

Kablosuz Ağlarda Karma Katman Tasarımları Üzerine Bir İnceleme

Aylin Kantarcı

Ege Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir
aylin.kantarci@ege.edu.tr

Özet: Katmanlı mimariler kablolu ağ sistemleri için geliştirilmiş olup kablosuz ağların ortaya çıkmasıyla kablosuz iletimin kendine özgü özelliklerinden dolayı yetersiz hale gelmişlerdir. Kablosuz ortamlarda bu yetersizlikleri gidermek ve kablosuz ortamlara özgü olanaklardan daha yüksek düzeyde yararlanarak daha verimli ve başarılı bir iletişim ortamı sağlayabilmek için Karma Katman Tasarımı yaklaşımları önerilmiştir. Karma katman tasarımı, birden fazla katmanın birlikte çalışarak çeşitli servislerin yerine getirilmesini sağlar. Bu bildiriye, kablosuz iletişimle ilgili temel konular dikkate alınarak, kablosuz ortamlarda karma katman tasarımının ne şekilde yapılabileceği, örnekler vererek incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katmanlı mimari, karma katman tasarımı, kablosuz ağlar

An Overview of Cross Layer Design in Wireless Networks

Abstract: Layered architectures, which were developed for wired networks, have remained insufficient for wireless networks due to the peculiarities of the wireless environment. To eliminate these inefficiencies and to provide a communication environment with higher throughput and higher performance by taking advantages of the opportunities of the wireless medium at a larger scale, Cross Layer Design paradigms have been proposed. Cross layer design enables two or more layers collaborate to perform various tasks. In this paper, how cross layer design can be achieved has been surveyed with examples.

Keywords: Layered architecture, cross layer design, wireless networks

1. Giriş

Geleneksel katmanlı ağ mimarilerinin temel özelliği, katmanların birbirinden bağımsız olarak tasarlanmış olmalarıdır. Bu mimarilerde, kontrol ve protokol parametreleri tasarım aşamasında en kötü durumlar dikkate alınarak belirlenir. Katmanlar arası iletişim sadece komşu katmanlar arasında birkaç alt yordam çağırısı kullanarak gerçekleştirilir. Son yıllarda, katmanlı yapıyı koruyup katmanlar arasındaki bağımlılık ve etkileşimleri dikkate alarak katmanlar arası parametre alışverişine olanak sağlayan *Karma Katman Tasarımı* (Cross Layer Design) adı verilen yeni bir yaklaşım gündeme gelmiştir. Bu yaklaşımda ile-

tişim sadece komşu katmanlarla sınırlı kalmaz. Bir katman, herhangi bir katmanla iletişime geçebilir. Bir katmanın değişkenleri parametre alışverişi sayesinde herhangi bir katman tarafından görülebilir. Tüm katmanlar, ortaklaşa çalışarak iletişim sırasında parametrelerin dinamik olarak en iyileme işlemi gerçekleştirirler [1].

Çoktürel erişim teknolojilerinin kullanımının ve çokluortam verilerinin iletiminin kaçınılmaz olacağı, IP protokol yığıtını temel alan yeni nesil kablosuz sistemlerin tasarımında, geleneksel yaklaşımdan çok daha esnek olan Karma Katman Tasarımı yaklaşımının çok önemli bir yeri olacaktır.

Karma katman tasarımının kablosuz ağ mimarilerinin tasarımında önem kazanması, sağlam gerekçelere dayanmaktadır. Her şeyden önce, kablolu ortamlar için geliştirilmiş IP protokol yığıtı, kablosuz ortamlar için yetersiz kalmaktadır. Örneğin, kablolu ağlarda birbirinden bağımsız ve birbirini etkilemeyen bağlantılar söz konusu iken mevcutken, kablosuz ortamlar çoğayayım ortamı olmalarından dolayı bu anlamda bir bağlantı kavramı içermezler. Kablosuz ortamlarda bir düğümün veri iletimi başka düğümlerce algılanabilir ve birçok düğümden gelen sinyaller karışık zamanla hata oranı ve veri gönderim hızının önemli ölçüde değişken hale gelmesine yol açabilir [2].

Katmanlar arası bilgi alışverişi, gerekli servis kalitesinin sağlanmasında çok yararlı olacaktır. Özellikle çokluortam verilerinin iletiminde sağlanması gereken servis kalitesi ihtiyaçları ancak tüm katmanların katılımı ile en yüksek düzeyde karşılanabilir. Katmanlar arası işbirliği, ancak Karma Katman Tasarımı ile mümkün olabilir.

Karma katman tasarımı konusu son yıllarda en popüler iletişim konularından biri haline gelmiştir. Hata kontrolü, katmanlar arası sinyal gönderimi, güç yönetimi vb. konularda gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle kablosuz özel amaca yönelik ağlarının (Ad Hoc Networks) başarımının iyileştirilmesinde karma katman tasarımları büyük önem taşımaktadır [3].

