

Gezgin Ad Hoc Ağlar ve Yol Atama

Mobile Ad Hoc Networks and Routing

ÖZET

Gezgin ad hoc ağlar, sabit bir alt yapıyı gerektirmeyen, ortam koşullarına hızla ve ön hazırlıksız kendi kendini uyarlayarak hizmet ettiği uç birimler arasında iletişimi sağlayan dinamik varlıklardır. Bu özellikleri ile, bildirimizde açıklanan problemlere çözüm üreten teknolojiler geliştirildikçe, bilişim pazarında daha çok uygulama alanı bulacaktır.

ÖZGEÇMİŞ

Müjdat Soytürk

1994 yılında Deniz Harp Okulu'ndan mezun olduktan sonra 1999 yılında Boğaziçi Üniversitesinde açılan Otomatik Bilgi İşlem Subay Temel Kursunu bitirdi. İ.T.Ü. Bilgisayar Mühendisliği bölümünde 1999 yılında başladığı Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir. İlgi alanı telsiz bilgisayar ağlarıdır.

Emre Harmancı

1970 yılında Paris Üniversitesinde doktora derecesini aldı. İ.T.Ü. 'nde 1975 yılında doçent, 1982 yılında profesör oldu. İ.T.Ü.'nde çeşitli idari görevlerde bulundu. Halen Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Bilimleri Ana Bilim Dalı Başkanıdır. Sanayide danışmanlıkları vardır. Birçok meslek örgütü üyesidir. Uluslararası dergilerde ve uluslararası konferans kitaplarında yayınlanmış çok sayıda yayını vardır. İlgi alanı bilgisayar ağları ve bilgisayar mimarisidir.

Erdal Çayırıcı

1986 yılında Kara Harp Okulu'ndan, 1989 yılında Royal Military Academy Sandhurst'den mezun oldu. 1993 yılında Otomatik Bilgi İşlem Subay Temel Kursunu bitirdikten sonra Orta Doğu Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde başlamış olduğu yüksek lisans eğitimini 1995 yılında tamamladı. 2000 yılında Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde doktora derecesini aldı. İlgi alanları telsiz bilgisayar ağları, kişisel iletişim hizmetleri (PCS) ve muharebe modellemesidir.

ABSTRACT

Ad hoc mobile networks are infrastructureless networks that can organize themselves according to dynamic environment changes to establish the communications between the end nodes without any preplanning. Because of these characteristics, new ad hoc applications are implemented everyday as the technologies, which overcome ad hoc related problems that are discussed in this paper, evolve.

Gezgin Ad Hoc Ağlar ve Yol Atama

1. GİRİŞ

Gezgin kullanıcılara çoğul ortam hizmetlerini sunmayı hedefleyen gezgin ağ teknolojileri, 1970'lerde ilk ortaya çıkışlarından itibaren, bilişim alanında giderek daha fazla ilgi çeken bir konu olmuştur [23]. Telsiz erişimden yararlanan gezgin ağlar genellikle iki sınıfa ayrılarak incelenirler: sabit bir altyapıyı gerektiren *hücresele ağlar* ve sabit altyapıya ihtiyaç duymayan *ad hoc ağlar*.

Hücresele ağlarda, gezgin uç düğümleri sabit altyapıya ait bir erişim noktasına tek sekmeli (single-hop) telsiz bağ (link) yoluyla erişirler [4]. Hiçbir sabit altyapının olmadığı, çok az sabit altyapının var olduğu, ya da mevcut bir sabit altyapıya erişimin güçlüğüyle yapıldığı bölgelerde, gezgin kullanıcılara, çoğul ortam iletişim hizmetleri ad hoc ağlar sayesinde sunulabilir [1-5, 9, 13, 14, 17-20].

Ad hoc ağlar kendiliğinden yapılanırlar, geniş bir alana kolayca yayılırlar ve sabit bir altyapı kullanmazlar. Her yönde hareket edebilen ve kısıtlı imkanlara karşın iletişimi sürdürmek için sürekli işbirliği yapan telsiz düğümlerden oluşurlar. Ad hoc ağlardaki düğümler sabit olabildikleri gibi, çok yüksek hızla da hareket edebilirler [14]. Bu yeni ağ mimarisinin asıl amacı, sabit altyapılı gezgin ağlara göre, kullanıcılara daha fazla esneklik, hareketlilik sağlamak ve ağ yönetimini kolaylaştırmaktır. Bu özellikler, hücresele ağlardaki bilinen fiziksel altyapı yerine, ad hoc düğümler arasında dinamik iletişim omurgaları kurularak sağlanır. Ağ, düğümleriyle birlikte hareket eder. Düğümler nereye giderse ağ da oraya gittiği için, bir ad hoc ağın kendisi de gezgindir. Uç düğümler (end nodes) gerektiğinde, baz istasyonu ve yönlendirici görevlerini de üstlenirler. Bu nedenlerle, bir ad hoc ağ, uyarlanabilir bir yönetim algoritmasına ihtiyaç duyan değişken yapılı bir varlıktır.

Ad hoc ağı diğer gezgin mimarilerden ayıran temel özellik, düğüm gezginliğinin, ağ topolojisinin sürekli olarak yeniden yapılanmasına neden olmasıdır. Bir gezgin ad hoc ağ ortamında gönderim (transmission) menzili, teknik kısıtlar ve çevresel etkiler nedeniyle değişken ve sınırlıdır. Bu teknik kısıtlar ve etkiler; gönderim gücü, alıcı duyarlılığı, gürültü ve diğer kanalların etkisi, yol-kayıpı (path-loss), gölge yitimi (shadow fading), Raleigh yitimi (Raleigh fading), doppler kayması şeklinde sıralanır.

Bir ad hoc ağın tasarımı için gerekenler, sabit altyapılı ağlara göre çok farklıdır. Düğüm gezginliği, telsiz ortamda gönderimden kaynaklanan problemler ve güç tüketimi karşılaşılan en büyük zorluklardır. Ağ ölçeklenebilirliği (scalability) de ağ tasarımında diğer bir önemli sorundur.

Ad hoc ağlarla ilgili temel özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Ağın denetimi, yönetimi ve yol atama için bir merkezi otorite yoktur.
- Tüm ağ elemanları buldukları ortamda yönlerini sürekli değiştirerek, hızla hareket edebilirler.
- Bütün iletişim (kullanıcı verisi ve denetim bilgileri) telsiz ortam üzerinden taşınır. Hiçbir telli bağlantı yoktur.
- Telli ağda kısıtlı olmayan enerji, bandgenişliği, işlem kapasitesi ve bellek gibi özkaynaklar, ad hoc ağlarda kısıtlıdır ve özenle tüketilmelidir.

- Gezgin düğümlerin her biri, gereğinde yol atama gibi ağ fonksiyonlarını da yerine getirirler.

