

Yardımlaşmalı Haberleşmede Kullanılan MAC Protokollerinin İrdelenmesi

Mithat Dağlar
Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü
Tuzla/İSTANBUL
mdaglar@dho.edu.tr

Doç.Dr. Adnan KAVAK
Kocaeli Üniversitesi
İzmit/KOCAELİ
akavak@kou.edu.tr

Özet

MIMO sistemlerin bilinen avantajlarını olumsuz yönde etkileyen en önemli husus düğümler üzerinde birden fazla antene ihtiyaç duymalarıdır. Kablosuz duyurga ağları gibi uygulama sahaları düşünüldüğünde, düğümlerin donanımsal kısıtları, MIMO yakaşımını maliyet-etkin bir seçenek olmaktan çıkarmaktadır. Nispeten yeni bir araştırma sahası olan “Yardımlaşmalı Haberleşme (Cooperative Communication)” bu kısıtı ortadan kaldırmaya çalışan ve düğümler üzerinde fazladan anten kullanmaksızın uzaysal çeşitlemeden istifade imkanı getiren bir konsepttir. Ancak araştırmalar şimdiye kadar ağırlıklı olarak fiziksel katmanı ilgilendiren hususlar ile sınırlı kalmıştır. Yardımlaşmalı Haberleşmenin sunmuş olduğu avantajlardan tam olarak yararlanabilme haberleşme yığınının üst katmanları açısından da konunun ele alınması ile mümkün olacaktır. Bu makalede yardımlaşmalı haberleşme hakkında bir ön bilgi verilmekte ve konunun MAC katmanını ilgilendiren yönleri ile ilgili yapılan belli başlı yayınlar irdelenmektedir.

1. Giriş

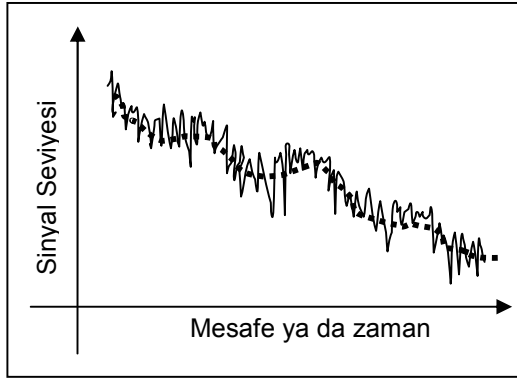
Kablosuz haberleşmede çoklu girişli – çoklu çıkışlı (Multiple Input – Multiple Output – MIMO) sistemler uzun yıllardan beri geniş bir araştırmaya tabi tutulmuş ve bu sistemlerin performans artırıcı özellikleri analitik yöntemler, simülasyon ve gerçek uygulamalarla ispatlanmıştır. MIMO sistemler temel olarak aynı düğüm üzerinde birden fazla anten kullanarak uzaysal çeşitleme (spatial diversity) imkanından istifade etmektedirler. Kaynak düğüm tarafından gönderilen sinyaller anten sayısına bağlı olarak farklı sayıda yayılım yolu izlemekte ve dolayısıyla hedef düğüme ulaşmaya kadar istatistiksel olarak farklı sönümlenmeye tabi olmaktadır. Hedef düğüm üzerindeki “akıllı” bir alıcı farklı SNR’a sahip bu sinyalleri birleştirerek daha yüksek SNR’a sahip daha güçlü bir sinyal elde etmekte ve dolayısıyla kaynak düğümün göndermiş olduğu veriyi daha yüksek bir ihtimalle çözümüleme imkanına sahip olmaktadır.

MIMO sistemlerin yukarıda bahsedilen avantajını kısıtlayan en önemli hususlardan biri bu sistemlerin

düğümler üzerinde birden fazla antene ihtiyaç duymasıdır. Düğümlere bu imkanın kazandırılması onlara, belli bir büyüklükte olmak, donanım olarak buna müsait olmak ve bu kazanımın ekonomik olarak maliyet-etkin olması gibi yeni istekleri karşılaması zorunluluğu getirmektedir. Kablosuz duyurga ağları gibi uygulama sahaları düşünüldüğünde, boyut olarak çok küçük ve donanımsal olarak zayıf olan bu düğümlere fazladan anten eklenmesinin güçlüğü ortadadır. Ayrıca bu husus, genellikle duyurga ağlarının tasarım hedeflerinden biri olan donanım maliyetinin mümkün olduğunca düşürülerek çok sayıda “at-ve-unut” tipindeki duyurganın kullanılması ile çelişmektedir. Özet olarak MIMO sistemlerin bu gibi uygulama ortamlarında kullanılması pratik olarak mümkün değildir.