Bu bildiride kablosuz iletişimle ilgili çeşitli konularda karma katman tasarımlarının ne şekilde kullanılabilceği incelenmektedir. Üçüncü bölümde servis kalitesi, devingenlik kanal durumuna uyum, güç kontrolü gibi bazı önemli konularda karma katman tasarımlarının kullanımları incelenmiştir. Dördüncü bölümde, karma katman tasarımlarında dikkat edilecek noktalar ve varılan yargılar dile getirilmektedir.

2. Karma Katman Tasarım Mimarileri

Geleneksel TCP/IP protokol yığıtı uygulama, iletim, veri bağlantı ve fiziksel katmanlardan oluşmaktadır. *Fiziksel katman* bitlerin gönderiminden sorumludur. *Veri bağlantı katmanı* aynı ağ segmenti üzerindeki bilgisayarlar arasında iletişim sağlar, akış kontrol, hataların belirlenmesi kurtarılması işlemlerinin yerine getirir. Çoğayayım sitemlerinde paylaşılan kanala erişimi düzenleyen *Ortam Erişim Alt katmanını* (MAC) içerir. Farklı ağlardaki bilgisayarlar arasında iletişim sağlayabilmek için yönlendirme servisi sağlayan *ağ katmanına* ihtiyaç duyulur. Ağ katmanında yer alan RSVP gibi Bütünleşik Servisler (Integrated Services), Farklılaştırılmış Servisler (Differentiated Services) gibi olanaklar servis kalitesinin sağlanmasında büyük rol oynar. *İletim katmanı* uçtan uca güvenli iletimden sorumludur. Bu katmanda yer alan TCP protokolü, ağ katmanının sağladığı servisleri kullanarak sıralama, tekrar gönderim, akış kontrolü vb. fonksiyonları içeren uçtan uca bağlantıları sağlamakla yükümlüdür. Bu seviyede, TCP'nin yanı sıra bağlantı tabanlı olmayan UDP, RTP gibi protokoller de yer alır [4, 5].

Kablosuz ağların *Servis Kalitesi ve Devingenlik* fonksiyonlarını içermesi gerekmektedir. Servis kalitesi fonksiyonları, IP ağı üzerinden geleneksel ses ve veri iletişiminin yanı sıra, gerçek zamanlı iletişimin sağlanabilmesi için önemlidir. Devingenlik fonksiyonları, bir uç noktanın aynı teknolojilere sahip erişim noktaları arasında yer değiştirmesini desteklediği gibi, farklı erişim teknolojilerine ait erişim noktaları arasında yer değiştirmeleri desteklemelidir. Veri bağlantı katmanı seviyesinde, kablolu ağlarda kullanılan erişim mekanizması Ethernet kablosuz ağlarda yerini 802.11, UMTS, Bluetooth, GPRS, EDGE, CDMA gibi teknolojilere bırakmıştır. Dolayısıyla, birçok arayüzün birlikte kullanıldığı mimarilerde, iletişim sırasında en uygun erişim teknolojisinin belirlenmesi mümkündür. Günümüzde ağ katmanı seviyesinde IPv4 protokolü yaygın olarak

kullanılmaktadır. Kablosuz ağlarda hem daha geniş ve esnek adresleme uzayı sağlaması hem de devingenlik servisleri sunmasından dolayı, MIPv6 (Mobile IPv6) tercih edileceği öngörülmektedir. Fiziksel seviyede de QPSK, BPSK, QAM gibi farklı modülasyon mekanizmaları barındırarak, iletişim sırasında kanalın durumuna uygun bir modülasyon türüne geçmek mümkündür [5].

Karma Katman Tasarımı'nın nasıl gerçekleştirileceği de önemli bir konudur. Katmanlar arası arayüzler alt ve üst katmanlar arasında tek yönlü ya da iletişim boyunca veri alışverişine ve işbirliğine zemin hazırlayacak şekilde iki yönlü olarak tasarlanabilir. Bazı durumlarda bir katmanda yapılacak bir değişiklik, diğer katmanlarda değişiklik yapmayı gerektirebilir. Örneğin, fiziksel katmanın aynı anda birçok paketin alınabilmesini sağlayan sinyal işleme mekanizmalarının bulunması MAC katmanının rolünü değiştirir [1].

İkiden fazla katmanı içeren tasarımlar da yapılabilir. Örneğin, uygulamadan gelen gecikme kısıtı dikkate alınarak veri bağlantı katmanında en fazla tekrar gönderim sayısı hesaplanabilir. Bir paket bu parametrede belirtilen sayıda tekrar gönderimle sağlıklı olarak gönderilemiyorsa, uyarlamalı modülasyon ve kodlama (Adaptive Modulation and Coding) teknikleri içeren fiziksel katmanda uygun bir modülasyon metoduna geçilerek gönderime devam edilebilir [1].

