gerçekleştirirler, fakat iletişim iki ayrı zaman diliminde gerçekleşir, böylece her bir frekans tonu için hedef, kaynak ve aktarıcıdan gelen veriyi her iki zaman dilimi için alır ve işler [9].

2.2 İşbirlikli Dinamik Radyo Kapasitesi Tahsisi

Radyo kapasitesi tahsisinde, radyo kaynak yönetimi (RRM) TDMA, CDMA ve OFDM için birleştirilerek bir çözüm ortaya konulmaktadır [10]. Bu metotla yakın-en uygun kanal yeniden kullanım faktörünün mümkün olduğunca bire yakınsaması sağlanır.



Şekil 3. b kullanıcısı için iletim a kullanıcısının konumunda uzaysal olarak θ aralığı ile filtrelenemez, çünkü iletim ve girişim yönü çakışmaktadır; d-aralığı kullanılmalıdır.

Sezgisel olarak şunu çok rahat anlayabiliriz ki, ağdaki konumlarından ötürü iki kullanıcı duruma göre bazen ayırt edilemezdir. Bundan dolayıdır ki hücreler arası girişimi azaltmak için ilave adımlar kullanılmalıdır. Örneğin şekil 3'te b'ye iletilen işaret aynı zamanda a kullanıcısı tarafından alınmaktadır [11]. Diğer taraftan, a kullanıcıya iletilen işaret, b kullanıcısı tarafından alınamaz, çünkü ilgili yön a kullanıcısı hala başarı ile iletim yaparken uzaysal anlamda dışa çıkıntı yapmış olabilir. Bu amaçlar

doğrultusunda d-ayrılabilirlikli kanal tahsis şemaları kullanılmaktadır. İlgili yöntem, hücreler arası girişimin yok edilmesi amacıyla kullanılmasıyla geliştirilebilir [11].

2.3 İşbirlikli İletim Protokolleri

Aktarma istasyonlarında Kuvvetlendir ve Aktar (AAF) veya Çöz ve Aktar (DAF) tipi işbirlikli iletim protokollerinden biri kullanılır. Bu protokoller alınan işaretin aktarma istasyonunda veri hedefe iletilmeden önce verinin nasıl işleneceğini tanımlarlar [33].

2.3.1 Kuvvetlendir ve Aktar (AAF)

Bu metod aktarma istasyonunun limitli işlem gücünün olması durumunda veya zaman gecikmesinin var olduğu durumda sıklıkla kullanılır. Elbette ki analog bir işaret iletilirken DAF protokolü kullanılamaz.

AAF protokolünün temelinde yatan fikir aslında oldukça basittir. Aktarma istasyonuna ulaşan işaret hat boyunca zayıflamıştır ve tekrar iletilmeden önce güçlendirilmelidir. Fakat bunu yaparken gürültü de aynı oranda güçlenmektedir ki bu durum bu protokolün zayıf yönü olarak ortaya çıkmaktadır.

Gelen işaret kanal karakteristiğinin mükemmel bir biçimde tahmin edilebildiği varsayılarak güçlendirilir, böylece kuvvetlendirme işlemi kazancı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

Gelen işaretin gücü şu şekilde yazılabilir:

$$E[|y_r^2|] = E[|h_{s,r}|^2]E[|x_s|^2] + E[|z_{s,r}|^2] = |h_{s,r}|^2 \varepsilon + 2\sigma_{s,r}^2 \quad (1)$$

Burada s göndericiyi ve r ise aktarıcıyı ifade etmektedir. Gönderici veriyi aynı güç ile iletmek için aktarıcı şu gücü kullanmalıdır:

$$\beta = \sqrt{\frac{\varepsilon}{|h_{s,r}|^2 \varepsilon + 2\sigma_{s,r}^2}} \quad (2)$$

Bu ifade her bir blok için ayrı ayrı hesaplanmalıdır fakat bu durumda her bir blok için kanal karakteristiği de tahmin edilmelidir [33].

