

Heterojen Bilgisayar Ağlarının Performanslarının Değerlendirilmesi için Parametre Elde Edilmesi

Mustafa Tüker^{1*}, Serkan Balh²

1 Aydın Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Bilişim Teknolojileri Alanı, Aydın, Türkiye

2 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

tukermustafa@gmail.com, serkan@mu.edu.tr

Özet: Heterojen bilgisayar ağları birbirinden farklı topoloji ve teknolojilere sahip ağların bağlanılabilir durumda oldukları ortamlardır. Servis sağlayıcılar tarafından sunulan mevcut kablolu heterojen teknolojiler ADSL, Fiber, Enerji hattı üzerinden internet (PLC) ve Kablo TV sistemleridir. Kablosuz olarak da UMTS (3G) bağlantı son kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Heterojen ağların değerlendirilebilmesi için öncelikle belirli bazı parametrelerin elde edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada servis sağlayıcılar tarafından sunulan heterojen ağ teknolojileri incelenmiş ve performanslarının değerlendirilebilmesi için gerekli olan parametrelerin nasıl elde edileceği açıklanmıştır. Bu amaca uygun olarak kullanılan bazı ağ yazılımları test edilmiş, “Iperf” ve “Jdast” programları kullanılarak mevcut ağlardan gerekli parametreler elde edilmiştir. Tüm parametrelerin grafiklerle gösterilmesi ile ağlar arasında farklılıklar ele alınmış ve ağların genel performansları değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Heterojen bilgisayar ağları, Iperf, Jdast, Parametre ölçümü, Performans değerlendirme.

Abstract: Heterogeneous computer networks are the environments where the networks that are in connectable state, have different topologies and technologies. The current wired heterogeneous technologies provided by The Network Service Providers are ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), Fiber technology, Power Line Communication (PLC) and Cable Television systems. As wireless network connection, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System -3G) has been put into the service of the end users. For the evaluation of heterogeneous computer networks, first obtaining some specific parameters is required. In this study, heterogeneous network technologies presented by Service Providers were studied and how to get the necessary parameters for the evolution of their performance was explained. In accordance with this purpose, used some network software were examined and required parameters were obtained from the current networks by using “Iperf” and “Jdast” programs. With graphically demonstrating the all parameters, differences between the networks were addressed and general performances of networks were considered.

1. Giriş

Heterojen bilgisayar ağları birbirinden farklı topoloji ve teknolojilere sahip ağların bağlanılabilir durumda oldukları ortamlardır. İnternete bağlanmak için kullanılan servis sağlayıcıların sunduğu heterojen teknolojiler genel olarak kablolu ve kablosuz olarak sınıflandırılır [1]. Servis sağlayıcıların ev

kullanıcıları için sunduğu mevcut kablolu heterojen teknolojiler ADSL, Fiber İnternet, Enerji hattı üzerinden internet ve Kablo TV sistemleridir. Kablosuz olarak da Wi-MAX ağları ve UMTS (Hücresele-3G) bağlantı son kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Çok sayıda heterojen erişim ağının bulunduğu bir ortamda kullanıcıya ihtiyaç duyduğu tüm kriterler açısından en verimli hizmeti sunacak

olan erişim ağının seçimi önemli bir konudur. Hatalı bir ağ seçimi kullanıcı açısından yüksek maliyetler veya kötü hizmet deneyimi gibi olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir. Heterojen ağlar arasında seçim yapılabilmesi için öncelikle belirli parametre değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir [2]. Bu çalışmada, hangi parametrelerin nasıl elde edilebileceği üzerinde durulmuştur ve Fiber İnternet, ADSL, Kablo TV, PLC ve UMTS (Hücresele – 3G) ağları değerlendirilmiştir. Çalışma ortamında Wi-Max ağları bulunmadığı için kablosuz ağ olarak sadece UMTS bağlantı değerlendirilmiştir.