Katmanlar arası parametre geçişi için farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Örneğin, paket başlıklarına kısıtlı sayıda bilgi konarak ilgili katmana bildirim yapılabilir. Ancak, başlıklar tüm katmanları dolaşacakları için gecikmeler ortaya çıkacaktır. Başka bir alternatif ICMP mesajları kullanarak iki katman arasında bilgi alışverişi yapmaktır. Ancak, bu paketler de ilgili olmasa da ağ katmanından geçmek zorunda oldukları için gecikmeler olur. Başa bir alternatif her katmanın ilgili parametrelerinin profillerle ya da ortak bir veri tabanı ile ilan edilmesidir. Bir katman ilgili olduğu katmanın profili vasıtası

ile o katmanın bilgilerine ulaşabilir. Bu yaklaşımın gerçek zamanlı uygulamalarda gecikmelere yol açtığı belirlenmiştir. Kanal ve bağlantı bilgileri ticari şirketlere ait servisçilerde saklanabilir. Bir katman, ağ olanakların kullanarak bu servisçilerdeki bilgilere erişebilir. Literatürde ilgili katmanlar arasında doğrudan bilgi alışverişi sağlayan protokollerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar da bulunmaktadır [1].

Karma katman tasarımlı mimarilerde işbirliği halinde çalışan katmanlar, hedef olarak belirlenen bir işlevle ilgili parametreleri kullanarak bir en iyileme işlemi gerçekleştirirler. En iyileme sonucunda yeni parametre değerleri ve alınan kararlar ilgili katmanlara dağıtılır. Bu işlemin ne sıklıkla gerçekleştirileceği uygulama ihtiyaçları ve kablosuz ortamın özelliklerine bağlıdır. Bu işlemler sırasında hangi parametrelerin kullanılacağını belirlemek de kritik bir işlemdir. Video iletiminde çerçeve büyüklüğü gibi bazı parametreler sadece bilgi verici nitelik taşırlar. Bazı parametreler en iyileme işlemi sonucu değişikliğe uğrayabilirler. Örneğin, TDMA işleminde kullanılacak zaman dilimi bu tür bir parametredir. Bazı parametreler ise, en iyileme işlemi sonucu doğrudan değil, dolaylı olarak belirlenirler. Örneğin, bir hata oranı kullanılan modülasyon tekniğine göre değişiklik gösterir. Kullanılan modülasyon tekniği seçildiğinde, bunu takip eden işlemlerde yeni modülasyon tekniğine karşılık gelen bit hata oranının kullanmak daha avantajlıdır. Çok geniş parametre kümeleri kullanmak iletişim ve işlem yükünü arttırır. Bunun yerine bir katmanda kullanılan teknolojileri soyutlayarak oluşturulmuş parametreler bir katmanı temsil eden parametre sayısını düşürür, sistemin daha esnek ve tekrar kullanılabilir olarak tasarlanmasını sağlarlar [1].

3. Karma Katman Tasarımlarına Örnekler

Bu bölümlerde servis kalitesi, devingenlik, bağlantı uyumu ve güç yönetimi gibi temel iletişim konularında karma katman tasarımlarının nasıl uygulanabileceği örneklerle incelenecektir.

3.1 Servis Kalitesi

Kablosuz sistemlerde etkin bir servis kalitesi yönetimi yaparak farklı özelliklere sahip birçok servisin birlikte çalışması ve esnek servis kalitesi ihtiyacı olmayan verilerin diğerlerinden etkilenmemesi gerekir.

Esnek uygulamalar TCP, esnek olmayan gerçek zamanlı uygulamalar RTP/UDP protokolünü kullanır. Trafik kontrolünden sorumlu IP katmanı datagram sınıflandırılması, akış şekillendirme ve paket gönderiminin uygun şekilde planlanmasını sağlayarak servis kalitesinin sağlanmasına yardımcı olur. Veri bağlantı katmanı uygulama ve verilerin önceliklerini dikkate alarak servis kalitesine katkıda bulunur [5].

Tüm katmanların uygulamanın servis kalitesi istekleri hakkında bilgi sahip olması yararlı olacaktır. IP katmanı uygulama akışının özelliklerine göre trafik düzenlemesi yapabilecektir. TCP katmanı IP katmanının öngördüğü servis kalitesi rezervasyonuna göre gönderim hızını belirleyebilecektir. Esnek verilerin iletiminde TCP ve IP katmanlarının etkileşime geçmemesi durumunda, TCP protokolü normal işleyişi gereği akış için öngörülenden daha yüksek hızda veri göndermeye başlayınca kayıplar kaçınılmaz olur. TCP bu durumu sıkışıklık olarak algıladığı için sıkışıklık penceresini büyük miktarda küçültür. Bu durumda ağ kaynakları verimli kullanılmamış olur. Dolayısı ile TCP'ye servis kalitesi rezervasyonu hakkında bilgi verilmesi yerinde olur [5].