Ad hoc ağlar, bazıları aşağıda sıralanmış olan birçok farklı amaç için kullanılabilirler [1, 7, 8, 18]:

- Kurtarma görevlerinde: Sabit altyapılı ağların kapsama alanlarının dışında (denizde, dağda),
- Seferberlik gerektiren durumlarda: Sel, deprem gibi doğal afetler ve savaş nedeniyle mevcut iletişim altyapısının çalışmadığı kriz zamanlarında,
- Yasal zorunluklar nedeniyle: Yasal sebeplerle sabit bir altyapının kurulmasının mümkün olmadığı yerlerde,
- Askeri (taktik) iletişimde: Harekat alanlarında, daha hızlı kurulabilen bir iletişim altyapısı sağlamak için,
- Ticari amaçlı olarak: Sergilerde, konferanslarda veya satış sunumlarında iletişimi sağlamak için,
- Hareketli platformlara takılı, akıllı algılayıcıları haberleştirmek için.

Bu bildiride, gezgin ad hoc ağ teknolojileri incelenecektir. İkinci bölümde gezgin ad hoc ağlarının temel sorunları açıklandıktan sonra, üçüncü bölümde ad hoc yol atama teknikleri, dördüncü bölümde öbek-yapılı (cluster-based) yol atama tekniği ele alınacaktır. Son bölüm sonuçlara ayrılmıştır.

2. AD HOC AĞLARDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Ad hoc ağlardan beklenen ve yukarıda bahsedilen özellikler nedeniyle, sistem tasarımı her aşamada zorlaşmaktadır. Fiziksel katman, MAC katmanı ve yol atama algoritmasının tasarım ve başarımıyla ilgili temel bir çelişki vardır. Kanal çatışması (interference), güç ve yol atama arasında etkili bir denge kurma problemi, sabit alt yapılı sistemlere göre daha farklı bir şekilde ad hoc ağların mimari katmanlarını etkiler. Bildiride, fiziksel ve MAC katmanı ile yol atama, adresleme ve hareket yönetimini içeren ağ katmanının tasarımında karşılaşılan zorluklar ve mevcut sistem çözümleri ele alınacaktır.

Fiziksel Katman

Radyo alıcı-vericileri fiziksel katmanı oluştururlar. Telsiz ağlarda iyi bir ağ bağlılığı (connectivity), belirlenen radyo alıcı-vericilerinin menziline bağlıdır. Telsiz ağlarda, bandgenişliği ve güç çok kısıtlı olduğu için, gönderim menzilinin belirlenmesinde, band genişliği kullanımı ve gönderim gücü arasında bir uzlaşma yapmak gerekir.

Bir telsiz ad hoc ağda, tüketilen enerjiyi azaltmak için, sinyaller düşük güçte gönderilebilir. Böylece tüketilen enerji azaltıldığı gibi karışım da azalarak sistemin verimi artırılmış olur. Fakat bu yaklaşımla sinyal menzili düşer ve yol-kayıpı (path-loss) gibi kanal etkileri artar. Tek sekmeye (single hop) iletişim kuran düğümler, çok sekmeli (multi hop) yollar üzerinden iletişim kurmak zorunda kalırlar. Böylece veri paketlerini göndermede toplamda daha fazla güç ve bandgenişliği kullanılmış olur. Aynı zamanda ortalama yol uzunluğunun artması, bağ hata (link-failure) oranının artmasına neden olur [14]. Bu nedenle bağlılığı (connectivity) sağlayacak ve batarya gücünü ve bandgenişliğini en uygun şekilde kullanacak bir gönderim menzili (transmission range) belirlenmelidir.

Fiziksel katmanda karşılaşılan 3 zorluk vardır. Bu zorlukların ilki olan telsiz ortam etkileri, ad hoc ağ sistem tasarımındaki en temel zorluktur. Anten tasarımı, işaret gönderim gücü, alıcı duyarlılığı, modülasyon yöntemleri, işaret işleme kullanımı, gönderim bandgenişliği ve taşıyıcı frekansı gibi kontrol edemediğimiz etkenler ve fiziksel engellerin varlığı ve düğüm gezginliği gibi kontrol edemediğimiz etkenler, telsiz bağların kalitesine, bilgi taşıma kapasitesine ve işaret menziline etki eder. İşaret yayılımını olumsuz etkileyen bu etkenlerin her biri, bir ad hoc düğümün bilgiyi doğru olarak gönderip almasında etkili olur. Buradaki zorluk, belirli bir menzil içerisinde çalışabilen sistem elemanlarının tasarımını etkili bir şekilde yapmaktır.

Ad hoc ağ sistem tasarımındaki ikinci büyük fiziksel-katman zorluğu enerji tüketimi ve batarya ömrü ile ilgilidir. Bu konular diğer telsiz sistemlerde de dikkat edilmesi gereken bir tasarım etkenidir, fakat ad hoc ağlarda sabit bir alt yapı kullanılmadığı için daha çok dikkat edilmesi gerekir. Bu sorunu çözmek için iki türlü yaklaşım vardır: birincisi daha güçlü batarya üretmek ve ikincisi de mevcut bataryaları daha etkili kullanmaktır. Bataryaları daha etkili kullanmak için protokoller, kanal erişimlerini iyileştirmeli ve gereksiz gönderimleri engelleyerek enerji tüketimlerini azaltmalıdır. Daha iyi bir çözüm ise, güç ekonomisine-dayalı yol atama yöntemleri geliştirmektir.

Fiziksel katmanda karşılaşılan son zorluk da düğümlerin gezginliğinden kaynaklanmaktadır. Sürekli değişen ortamda fiziksel katman parametreleride değişecektir. Fiziksel katman, parametrelerini değişen ortama uyarlamak için, düğümlerin hareket ve yer bilgilerine ihtiyaç duyar. Bu hareket ve yer bilgilerinin üst katman varlıklarına aktarılırsa, yol atama algoritmalarının daha iyi bir yol bulması sağlanır ve yol atama protokollerinin etkinliği artar[4, 14]. Fakat hareket ve yer bilgilerini sağlama, çok düğümlü olan ve bütün düğümleri gezgin olan bir ağda zorluklar içerir.

MAC Katman

Bir ortak gönderim ortamındaki (shared transmission medium) en temel sorun, iletişim kanalına erişimin, adil ve etkili bir şekilde denetiminin yapılmasıdır. Ortam-erişim-denetimi (Medium-Access-Control) bu işlevi sağlar. Telsiz ağlarda bandgenişliğinin çok kısıtlı olması nedeniyle özenle tüketilmesi gerektiğinden, ortama erişimde çok iyi bir çoklu-erişim (multiple-access) tekniği seçilmelidir.

Telsiz ağlarda kullanılan çoklu erişim teknikleri çatışmasız (conflict-free) ve çatışmalı (contention-based) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Çatışmasız teknikler, gönderimlerin başka gönderimlerle karışmayacağı (interfere) garanti eden tekniklerdir. Çatışmasız gönderim tekniğinde kanal, kullanıcılara, sabit ya da dinamik olarak tahsis edilir. Sabit çatışmasız tekniklerde, kanal, herhangi bir çatışmaya neden olmadan kullanıcılara; zaman tabanlı, frekans tabanlı ve kod (code) tabanlı tahsis yöntemlerinden biri seçilerek atanır. Kullanıcılar, kendilerine tahsis edilen kaynakları sisteme iade edinceye kadar başka bir kullanıcı ile paylaşmadan kullanırlar.