Ağ parametrelerini elde etmek için birçok network izleme ve yönetim programı mevcuttur. Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde çeşitli yazılımlar ön plana çıkmaktadır. MRTG (Multi Router Traffic Grapher) programı ağın trafik yükünü görüntüleme amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ağ topolojisi içerisinde bulunan erişilebilir durumdaki tüm bağlantılarla ilgili grafik içerikli yük bilgileri sağlar. Perl ve C programlama dilleri ile oluşturulmuş SNMP (Simple Network Management Protocol) kullanılan bir yazılımdır. MRTG Windows ve Unix işletim sistemleri üzerinde çalıştırılabilen ve ücretsiz olarak kullanılabilen bir programdır [3] [4]. Diğer bir ağ izleme ve yönetim yazılımı olan PRTG ise Windows platformunda çalışan ücretli ve istemci sunucu tabanlı bir yazılımdır. İstemci ve sunucu tarafında kurulumu gerçekleştirilen sensörler aracılığı ile gerçek zamanlı olarak toplanan verilerin görüntülenmesini ve analizinin yapılmasını sağlar [5] [6]. Popüler olarak kullanılan ağ izleme ve yönetim yazılımı olan Wireshark, tüm platformlarda çalıştırılabilen ücretsiz bir protokol analiz yazılımıdır. Ağ trafiğini analiz etme konusundaki çeşitli çalışmalarda Wireshark programından faydalanılmıştır [7] [8].

Bu çalışmada aday ağlardan gerekli parametreler, “Jdast” ve “Iperf” yazılımları kullanılarak gerçek zamanlı elde edilmiştir. Iperf, ücretsiz bir yazılım olup maksimum TCP ve UDP bant genişliği performansını ölçmek için kullanılmaktadır. Iperf çeşitli parametreler ve UDP özelliklerinin ayarlanmasına izin veren, istemci-sunucu tabanlı çalışan bir programdır. Program çalıştırıldığı ağ üzerindeki bant genişliği değerlerinin raporlanmasını sağlar. Iperf programı birçok çalışmada çeşitli parametre değerlerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır [9] [10] [11] [12] [13]. Ağlardan, istenilen diğer parametrelerin elde edilmesi için ise “Jdast” yazılımından yararlanılmıştır. Bu yazılım ile kullanılan ağın o anki paket gecikmesi, paket kaybı ve seğirme değerleri elde edilebilmektedir. “Jdast” programı belirlenen süreler içerisinde periyodik olarak çalışarak parametrelerin sürekli bir şekilde elde edilmesini ve bunların grafikler şeklinde gösterilmesini sağlayan ücretsiz bir yazılımdır. Çalışmada servis sağlayıcıların kullanıcılara sunduğu heterojen ağ teknolojileri ele alınmış ve performanslarının değerlendirilebilmesi için gerekli olan parametrelerin nasıl elde edileceği araştırılmıştır. Farklı zamanlarda bu ağlara ilişkin parametreler rapor edilmiş ve ağlar arasında ortaya çıkan farklılıklar bulunarak ağların genel performansları değerlendirilmiştir.

2. Heterojen Bilgisayar Ağları ve Parametreler

Servis sağlayıcıların sunduğu mevcut kablolu heterojen teknolojiler ADSL, Fiber İnternet, Enerji hattı üzerinden internet ve Kablo TV sistemleridir. Kablosuz olarak da UMTS (Hücresele-3G) bağlantı son kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır.

ADSL teknolojisi telefon hatları için kullanılan bakır kablolar aracılığıyla kullanıcı ve servis sağlayıcı santral arasında yüksek hızda veri iletişiminin gerçekleştirilmesini sağlar [14]. Fiber optik erişim ağı ise, kullanıcılarına en verimli şekilde geniş bant bağlantı sağlayan kablolu teknolojidir. Bağlantı bakır teller üzerinden değil fiber optik kablo üzerinden gerçekleştirildiği için daha güvenilir ve daha hızlı bağlantı kurulmasını sağlamaktadır [15]. Enerji hattı üzerinden iletişim (PLC–PowerLine Communication) teknolojisi düşük voltajlı elektrik dağıtım şebekesi üzerinden analog veya dijital bir sinyalin iletimi ile gerçekleştirilir. Enerji hattı üzerinden iletişim, haberleşme hattı için ekstra kablo kullanımına gerek kalmadan kullanıcıların internete erişebilmelerini sağlayan bir teknolojidir [16]. Kablo İnternet; Kablo TV altyapısı kullanılarak sunulan bir geniş bant ağ teknolojisidir [17]. Kablo TV ağları, interaktif TV hizmeti, internet üzerinde gezinme, veri indirme, e-posta alma gönderme v.b. hizmetlerin tek bir hat üzerinden sunulabilmesini sağlar [18]. Günümüzde kablosuz heterojen ağ teknolojisi olarak UMTS (3G) yaygın olarak kullanılmaktadır. 3G; Mobil Servis Sağlayıcıların veri ve ses hizmetlerini bütünleşmiş bir biçimde sunmak için geliştirdikleri üçüncü nesil mobil teknolojidir [19.]