Gerçek zamanlı veri iletişiminde, veri bağlantı katmanı ARQ (Automatic Repeat Request) mekanizması ile servis kalitesinin sağlanmasında yardımcı olabilir [4]. Ancak ARQ gecikmelere yol açacağı için tekrar gönderim sayısı uygulamanın gecikme kısıtlarına göre belirlenmelidir. Ayrıca, farklı özelliklerdeki akışların veri bağlantı katmanında uygun şekilde işleme alabilmesi için iletim modu, öncelik vb. parametrelerin veri bağlantı katmanınca dikkate alınması gerekir. Bir uygulama tarafından bir akış yaratıldığında akış için bir servis kalitesi tanımla-

ması yapılmalıdır. Tüm katmanlar bu servis kalitesi tanımlamasına uygun çalışmalıdır [5, 6].

Uygulama katmanı da alt katmanlardan gelen bilgilere göre durumunu düzenleyebilmelidir. Örneğin uygulamalar, bir düğümün yer değiştirme sonrası ortaya çıkan yeni kanal şartlarına uyum sağlayabilmek için uyum mekanizmalarına sahip olmalıdır. Örneğin, kanal kapasitesine göre sıkıştırma hızı dinamik olarak ayarlayan modüllerinin bulunan video akıtım uygulamaları ortaya çıkmaya başlamıştır [6].

3.2 Devingenlik

Kablolu mimariler için geliştirilen IP protokolü, uç noktaların yer değiştirmesi konusunda yetersiz kalmaktadır. Kablosuz ortamlarda uç noktaların yer değiştirmesi birçok katmanı etkiler. Bağlantı katmanı için, bağlantı özelliklerinin ne sıklıkla değiştiği önemlidir. MAC katmanı, kanal durum ve girişim bilgilerinin ne kadar uzun bir süre için geçerli olacağı ile ilgilendirir. Yer değiştirme, ağ topolojisinde değişikliğe yol açtığı için ağ katmanındaki yönlendirme işleminin de yenilenmesi gerekebilir [2, 5].

İletim katmanı da yer değiştirme sonucu gönderim hızını değiştirmek zorunda kalabilir. Bir uç nokta yer değiştirdiğinde eski erişim noktasıyla bağlantısı güç kaybeder, zamanla hata oranı yükselir ve paketler kaybolmaya başlar. Daha sonra bağlantı tümüyle sona erer ve yeni erişim noktası ile bağlantı kurulur. Bağlantı kurulduktan sonra TCP kaldığı yerden devam eder. Ancak, paket kayıplarının olduğu sırada, TCP'nin sıkışıklık kontrol algoritması sıkışıklık penceresini küçültür ve bağlantı kurulduktan sonra en düşük gönderme hızı ile iletişime başlar. Ayrıca tekrar gönderim zaman aşımı değeri, gidiş geliş gecikmelerine bağlı olarak yeniden hesaplanır [5].

Ancak, aynı teknolojiye sahip komşu erişim noktaları arasında yer değişikliği yaparken, TCP bağlantısının dondurulması yeterlidir. Si-

kışıklık penceresini küçülterek veri gönderim hızını değiştirmeye gerek yoktur. İletim protokolüne ne tür bir yer değişikliği gerçekleştiği bilgisi gönderilirse TCP bağlantısının dondurulması yeterli olur. Farklı teknolojilere sahip erişim noktalarına geçildiğinde bağlantı karakteristikleri değişeceği için iletim katmanının yukarıda anlatılan işlemleri gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu durumda, ağ katmanında mevcut servis kalitesi rezervasyonunun geçersiz hale getirilmesi ve yeni ortama göre yeniden oluşturulması da söz konusu olacaktır [5].

Uygulama katmanı da davranışını yer değiştirmeleri dikkate alarak düzenleyebilir. Örneğin, yer değiştirme sırasında gönderim hızını düşürebilir. Yer değiştirme sırasında bağlantının kopmaması ve uygulamanın devam etmesi sağlanmalıdır.

Ağ katmanı yer değiştirmeleri veri bağlantı katmanından daha geç algılar. Bu yüzden yer değişikliği bilgilerinin veri bağlantı katmanından üst katmanlara gönderilmesi daha uygundur [6].

3.3 Kanal Durumuna Uyum

Kablosuz ağlar, kablolu ağlar gibi güvenilir ortamlar değildir. Kablosuz ağlarda mesafenin artması, girişim, yansıma, bükülme gibi nedenlerden dolayı sinyallerin bozulması çok sık rastlanılan bir durumdur. Uç noktaların sabit olduğu durumda atmosfer olayları; hareketli olduğu durumlarda sinyalin çarptığı engellerin değişmesi, alıcının sinyalin farklı fazlarda birçok kopyasını almasına ve zaman içinde sinyallerin gücünün azalmasına neden olur. Sönüm denilen bu olayın tüm katmanlar üzerinde etkisi bulunmaktadır [4].

