

IP AĞLARINDA KUYRUKLAMA YÖNTEMLERİNİN SERVİS KALİTESİNE ETKİSİ

Bilgin Metin, Hakan Delic
Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü
Boğaziçi Üniversitesi
Bebek 80815 İstanbul
{bilginx, delic}@boun.edu.tr

Özet

Son yıllarda bilgisayar ağlarının gelişiminde iki olay önemli rol oynamıştır. Çoklu ortam ve gerçek-zaman uygulamalarındaki artan ihtiyaçlar ve bilgisayar ağlarında IP protokolünün en yaygın standart haline gelmesi. Bu durumda IP protokolü üzerinden bu tip özel uygulamaların çalıştırılabilmesi için özel yöntemlerin kullanılması (Servis Kalitesi) kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Böylece IETF Servis Kalitesi konusunda ilgisini yoğunlaştırmış, Tümüleşik servisler (Integrated Services) ve Farklılaştırılmış Servisler (Differentiated Services) çalışma gruplarını kurmuştur. Bu çalışma grupları da Tümüleşik Servisler ve Farklılaştırılmış Servisler adı altında bazı standartlar ve yöntemler geliştirmişlerdir. Bununla beraber, bu çalışmaların problemi çözdüğü de söylenemez, çünkü ağ üzerindeki paket uzunlukları, ağın yapısı, ağ trafiğinin yoğunluğu gibi faktörlerin Servis Kalitesine etkileriyle ilgili problemler çözülmemiştir.

Bu çalışmamızda ağ cihazlarında kullanılacak kuyruklama yöntemlerinin Servis Kalitesine etkileri incelenmiştir. Çoklu ortam ve gerçek-zaman uygulamalarına gerekli bant genişliğinin sağlanması, en düşük gecikme ile paketlerin iletilmesi problemleriyle özellikle ilgilenilmiştir. Bu amaçla RED, CBQ, FCFS, WFQ gibi çeşitli kuyruk yönetimi algoritmaları ile benzetimler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Servis Kalitesi, Kuyruklama, Tümüleşik Servisler, Farklılaştırılmış Servisler.

1 Giriş

İlk zamanlarda bilgisayar ağları merkezi yerdeki bir sunucu ve ona bağlı istemcilerden oluşan yapılarla sınırlıydı. Mesela bir monitor, klavye ve seri haberleşme portu içeren aptal terminaller, RS-232 gibi seri haberleşme portlarıyla bir sunucuya bağlanırdı. "Ethernet" teknolojisinin doğuşuyla kişisel bilgisayarlar aptal terminallerin yerini aldı. Aynı zamanda yeni bilgisayar ağı işletim sistemleri ve protokolleri ortaya çıktı mesela Novel ve IPX protokolü. Bu gelişmelere paralel olarak çoklu ortam ve gerçek zaman uygulamalarının bilgisayar ağları üzerinden iletilmesi ihtiyacı ile Servis Kalitesi kavramı da ortaya çıkmış ve uygulamaya geçmiştir.

Servis Kalitesi arzu edilen ağ trafiği çeşitlerinin gerekli şekilde iletilmesini sağlayacak becerilerin ağa kazandırılmasıdır. Örnek vermemiz gerekirse Servis Kalitesi ile kullanıcılar için iletim hızı (throughput), güvenilirlik, gecikme, gecikme değişimi gibi kriterlere uygun şekilde ağ trafiği düzenlenebilir. Gecikmeye çok ta duyarlı olmayan trafik türleri (e-posta ve ya FTP) için bant genişliği sınırlandırılarak önemli görülen ağ bir trafik türü için bant genişliği artırılabilir.

Bu ihtiyaçların gündeme geldiği ve tartışıldığı günlerde ATM (Asynchronous Transfer Mode) teknolojisi ortaya çıktı ve Servis Kalitesi kavramına damgasını vurdu. ATM en sık olarak kullanıldığı 155Mbps ve bazen daha üstü hızlarda bağlantılı (connection-oriented) olarak çalışan bir teknolojidir.

İnternet Protokolü (IP) ise bir bağlantısız (connectionless) ağ teknolojisidir ve her geçen gün gelişen Ethernet teknoloji ile çok daha yüksek veri iletişim hızlarına ulaşılmaktadır. Mesela Fast Ethernet, Gigabit Ethernet. İnternetin yoğun kullanımı ve Ethernet teknolojisinin hızlı gelişimi IP'yi en sık kullanılan standart haline getirdi. Fakat IP içinde Servis Kalitesinin nasıl destekleneceği hala bir problem olarak çözüm beklemekteydi. Ve böylece IETF IP'de ki bu Servis Kalitesi problemine çözüm bulmak için çalışmalara başladı.