Bahse konu avantajların bu uygulama alanları için de mümkün hale getirilebilmesi yönünde son yıllarda yapılan araştırmalar “yardımlaşmalı haberleşme (cooperative communication)” kavramını ortaya çıkarmıştır. Yardımlaşmalı haberleşme konsepti düğümler üzerinde fazladan antene ihtiyaç duymadan uzaysal çeşitlemeden yararlanabilmeyi sağlamaktadır. Temel çıkış noktası ve konsepti şu şekildedir: Kablosuz haberleşme ortamındaki düğümler doğaları gereği çoklu yayım (broadcast) yapmaktadırlar. Gönderilecek veri genellikle 360 dereceye yayım yapan bir anten tarafından tüm ortama yayınlanmaktadır. Bu sinyallerin ana hedefi hedef düğüme ulaşmak olmasına rağmen, yayım gücüne bağlı olan bir yarıçap içerisindeki tüm diğer düğümler de farklı SNR’larla bu yayımı alabilmektedirler. “Ortak (partner)” olarak adlandırılan bu komşu düğümlerden bir ya da birkaçının, almış olduğu sinyali güçlendirerek tekrar yayımlaması ile sanal bir anten görevi ifa etmiş olmaktadır. Böylece hedef düğüme ulaşan, farklı düğümler tarafından gönderilen ve fakat aynı veriyi içeren sinyaller sanal bir MIMO sisteminden geliyormuş gibi işlenerek daha güçlü bir sinyal elde edilmiş olmaktadır.

Nispeten yeni bir araştırma sahası olan yardımlaşmalı haberleşme genellikle ya bilişim teorisi açısından ya da haberleşme mimarisinin fiziksel katman özellikleri açısından incelenmiştir. Konunun haberleşme mimarisinin üst katmanlarını ilgilendiren yönlerini inceleyen kaynak sayısı henüz kısıtlıdır. Yardımlaşmalı haberleşmenin yönlendirmede (routing) kullanılması,



Şekil 1: Sinyal zayıflaması

ortak(lar)ın seçimi, servis kalitesi (QoS) için muhtemel kullanım şekli, güvenlik sorunları gibi, MAC, ağ ve daha üst katmanları da ilgilendiren hususlar henüz araştırmaya devam edilmesi gereken sahalardır.

Bu makale yardımcılamalı haberleşmenin daha çok MAC katmanını ilgilendiren yönlerini inceleyen bir kaynak taramasıdır. İkinci bölümde yardımcılamalı haberleşme konsepti hakkında daha detaylı ön bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde yardımcılamalı haberleşme yapan ağlarda ortak seçimi nasıl yapıldığı ve ortam erişimi için önerilen MAC protokolleri irdelenecektir. Makale dördüncü bölümdeki sonuçlar kısmı ile tamamlanacaktır.

2. Ön bilgi

Kablosuz Haberleşme Ortamı Kısıtları

Kablosuz haberleşme ortamı veri iletimini olumsuz yönde etkileyen çeşitli kısıtlara maruzdur. Bu bölümde yardımcılamalı haberleşmeyi ilgilendiren belli başlı kısıtlar özet olarak açıklanacaktır. Kısıtların gönderilen sinyal üzerindeki etkisi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Vericiden çıkan sinyaller ortamda bulunan nesnelere çarparak yansımalar uğrar ve yansıyan bu sinyallerden bazıları direkt sinyalle birlikte farklı zaman gecikmeleri ile alıcıya ulaşır. Çoklu yol yayılımı (mutipath propagation) olarak isimlendirilen bu durum farklı zayıflama, gecikme ve faz kaymasına sahip sinyallerin birbirlerini etkilemeleri neticesinde çoklu yol sönümlenmesine (mutipath fading) neden olur. Çevredeki nesnelere ya da vericinin büyük ya da küçük çaplı yer değiştirmeleri de sönümlenmeyi etkileyen diğer bir faktördür.