Katmanlı mimarilerde, ağdaki bir değişikliğe önce bir katman kendi içerisinde uyum sağlamaya çalışır. Eğer uyum sağlayamazsa bu durum bir üst katmana bildirilir. Bunun sebebi değişikliğin alt katmanlarca daha çabuk fark edilip tepkilerin ortaya çıkaracağı gecikmelerin düşürülmesidir. Örneğin, bağlantı katmanı kanalın kötü durumda olduğunu algılayarsa, önce

gönderim gücünü artırarak ya da uygun bir kodlama modu seçerek uyum sağlamaya çalışır. Eğer, kanalda bozukluğa yol açan sorun geçici bir sorunsal, bu işe yarar. Fakat kanal durumu bir süre sonra iyileşmezse bağlantı katmanı sorununun topoloji değişikliğinden kaynaklandığını varsayarak ağ katmanını bilgilendirir [2].

Değişen bağlantı kalitesi, paketlerin düşürülmesine neden olan paket hatalarına yol açar. Ortam Erişim (MAC) katmanı kanalın boş olmasına rağmen bu durumu çarpışma olarak yorumlar ve gerekli işlemi başlatır. Paketlerin bir süre bekletilerek gönderilmesi, gecikmelere yol açar. Özel amaçlı ağlarda, ağ katmanı topolojinin değiştiğini düşünerek yönlendirme işlemi başlatır [2].

Günümüz kablolu ağları bozulmalara karşı güvenli olduğu için TCP protokolü, paket kayıplarının nedenini ağdaki trafik yükünün fazlalığından kaynaklanan sıkışıklık olduğunu varsayar. Ancak, kablosuz ortamlar kablolu ortamlar gibi güvenilir değildir. Sönüm, girişim, yer değiştirme gibi çeşitli nedenlerden ötürü verilerdeki bozukluklar, veri bağlantı katmanının bozulmuş paketleri kabul etmemesine neden olur. Bu durumda, TCP protokolü, kaybın sıkışıklıktan kaynaklandığını varsayar ve ağ yükünü düşürmek için gönderim hızını büyük miktarda düşürür. Sonuç olarak, ağ kaynaklarının verimli kullanımı olumsuz yönde etkilenir. Veri bağlantı katmanından iletim katmanına kayıp nedeninin bozulmalar olduğunun iletilmesiyle TCP'nin gönderiş hızını gereksiz yere düşürmesi engellenebilir [5].

Fiziksel katmanda kanal durumuna uyum sağlamak için birden fazla modülasyon ve kodlama tekniği bulunur. İletim sırasında sinyal gücü sabit tutularak mevcut sinyal kalitesine ve ağın durumuna uyum sağlayacak şekilde dinamik olarak uygun modülasyon ve kodlama tekniğine geçilir. Uyarlamalı modülasyon ve kodlama (Adaptive modulation and coding) isimli bu tekniğin başarımı hata ve gecikme ölçümlerine karşı hassastır. Kanal durum ölçümlerinin geç

bildirilmesi uygun olmayan bir kodlama modu seçilerek kanal tahmininin güvenilirliğini düşürebilir [5, 7].

Uygulama ve fiziksel katmanın işbirliği yaptığı ortak kaynak ve kanal kodlama yaklaşımları kullanılarak kanal kayıp istatistikleri göz önüne alınarak kaynak ve kanal kodlamaya optimal bit tahsisi yapılabilir.

Kanal durumuna uyum sağlamanın yanı sıra hata ve kayıpları kurtarmak için çeşitli katmanlar bir takım önlemler alabilir. Hataların etkisini azaltmak için uygulama katmanında veriler kaynak kodlama aşamasında hataya dayanıklı hale getirilebilirler. Örneğin, video sıkıştırma standartları esnek makroblok sıralama, I makroblok ekleme, birden fazla referans çerçeve kullanılması gibi olanaklara sahip olacak şekilde tasarlanabilir. Son yıllarda önem kazanmaya başlayan ölçeklenebilir video kodlayıcıları da mümkün olduğunca az yük getirerek uygulamanın kanal durumuna kolayca uyum göstermesini sağlar [8].

FEC (Forward Error Correction) mekanizması gibi verilere ek bilgiler ekleyerek kayıp paketler tekrar yapılandırılabilir. FEC işleminin hangi katmanda uygulanması gerektiği önemli bir karardır. Veri bağlantı seviyesinde uygulanması veri bağlantı katmanının karmaşıklığını artırır. Sisteme az yük getirmesi için paketlerin önemine göre ek bilgi miktarı değişkenlik gösterebilir. Paketlerin önemi ve başka parametreler uygulamadan veri bağlantı katmanına iletilirse veri bağlantı katmanında FEC kullanılabilir. Eklenecek veri miktarının da kanalın durumuna uygun şekilde belirlenmesi gerekebilir. Veri bağlantı katmanında ek bilgiler tek bir çerçeve içindeki bilgiler dikkate alınarak belirlenirken, üst katmanlarda birçok paketin içeriği dikkate alınır [6].