IETF üyeleri Servis Kalitesi problemini ilk ele aldıklarında, önce tümleşik servisler çalışma grubu (Integrated Services Working Group) oluşturuldu. Bu grup gerçek zaman trafiğini belirli gecikme ve gecikme değişimleri ile iletilmesi problemini ele aldı. Tümüleşik Servisler bağlantılı (connection-oriented) olarak kaynak ayırımı (resource-reservation) prensibine dayandırıldı. Bu grup RSVP'yi (resource reservation protocol) geliştirdi. Farklılaştırılmış Servisler (Differentiated services) IETF'nin Servis Kalitesi konusundaki ikinci cephesi oldu. Farklılaştırılmış servisler, çeşitli sınıf trafik arasında bir gruplandırma ve önceliklendirme mekanizmasına dayandırıldı.

Tüm bu çözüm önerilerine karşın, problemin tam da çözüldüğü iddia edilememektedir. İlkesel olarak çözüm sağlasa da Servis Kalitesinin farklı topolojilerde, farklı paket boyutlarının olduğu ortamlarda ya da farklı ağ verimliliğinin (network utilization) olduğu durumlarda nasıl uygulanacağına dair ayrıntılar hala bir problem teşkil etmektedir. Böylece ağ koşullarını dikkate alacak

sistemlerin ortaya çıkması zorunludur. Bu da ağ cihazlarında kullanılacak kuyruk yönetimi algoritmalarıyla mümkündür.

Benzetimlerde bu araştırma alanında sıklıkla kullanılan NS-2 ağ benzetim yazılımı tercih edildi.

Paketlerin geçtiği düğüm noktalarının sayısının, paket büyüklüklerinin (Maximum Transmission Unit) ve paketlerin geçtiği hatlardaki trafik yoğunluğunun Servis Kalitesine etkisi farklı kuyruklama mekanizmaları altında incelendi. Ortalama gecikme, iletim hızındaki (throughput) değişim, incelememizdeki başarımların kriterlerini oluşturdu.

2 Farklılaştırılmış Hizmetlerde Kullanılan Kuyruk Yönetimi Algoritmaları

Farklılaştırılmış hizmetler (Blake, 1998) ağ üzerindeki paketleri bir sınıflandırılması ve önceliklendirilmesi prensibine dayanır. Bir pakete uygulanabilecek iki tip önceliklendirme mekanizması mevcuttur: genel ve bölgesel önceliklendirme. Genel önceliklendirme de önceliklendirme bilgisi paketin içinde tutulur ve bu bilgiye göre tüm ağ üzerinde Servis Kalitesine tabi tutulur. Bölgesel önceliklendirme de ise, önceliklendirme bilgisi paketin geçeceği ağ cihazları üzerindedir ve sadece paket kendi üzerinden geçer iken bu önceliklendirme bilgisini uygular.

2.1 İlk Geleni Önce Al (FCFS, First Come First Served) Kuyruklama

Ağ cihazları geleneksel olarak bu yöntemi kullanır. Ağ cihazına gelen paketler tek bir kuyruğa konular ve kuyruğa daha önce gelen paket daha önce hizmet alır. Bu kuyruklama yöntemi gecikmeye duyarlı hizmetlerin iletilmesi için uygun değildir. Ufak boylu paketler büyük paketlerin ardında kalarak yüksek gecikme değerleriyle iletilirler. Ayrıca bu tek kuyruğu kullanan trafik kaynaklarından biri daha yüksek iletim hızlarında paket yolladığında başkalarının aleyhine olacak şekilde kuyruğu doldurabilir.

2.2 Adil Kuyruklama (Fair Queueing):

FCFS'deki dezavantajı her bir trafik kaynağı için ayrı bir kuyruk kullanarak ve her seferinde sırayla olmak üzere bu kuyruklardan bir paket alarak azaltmaya Adil Kuyruklama (Fair Queueing) adı verilir. Böylece bir trafik kaynağı çok hızlı bir şekilde paket yolladığında basitçe kendi kuyruğunun uzunluğunu artırmış olur.