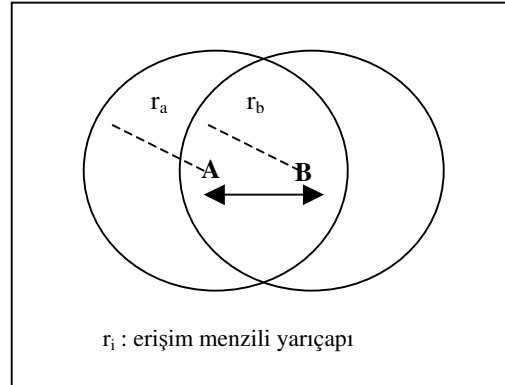
Sabit çatışmasız tekniklerin tersine, değişken çatışmasız teknikler kaynakları kullanıcılara ihtiyaç halinde geçici süre ile atar. Böylece kaynakları sadece ihtiyacı olanlar kullanmış olur.

Çatışmalı tekniklerde gönderimlerin başarısız olma ihtimali vardır. Bu nedenle bu teknikler, çatışma olması halinde bunu çözümlenecek/düzeltecek ve gönderilmek istenen verinin başarıyla gönderimini sağlayacak bazı yöntemler içerir. Bu çözümlene yöntemlerine göre çatışmalı teknikler, sabit

çatışmalı teknikler ve değişken çatışmalı teknikler olarak ikiye ayrılır. Bir sabit çatışma çözümlene tekniğinde kullanılan yöntemler, sistemin dinamikliğinden etkilenmez. Çatışmayı önlemek için öncelik veya olasılıksal değerler kullanılır. Değişken çatışma çözümlene tekniğinde, sistemdeki değişiklikleri takip ederek çatışmaları çözümlenmeye çalışır.

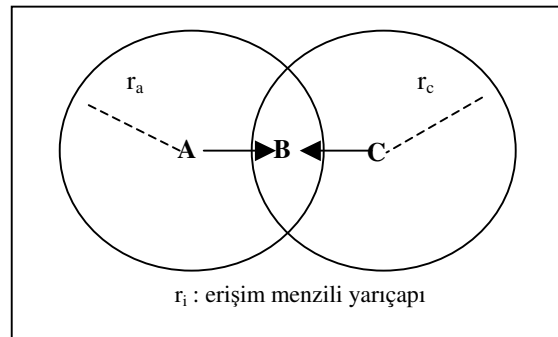
Günümüz gezgin iletişim sistemlerinde daha çok sabit çatışmasız kanal ayırma teknikleri (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim - FDMA, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim - TDMA, Kod Bölmeli Çoklu Erişim - CDMA) ve kaynak ayırmaya dayalı (reservation based) değişken çatışmasız kanal atama teknikleri (Paket Ayrılmalı Çoklu Erişim - PRMA, Değişken-TDMA - D-TDMA, Kaynak Alımlı Çoklu Erişim - RAMA) kullanılmaktadır [4]. Sabit kanal ayırma yöntemleri, bandgenişliğinin kısıtlı olması nedeniyle gezgin ad hoc ağlar için uygun değildir. Gezgin ad hoc ağlar için, bandgenişliğini daha etkin kullanan ve hız ve erişim gecikmesi bakımından hizmet kalitesi (QoS) garantisi sağlayan dinamik kanal ayırma yöntemleri uygundur [14].

Telsiz ağlarda, erişim ortamının aynı anda paylaşılması nedeniyle MAC katmanında karışım (interference) olayları oluşur. Birincil karışım ve ikincil karışım olarak sınıflandırılan iki türlü karışım vardır. Birincil karışım, aynı düğüme farklı iki göndericiden aynı anda veri gönderilmesiyle veya bir düğümün aynı anda hem alma hem gönderme işlemi yapmasıyla olur. İki tip birincil karışım vardır. Birincil karışımın ilk tipini açıklamak için, A ve B şeklinde birbirlerinin gönderim mesafesinde olan iki düğüm olsun (Şekil A). Bu durumda A ve B aynı anda birbirlerine gönderime başarlarsa, o zaman her iki düğümünde aynı anda alması ve göndermesi beklenir.



Şekil A Birincil karışım -I

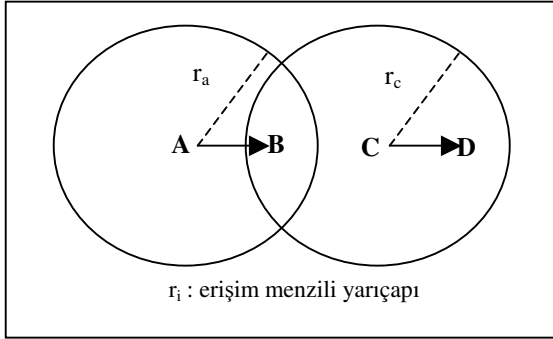
Saklı uç düğüm problemi (hidden terminal problem) olarak da bilinen ikinci tip birincil karışım, A, B ve C şeklinde üç düğüm ile açıklayabiliriz (Şekil B). B'nin hem A'nın hem de



Şekil B Birincil karışım - II (saklı uç düğüm problemi).

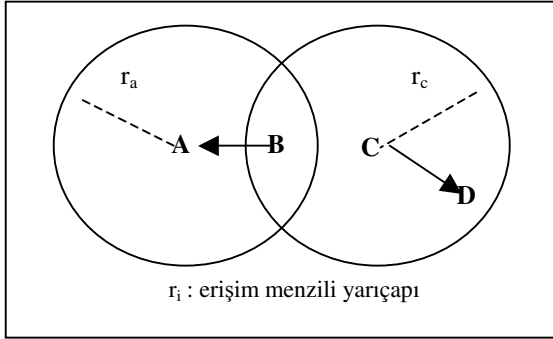
C'nin gönderim mesafesinde olduğunu, fakat A ve C'nin birbirlerinin gönderimlerini duymadığını varsayalım. Bu durumda A ve C, birbirlerine göre saklı uç düğümlerdir. Eğer A ve C aynı anda B'ye gönderime başlarsa, her iki düğümdede, kendi gönderimlerini B'nin almasını bekler. Fakat B, aynı anda iki alma işlemi yapamayacağından B'de çatışma oluşur. A ve C, bu çatışmayı önceden hissedemeyeceğinden çatışma olduğunu anlayana kadar gönderimlerine devam eder.

İkincil karışım, bir komşu düğümün gönderdiği sinyallerin, o anda bir gönderici ve alıcı iki düğüm arasında yapılmakta olan iletişimi istemeden karıştırmasıyla olur. İkincil karışımı, C'nin gönderimlerini alabilecek bir menzilde fakat B'yi duyamayacak bir mesafede olan dördüncü bir düğüm D ile açıklayabiliriz.