FEC mekanizmalarının uygulama katmanında gerçekleştirilmeleri gecikmeyi artırır. Buna rağmen 3GPP, henüz karma katman tasarımları standartlaşmadığı için, esnekliği sağlamak için

FEC mekanizmalarının bağlantı katmanında değil, uygulama katmanında kullanılmasını öngörmüştür [8].

Hataların kurtarılması için kullanılacak başka bir yöntem, bağlantı katmanında tekrar gönderim (ARQ) mekanizmaları kullanmaktır. Alıcı terminalde veri bağlantı katmanı, paketlerde hata ya da kayıp belirlediğinde göndericiye tekrar gönderim isteğinde bulunur. Veri doğru olarak alınıncaya kadar birkaç kez bu işlem tekrarlanabilir [4].

Hibrid ARQ isimli teknikte veri bağlantı katmanında ARQ mekanizması ile fiziksel seviyede FEC mekanizması birlikte kullanılarak korumayı arttırabilir. Tip I ARQ yaklaşımında hatalı bilgi bulunan paketler atılır ve söz konusu paket için tekrar gönderim istenir. Tip II ARQ yaklaşımında ise hatalı paketler saklanır ve tekrar gönderim isteğinde bulunulur. Gönderici orijinal paket yerine parite bitlerine ve CRC kodu kullanılarak hesaplanan ek bitler gönderir. Bu ek bilgiler ve hatalı bilgiler birlikte açılmaya çalışılır. Hatalı paket bu ek bilgilerle düzeltilemiyorsa tekrar gönderim isteğinde bulunulur. Bu işlem veriler kurtarıncaya kadar ya da tekrar gönderim sayısı belli bir sınıra erişinceye kadar tekrarlanır. Her tekrar gönderimde farklı ek bitler gönderilir ve hatalı veriler tüm tekrar gönderimlerle gelen tüm ek bitlerle kurtarılmaya çalışılır [7].

Hata oranının yüksek, uydu hatları gibi yayılım gecikmelerinin yüksek olduğu durumlarda ARQ, düşük gecikme sınırı olan uygulamalar için başarıyı düşürür. Örneğin, zaman kısıtına sahip uygun uygulamalarda (istek üzerine video vb.) yüksek ön tamponlama süresi kullanarak ARQ'nun dezavantajları kontrol altına alınabilir. ARQ'nun uygulamaların kaldıramayacağı gecikmelere yol açtığı durumda FEC mekanizması tercih edilebilir. Son yıllarda Raptor kodları gibi eklenecek bilgi miktarını mümkün olduğunca alt düzeyde tutan FEC yaklaşımları geliştirilmiştir [4, 8].

Veri bağlantı katmanındaki ARQ ve fiziksel seviyedeki uyarlamalı modülasyon ve kodlama servisleri de korumayı arttırmada yardımcı olabilir. Hibrid ARQ'nun en önemli avantajlarından biri de uyarlamalı modülasyon ve kodlama sistemlerinde kanal durumunun bildiriminden gecikmesine karşı hassasiyeti azaltmaktır. ARQ ve uyarlamalı modülasyon tekniklerinin birlikte kullanımında uygulamanın uçtan uca gecikmesi ve ağdaki gidiş dönüş zamanı dikkat alınarak geri gönderim isteklerine bir sınır getirilmesi öngörülmektedir. Eğer veriler hesaplanan sayıda tekrar gönderimle gönderilemiyorsa yeni bir modülasyon ve kodlama tekniğinin kullanımına geçilebilir [5].

İletim katmanı da veri bağlantı katmanı gibi ARQ olanaklarına sahiptir. Ancak ARQ, iletim katmanında paket, veri bağlantı katmanında çerçeve bazında gerçekleşir. Çerçeveler paketlerden daha küçük oldukları için, ARQ veri bağlantı katmanında daha düşük yük getirir ve kanalın daha verimli kullanılmasını sağlar. İki katmanın ARQ kullanımı koordine edilmelidir [5].

Gerçek zamanlı verilerin ARQ ile tekrar gönderimi sakıncalı olabilmektedir. Dolayısı ile, ARQ işlemlerinde veri türü dikkate alınmalıdır. Öte yandan, gerçek zamanlı trafığe yüksek öncelik verilerek, gerçek zamanlı olmayan verileri tekrar göndermek için kanalın meşgul edilmesi önlenmelidir [5].

TCP ve veri bağlantı katmanlarında ARQ kullanımını gidiş dönüş gecikmelerinin çok büyük tahminlenmesine neden olabilir. TCP gereksiz yere sıkışıklık penceresini daraltabilir ve ağ kaynaklarının kullanım etkinliği azalabilir. Kararsız gidiş dönüş gecikmelerine karşı TCP'nin etkinliğini korumak için gidiş dönüş gecikmeleri iki katmanın ortak çalışması kullanılarak hesaplanmalıdır. Bu şekilde zaman aşımı süresi de daha sağlıklı hesaplanabilir [5, 7].