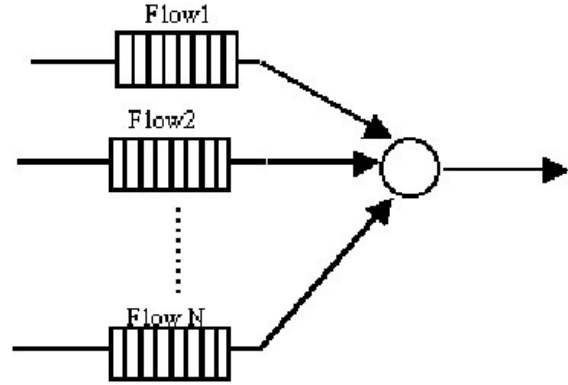
Adil kuyruklama ideal bir yöntem olup pratikte uygulaması kolay değildir çünkü her trafik kaynağı için ayrı bir kuyruk kullanmak pratik olmayacaktır. Bu sebeple pratikte mevcut tüm trafik kaynakları için belli sayıda kuyruk kullanılır. Bu metoda olasılıksal adil kuyruklama (Stokastik Fair Queueing) denir (McKenney, 1991). Kuyrukların sayısının trafik kaynaklarından az olduğu durumlarda, kuyruk kullanımı konusunda çatışma olma olasılığı mevcuttur. Bu sebeple sistemin adı Olasılıksal Adil Kuyruklama'dır.

2.4 Sınıf Tabanlı Kuyruklama (Class Based Queueing)

Önceliklendirme tabanlı bir sistemdir. Bu kuyruklama yönteminde her bir kuyruğa farklı ağırlıklar ve öncelikler vererek arzu edilen trafik kaynaklarına arzu edilen bir şekilde bant genişliği dağıtmak mümkün olabilir. (Floyd, 1995).

2.5 Ağırlıklı Adil Kuyruklama (Weighted Fair Queueing):

Olasılıksal adil kuyruklamaya 'ağırlık' ve 'paket boyu algılama' kavramlarının ilave edilmesiyle oluşturulmuş bir yöntemdir (Demers, 1989). Bu kuyruklama yönteminde Sınıf Tabanlı Kuyruklama da olduğu gibi her bir kuyruğa farklı öncelik ve ağırlıklar vererek arzu edilen trafik kaynaklarına arzu edilen bir şekilde bant genişliği dağıtmak mümkün olabilir. Bunun ötesinde iletilen paketlerin boyutları da göz önünde tutulmaktadır. Paketlerin kuyruğu terk etme zamanları göz önüne alınarak gerektiğinde adil kuyruklamanın sıralı mantığı bırakılır. Böylece kuyruğa gelen uzun bir paketin ardındaki kısa paketin iletim zamanını etkilemesinin önüne geçilmeye çalışılır.

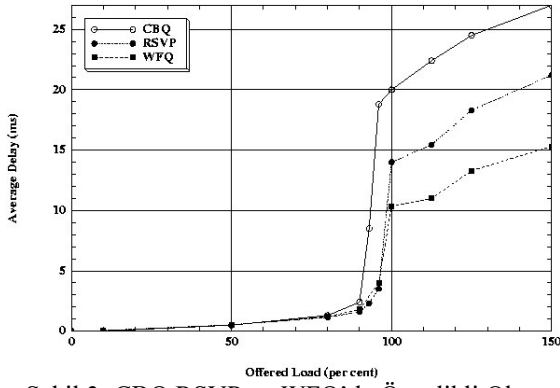


Şekil 1: Adil Kuyruklama

2.6 Rastgele Erken Algılama (RED, Random Early Detection)

Rasgele Erken Algılama Servis Kalitesi kavramına bir yaklaşım sunar. Bu da sıkışıklık denetimidir. Ağ üzerinde bir sıkışıklık durumu ortaya çıkınca ortalama paket gecikmesi, gecikmedeki değişim miktarı ve iletim hızındaki (throughput) değişim miktarı artacaktır. Dolayısıyla ağ üzerinde ortalama gecikme ve iletim hızı (throughput) açısından daha iyi bir başarımlar elde edilmesi isteniyorsa ağ sıkışıklığı kaçınılması gereken bir durum olarak ortaya çıkar.