Vericiden çıkan sinyallerin doğal olarak maruz kaldıkları diğer bir eken de yol kaybıdır (path loss). Yol kaybı etkisi frekansına ve vericinin mesafesine bağlı

olarak sinyal genliğinin zayıflamasına neden olur. Sinyalin ortam gürültüsüne oranının (Signal to Noise Ratio – SNR) belli bir eşik değerinin altında olması durumunda alıcının sinyali çözümleyebilmesi mümkün olmaz. Yayılım yolu üzerindeki nesnelere bu sinyal zayıflamasının değişkenliğine neden olabilirler. Gölgeleme (shadowing) olarak adlandırılan bu durum vericiden aynı mesafede bulunan farklı alıcıların değişik miktarda zayıflamaya uğramış sinyalleri almasında neden olur [1].

Çeşitleme ve MIMO Sistemler

Kablosuz ortamın belirtilen kısıtlarının etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan çeşitleme yöntemi, sinyalin birden fazla kopyasının alıcıya ulaşmasını sağlayarak daha güçlü bir sinyal elde etme prensibine dayanır. Ana olarak üç tür çeşitleme yöntemi kullanılmaktadır:

- *Uzaysal çeşitleme:* Aynı sinyal coğrafik olarak farklı mevkilerden gönderilir. Her bir sinyal alıcıya ulaşmaya kadar farklı bir yol izleyeceğinden farklı bir sönümlenmeye tabi olacaktır. Alıcı belli bir yöntemle bu sinyalleri yorumlayarak (örneğin maksimum oran birleştiricisi kullanarak) güçlü bir sinyal elde edebilmektedir.

- *Zamansal çeşitleme:* Aynı sinyal değişik zamanlarda gönderilir. Çevresel şartların iki sinyal arasında değişmesinden dolayı alıcıya ulaşan sinyaller farklı sönümlenmeye tabi olmaktadır. Alıcı farklı özelliklere sahip bu sinyalleri yorumlayarak daha güçlü bir sinyal elde edebilmektedir.

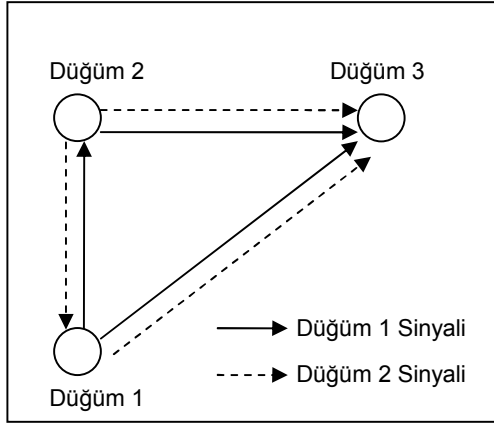
- *Frekans çeşitlemesi:* Aynı sinyalin farklı frekanslarla gönderilmesidir. Ortam şartlarının sinyal üzerindeki etkisinin sinyalin frekansına göre değişiklik göstermesi nedeniyle, alıcı farklı bozulmalara uğramış sinyaller almaktadır. Yine yorumlama ile bu sinyallerden daha güçlü bir tek sinyal elde edilebilmektedir.

MIMO sistemler uzaysal çeşitlemeyi kullanmaktadır. Bu maksatla vericiden çıkan sinyaller birden fazla antene beslenmekte ve böylece sinyalin birden fazla yol takip ederek alıcıya ulaşması sağlanmaktadır. Alıcı da yine birden fazla anten kullanmaktadır.