Heterojen bilgisayar ağlarının performanslarının etkinliğini gösteren başlıca parametreler; toplam bant genişliği, kullanılabilir bant genişliği, gecikme, seğirme, paket kaybı olarak ele alınmaktadır [20]. Bu parametreler bilgisayar ağı üzerinden çalışan uygulamaların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için büyük öneme sahiptirler. Her parametrenin önem derecesi kullanılan uygulamanın türüne göre değişiklik göstermektedir.

Toplam Bant Genişliği (TBG): Bir ağ, kanal veya hat üzerinden saniyede iletilebilen maksimum bit sayısı toplam bant genişliği olarak adlandırılır [21]. TBG herhangi bir rakip trafik olmaması durumunda elde edilebilir maksimum iletim hızı anlamına gelmektedir [22].

Kullanılabilir Bant Genişliği (KBG): Kullanılabilir bant genişliği, mevcut ağın gerçek zamanlı uygulamalar sırasında sunduğu bant genişliği değeridir. Başka bir deyişle TBG hattın potansiyel bir veri aktarım hızı ölçüsüdür. KBG ise hattın gerçek veri aktarım hızının ölçüsüdür. KBG değeri iki etkene bağlıdır. Bunlardan bir tanesi iki nokta arasındaki hattın temel kapasitesi, diğeri ise rakip trafik varlığı ya da trafik tıkanıklığıdır [22].

Gecikme: Ağ üzerinde veriler küçük parçalar halinde paketlenirler ve taşınırlar. Bu paketlerin akışı doğrudan kullanıcıların internet deneyimlerini etkiler. Veri paketleri arasında geniş ve değişken süreli gecikmeler, kullanıcı deneyiminin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur. Gecikme bir bilgi paketinin kaynaktan hedefe gidene kadar geçen zaman değeridir, birimi ise milisaniyedir.

Seğirme: Seğirme, gerçek zamanlı veri paketleri arasındaki gecikmenin standart sapmasıdır. Erişim sistemi içerisinde ortalama gecikme varyasyonlarının ölçümü ile elde edilir. Seğirmenin büyük değerlere ulaşması paketlerin kaybolmasına ya da tekrar gönderilmesine neden olabilir [23].

Paket Kaybı : İnternet ortamındaki büyüme trafik yükündeki artmayı da beraberinde getirmiştir. İnternet üzerinde bulunan yönlendiriciler, üzerlerindeki yükün artması sebebiyle çok yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar. İnternet servis sağlayıcıları

bu yoğun ortamda kullanıcılara hizmet sunarken, çeşitli sebeplerden dolayı paket kayıpları oluşmaktadır [24].

3. Ağ Performanslarının Değerlendirilmesi

Uygulamada kullanılan mevcut ağlar aşağıdaki gibi adlandırılmıştır:

- AĞ-1: 3G Teknolojisi
- AĞ-2: ADSL Teknolojisi
- AĞ-3: Fiber İnternet Teknolojisi
- AĞ-4: KabloTV İnternet Teknolojisi
- AĞ-5: PLC

Ağın durumu o anki aktif kullanıcı sayısı ve yüke bağlı olarak değiştiği için parametreler her an değişkenlik gösterebilmektedir. Sadece kullanılan hattın değil bağlanılan sunucunun da yoğunluğu sonuçlara etki etmektedir. Ayrıca mevcut hatta bir kullanıcı dahi olsa o hattın bağlı olduğu yönlendiriciler üzerindeki yoğunluk da sonuçları etkilemektedir. Bu yüzden parametrelerin anlık değerlerini elde etmek amacıyla kullanılan her iki yazılım da farklı zaman dilimlerinde defalarca çalıştırılarak hattın durumunun gözlemlenmesi ve parametre ortalamalarının elde edilmesi sağlanmıştır.

Iperf Programının Kullanımı

Iperf istemci-sunucu tabanlı çalışan bir yazılım olduğu için çalışmada Iperf programını kullanmak için sunucu tarafındaki hat üzerinde çalıştırılacak bilgisayarın IP adresi için modem üzerinde port yönlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. 5000-5001 portları erişime açılarak program çalıştırıldığında istemci-sunucu bağlantısının kurulması sağlanmıştır.