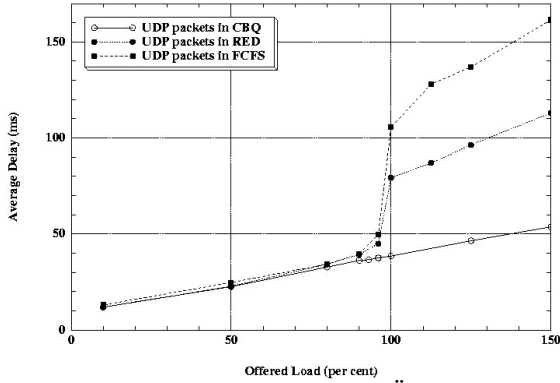
Ağ üzerindeki sıkışıklığı algılamak için her bir paket geldiğinde özel bir algoritma ile ortalama kuyruk boyu hesaplanır. (Floyd, 1993) Eğer hesaplanan ortalama kuyruk boyu belli bir sınırdan üzerinde ise gelen paket hemen düşürülür. Belli bir sınırın altında ise paket beklemeksizin iletilir. Eğer yukarıda anılan iki sınır arasında ise algoritma



Şekil 3: CBQ, RSVP ve WFQ'da Öncelikli Olmayan Paketler için Ortalama Gecikme

İkinci olarak, sıkışıklık denetimi yöntemi olarak RED incelendi. Ağ üzerinde sıkışıklık olamadığı zaman tüm kuyruklama yöntemlerinin iyi gecikme ve iletim hızı (throughput) değerleri sağladığı görüldü. Ortalama gecikme açısından, RED Şekil 4'te de görüleceği gibi, her ne kadar önceliklendirme esaslı CBQ kadar başarılı olmasa da, FCFS'ye göre daha iyi değerler vermektedir.

RSVP protokolünü tümleşik servislerin bir temsilcisi olarak inceledik. Şekil 3'te görülmektedir ki öncelikli trafiğin iletimi açısından RSVP, CBQ ve WFQ ile aynı sonuçları vermektedir, çünkü bu üç yöntemde önceliklendirme tabanlıdır. Şekil 4'e baktığımızda RSVP, CBQ'ya göre daha iyi ortalama gecikme değerleri vermektedir. RSVP protokolünün kuyruklama mekanizması olarak WFQ kullandığı için öncelikli olmayan trafiğin iletiminde CBQ'dan daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 4: CBQ, RED ve FCFS'de Öncelikli Paketler için Ortalama Gecikme

Tablo 1, 2 ve 3'de önceliklendirilmiş trafik için iletim hızındaki değişime FCFS, RED ve CBQ kuyruk yönetim algoritmaları %125 trafik yoğunluğu altında ve farklı TCP (önceliklendirilmemiş trafik) paket boyları için verilmiştir. Ayrıca Tablo 1 ve 2 karşılaştırılırsa görülür ki iletim hızındaki (throughput) değişime açısından RED, FCFS'ye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. CBQ ve WFQ iletim hızı değişiminde en iyi sonuçları vermektedir. CBQ ve WFQ'ya ait sonuçlar birbirlerine çok yakın çıktığından aynı tabloda gösterilmiştir.

TCP Packet Size	Average Throughput Rate (Kbps)	Throughput Variation (Kbps)
250	38.25	3
500	39.17	4.3
750	39.23	5.63
1000	38.17	6.5

Tablo 1: Önceliklendirilmiş Trafığın FCFS için Ortalama İletim Hızı ve İletim Hızı Değişimi

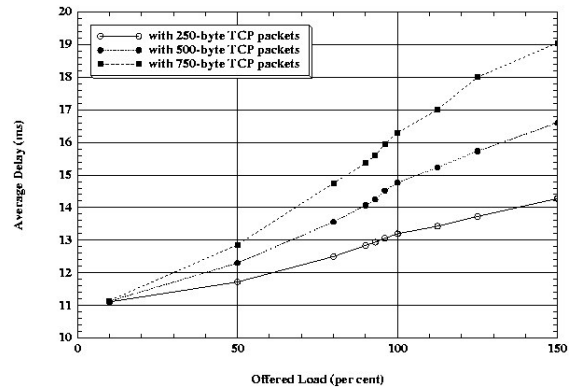
TCP Packet Size	Average Throughput Rate (Kbps)	Throughput Variation (Kbps)
250	37.28	2
500	38.15	3.6
750	37.5	4.7
1000	37.9	4.8

Tablo 2: Önceliklendirilmiş trafiğin RED için Ortalama İletim Hızı ve İletim Hızı Değişimi

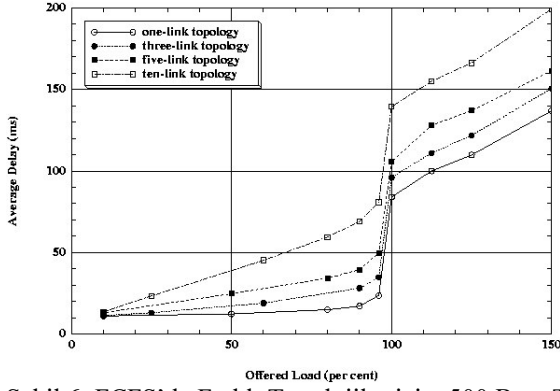
Ağ üzerindeki en büyük paket boyunun (Maximum Transmission Unit) Servis Kalitesine etkisi de önemli bir husustur. Şekil 5'te TCP trafik kaynaklarına ait farklı paket boyları için öncelikli trafiğe ait paketlerin ortalama gecikmesi gösterilmektedir. Görülmektedir ki ağ üzerindeki en büyük paket boyu arttıkça doğrusal bir biçimde öncelikli paketlerin gecikmesi de artmaktadır.