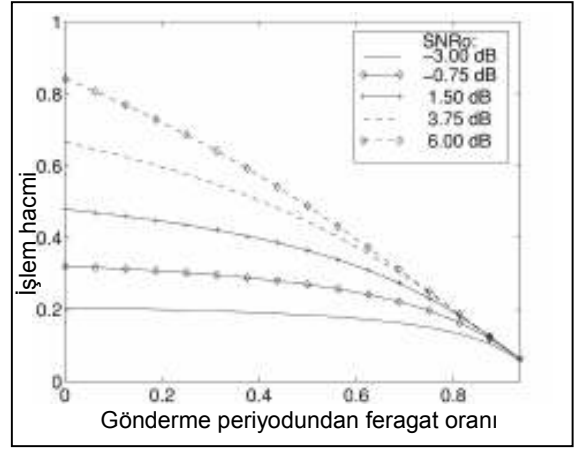
MIMO sistemler uzun yıllardan beri araştırılan bir alandır. Sistemin haberleşme güvenilirliğini, birim zamanda gönderilen veri miktarını ve haberleşme mesafesini yüksek miktarda artırdığı tespit edilmiştir.

Yardımlaşmalı Haberleşme

Boyut, donanım ya da maliyet gibi nedenlerle üzerlerinde birden fazla anten bulunduramayan kablosuz



Şekil 2: Yardımlaşmalı Haberleşme



Şekil 3: Gönderme periyodundan feragatin işlem hacmine etkisi [17]

ağ düğümleri (örneğin duyargalar) MIMO sistemlerin yukarıda belirtilen avantajlarından istifade edemezler. Bu tür uygulama alanları için de uzaysal çeşitlenmenin nasıl yapılabileceği konusundaki araştırmalar yardımlaşmalı haberleşme konseptini ortaya çıkarmıştır. Komşu düğümlerin, MIMO sistemlerdeki ilave antenler gibi kullanılması olarak özetlenebilecek bu konseptin temelleri aslında 1970'li yıllarda bilişim teorisi açısından yapılan incelemelerle atılmıştır [2]. Fikrin kablosuz haberleşme alanına uygulanabilirliği ise 1990'lı yılların sonlarından itibaren araştırılmaya başlanmıştır.

Kablosuz haberleşme yapan düğümler herhangi bir alıcıya gönderecekleri sinyalleri bir anten vasıtasıyla tüm ortama yayımlarlar. Bu sinyal alıcı düğüme ulaştığı gibi çıkış gücüne bağlı olan bir yarıçap dahilindeki diğer tüm düğümler tarafından da duyabilmektedirler. Klasik ağlarda bu düğümler alınan sinyali kendilerine adresli olmadığı için işleme tabi tutmamakta ve atmaktadırlar. Yardımlaşmalı haberleşme, herhangi bir ek yük oluşturmaksızın komşulara kadar ulaşan bu sinyallerin değerlendirilmesi mantığından hareket etmektedir. Uygun konumda ve uygun sayıda seçilecek olan komşular ortak (partner) olarak adlandırılmakta ve bunların da aynı sinyalleri alıcıya göndermesi sağlanmaktadır. Alıcı değişik mevkilerden gönderilen ve dolayısıyla değişik sönmülmeye uğramış olan bu sinyalleri işleyerek daha güçlü bir sinyal elde etmekte ve verinin doğru olarak kaydedilmesi ihtimalini artırmaktadır.

Bahsedilen bu yöntemi klasik anahtarlardan (relaying) ayıran en büyük özellik klasik anahtarlama kanallarında anahtarlama yapan düğümlerin sabit olması ve tek amaçlarının kaynak düğümden aldıkları sinyalleri hedef düğüme aktarmak olmasıdır. Yardımlaşmalı haberleşmede

anahtarlama işlemini yapan ortaklar ağdaki herhangi bir düğüm gibi kendilerine ait gönderilecek verisi bulunan düğümlerdir. Dolayısıyla hem bir anahtarlama hem de bir veri kaynağı olarak hareket etmektedirler. Şekil 2'de bu durum gösterilmiştir.