Şekil C İkincil karışım (örnek-1).

İlk örneğimizde (Şekil C), A ve C'nin birbirlerinin gönderim mesafesinde olmadığını ve A'nın B ile, C'nin de D ile iletişimde olduğunu varsayalım. B, hem A'nın hem de C'nin gönderim mesafesinde olduğundan, C, B'ye herhangi bir paket göndermeyecek olmasına rağmen A'nın gönderimleriyle B'de karışacaktır.



Şekil D İkincil karışım (etki altındaki uç düğüm problemi) (örnek-2).

Etki altındaki uç düğüm problemi (exposed terminal problem) olarak bilinen ikinci örneğimizde (Şekil D), B'nin A'ya veri göndermeye başladığını ve bu gönderim süresinde, C'nin D'ye gönderecek verisi olduğunu varsayalım. C, B'nin gönderimlerini duyacak ve D'de hiçbir çatışma olmayacak olmasına rağmen D'ye olan gönderimlerini geciktirecektir. Bu durumda C, B'ye göre etki altındaki uç düğümdür.

Yol Atama (Routing)

Bir ad hoc ağ, birlikte çalışan gezgin düğümlerin birleşimidir [19]. Bu düğümler gönderim menzili, bandgenişliği ve güçteki bazı kısıtlamalar altında telsiz iletişimi sağlarlar. Eşten-eşe (peer-to-peer) iletişim, özel yönlendiriciler kullanılmadan ve tek-sekmeli (single-hop) (daha fazla güç harcamayla sinyal menzilini büyütür) iletişim ihtiyacı doğmadan çok-sekmeli

(multi-hop) olarak yapılır. Uç-noktalar (end-points) arasındaki yollar (route), gezgin düğümlerin işbirliğiyle sağlanır. Bütün bağlar telsizdir ve aradaki düğümler bulunduğu ortamda rastgele hareket edebilir. Aynı zamanda, (düğüm hareketliliği, çevresel ve fiziksel etkenler nedeniyle) kullanılan yolların bozulma kısımları onarılarak veya alternatif bir yol (route) bulunarak iletişimin devamı sağlanmalıdır [14].

Bu koşullar altında, telsiz ad hoc ağda yol atama problemi, verimlilik¹ (efficiency) ve yanıtlanma² (responsiveness) arasında zor bir uzlaşma sonrasında sağlanır. Ad hoc ağlarda sürekli olan topoloji değişikliği aşırı yükü neden olur. Aynı zamanda düğüm hareketliliği ve bağ kalitesindeki değişikliğe göre de ağı hızlı bir şekilde uyarlamak gerekir. Problem bu ikisi arasındaki dengeyi sağlamaktır. Aşırı yük, bandgenişliğinin kullanımı, güç tüketimi ve gezgin düğümlerin işlem ihtiyaçları ile ölçülür. Bu çatışan ihtiyaçları etkili bir şekilde dengeleyen bir strateji oluşturmak, yol atama zorluğunun temelini oluşturur [14, 23].

3. GEZGİN AD HOC AĞLARDA YOL ATAMA

Gezgin ağlar için tasarlanan ilk yol atama teknikleri, sabit ağlarda kullanılan yol atama tekniklerinin, gezgin ağlara uyarlamalarıdır.

Sabit ağlarda kullanılan yol atama algoritmaları bu ortamlar için tasarlandığından, değişken ortamlarda iyi sonuç vermez [20]. Ağın değişkenliği arttıkça, yol atamanın getirdiği işlem yükü aşırı artar. Eğer bu aşırı yüklenme önlenmezse, ağ özkaynakları hızla tükenir veya kullanılmaz hale gelir.

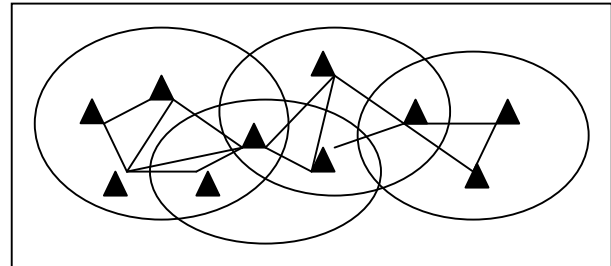
Bu nedenlerle, bu tekniklerin yetersiz kalmasıyla, gezgin ağlar için yeni teknikler önerilmiştir. Bu teknikleri açıklamadan önce, genelde yol atama protokollerini gözden geçirmek yararlı olacaktır. Yol atama protokollerini yapılarına göre, yatay (flat routed) yol atama ve hiyerarşik yol atama olarak ikiye ayrılabilir:

Yatay (Flat-Routed) Yol Atama

Bir yatay yol atama algoritmasında, her düğüm, ağdaki diğer bütün düğümlere giden yol bilgilerinin bulunduğu bir yol atama tablosu tutar.

Eğer ağdaki düğüm sayısı az ise, tablo büyüklüğü kabul edilebilir düzeyde kalır, ancak ağdaki düğüm sayısı arttığında tablolar büyür. Yol atamanın getirdiği iletişim yükü ve işlem süresi önemli ölçüde artar. Tablo işlem süresi ve güncelleme, ağa aşırı bir yük getirir. Bu nedenle, yatay yol atama algoritmaları, büyük ağlar için kabul edilebilir sonuçlar vermez.

Yatay yol atama tekniğiyle, gezgin ad hoc ağlarda yol atamayı desteklemek için birçok protokol önerilmiştir.



Şekil E Bir yatay yol atamalı ad hoc ağ.

¹ Verimlilik : ağ özkaynaklarını ekonomik ve etkili kullanma

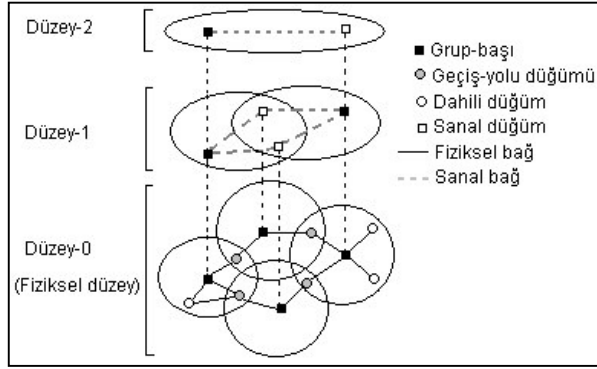
² Yanıtlanma : topoloji değişikliklerine hızlı ve doğru olarak tepki gösterme

Hiyerarşik Yol atama

Büyük ağlarda, ölçeklenebilir yöntem olarak hiyerarşik yol atama kullanılır. Hiyerarşik yol atamanın başlıca avantajı, yol atama tablolarının büyüklüğünü dolayısıyla yol atamadaki işlem yükünü önemli ölçüde azaltmasıdır.