2.3.2 Çöz ve Aktar (DAF)

Son zamanlarda analog kablosuz iletişim oldukça nadir kullanılmakta ve aktarıcılar yeterli işlem gücüne sahiptirler, bundan dolayı DAF aktarıcılarda daha sık kullanılan bir metod olarak ortaya çıkmaktadır. Bu metodda alınan işaret öncelikle çözülür ve arkasından tekrar kodlanır. Böylece güçlendirilerek iletilen işarete AAF'te olduğunun aksine güçlendirilmiş bir gürültü de olmaz. Böyle bir sistem kurabilmek için iki ana uygulama söz konusudur.

Aktarıcı kendisine ulaşan işaretin tamamını kendisi çözebilir. Bu seçenek oldukça yüksek bir işlem gücü gerektirmekle birlikte çok sayıda avantaja sahiptir. Eğer kaynak veri hata düzeltme kodu içeriyorsa, alınan işarettaki hatalar giderilebilir. Böyle bir kod yoksa bile işaretin souna eklenecek bir doğruluk sınama kodu ile işaretin hata içerip içermediği tespit edilebilir. Uygulamanın türüne bağlı olarak işarettaki hatalar hedefe iletilmeden düzeltilebilirler.

Fakat kaynak verinin tamamının çözülmesi her zaman mümkün olmaz. İşaretin tamamının çözülmesi için bir zaman gecikmesi oluşacaksa bunu kabul etmek mümkün değildir, aynı zamanda aktarıcı işareti çözecek yeterli işlem gücüne sahip olmayabilir veya hassas veriyi kodlayamayabilir. Bu durumda gelen işaret ancak sembol sembol çözülür ve tekrar kodlanır. Bundan dolayı hiçbir şekilde hata denetimi ve düzeltilmesi yapılamaz [33].

3. İşbirlikli Ağlarda Senkronizasyon

Bir kablosuz ağda, aktarıcı noktalar üzerinden bilgi iletimi enerji verimli olabilir. Çoklu aktarım noktasının kullanımı ile yüksek çeşitleme kazancı sağlanırken kanal bozulmalarına karşı dayanıklılık artırılır. Ağ işbirliği veya işbirlikli çeşitleme kavramı uzay-zaman kodlarının, iletim çeşitlemesinin ve çok girişli çok çıkışlı (MIMO) teknolojilerin ilerlemesi ile gelişimini sürdürmektedir.

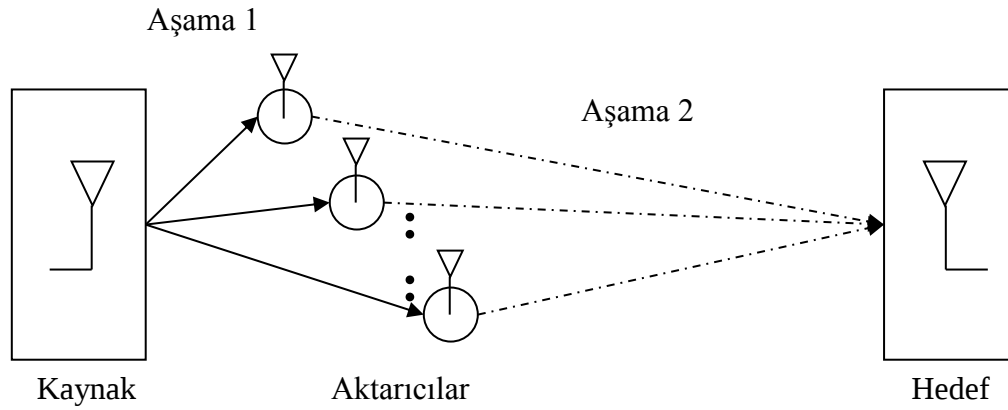
Düz sönümlü bir ortamda çalışan bir işbirlikli ağın etkili veri iletişimi sağlayabilmesi için çok sayıda işbirlikli kodlama metodu geliştirilmiştir. Bununla beraber, MIMO teknolojileri için gerçekleştirilen sezme metotlarının geçerli kabul edilebilmesi için, bu metotların tamamı için temel bir varsayım olarak bütün aktarım noktalarının mükemmel senkronize olduğu kabul edilir. Çeşitlemeli sistemlerde mükemmel senkronizasyon pratikte beklenildiği gibi çıkmamaktadır, bunun da sebepleri aşağıda sıralanmıştır:

- a) Sürekli hareket halinde olduklarından ötürü farklı konumlarda bulunan aktarım noktaları arasındaki kesin senkronizasyon pratikte uygulanamazdır.
- b) Sabit noktalı bir ağda bile, elektronik parçaların parametrelerindeki değişimle vericiler arası kaydırma ve sinyal alışverişi enerji ve band genişliği tasarrufu için seyrek olarak gerçekleşir.
- c) Noktalar her ne kadar alınan işaretleri mümkün olduğunda senkronize etseler de düşük maliyetli uygulamalar işaretlerin zamanlama ve frekanslarını yine de az da olsa farklılaştırır, böylece uzun çalışmalarda eşleme bozulabilir.
- d) Bir sonraki döngüde alıcı noktalara varan işaretlerinin gecikmeleri ana senkronizasyon problemini oluşturmaktadır. Yayılım gecikmeleri iletim zamanları farklı iken işaretler tarafından bilinmiyor olabilir [2], [12], [13].

Aslında, verici noktaları sadece bir alıcıya senkronize olmaya çalışırlarsa, diğer bütün alıcılarla aralarında bulunan farklı iletim mesafelerinden ötürü senkronizasyon bozukluğunu arttırabilirler. Diğer yandan, birçok uygulamalı ağda, noktalar aralık senkronizasyonu gerçekleştirebilirler ve hatta bu senkronizasyon gereklidir, bu durum sayesinde büyük çaplı aralık senkronizasyonu mümkün kılınmaktadır. Asıl zorluk iyi bir iletim senkronizasyonu kurmada ortaya çıkmaktadır.

Birçok sayısal modülasyon işareti, işaretler yalnızca tam ortalarından örneklenince singeler arası girişim (ISI) oluşmayacağını garanti etmektedir. Farklı anlarda farklı aktarım noktalarından gelen işaretler mükemmel senkronize değillerse, darbe dizilerine bağlı etkilerin örnekleme konumu hatasından kaynaklandığı düşünülebilir. Alıcı işaret temelli işleme yapıyorsa bu durum kısmen doğrudur.

Şekil 4’te temel bir işbirlikli ağ yapısı gösterilmektedir. Kaynaktan yola çıkan ve hedefe giden işaretler incelendiğinde işaretlerin farklı aktarıcılar üzerinden iletildiği ve burada yer alan her bir aktarıcının farklı konumda ve yapıda olduğu görülmektedir. Bu farklılıklardan ötürü iletilen işaretlerde senkronizasyon kaymaları meydana gelmektedir.



Şekil 4. Bir İşbirlikli Ağ Yapısı ve İletimde Senkronizasyonun Önemi

4. SONUÇ

İşbirlikli kablosuz ağ fikri ile veri iletişimde alıcı ile verici arasına çok sayıda sanal anten yerleştirilmektedir. Bu sanal antenler röle ya da aktarıcı olarak adlandırılmakta ve kendilerine ulaşan işareti gerek güçlendirerek gerekse çözerek aktarmakta ve böylece iletişimin daha sağlıklı ve verimli olmasını temin etmektedirler.

Aktarıcılar bu işlemi yerine getirirken literatürdeki birçok çalışmada [12-17] aktarıcılar arasında tam bir senkronizasyon olduğu kabul edilmektedir. Fakat aslında aktarıcılarının her biri farklı fiziksel konumlarda oldukları için ve aynı zamanda her birinin kendine ait yerel bir osilatörü olduğu için ister istemez iletim hattı ve osilatör tabanlı zaman kaymaları ve dolayısı ile senkronizasyon uyumsuzluğu oluşmaktadır. Aktarıcılar arasındaki zaman senkronizasyonu uyumsuzluğunun nedenleri ve nasıl giderilebileceği konuları bu çalışmada incelenmiştir.

Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda [13-17] zaman senkronizasyonu için performans analizi gerçekleştirilmiştir, [12] nolu çalışmada ise çöz-ve-aktar yöntemini

kullanan sistemler için işbirlikli haberleşmenin kendine has özellikleri dikkate alınarak bir zaman senkronizasyonu algoritması tasarlanmıştır. Yine [34] çalışmasında kuvvetlendir-ve-aktar tipi işbirlikli haberleşme sistemlerinde zaman senkronizasyonundan kaynaklanan bozulmalar en aza indirecek bir algoritma önerilmiştir. Her iki [12, 34] çalışmada en büyük olabilirlik (maximum likelihood, ML) kestirimi üzerine kurulmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. A., Sendonaris, E., Erkip, and B., Aazhang, User cooperative diversity part I: system description; part II: implementation aspects and performance analysis,” IEEE Trans. Commun., vol. 51, pp. 1927–1948, Nov. 2003.
2. S., M., Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing, Estimation Theory. Prentice Hall, Signal Processing Series, 1993.
3. Uysal M., Cooperative Communications for Improved Wireless Network Transmission: Framework for Virtual Antenna Array Applications, Information Science Reference, 2010.
4. Li, C., Xing, Y., C., Wu, and S., C., Chan, Timing estimation and resynchronization for amplify-and-forward communication systems, IEEE Trans. on Signal Proc., vol. 58, no. 4, pp. 2218–2229, Apr. 2010.
5. S., Glisic, B., Lorenzo, Advanced Wireless Networks, Cognitive, Cooperative and Opportunistic 4G Technology, John Wiley & Sons Ltd, 2009.
6. J., N., Laneman, D., N., C., Tse, and G., W., Wornell, Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior, IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062–3080, Dec. 2004.
7. Y., Zheng, H., Mehrpouyan, and S., D., Blostein, Application of phase shift in coherent multi-relay MIMO communications, IEEE International Conference on Communications, Germany, 1–5, June 14-18, 2009.
8. A., Bletsas, A., Khisti, D.P., Reed, and A., Lippman, A simple cooperative diversity method based on network path selection, IEEE J. Sel. Areas Comm., vol. 24, no. 3, pp. 659-672, March 2006.

9. P., Herhold, E., Zimmermann, and G., Fettweis, On the performance of cooperative amplify-and-forward relay networks, *European Trans. On Telecommun.*, vol. 16, May 2005.
10. H., Meyr, M., Moeneclaey, and S., A., Fechtel, *Digital Communication Receivers: Synchronization, Channel Estimation, and Signal Processing*. Wiley-InterScience, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
11. P.A., Parker, P., Mitran, D., W., Bliss, and V., Tarokh, On bounds and algorithms for frequency synchronization for collaborative communication systems, *IEEE Trans. on Signal Proc.*, vol. 56, no. 8, pp. 3742–3752, Aug. 2008
12. X., Li, Y., C., Wu, and E., Serpedin, Timing Synchronization in Decode-and-Forward Cooperative Communication Systems, *IEEE Trans. Signal Proc.*, 57(4):1444-1455, April 2009.
13. S., Jagannathan, H., Aghajan, and A., Goldsmith, The effect of time synchronization errors on the performance of cooperative MISO systems, in *Proc. IEEE Globecom*, Dallas, Texas, USA, 102–107. November 29-December 3 2004.
14. Y., Mei, Y., Hua, A., Swami, and B., Daneshrad, Combating synchronization errors in cooperative relays, in *Proc. IEEE ICASSP*, Philadelphia, USA, 3:369–372, March 18-23, 2005.
15. J., Mietzner and P., A., Hoeher, Distributed space time codes for cooperative wireless networks in the presence of different propagation delays and path losses, *3rd IEEE Sens. Array Multichannel Signal Process Workshop*, Barcelona, Spain, 264–268, July, 2004.
16. R., Chembil, A., Annamalai, J., Reed, Upper Bound On Bit Error Rate For Time Synchronization Errors In Bandlimited Distributed MIMO Networks, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 2006.
17. B., Azimi-Sadjadi and A., Mercado, Diversity gain for cooperating nodes in multi-hop wireless networks, in *Proc. IEEE VTC-Fall*, Los Angeles, 2:1483–1487, September 26-29, 2004.
18. J., N., Laneman and G., W., Wornell, Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks, *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415–2425, Oct. 2003.