Bir düğümün kendi güç ve gönderme zamanından feragatte bulunarak yardımlaşmada bulunduğu düğüm için kaynaklarını ayırması ilk bakışta uzaysal çeşitlenmenin avantajlarını nötrleyebilecek dezavantajlar olarak görülebilir. Ancak bu algılama genellikle işlem hacminin (throughput) yanlış yorumlanmasından kaynaklanmaktadır. İşlem hacmi birim zamanda ne kadar gönderme yapıldığının değil, karşı taraftan ne kadar başarı ile alındığının bir göstergesidir. Ortam şartlarından dolayı SNR'nin düşük olması durumunda ne kadar yüksek süratle gönderme yapılırsa yapılırsın hedef düğüme büyük oranda bozulmuş sinyaller ulaşacaktır. Şekil 3 incelendiğinde SNR'nin düşük olduğu böyle bir ortamda düğümün kendi gönderme zamanından feragatte bulunmasının işlem hacmini çok az etkilediği görülecektir. Buna karşılık çeşitleme ile elde edilecek avantajlar bu kabın çok üzerindedir.

Yardımlaşmalı haberleşmeyi sağlamak üzere çeşitli yöntemler önerilmiştir. Ortakların yapacağı işlemler ve alıcının sinyalleri bir araya getirme yöntemlerini de ilgilendiren bu yöntemler temel olarak üç gruba ayrılmaktadır: 1) Sabit anahtarlama 2) Seçici anahtarlama 3) Artırımlı anahtarlama.

Sabit anahtarlama yöntemi iki şekilde yapılabilmektedir. *Yükselt ve ilet* yönteminde anahtarlama yapan düğüm aldığı sinyali herhangi bir işleme tabi tutmadan yükselterek hedef düğüme iletmektedir. Çok basit olan bu yöntemin dezavantajı sinyalle beraber

gürültünün de yükseltilmesidir. *Çöz ve ilet* yönteminde ise anahtarlayıcı öncelikli olarak aldığı sinyali çözmeye çalışır. Sadece başarılı olarak çözülebilen sinyaller hedef düğüme iletilir. Böylece gürültü elemine edilmiş olur.

Seçici anahtarlama yönteminde anahtarlayıcı kendisi ile kaynak düğüm arasındaki SNR'a bakarak hangi tür iletim yapacağına karar verir. SNR belirli bir eşik değerinin üzerinde ise yükselt ve ilet ya da çöz ve ilet yöntemlerinden birini kullanabilir. SNR bu eşik değerinin altında ise daha güçlü kodlama yöntemi kullanarak sinyalin hedef düğüme daha yüksek bir ihtimalle ulaşmasını sağlar.

*Artırılmış anahtarlama*da diğer iki yöntemden farklı olarak anahtarlayıcı kaynak düğümle hedef düğüm arasındaki iletişimin kalitesine bağlı olarak iletim yapma ya da yapmama durumundan birini seçer. Bu yöntemde hedef düğüm kaynaktan gelen sinyalin başarı ile alınıp alınmadığını bir bitlik sinyal ile ağa yayımlar. Eğer kaynak düğümün yalnız olarak gönderdiği sinyaller hedef tarafından alınmıyorsa ortak düğüm(ler) devreye girer ve yukarıda belirtilen yöntemlerden birini kullanarak iletme başlarlar.

3. Yardımlaşmalı haberleşmede MAC katmanı hususları

Yardımlaşmalı haberleşme alanında yapılan araştırmalar incelendiğinde bunların büyük bir kısmının haberleşme protokol yığınının fiziksel katmanı ile sınırlı olduğu görülmektedir [9]. Yardımlaşmalı haberleşmenin sunmuş olduğu avantajlardan istifade edilebilmesi yardımlaşmanın tüm ağ çapına yaygınlaştırılması ve dolayısıyla haberleşme protokol yığınının daha üst katmanlarının da aktif rol almasıyla mümkün olabilecektir. Optimum ortak(lar)ın seçimi, yardımlaşma sinyallerinin ortam erişim kontrolünün sağlanması, yardımlaşmanın çoklu yayım ve yönlendirmede kullanılması, yardımlaşmanın haberleşme güvenliğine etkilerinin incelenmesi ve tüm bunların minimum enerji harcaması ile yerine getirilmesi gibi konular MAC ve daha üst katmanları da ilgilendiren hususlardır. Bu bölümde MAC katmanında yapılan belli başlı çalışmalar irdelenecektir.