Bir ağ, uç düğümler (end-point) ve anahtarlardan (switch) oluşur. Anahtarlar (switch) yol atama işlevini gerçekleştirir. Haberleşen varlıklar uç düğümlerdir ve gereğinde her uç düğüm, anahtar görevini üstlenerek, komşuları için yol atama işlevini gerçekleştirir.

Hiyerarşik ağda uç düğümler, protokolün en alt düzeyini oluştururlar. Yakın uç düğümler bir öbek (cluster) oluşturur ve kendilerinden birini öbek-başı (cluster-head) olarak seçer. Öbek başları, o öbek için anahtar (switch) görevini yürütür. Öbek başları (anahtarlar) bir üst düzeyde öbek oluşturarak ve kendi arasından bir öbek başı seçerek hiyerarşik yapının bir üst düzeyini oluştururlar (Şekil F).



Şekil F Bir fiziksel / sanal hiyerarşik ad hoc ağ.

Her düzeydeki öbeğin üyeleri, sadece kendi öbeklerindeki düğümlerin bilgilerini tutarlar. Diğer öbeklerdeki düğümlere ulaşma, aynı zamanda bir üst düzeydeki öbeğin bir elemanı olan öbek-başı üzerinden olur. Böylece yol atama tabloları küçülmüş ve ağda yol bulma işlem yükü azalmış olur. Ancak, bu teknikle seçilen yol her zaman optimal olmayacaktır.

Ad Hoc Ağlar İçin Yol Atama Teknikleri

Sabit alt yapıda kullanılan yol atama protokolleri, yol atama bilgilerini güncel tutmak ve yol atamada döngü oluşmasını önlemek için, düğümler arası bilgi paylaşımına ve / veya düğüm bilgilerinin global taşınlarla (flooding) tüm ağa yayılmasına ihtiyaç duyar. Bu tekniklerin uygulandığı yol atama protokolleri, ağın aşırı yüklenmesine ve düğümlerdeki işlem zamanının artmasına neden olur. Ayrıca bu teknikler, bandgenişliğinin yeterli olduğu ve ağ bağlantılarının sabit olduğu ortamlar için çok uygundur.

Bu tekniklerin etkinliği ad hoc ağların yol atama ihtiyaçlarını karşılamaz. Ad hoc ağlar için verimlilik (efficiency) ve yanıtlatma (responsiveness) özellikleri arasında daha etkili bir denge kurabilecek yeni yol atama stratejilerine ihtiyaç duyulur [14, 23]. Ad hoc ağlar için geliştirilen yol atama protokolleri aşağıda sınıflandırılmıştır:

- Tabloya-Dayalı (proactive) Yol Atama : bütün erişilebilen ağ varışlarına (destination) sürekli olarak yol (route) sağlayan bir stratejidir.
- İstekle-Tetiklenen (reactive) Yol Atama : yolların (route) sadece iletişim isteğinde sağlandığı ve korunduğu bir stratejidir. Bu yaklaşım yeni yollar oluşturmak ve

topoloji değişikliklerine göre yolları korumak için yöntemlere ihtiyaç duyar.

- Hibrid yol atama: önceden belirlenen kriterlere veya değişen ağ topolojisine göre tabloya-dayalı ya da istekle-tetiklenen yol atama tekniklerinden birini seçerek kullanan bir stratejidir.

Geliştirilen bu stratejilerin büyük bir çoğunluğu, yatay yol atama tekniğini kullanmaktadır.

Yol atama protokollerinin performansını etkileyen parametreleri belirtecek olursak bunlar ağ büyüklüğü, ağ bağlılığı (connectivity), topolojik değişme sıklığı, bağ kalitesi (link quality), tekyönlü bağların oranı, trafik yöntemleri ve hareketliliklerdir.

Tabloya-Dayalı Yol Atama Protokolleri

Tabloya-dayalı yol atama teknikleri, genelde, sabit alt yapıda kullanılan tekniklerin gezgin ağlara uyarlamalarıdır. Tabloya-dayalı yol atama protokolleri, yol atama bilgilerini ağ içerisinde periyodik olarak yayarak bütün varışlara yolları (path) önceden hesaplarlar. Bütün varışlara yol ihtiyacı olmasa bile veya başka bir düğümün yolu üzerinde bulunulmasa bile, her düğüm, bütün varışlara önceden hesaplanmış bir yol atama bilgisi tutar. Bu yol atama bilgileri bir veya birkaç tabloda tutulduğundan tabloya-dayalı yol atama olarak anılır. Bu tablolar, ağ topolojisinde bir değişiklik olduğunda, periyodik olarak gönderilen mesajlar veya güncelleme mesajlarıyla güncellenir. Bu tip bir yaklaşım, sabit topolojisi olan ağlarda yüksek kaliteli yollar sağlamasına rağmen, çok değişken büyük ağlar için iyi sonuç vermez [8, 23]. Telsiz ad hoc ağlar için geliştirilmiş olan tabloya-dayalı yol atama algoritmalarının en önemlileri aşağıda sıralanmıştır:

- Varış-Sıralı Uzaklık-Vektörü Algoritması (Destination-Sequenced Distance-Vector Algorithm), DSDV [20].
- Telsiz Yol Atama Protokolü (Wireless Routing Protocol), WRP [15].
- Global Durum Yol Ataması (Global State Routing), GSR [3].
- Balıkgözü Durum Yol Atama Algoritması (Fisheye State Routing Algorithm), FSR [8].
- Hiyerarşik Durum Yol Ataması (Hierarchical State Routing), HSR [8, 18].
- Öbek Geçitleri Üzerinden Yol Atama (Cluster Gateway Switching Routing), CGSR [23].

İstekle-Tetiklenen Yol Atama Protokolleri

Sabit alt yapıda kullanılan tekniklerin çeşitli şekilde uyarlaması olan tabloya-dayalı yol atama algoritmalarındaki olumsuzlukları gidermek için, istekle-tetiklenen yol atama algoritmaları geliştirilmiştir.

Yeni bir sınıf yol atama algoritması olan istekle-tetiklenen yol atama, verimlilik (efficiency) ve yanıtlatma (responsiveness) arasında daha iyi bir denge kurmak için tasarlanmıştır. İstekle-tetiklenen yol atama algoritmalarında, düğümler ve yollar ile ilgili önceden hesaplanmış bilgiler tutulmaz. Yol atama işlemi ihtiyaç duyulduğunda yapılır ve bu yol hakkındaki bilgiler de sadece yol kullanıldığı sürece tutulur. Üç kısımdan oluşur; yol arama (path search), bulunan yolu koruma (route maintenance) ve yol bilgilerini silme (erasing) [10, 13, 22, 23].

İletişim ihtiyacı oluştuğunda, kaynaktan varışa doğru bir yol bulma işlemi başlatılır. Yol bulunduğunda da topoloji değişikliğine karşı yolu iletişim süresince korur. İletişim bittiğinde yol iptal edilir. Bu teknik sayesinde yol atama algoritmasının işlemleri azalır ve yol atama algoritması topoloji değişikliklerine daha hızlı uyum sağlar. Ayrıca verilerin işlenmesinde ve gönderilmesinde daha az ağ özkaynakları kullanılmış olur.