TCP trafiği için sunucu tarafında kullanılan komut aşağıdaki gibidir:

```
iperf -s
```

Bu komut aracılığıyla sunucu bilgisayar 5000 ve 5001 numaralı portları üzerinden TCP trafik isteğine hazır bir şekilde beklemeye başlar. İstemci bilgisayara tarafından aşağıda belirtilen komutlar kullanılarak haberleşme başlatılır.

TCP Trafiği için istemci tarafında kullanılan komut:

```
iperf -c "sunucu IP adresi" -w 64kb
```

Iperf ile TCP pencere boyutlarının (64 kb, 128kb, 256kb, 512kb, 1024kb, 2048kb) değiştirilmesi sağlanarak çeşitli durumlardaki KBG değerlerinin ölçülmesi sağlanmıştır.

UDP trafiği için sunucu tarafında kullanılan komut:

```
iperf -s -u
```

UDP Trafiği için Client tarafında kullanılan komut:

```
iperf -c "sunucu IP adresi" -u
```

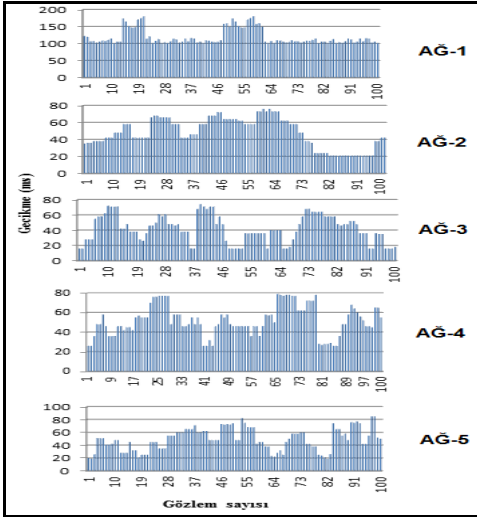
Jdast Programının Kullanımı

Ağlardan istenilen diğer parametrelerin elde edilmesi için ise "Jdast" yazılımından yararlanılmıştır. Bu yazılım ile kullanılan ağın o anki paket gecikmesi, paket kaybı ve seçirme değerleri elde edilebilmektedir. Bu yazılımı kullanmak için modem erişime açık hale getirilmiş ve yazılımda "hedef adres" kısmına dış ip adresi yazılmıştır. Tüm denenen ağlarda; periyodik olarak uç modemle aralarındaki değerlerin ölçülmesi ve kaydedilmesi sağlanmıştır. Bunun dışında programda "hedef adres" kısmına "www.google.com" gibi genel adresler girilerek hattın çeşitli noktalara bağlantı değerleri elde edilmiştir.

Parametrelerin Değerlendirilmesi

Yazılımlardan elde edilen ağlara ilişkin değerler gerçek dünya verileridir. Ağların her biri için çeşitli zaman dilimlerinde çok sayıda test gerçekleştirilerek bir değer havuzu oluşturulmuş ve daha sonra tüm değerlerin ortalaması alınarak hattın ortalama değerleri elde edilmiştir.

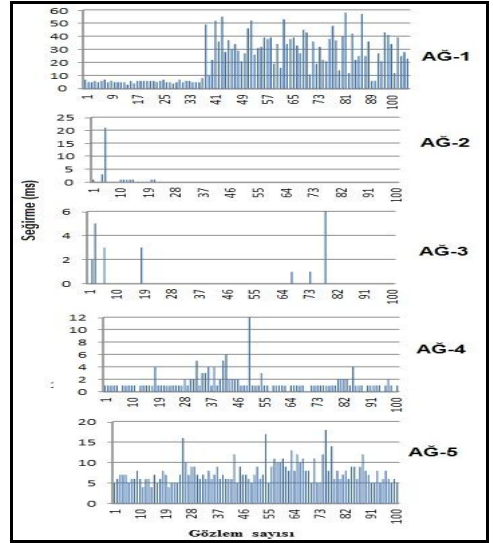
Şekil 1’de tüm ağ türleri için gecikme parametresinin dağılımı gösterilmektedir. Bu grafikte tüm servis sağlayıcıların bu parametre için sağlamış oldukları değerlerin ortalamaları bir arada gösterilmiştir.