Ortak seçimi

Kaynak düğüme hangi düğüm ya da düğümlerin yardımda bulunacağı ve bu görevin nasıl yerine

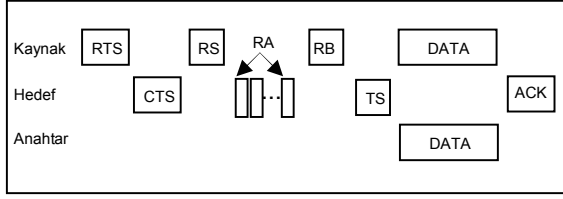
getirileceği hususları ortak seçimi başlığı altında incelenmektedir. Literatürde önerilen protokoller mümkün olan en az ek yük ile ve hali hazırda klasik kablosuz ağlarda kullanılan sinyallerden istifade ile optimum ortak(lar)ı bulmaya çalışmaktadır.

[8] gönderme talebi (request-to-transmit – RTS) ve gönderme serbest (clear-to-send – RTS) sinyallerini kullanarak bir aday kümesi içerisinde en iyi ortak seçimini önermektedir. Fırsatçı anahtarlama (opportunistic relaying) olarak isimlendirilen bu protokol, seçim işlemini her komşunun yerel kanal ölçümlemesi ile dağıtık olarak, önceden herhangi bir topoloji bilgisine gerek duymadan ve minimum ek yük ile gerçekleştirmeye çalışmaktadır.

Bilindiği üzere kablosuz haberleşme yapan düğümler ortam erişimi için RTS ve CTS sinyallerini kullanmaktadır. Herhangi bir veri göndermek isteyen düğüm hedef düğüme bu isteğini RTS sinyali ile bildirir. Kanal başka bir düğüm için rezerve edilmedi ise hedef düğüm bu isteği bir CTS sinyali ile onaylar. Böylece iletişim kanalı RTS-CTS sinyallerinde belirtilen periyot süresince bu iletişim için rezerve edilir.

RTS sinyalini duyan herhangi bir komşu düğüm bu sinyalden istifade ile kendisi ile kaynak arasındaki anlık SNR'ı (SNR_{ka}) hesaplar. Bu RTS'e cevap olarak gönderilen CTS sinyalini kullanarak da kendisi ile hedef düğüm arasındaki anlık SNR'ı (SNR_{ah}) bulur. CTS'in alınmasını müteakip aday düğüm bir geri sayım aracı başlatır. Geri sayım aracının başlangıç değeri SNR_{ka} ve SNR_{ah} ikilisinin bir fonksiyonu olup, en optimum ikiliye sahip düğüm için en az olacak değeri verir. Geri sayım aracı en önce sıfırlanan düğüm en iyi adaydır ve bu düğüm bir sinyal yayımı ile kendisini ortak olarak deklere eder. Bu sinyali alan diğer adaylar geriye sayım araçlarını durdurarak adaylıktan çekilirler.

[7] ortak seçimini sabit bir baz istasyona sahip senaryolar açısından incelemektedir. Önerilen protokolda baz istasyonu (BS) seçim işlemine aktif olarak katılmakta ve böylece tüm ağda maksimum sayıda ve en optimum şekilde yardımlaşan gruplar oluşturmaya çalışmaktadır.