3.4 Güç Yönetimi

Uç noktaların kısa ömürlü piller ile çalışması nedeniyle, kablosuz ortamlarda güç kontrolü

önemli bir konudur. İlk başta güç yönetimi sadece fiziksel katman ile ilgili imiş gibi görünse de, güç tüketimi tüm katmanları etkiler. Bu nedenle güç yönetimi tipik bir karma katman tasarımı problemidir [6].

Örneğin, bir düğümün gönderim gücü kablosuz bir ortamda bulunan tüm düğümlerin durumunu etkiler. Bir düğümün gönderim gücü arttıkça sinyal kalitesi ve alıcının alım gücü de artar. Gönderim gücünün artması, ayrıca birim zamanda gönderilen veri miktarının da artmasını sağlar. Ancak, yüksek gönderim gücü, diğer düğümlerde girişimi artırır. Girişim ve bundan etkilenen düğüm sayısının artması MAC katmanını etkiler. Girişimi azaltmak için gönderim gücünün azaltılması daha çok düğümün kablosuz ortamı kullanabilmesini sağlar. Gücün belli bir seviyenin altına düşmesi ise düğümlerin birbirini görmesini engeller. Girişim, birçok düğümü etkilediği için özellikle özel amaçlı ağlarda yönlendirme işleminin gerçekleştiren ağ katmanı için de önemlidir. Ağ seviyesinde, güç tüketimini en düşük düzeyde tutacak şekilde düğümlerin seçilmesini sağlayan yönlendirme algoritmalarının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar mevcuttur [2].

Ağ yükü de güç yönetimi üzerinde etkilidir. Ağ yükünün yüksek olduğu durumda kuyruk gecikmeleri yüksek olur. Ağ yükünü azaltarak kuyruk gecikmesini düşürmek için gönderim gücünü düşürmek gerekir. Öte yandan, ağ yükünün düşük olduğu durumda gönderim gücünü arttırmak iletimin daha hızlı gerçekleşmesini sağlayacaktır [2].

Hata kontrolü ve güç tüketimi konuları arasında da ilişki bulunmaktadır. Gönderim gücünü arttırmak, hata oranını düşürür. Bu durumda, veri bağlantı katmanının ARQ kullanımını düzenlemesi yerinde olabilir. ARQ gibi hata kontrol mekanizmalarının yoğun kullanımı, güç tüketimini artırır. Gönderim hızı düşürülerek bit hata oranı arttırılmadan güç tüketimi düşürülebilir [5, 6].

Fiziksel katman güç tüketimini düşürmek için daha az güç gerektiren bir modülasyon ve kodlama yöntemi kullanmayı seçebilir. Uygulamalar da güç tüketimini azaltmak için kısa bir süre için veri göndermeyi durdurabilir, ya da gönderim hızını düşürebilir. Örneğin, video iletiminde bazı çerçeveler gönderilmeyerek güç tüketimi azaltılabilir [6].

İhtiyaç duyulan güç seviyesi gecikme, bit hatası gibi parametrelerle de ilişkili olduğu için akışlara ait servis kalitesi tanımlamalarında güç kontrolüne ilişkin ayarlamaların da yapılması faydalı olabilir [5].

Görüldüğü üzere, güç yönetimi tüm katmanları ilgilendiren bir konudur. Bu yüzden tüm katmanlar işbirliği halinde çalışması güç kontrolünü olumlu yönde etkileyecektir.

4. Sonuç ve Yorumlar

Bu bildiride, kablosuz ortamlarla ilgili önemli bazı konularda, karma katman tasarımı kullanarak TCP/IP katmanlarının birbiriyle etkileşiminin ve işbirliğinin ne şekilde sağlanabileceği incelenmiştir. Genel olarak fiziksel katmanın iletim gücü, hat oranı, kullanılmakta olan modülasyon modu gibi parametreleri diğer katmanlara bildirmesinde fayda vardır. Veri bağlantı katmanının, kullanılmakta olan FEC mantığı, tekrar gönderim sayısı, çerçeve büyüklüğü ve yer değiştiriminin başlangıç/bitiş vb. bilgileri ilgili katmanlara bildirmesi uygundur. Ağ katmanı topoloji ve servis kalitesi rezervasyonu değişiklikleri ile bilgileri ilgili katmanlara iletmelidir. Gidiş dönüş süresi, zaman aşımı, en büyük iletim ünitesi büyüklüğü (maksimum transport unit), alıcı penceresi, sıkışıklık penceresi, kayıp paket sayısı ve iletim verimi gibi bilgiler iletim katmanının diğer katmanlarla birlikte çalışmasını sağlayan parametrelerdir. Uygulama katmanı gecikme toleransı, kabul edilebilir hata oranı, birim zamanda iletilmesi gereken veri miktarı gibi servis kalitesi ihtiyaçlarına karşılık gelen parametreleri diğer katmanlarla paylaşmalıdır [6].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde özellikle alt katmanlar arasında yoğun ilişkilerin bulunduğu gözlenmektedir. Örneğin, özel amaçlı ağlarda, yönlendirme sırasında sinyal gücünün yüksek olduğu bir düğüm seçilerek bir rota oluşturulabilir. Alıcı ve gönderici arasında bir çok kısa düğümün bulunduğu durumda sistemdeki diğer düğümler üzerinde girişim artar. Öte yandan kısa hatlar diğer düğümlerden kaynaklanan girişimlere daha dayanıklıdır. Dolayısıyla, bunun gibi birçok konuda, hem erişim fonksiyonları hem de yönlendirme işlemleri arasında uzlaşma yapılabilmesi için fiziksel, MAC ve Ağ Katmanının Karma Katman Tasarımı kaçınılmaz olmaktadır.