İstekle-tetiklenen yol atama stratejisinde yollar, bir sorgu-yanıt işlemi ile sağlanır [13, 22]. Bu iş, yönlendirilmiş yayın (directed broadcast) denilen kontrollü taşkın (flooding) ile yapılır. Bu işlemde bir sorgu veya istek paketi, varışa doğru olan birkaç yol üzerinden gönderilir. Arama işlemi kaynak düğümden varışa doğru bir veya birkaç yolu dinamik olarak oluşturur. Bu strateji yol atama bilgilerinin tutulacağı varışların sayısını azaltır ve aynı zamanda da yol atama için gerekli olan denetim trafiği de azalır. Böylece tablo küçülür ve ağ yükü azalır.

Bu yaklaşımın da olumsuz yanları vardır. Bunlar yol arama işlemi esnasındaki gecikme olasılığı, uzaktaki düğümlere erişmek için gereken denetim trafiğinin büyüklüğü ve yol kalitesinin düşük olmasıdır. Ayrıca, yol arama işlemi sırasında yol sorgusu, bütün ağ boyunca yayılmaktadır. Son olarak da, istekle-tetiklenen birçok yol atama stratejisi, optimal yolları bulmaz ve bu strateji ile bulunan yollar, her topoloji değişikliğinde daha az optimal olur.

Telsiz ad hoc ağlar için geliştirilmiş olan istekle-tetiklenen yol atama algoritmalarının en önemlileri aşağıda sıralanmıştır:

- Gafni – Bertsekas (GB) Protokolü [14].
- Değişken Kaynak Yol Atama Protokolü (Dynamic Source Routing), DSR [9].
- Ad Hoc İstekle-Tetiklenen Uzaklık Vektör Protokolü (Ad Hoc On-Demand Distance Vector), AODV [19].
- Geçici Sıralı Yol Atama Algoritması (Temporarily Ordered Routing Algorithm), TORA [16].
- İlişkiye Dayalı Yol Atama (Associativity Based Routing), ABR [24].
- İşaret Dengesine Dayalı Yol Atama (Signal Stability Based Routing), SSR [5].

Her iki stratejinin birbirlerine göre olumlu ve olumsuz yanları vardır. Tabloya-dayalı yol atama stratejisinin istekle-tetiklenen yol atama stratejisine göre en önemli olumlu yanı istekle-tetiklenen yol bulma işlemindeki aşırı yük ve belirsizliklerin olmamasıdır. Tabloya-dayalı stratejide, istenilen yol, tutulan yol-atama tablolarından bakılarak bulunduğundan, gecikme ve işlem yoğunluğu olmaz. İstekle-tetiklenen protokoller, en iyi (optimal) yol yerine varışa giden herhangi bir yol bulur (bir çok istekle-tetiklenen protokol bulunan ilk yolu seçer) ve kullanılan yol zamanla daha az optimal olur. Buna karşın tabloya-dayalı protokoller genellikle en kısa yolu bulur.

Tabloya-dayalı yol atama protokollerinin de istekle-tetiklenen protokollere göre birçok olumsuz yanı vardır. İstekle-tetiklenen yol atama protokollerinin ortaya çıkışı da bu olumsuzluklar nedeniyle olmuş ve tabloya dayalı protokollere göre daha kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Bununla beraber istekle-tetiklenen yol atama algoritmaları ile ilgili yukarıda belirttiğimiz problemler giderilmelidir, çünkü etkili yol bulma ve topolojik değişikliklere olan tepkimeyi azaltma, ad hoc ağlarda yol atamanın etkinliğini arttırmak için çok önemlidir. Bunu salt istekle-tetiklenen protokol ile başarmak çok zordur. Yol atama işleminin etkinliğini arttıracak ve değişken ortamlar

için yol koruma işlemini başarıyla yapabilecek daha gelişmiş tekniklere ihtiyaç vardır.

Hibrid Yol Atama

Her iki teknik de belirli koşullarda olumlu yanları olmasına karşın diğer koşullarda iyi sonuçlar vermemektedir. Hangi tekniğin daha iyi olduğu ağın büyüklüğü, düğümlerin hareketlilik özellikleri, düğümler arasındaki trafik dağılımı, yol arama işleminin etkinliği, bozulan yolların düzeltilme hızı ve uzak erişim sorunları gibi etkenlere bağlıdır. Bu çatışan ve çok sayıdaki değişken etkenler nedeniyle hiçbir strateji optimal çözüm vermez ve hiçbir strateji bütün koşullar için tek başına yeterli değildir. Bunun sonucunda hibrid bir yaklaşım gerekmştir.

Tabloya-dayalı yol atama tekniği büyük ve gezgin ağlar için iyi sonuçlar vermediğinden, bu tekniğin uygulandığı alanı küçülttüğümüzde, onun avantajlarından faydalanabiliriz. İki tekniğin beraber kullandığımızda da, tabloya dayalı yol atama algoritmalarındaki işlem yükü ile özkaynak kullanımı ve istekle tetiklenen yol atama algoritmasında yol arama (route search) işlemindeki gecikme azalır. Salt istekle tetiklenen yol atama algoritmasına göre daha optimal bir yol bulunur. Böylece her iki tekniğin olumsuzluklarını büyük ölçüde gidererek olumlu yanlarından aynı anda faydalanabiliriz.

Her iki stratejide, yol bulma politikası, yol atama ölçütleri ve koruma algoritmalarıyla birbirlerinden çok farklı olmasına rağmen, bu işlem, ağın bölünerek, ağın farklı fiziksel ve mantıksal alanlarında ve zamanın farklı dilimlerinde bu iki yol atama tekniğinden biri uygulanarak yapılır. Böylece, yukarıda belirtilen etkenlerin yol atama algoritması üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmış olunur. Ayrıca farklı zamanda, farklı alanlarda farklı yol atama algoritmalarının uygulanmasıyla, yol atama görevi bölünmüş ve tek bir algoritmaya göre daha iyi bir denge sağlanmış olunur.

4. ÖBEK-YAPILI (CLUSTER-BASED) YOL ATAMA

Buraya kadar, gezgin ad hoc ağlar için birçok yol atama tekniği tanıtıldı. Bütün bu teknikler düğüm hareketliliğinden veya ağ büyüklüğünden olumsuz olarak etkilenmekte ve ihtiyaçların hepsini karşılamamaktadır.

Ad hoc ağlar için tasarlanan tabloya dayalı yol atama tekniğinin temelinde sabit ağlarda kullanılan yol atama tekniği olduğu için, bu teknik, düğüm hareketliliğinin az olduğu küçük ağlarda iyi sonuçlar vermektedir. Düğümlerin sayısı arttığında tutulan yol atama tablolarının büyüklüğüde artacaktır. Düğümlerin hareketliliği arttığında da süreklilik gösteren topoloji değişikliğine karşı tabloları güncellemek için gönderilen güncelleme mesajlarıyla ağ meşgul edilecek ve yapılan işlem miktarı artacaktır. Bu nedenle tabloya-dayalı yol atama tekniği hareketli ve büyük ağlar için uygun değildir.