Şekil 1. Gecikme parametresinin ağlara göre dağılımı

Şekil 2’de tüm ağ türleri için seğirme parametresinin dağılımı verilmiştir. Seğirme değeri AĞ-2 ve AĞ-3 için çok küçük miktarlarda ve çok nadir olarak gerçekleşmektedir. Fakat AĞ-1 için oldukça yüksek ve sık şekilde gerçekleşmesi bu ağın birçok uygulamadaki performansını olumsuz yönde etkileyecektir. AĞ-4 ve AĞ-5 üzerinde de sürekli olarak bir seğirme değeri ölçülmektedir fakat düşük değerdedir. Şekil 3’de ölçülen KBG değerleri verilmiştir. TCP trafiğinde sonuçların elde edilebilmesi için

iperf komutları çeşitli pencere boyutları (TCP Window Size) kullanılarak tekrar edilmiştir.

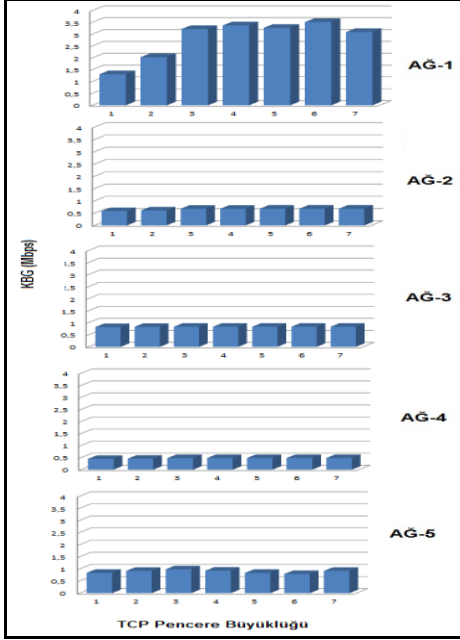


Şekil 2. Seğirme parametresinin ağlara göre dağılımı

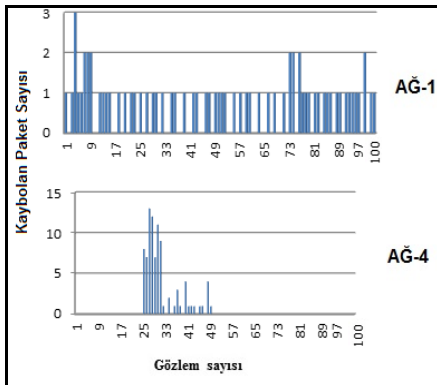
Her bir test sırasında 64kb ile 4096kb arasında farklı pencere boyutları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak KBG değerleri oluşturulmuştur. Servis sağlayıcıların çeşitli yönetim politikaları sonuçlara etki etmektedir. Örneğin AĞ-2 ve AĞ-3 için Yükleme (Upload) hız sınırlandırması TBG değerleri yüksek olmasına rağmen KBG’nin belli bir değer üzerine çıkmasına engel olmaktadır. AĞ-1’in servis sağlayıcısının bu tür bir kısıtlamada bulunmaması KBG değerine olumlu şekilde yansımaktadır.

Şekil 4’de paket kaybı grafiği verilmiştir. AĞ-2, AĞ-3 ve AĞ-5’in paket kaybı değeri çok küçük olduğu için grafikte gösterilmemiştir. AĞ-1 üzerinde paket kaybı neredeyse sürekli olarak görülmektedir. AĞ-4’te ise paket kaybı çok sık olarak gerçekleşmesine de birim zamanda kaybolan paket sayısı yüksektir. Her iki ölçüm sonucunda birçok uygulama açısında istenmeyen bir durum olan paket kaybı

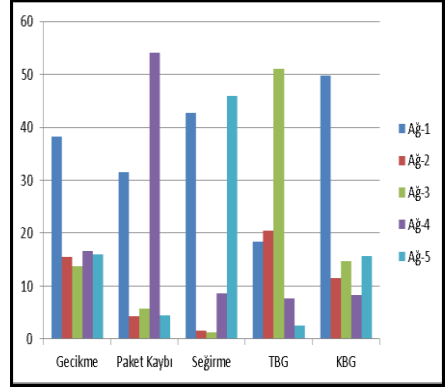
gerçekleşmektedir. Şekil 5’ de tüm ağlardan elde edilen parametre değerleri bir arada gösterilmiştir. Her parametre 0-100 aralığına çevrilerek tabloya yansıtılmıştır. Böylelikle ağlar arasındaki farklılıkların parametre birimlerine bağlı olmadan rahatlıkla görünlenebilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3. KBG parametresinin ağlara göre dağılımı