TCP Packet Size	Average Throughput Rate (Kbps)	Throughput Variation (Kbps)
250	40	1.7
500	40	1.6
750	39.9	1.5
1000	39.8	1.6

Tablo 3: Önceliklendirilmiş Trafığın WFQ ve CBQ için Ortalama İletim Hızı ve İletim Hızı Değişimi



Şekil 5: CBQ'da Farklı TCP Paket Boyları için Öncelikli Paketlerin Ortalama Gecikmesi.



Şekil 6: FCFS’de Farklı Topolojiler için 500 Bayt TCP Paketlerinin Ortalama Gecikmesi.

Şekil 6 topolojinin ağdaki ortalama gecikmeye etkisini ortaya koymaktadır. Tahmin de edilebileceği üzere paketlerin geçtiği noktaların sayısı sistemdeki paketlerin ortalama gecikmesini doğrusal olarak etkilemektedir.

Son olarak denebilir ki, ağ üzerinde trafik yoğunluğu yaklaşık %90’ın altında ise tüm kuyruklama yöntemleri yaklaşık aynı sonuçları vermektedir. Servis Kalitesinin avantajları böyle aşırı trafik yoğunluğu olan hatlar üzerinde ortaya çıkmaktadır. Bu ise genellikle geniş alan ağ hatları üzerinde sıkça ortaya çıkan bir durum olduğundan Servis Kalitesi geniş alan ağ hatlarının daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Geniş alan ağları üzerinde, gerçek zaman ve çoklu-ortam trafiği kullanılmadığı durumlarda RED kullanımı, bu uygulamaların kullanıldığı durumlarda ise CBQ yada WFQ kullanımı ağ verimliliğini arttıracaktır. Ağ üzerindeki en büyük paket boyunu düşürmek te doğrusal biçimde ortalama gecikme değerlerini düşürecektir.

Çalışmamızda üstel dağılımlı trafik kaynakları kullanarak benzetimler yaptık. Çalışmamızda kullandığımız NS-2 gerçek dünyadan alınan örnekleri de kendi içinde iz dosyası (trace file) halinde kullanabilmektedir. Bu şekilde çalışmamız daha ileri aşamalara götürülebilir.

Kaynaklar

1. Bennet J. C. R. and H. Zhang , *Hierarchical Packet Fair Queuing Algorithms*, www.acm.org/sigcom/ccr/archive/1996/conf/bennet.pdf
2. Blake, S., D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, ``An Architecture for Differentiated Services", *Request for Comments* , 2475,1998,<http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>
3. Braden, R., D. Clark, S. Shenker, ``Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", *Request for Comments: 1633*, 1994, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1633.txt>
4. Demers, A.,S. Keshav,, S. Shenker, ``Analysis and Simulation of a Fair queuing Alghorithm."

Proceedings SIGCOMM'89, Vol.19, No. 4, pp 11-12, Austin, September 1989.

5. Floyd, S. and V. Jacobson, ``Link-Sharing and Resource Management Models for Packet Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 3 No.4, pp. 365-386, August 1995.
6. Floyd, S. and V.Jacobson, ``Random Early Detection Gateways for Congestion Control.", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 1, pp 397-413, August 1993.
7. Greenberg, A. and N. Madras, ``How fair is fair queuing?", *Journal of the ACM*, Vol. 39, No.3, pp. 568-593, July 1992.
8. Jain, R., ``Congestion Control in Computer Networks: Trends and Issues", *IEEE Network*, pp.24-30, 1990.
9. McKenney, P., ``Stochastic fairness queuing", *Internetworking: Research and Experience*, Vol.2, pp. 113-131, January 1991.
10. Risso, F and B. Gevros, *Operational and Performance Issues of a CBQ Router*, October 1999, <http://www.acm.org/sigcomm/ccr/archive/1999/oct99/ccr9910-riso.html>
11. Stalling, W., *High Speed networks, TCP/IP and ATM design principles*, Prentice-Hall, Inc. 1998.