Sadece aktif yollar için tablo tutarak ve sadece düğüm hareketliliğinden etkilenen aktif yollar için tablolarda güncelleme yaparak özkaynak kullanımını en aza indiren istekle-tetiklenen yol atama teknikleri gezgin ad hoc ağlar için daha uygundur. İstekle-tetiklenen yol atama teknikleri, düğüm sayısının az olduğu gezgin ağlarda iyi sonuçlar vermesine rağmen, ağ büyüdüğünde sonuçlarda kötüleşmektedir.

Büyük ağlar için uygulanacak en iyi yöntem hiyerarşik yapıdır. Hiyerarşik yapıyla ağ daha ufak görünecek ve daha küçük yol atama tabloları tutulacaktır. Hiyerarşik yapı bir ağda en az iki düzey vardır. En alt düzey, gerçek düğümlerden meydana gelen öbeklerden oluşmuş olup, diğer düzeyler

seçilen öbek başlarının meydana getirdiği sanal öbeklerden oluşan sanal düzeylerdir. Farklı öbeklerdeki düğümler arasındaki iletişimler öbek başları üzerinden sanal düzeyler kullanılarak yapılır.

Hiyerarşik yapı büyük ağlar için iyi sonuçlar vermesine karşın düğüm gezginliğinden olumsuz etkilenmektedir. Düğüm hareketliliğinden dolayı düğümler arasındaki bağların ömrü kısalmaktadır, en alt düzeyde oluşturulan öbeklerin üyeliklerinde sürekli olarak değişecektir. Bu da, hiyerarşik yapının en üst düzeyine kadar giden işlemler yükünün oluşmasına neden olmakta ve birçok karışık hesaplamaları gerektirmektedir.

Hiyerarşik yapıdaki düzeyler en az sayıda tutulursa, hiyerarşik yapının olumsuzlukları önemli ölçüde giderilebilir. En alt düzeyde de düğümlerin karakteristiklerine göre uygun öbeklerin oluşturulmasıyla, hem tabloya-dayalı / istekle-tetiklenen yol atamanın hem de hiyerarşik yol atamanın avantajlarından faydalanan hibrid bir yol atama tekniği uygulanabilir. Böyle bir yapıda öbek-yapılı yol atamadır.

Bir öbek-yapılı (cluster-based) ad hoc ağda, daha dengeli ve etkili bir topoloji sağlamak amacıyla, tüm ağ, dinamik olarak öbek (cluster) adı verilen parçalara bölünür. Böylece ad hoc ağlarda önemli bir etken olan ölçeklenebilirlik (scalability) problemi önemli ölçüde giderilir. Ayrıca öbekler, tabloya-dayalı ve istekle-tetiklenen yol atama arasında geçişide sağlayarak yol atama için avantajlar sağlar.

Düğümlerin gezginliği nedeniyle her öbeğin üyeliği ve karakteristiği zaman içinde değişebilir. Bu işlem öbek oluşturma (clustering) algoritması ile sağlanır. Ad hoc ağlarda öbek oluşturma, hiyerarşik yol atamayı desteklemek, istekle-tetiklenen protokoller için yol arama işlemi daha etkin hale getirmek, farklı alanlarda (domain) ve farklı hiyerarşik düzeylerde çalışan farklı yol atama stratejileri için hibrid yol atamayı desteklemek, gönderim bandgenişliğine erişimde daha fazla denetim sağlamak için kullanılır.

Sabit bir ağda oluşturulan öbekteki düğümlerde sabit kalır. Fakat bir ad hoc ağda düğüm gezginliği nedeniyle bağlılık (connectivity) ve düğümler arasındaki ilişki sürekli değişeceğinden öbeklerde dinamik olarak oluşturulmalıdır.

Ad hoc ağlar için geliştirilen öbek-yapılı algoritmalar aşağıdadır:

- k-Öbek-Yapılı Algoritması (k-Cluster-Based Algorithm) [12],
- Gezin Telsiz Ağlar için Uyarlanabilir Öbek Oluşturma (Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks) [6, 14],
- Minimum Bağlı Baskın Kümeleri Kullanarak Yol Atama (Routing Using Minimum Connected Dominating Sets (Spine)) [14],
- Telsiz Ağ Sistemleri için Multimedya Desteği (Multimedia Support for Wireless Network Systems), MMWN [21],
- Sanal Altağ Yol Ataması (Virtual Subnet Routing), VSN [14],
- Bölge Yol Atama Protokolü (Zone Routing Protocol), ZRP [7],
- MANET Öbek-Yapılı Yol Atama, (MANET Cluster Based Routing), CBR [8].

Öbek oluşturma ve dinamik hiyerarşik yol atama çok karışık ve ad hoc ağa çok yük bindiriyor gibi gözüksede hibrid yol

atama sayesinde tabloya-dayalı ve istekle-tetiklenen yol atamanın avantajlarıyla etkili hale gelir.

Önerilen yukarıdaki öbek-yapılı yol atama protokollerinin bazıları sadece tabloya-dayalı yol atama tekniğini, bazıları da hiyerarşik yada yatay yapılı hibrid teknikleri kullanmaktadır. Salt tabloya-dayalı yol atama tekniğini kullanan öbek yapılı yol atama protokollerinde bu tekniğin olumsuzlukları görülmektedir.

Hibrid yaklaşımın ve hiyerarşik yapının avantajlarından faydalanmak ve tek bir yol atama tekniğine göre daha iyi bir performans sağlamak için, öbekler içinde ve öbekler arasında farklı yol atama teknikleri uygulanmalıdır. Yol atama tekniklerinin seçimi, oluşturulan öbeklerin sayısına ve öbeklerdeki düğümlerin miktarlarına göre belirlenebilir. Öbekler küçük olduğunda, öbeklerdeki düğüm sayısı az olacak, buna karşılık öbeklerin sayısı artacaktır. Böyle bir durumda, öbekler içinde tabloya dayalı yol atama tekniğini, öbekler arasında da istekle-tetiklenen yol atama tekniğini kullanan bir hibrid yapı kullanılmalıdır. Öbekler büyük olduğunda da, öbeklerdeki düğüm sayıları artacak, buna karşılık öbeklerin sayısı azalacaktır. Böyle bir durumda da, öbekler içinde istekle-tetiklenen yol atama tekniğini, öbekler arasında da tabloya dayalı yol atama tekniğini kullanan bir hibrid yapı kullanılmalıdır.

Burada ortaya çıkan sorun, öbeğin büyüklüğünün ne kadar olacağına belirlenmesidir. Bu sorun da, öbek büyüklüğünü, öbekte bulunan düğümlerin hareketlilik karakteristiklerine göre dinamik olarak belirleyen uyarlanabilir bir yapıyla giderilebilir.