Şekil 4. Paket Kaybı parametresinin ağlara göre dağılımı



Şekil 5. Tüm parametrelerin ağlara göre karşılaştırılması

Şekil 5’de ağların çeşitli uygulamalara karşı avantajları ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır. Örneğin video konferans uygulaması gerçekleştirmek isteyen bir kullanıcı için gecikme ve seçirme parametrelerinin hassasiyeti çok yüksektir. KBG’nin önemi de yüksek seviyededir. KBG gereksinimi; gerçekleştirilecek olan video konferans oturum boyutu ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Düşük miktardaki paket kayıpları tolere edilebilir. Bu parametrelerin önemlilikleri göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılacak olursa AĞ-1’in KBG değerinin çok yüksek olmasının yanı sıra gecikme ve seçirme parametrelerinin de yüksek olması bu video konferans uygulaması için uygun olmadığı sonucuna varılmasını sağlar. AĞ-3, KBG açısından ikinci sırada olmasına rağmen gecikme ve seçirme parametreleri için sağlamış olduğu uygun değerlerle video konferans uygulaması için daha verimli sonuçlar elde edilmesi sağlayacaktır. Farklı uygulamaların farklı gereksinimleri vardır. Örneğin VoIP uygulaması için gecikme ve seçirme parametrelerinin hassasiyeti çok yüksektir. TBG ve KBG gereksinimleri çok düşüktür. Paket kayıpları orta seviyede tolere edilebilir. FTP, HTTP, E-posta uygulamalarını kullanacak olan bir kullanıcı için paket kaybı

duyarlılığı yüksektir. TBG gereksinimi orta seviyededir. Gecikme, seğirme ve KBG parametrelerinin önemi ise düşüktür. Son kullanıcıların gereksinimlerinin tam olarak karşılanabilmesi için ağlardan parametreler gerçek zamanlı elde edilmeli ve kullanılacak olan uygulamaya paralel olarak değerlendirilmelidir. Böylelikle birden çok sayıda bağlanılabilir durumdaki ağın bulunduğu ortamlarda en uygun ağ seçiminin gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada çeşitli ağların performanslarının değerlendirilebilmesi için gerekli olan parametrelerin elde edilmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaca uygun olarak kullanılan yazılımlar incelenmiş ve Iperf programı ile Jdast programı kullanılarak mevcut ağlardan gerekli parametreler elde edilmiştir. Tüm parametreler grafiklerle gösterilerek ağlar arasında farklılıkların gözlemlenmesi sağlanmıştır.

Gerçek dünya ağlarından parametre elde ederken, ölçüm yapılacak aday ağların tamamının aynı ortamda bulunmaması sorunu ortaya çıkmıştır. Tüm hatların aynı konumda olmaması sebebiyle ölçümler sırasında farklı konumlardaki kullanıcılarla eş zamanlı bağlantılar kurulması gerekmiştir. Tüm kullanıcılar senkronize edilerek eş zamanlı olarak parametre sağlayan yazılımlar çalıştırılmış ve değerler elde edilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda; diğer ağ izleme programları da kullanılarak parametreler elde edilebilir ve tüm yazılımlardan elde edilen parametrelerin karşılaştırılmaları yapılabilir. Ayrıca çeşitli kullanıcı profilleri oluşturularak ağların bu profillere göre değerlendirmeleri yapılabilir. Kullanıcıların her an her yerde kesintisiz bağlantı hizmetini en verimli şekilde elde etmeleri amaçlayan, hareketlilik

kavramının ön planda tutulduğu bir ağ performans değerlendirme çalışması gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

[1] J. P. Javaudin, M. Bellec, D. Varoutas, V. Suraci, "Omega ict project: Towards convergent Gigabit home Networks", IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Cannes, France, 1-5, 15-18 September, 2008.

[2] M. Tüker, Heterojen Bilgisayar Ağları İçin Zeki Seçim Sistemleri Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

[3] R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer ve M. I. Babar, "An Efficient Network Monitoring and Management System" International Journal of Information and Electronics Engineering, 3(1), 122-126, 2013.

[4] S. Feng, J. Zhang and B. Zeng, "Design of the Visualized Assistant for the Management of Proxy Server", IEEE Third International Symposium on Electronic Commerce and Security (ISECS), Wuhan, China, August 2010.