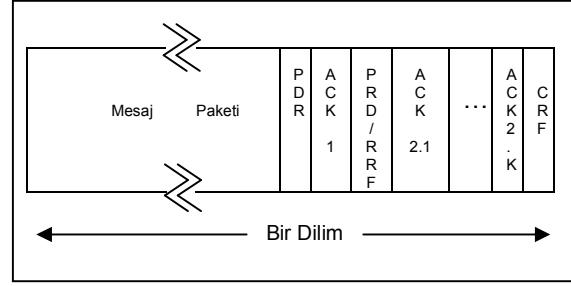


Şekil 4: C-MAC akış şeması

Protokol ağdaki tüm düğümlerin her türlü trafiği dinleyerek tüm komşuları ile aralarındaki SNR'ları tespit etmesi ve bu tespitlerini bir liste halinde BS'ye göndermesi ile başlamaktadır. BS tüm düğümlerden aldığı bu listeleri kullanarak her bir düğüm için ortak adaylarını tespit eder ve bunları azalan SNR'lar şeklinde her bir düğüm için ayrı bir listede tutar. d_1 düğümü ile d_2 düğümünün ortak adayı olabilmesi için d_1 'in gönderdiği listede d_2 'nin ve d_2 'nin listesinde de d_1 'in bulunması gerekmektedir. Aday listeleri tamamlandıktan sonra BS yeni ve başlangıçta boş olan bir ortaklar listesi oluşturur. Bu ortaklar listesinin dışında kalan düğümlerden aday listesinde en çok elemana sahip düğümü bularak, bu düğüme ait aday listesindeki ilk düğüm ile eşleştirir, her iki düğümü ortaklar listesine atar ve tüm diğer aday listelerinden siler. Bu işlemi tüm düğümlerin eşleştirmesi tamamlanıncaya ya da sadece aday listesi boş olan düğümler kalıncaya kadar devam ettir. Ortak ataması yapılamayan düğümleri rasgele atamaya tabi tutar ve nihai ortak listesini yayımlar. Her düğüm önerilen bu yardımlaşmaya uyar ya da ortam şartlarının değişmesi durumunda öneriyi reddederek algoritmanın yeniden çalıştırılmasını talep edebilir.

MAC protokolleri

[5] ortam erişimi kontrolünü sağlamak üzere Yardımlaşmalı MAC protokolünü (C-MAC) önermektedir. Şekil 4'de akış şeması verilen protokol RTS ve CTS sinyallerinden istifade etmektedir. CTS sinyali küçük bir modifikasyon ile halihazırda diğer anahtarlayıcılar tarafından kullanılan ve dolayısıyla bu talebin yapıldığı haberleşme için kullanılmayacak çip sekans endekslerini de ihtiva etmektedir. RTS sinyalini duyan her düğüm kendisi ile kaynak arasındaki ve daha sonra da CTS sinyalini kullanarak kendisi ile hedef arasındaki SNR'ı ölçer. CTS sinyalini alan kaynak düğüm yardımlaşmada bulunabilecek komşularını belirlemek amacıyla bir anahtarlama başlangıç (RS) paketi gönderir. RS paketi komşuların hangi sıra ile gönderim yapacaklarını da belirten bilgileri içerir. RS paketini alan düğümler bu pakette belirtilen sıra ile kaynak düğüme anahtarlama alıncısı (RA) paketini gönderir. RA paketleri adayın halihazırda kullanımda



Şekil 5: CDSA dilim bölümlenmesi

olan ve dolayısıyla kaynak için tahsis edemeyeceği çip sekansları ile bu yardımlaşma için tahsis edebileceği en yüksek çıkış gücünü de içermektedir. Kaynak düğüm RA paketlerini kullanarak ortaklık yapacağı düğümleri, her bir ortağın bu işlem için kullanacağı güç seviyesini belirler ve bir anahtarlayıcı yayımı (RB) paketi ile bunu duyurur. RB paketi kendisine ulaştığında hedef düğüm bir gönderme başlangıcı (TS) yayımlayarak çevredeki diğer düğümleri uyarır. TS'in kaynak ve ortaklarına ulaşması ile tahsis edilen çip sekansları ile yardımlaşmalı haberleşme başlar.

[4] dilimlendirilmiş ALOHA protokolünü alt dilimciklere ayırarak "yardımlaşmalı çeşitleme dilimlendirilmiş ALOHA (CDSA)" protokolünü önermektedir. Şekil 5'da bu alt dilimlendirme gösterilmiştir. PDR, sinyalin asıl hedef tarafından başarı ile alınması durumunda, hedef tarafından gönderilerek ekstra yönlendirmeleri önlemek amacıyla kullanılmaktadır. ACK1, niyetlenen alıcının (bir sonraki adımdaki düğümün) paketi başarıyla alıp almadığını belirtmek üzere bu düğüm tarafından gönderilmektedir. PRD/RRF dilimciği iki maksatla kullanılmaktadır: 1) Eğer hedef tarafından ilk dilimcikteki PDR gönderilmiş ise kaynak tarafından bu dilimde yine PDR paketi gönderilerek niyetlenen alıcının paketi tekrar aktarması önlenir. 2) Eğer kaynak bu süre zarfında PDR ya da ACK1 paketi almadı ise komşularından yardımlaşma talebinde bulunmak üzere RRF sinyali gönderir. RRF paketini alan düğüm yardım etmeye karar verir ise bir ya da daha fazla dilimcikte ACK2 paketi gönderir. ACK2 paketi kaynak düğüme ulaşan düğümler arasından bir tanesi kaynak düğüm tarafından ortak olarak belirlenir ve CRF paketi ile bu düğüme bildirilir. CRF sinyalini alan adaylar paket içeriğine bakarak kendilerinin ortak olarak seçilip seçilmediğine karar verirler. Kaynak düğüme hiç bir ACK2 paketi ulaşmaması durumu yardımlaşabilecek bir düğümün olmadığını belirtir. Bu durumda kaynak düğüm mesajı yardımlaşma olmaksızın klasik yöntemlerle yeniden gönderme işlemini başlatır.