Bugüne kadar gezgin ad hoc ağlar için birçok yol atama tekniği geliştirilmiştir. Bu tekniklerin uygulandığı protokoller, gezgin ad hoc ağların karakteristikleri ve özkaynaklardaki kısıtlar nedeniyle, verimlilik (efficiency), yanıtlama (responsiveness), ölçeklenebilirlik (scalability) ve optimalite arasında çetin bir uzlaşmaya neden olmuştur. Bu uzlaşmayı mevcut protokoller ile en iyi şekilde, hibrid ve hiyerarşik bir yaklaşım olan öbek-yapılı yol atama stratejileri sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte kullanıcı ihtiyaçlarında çeşitlenmekte ve artmaktadır. Ad hoc ağlarda ölçeklenebilir (scalable) bir yol atama sağlayan, her türlü düğüm gezginliğine karşı verimlilik ve yanıtlama arasında iyi bir denge kurarak geniş alanda kullanıcı gezginliğini destekleyen uyarlanabilir bir yapıya ihtiyaç vardır. Böyle bir yapıda ad hoc ağ teknolojisinin gelecekteki rolünün temelidir.

5. SONUÇ

Gezin ağ teknolojileri iki geniş kapsamlı gruba ayrılarak incelenebilir: hücresele ağlar ve ad hoc ağlar. Aslında hücresele ağlar ad hoc ağların tek sekmeli telsiz bağı dayanan bir alt sınıfı olarak da kabul edilebilir. Hücresele ağlarda, uç düğümler önceden planlanmış ve kurulmuş sabit bir omurgaya bağlı erişim noktasına telsiz ortam üzerinden erişerek haberleşirler. Ad hoc ağlarda, uç düğümler bir erişim noktası veya bir başka uç düğüme ulaşmak için birden fazla telsiz sekmesine (multihop) ihtiyaç hissedebilirler. Ad hoc ağlarda sabit bir alt yapıya ihtiyaç yoktur. Ağın topolojisi değişen ortam koşullarına bağlı olarak sürekli yenilenir. Değişen koşullara rağmen uçtan uca erişebilirliği sağlamak amacıyla uç düğümler ve düğüm noktaları birlikte çalışırlar. Bu özellikleri ile ad hoc ağlar kendi kendilerini değişken koşullara uyarlayabilen dinamik varlıklardır.

Ad hoc ağlar, mevcut ağlarla ilişkili her katmanda özgün problemler ortaya çıkartmıştır. Bu problemlere ait çözümler üzerinde son yıllarda yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu

çalışmaların neticesinde kabullenebilir başarımlara sahip teknolojiler geliştirilmiştir. Başarılı bir gezgin ad hoc ağ, ancak etkin bir yol atama algoritmasıyla gerçekleştirilebilir. Bu nedenle ad hoc teknolojilerindeki gelişmelerin en önemlileri ad hoc yol atama tekniklerinde olmuştur. Düşüm gezginliğini destekleyen ölçeklenebilir (scalable) yol atama sağlamak için birçok yol atama tekniği geliştirilmiştir. Bu teknikler yapı ve strateji bakımından çok farklılıklar göstermektedir. Bu tekniklerden gezgin ad hoc ağlar için en uygun olanı öbek-yapılı yol atama tekniğidir.

Yapılmakta olan çalışmalar ve gelişen teknoloji ile birlikte ad hoc mimarileri ve yol atama teknikleri de gelişmektedir. Açıklanan gelişmeler neticesinde, ad hoc mimarilere dayalı ürünlerin sayıları her geçen gün daha da artmaktadır. Gelecekte de daha yaygın bir kullanım alanı bulacaktır.

Kaynakça

- [1] J. Broch et al. A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Routing Protocols. In Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Oct. 1998.
- [2] C-C. Chiang, H-K. Wu, W. Liu, M. Gerla. Routing In Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks With Fading Channel. Internet Draft.
- [3] T-W Chen and M. Gerla. Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks. In Proc. ICC, 1998.
- [4] E. Çayırıcı. Application Of The 3G PCS Technologies To The Mobile Subsystem Of The Next Generation Tactical Communication Systems. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, 2000.
- [5] R. Dube et al. Signal Stability Based Adaptive Routing (SSA) for Ad-Hoc Networks. IEEE Personal Communications, Feb. 1997.
- [6] M. Gerla and J. Tsai. Multicenter mobile multimedia radio network. Wireless Networks, 1, Oct. 1995.
- [7] Z. Haas. A new routing protocol for reconfigurable wireless networks. In In Proc. of IEEE International Conf. on Universal Personal Communications (ICUPC), 1997.
- [8] A. Iwata, C-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla, T-W. Chen. Scalable Routing Strategies For Ad Hoc Wireless Networks. Internet Draft.
- [9] D. B. Johnson and D. Maltz. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks. In T. Imielinski and eds. H. Korth, editors, Mobile Computing. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [10] D. B. Johnson. Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts. Proc. Of IEEE Workshop on Mobile Comp. Sys. And App., Dec., 1994.
- [11] Y-B. Ko, N. H. Vaidya. A Routing Protocol for Physically Hierarchical Ad Hoc Networks. Internet Draft.
- [12] P. Krishna et al. A Cluster-Based Approach for Routing in Dynamic Networks. ACM Computer Communications Review, 27(2), Apr. 1997.
- [13] S.-J. Lee, M. Gerla, C.-K. Toh. A Simulation Study of Table-Driven And On-Demand Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks. Internet Draft.
- [14] A.B. McDonald. A Mobility-Based Framework for Adaptive Dynamic Cluster-Based Hybrid Routing in wireless Ad Hoc Networks. Ph.D. Dissertation Proposal, Uni. Of Pittsburgh, 1999.
- [15] S. Murthy and J.J. Garcia-Lunes-Aceves. An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks. ACM Balzer Mobile Networks and Applications Journal, Special Issue on Routing in Mobile Communications Networks, 1996.
- [16] V. D. Park and M. S. Corson. A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks. In IEEE Infocom, Apr. 1997.
- [17] G. Pei, M. Gerla. Mobility Management in Hierarchical Multi-hop Wireless Networks. Internet Draft.
- [18] G. Pei, M. Gerla, X. Hong, C-C. Chiang. A Wireless Hierarchical Routing Protocol with Group Mobility. Internet Draft.
- [19] C. Perkins and E. Royer. Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing. In Proceedings 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99), 1999.
- [20] C. R. Perkins and P. Bhagwat. Highly Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. In ACM SIGCOMM, pages 234–244, Oct. 1994.
- [21] R. Ramanathan and M. Steenstrup. Hierarchically-Organized, Multihop Mobile Wireless Networks for Quality-of-Service Support. Mobile Networks and Applications, 3, 1998.
- [22] S. Ramanathan and M. Steenstrup. A Survey of Routing Techniques for Mobile Communications Networks. ACM Baltzer Mobile Networks and Applications, 1(2), 1996.
- [23] E.M. Royer and C-K Toh. A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks. IEEE Personal Communications, Apr. 1999.
- [24] C-K Toh. Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Networks. Wireless Personal Communications, 4(2), Mar. 1997.