[5] S. Dyllan, H. Dahimene, P. Wright, P. Xiao, "Analysis of HTTP and HTTPS Usage on the University Internet Backbone Links.", Journal of Industrial and Intelligent Information, Vol2(1), 67-70, 2014.

[6] I. S. H. C. Ilias, N. Z. Ahmad, "Video Applications In E Learning Portal Over WiFi/WiMAX Networks: QoS Evaluation", Computer and Communication Engineering (ICCCE) International Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 494-498, 3-5 July, 2012.

[7] M. A. Qadeer, M. Zahid, A. Iqbal, M.R. Siddiqui, "Network Traffic Analysis And Intrusion Detection Using Packet Sniffer", Communication Software and Networks CCSN'10 Second International Conference, 313-317, Singapore, February, 2010.

- [8] A. Dabir, A. Matrawy, "Bottleneck Analysis of Traffic Monitoring using Wireshark", *Innovations in Information Technology 2007 4th International Conference on IEEE*, Dubai, United Arab Emirates, 158-162, 18-20 November, 2007.
- [9] E. Huh, H. Choo, "Performance Enhancement of TCP in high-speed Networks", *Information Sciences*, 178(2), 352-362, 2008
- [10] O. Olvera-Irigoyen, A. Kortebi, L. Toutain, D. Ros, "Available Bandwidth Probing in Hybrid Home Networks", *IEEE 18th Workshop*, Chapel Hill, NC, USA, 1-7, 13-14 October, 2011.
- [11] A. Botta, A. Dainotti, A. Pescapé, "A Tool For The Generation Of Realistic Network Workload For Emerging Networking Scenarios", *Computer Networks*, 56, 3531-3547, 2012.
- [12] S. Srivastava, S. Anmulwar, A. M. Sapkal, T. Batra, A.K. Gupta, V. Kumar, "Comparative Study Of Various Traffic Generator Tools", *Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS) 2014*, Chandigarh, India, 1-6, 6-8 March, 2014.
- [13] T. H. Nong, R. Wong. W. Almuhtadi, J. Melzer, "Aggregating Internet access in a mesh-backhauled network through MPTCP proxying", *International Conference on Computing Networking and Communications (ICNC) 2014*, Honolulu, Hawaii, USA, 736-742, 3-6 February, 2014.
- [14] J. A. C. Bingham, *ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation*, Wiley, New York, A.B.D., 2000.
- [15] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks*, Prentice Hall, New Jersey, A.B.D., 2003.
- [16] J. Newbury, "Deregulation of the electricity supply industry in the United Kingdom and the effects on communications services", *IEEE TransPower Delivery*, 12(2), 590 – 600, 1997.
- [17] P. Tzerefos, V. Sdralia, C. Smythe, S. Cvetkovic, "Delivery of low bit rate isochronous streams over the DOCSIS 1.0 cable television protocol", *IEEE Trans on Broad*, 45(2), 206 – 214, 1999.
- [18] Z. YanHua, M. WeiZhe, "The Design of Cable Television IP Access Network Based on Hot Standby Router Protocol", *Image Analysis and Signal Processing (IASP) 2012 International Conference*, Hangzhou, China, 1 – 4, 9-11 November, 2012.
- [19] W. Lehr, L.W. McKnight, "Wireless Internet Access: 3G vs. WiFi?", *Telecommunications Policy*, 27(5), 351-370, 2003.
- [20] F. Bari, V. Leung, "Automated Network Selection in a Heterogeneous Wireless Network Environment", *IEEE Network*, 21(1), 34-40, 2007.
- [21] B. A. Forouzan, *Data Communications And Networking*, The Mc Grow-Hill Companies, NY, A.B.D., 2007.
- [22] R. L. Carter, M. E. Crovella, "Measuring Bottleneck Link Speed in Packet-Switched Networks", *Performance Evaluation*, 27, 297-318, 1996.
- [23] F. Bari, *Automated Network Selection For Service Delivery Across All-IP Heterogeneous Wireless Systems*, Doktora Tezi, British Columbia Üniversitesi, Kanada, 2007.
- [24] M. S. Borella, D. Swider, S. Uludag, G. B. Brewster, "Internet Packet Loss: Measurement and Implications for End-to-End QoS", *Architectural and OS Support for Multimedia Applications/ Flexible Communication Systems/ Wireless Networks and Mobile Computing*, 3-12, Minneapolis, 14 August, 1998.