[3] MACA protokolünü modifiye ederek yardımlaşmalı çeşitleme MACA protokolünü (CD-MACA) önermektedir. CD-MACA'da kaynak ve hedef düğümler MACA'da olduğu gibi RTS-CTS paketlerini kullanarak normal haberleşmeye devam ederler. Hedef düğüm haricindeki düğümler herhangi bir mesaj "duydıklarında" bunu atmaz, belli bir süre ara bellekte tutarlar. Bu düğümler daha sonra bir CTS paketi aldıklarında ara bellekte tuttıkları mesajlardan herhangi birinin bu CTS paketinde belirtilen mesaj ile aynı olup olmadığını kontrol ederler. Eğer bu şartı sağlayan mesaj ara bellekte mevcut ise kaynak düğüme ilave olarak bu düğümler de mesajı hedef düğüme gönderirler. Hedef düğümün uzaysal çeşitlemeden istifade etmesini sağlamış olurlar.

4. Sonuç

Bu makalede yardımlaşmalı haberleşmenin MAC katmanlarını ilgilendiren yönleri irdelendi. Bu maksatla kablosuz haberleşmenin yardımlaşmaya etki eden yönleri üzerinde duruldu, MIMO sistemler hatırlatıldı ve yardımlaşmalı haberleşme kavramı açıklandı. Daha sonra da fiziksel katmanın üzerindeki katmanların aktif kalımına ihtiyaç gösteren ortak seçimi ve MAC protokolleri ile ilgili belli başlı makaleler irdelendi.

KAYNAKLAR

- [1] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications (2. Ed.)", Prentice Hall, 2002
- [2] Aria Nosratinia, Todd E. Hunter, Ahmedreza Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks", IEEE Communications Magazine, October 2004
- [3] Xin Wang, Chenyang Yang, "A MAC Protocol Supporting Cooperative Diversity for Distributed Wireless Ad Hoc Networks", IEEE, 2005
- [4] Wing-Hin Wong, John M. Shea, Tan F. Wong, "Cooperative-Diversity Slotted ALOHA", Proceedings of 2nd Int.Conf. on QoS in Heterogeneous Wired/Wireless Networks, 2005
- [5] Aytaç Azgın, Yücel Altunbaşak, Ghassan AlRegib, "Cooperative MAC and Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks", IEEE Globecom, 2005
- [6] Anna Scaglione, Dennis L. Goeckel, J.Nicholas Laneman, "Cooperative Communications in Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Signal Processing Magazine, September 2006

[7] Young Seok Jung, Jae Hong Lee, "Partner Assignment Algorithm for Cooperative Diversity in Mobile Communication Systems", IEEE, 2006

[8] Aggelos Bletsas, Ashish Khisti, David P. Reed, Andrew Lippman, "A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection", IEEE, 2006

[9] Gentian Jakllari, Srikanth V. Krishnamurthy, Michalis Faloutsos, Prashant V. Krishnamurthy, "On Broadcasting with Cooperative Diversity in Multi-Hop Wireless Networks", IEEE, 2007

[10] J. Nicholas Laneman, David N.C.Tse, Gregory W.Wornell, "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior", IEEE, 2004

[11] Andrew Sendonaris, Elza Erkip, Behnaam Aazhang, "User Cooperation Diversity Part I, Part II", IEEE, 2003