19. Y., R., Djapic, A.J., Van der Veen, and L., Tong, Synchronization and packet separation in wireless ad hoc networks by known modulus algorithm, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, no. 1, pp. 51–64, Jan 2005.
20. A., Ribeiro, X., Cai, and G., B., Giannakis, Symbol error probabilities for general cooperative links, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, pp. 1264–1273, May 2005.
21. T., M., Schmidl and D.C., Cox, Robust frequency and timing synchronization for OFDM, *IEEE Trans. Communications*, vol. 45, no. 12, pp. 1613-1621, Dec 1997.
22. T.H., Pham, A., Nallanathan, and Y.C, Liang, Joint channel and frequency offset estimation in distributed MIMO flat-fading channels, *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 7, no. 2, pp. 648-656, 2008.
23. O., Besson and P., Stoica, On parameter estimation of MIMO flat-fading channels with frequency offsets, *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 51, no. 3, pp. 602-613, 2003.
24. E., Beres and R., S., Adve, Selection cooperation in multi source cooperative networks, *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 7, no. 1, pp. 118-127, Jan. 2008
25. L., Weng and R., D., Murch, Cooperation strategies and resource allocations in multiuser OFDMA systems, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 5, pp. 2331-2342, Jun 2009.
26. M.K., Oh, X., Ma, G., Giannakis, and D.J., Park, Cooperative synchronization and channel estimation in wireless sensor networks, *Conf. Rec. 37th Asilomar Conf. Signals, Systems and Computers*, San Jose, CA, 238–242, November 9–12, 2003.
27. J.J., van de Beek, P., Borjesson, M.L., Boucheret, D., Landstrom, J., Arenas, P., Odling, C., Ostberg, M., Wahlqvist, and S., Wilson, A time and frequency synchronization scheme for multiuser OFDM, *IEEE J.Sel. Areas Commun.*, vol. 17, no. 11, pp. 1900–1914, Nov. 1999.
28. A., Saemi, J.P., Cances, and V., Meghdadi, Synchronization algorithms for MIMO OFDMA systems, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 12, pp. 4441–4451, Dec. 2007.

29. R., Bachl, The forward-backward averaging technique applied to TLSESPRIT processing, IEEE Trans. Signal Process., vol. 43, no. 11, pp. 2691–2699, Nov. 1995.
30. E., Yazdian and M., R., Pakravan, Adaptive Modulation Technique for Cooperative Diversity in Wireless Fading Channels, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Helsinki, Finland, September 11-14, 2006.
31. T., S., Rappaport, Wireless Communications, Principles and Practice, Prentice Hall, 1996.
32. A., Aduwo and A., Annamalai, Channel-Aware Inter Cluster Routing Protocol for Wireless Ad-hoc Networks Exploiting Network Diversity, IEEE Vehicular Technology Conference, Los Angeles, 2858-2862, September 26-29, 2004.
33. M., Andreas, Cooperative Diversity in Wireless Networks, Erasmus Project at the University of Edinburgh, March 2004.
34. O., Niyazi, A., Serkan,U., Murat, Kuvvetlendir-ve-Aktar Tipi İşbirlikli Haberleşme Sistemlerinde Zaman Senkronizasyonu, SIU2010 - IEEE 18.Sinyal isleme ve iletişim uygulamalari kurultayi, Diyarbakir, Turkey, 511-514, 2010.