Karma Katman Tasarımı'nın kablosuz ağların başarımını arttıracak muhakkaktır. Ancak, karma katman tasarımı konusu ile ilgili olarak dikkatli olunması gereken noktalar vardır. Bunların bazıları aşağıda listelenmiştir [9,10]:

1. Katmanlar arası bir ilişki bulunup karma katman tasarımı yapıldığında ilgili olmayan katmanlar ve mevcut diğer karma katman tasarımları bundan etkilenebilir.
2. Bir parametre birden fazla karma katman tasarımında kullanıldığında çelişkili durumlar ortaya çıkabilir. Bu durumda parametre değeri her bir karma katman tasarımını memnun edecek şekilde en iyilenmelidir. Fonksiyonların ve paylaşılan bilgilerin dikkatlice seçilerek analiz edilmesi gerekmektedir.
3. Her uygulama ya da ağ senaryosuna uygun ayrı bir karma katman tasarımı gerekebilir.
4. Katmanlarda yer alan teknolojilerin zaman içinde değişmesi karma katman tasarımlarının ömrünü olumsuz yönde etkileyebilir.

Sonuç olarak, Karma Katman Tasarımının avantajları ve dezavantajları incelendiğinde, şöyle bir yargıya varılabilir. Katmanlı mimarilerde her bir katman bağımsız tasarlandığı için tasarım daha kolaydır. Ancak karma katman tasarımı yapmak ilgili olmayan tüm katmanların

davranışını da gözlemeyi gerektirdiği için zordur. Bu nedenle bir çok çalışma, standartlara uyumu ilk plana, başarıyı yükseltmeyi ikinci plana alıp mevcut katmanlarda küçük değişiklikler yaparak mümkün olduğunca az sayıda parametrenin paylaşımı ilkesine dayanmaktadır. Tüm katmanları içeren bir karma katman tasarımı yapmak çok güçtür. Bu tür tasarımlarda gelecekte ortaya çıkacak değişikliklerin desteklenmesi oldukça güç olabilir. Ancak standartlara uyum gerektirmeyen özel amaçlı uygulamalar için başarıyı ön plana alarak yeni ve özel karma katman tasarımları uygun olabilir. Bu tür tasarımların kullanılabilmesi en uygun ortamlar kablosuz algılayıcı ağları (Wireless Sensor Network) ya da özel amaçlı (Ad Hoc Networks) ağlardır [9 ,10].

Kaynaklar

- [1] Srivastava V. ve Motani M., “*Cross Layer Design: A Survey and the Road Ahead*”, IEEE Communications Magazine, Aralık 2005, 112-119.
- [2] Bisnik N., “*Protocol Design for Wireless Ad Hoc Networks: The Cross-Layer Paradigm*”, Teknik Rapor, Rensselaer Polytechnic Institute, 2005.
- [3] Khan S., Peng Y., Steinbach E., Sgroi M. ve Kellerer W., “*Application-Driven Cross-Layer Optimization for Video Streaming over Wireless Networks*”, IEEE Communications Magazine, Ocak 2006, 122-130.
- [4] Stallings W., *Wireless Communications and Networks*, Prentice Hall, 2001.
- [5] Carneiro G., Ruela J. Ve Ricardo M., “*Cross-Layer Design in 4G Wireless Terminals*”, IEEE Wireless Communications, Nisan 2004, 7-13.
- [6] Raisinghani V. T. ve Iyer S., “*Cross-layer Design Optimizations in Wireless Protocol Stacks*”, Computer Communications, Cilt 27, Sayı 8, 2004, 720-724.
- [7] Etoh M., Yoshimura T, “*Advances in Wireless Video Delivery*”, Proceedings of the IEEE, Cilt 93, Sayı 1, 2005, 111-122.
- [8] Afzal J., Stockhammer T., Gasiba T. ve Xu W., “*Video Streaming over MBMS: A System Design Approach*”, Journal of Multimedia, Cilt 1, Sayı 5, 2006, 25-33.
- [9] Kawadia V. ve Kumar P.,R., “*A Cautionary Perspective on Cross-Layer Design*”, IEEE Wireless Communications, Cilt: 12, Sayı:1, 2005, 3-11.
- [10] Aune F., “*Cross Layer Design Tutorial*”, Bilim ve Teknoloji Üni., Elektronik ve İletişim Bölümü, Norveç, 2004.