

## Planetlab Üzerinde Çoklוגönderim Ağaç Tabanlı Video Akışlandırma Uygulaması Multicast Tree Based Video Streaming Application Over Planetlab

Müge Sayıt<sup>1</sup>, Sercan Demirci<sup>1</sup>, Yağız Kaymak<sup>1,2</sup>, Hasan Bulut<sup>3</sup>, E. Turhan Tunalı<sup>2</sup>

1. Uluslararası Bilgisayar  
Enstitüsü  
Ege Üniversitesi  
{muge.fesci, sercan.demirci}  
@ege.edu.tr

2. Bilgisayar Mühendisliği  
Bölümü  
İzmir Ekonomi Üniversitesi  
{yagiz.kaymak, turhan.tunali}  
@ieu.edu.tr

3. Bilgisayar Mühendisliği  
Bölümü  
Ege Üniversitesi  
hasan.bulut@ege.edu.tr

### ÖZETÇE

*Bu bildiri, görevdeş ağlar için çoklוגönderim ağaçları ile çalışan bir video akışlandırma sistemi sunulmuş ve video akışlandırma oturumu sırasında sistemden ayrılan düğümlere karşı dinamik ağaç bakımı algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma, Planetlab ortamı ile farklı ülkelerde yer alan düğümler ile internet üzerinde test edilmiştir. Elde edilen başarımlarını sonuçları, önerilen algoritmanın görevdeş ağlar üzerinde çalışan gecikme duyarlı canlı video akışlandırmaları için kullanılabileceğini göstermektedir.*

### ABSTRACT

*In this paper, a video streaming system running on multicast tree for peer to peer networks is presented and dynamic tree maintenance algorithm against node failures during streaming session is proposed. The proposed algorithm is tested on nodes existing in different countries over the Internet in Planetlab. The obtained results show that proposed algorithm can be used in latency sensitive live video streaming applications running on peer to peer networks.*

### 1. GİRİŞ

İnternet üzerinden video izleme uygulamalarına olan talep artışı ile birlikte, görevdeş ağlar üzerinde çalıştırılan video akışlandırma uygulamaları son yıllarda önemli bir araştırma konusu olarak dikkat çekmektedir. Görevdeş ağlar üzerinde çalışan video akışlandırma uygulamalarında karşılaşılan en büyük problemlerden biri, ağ üzerinde bulunan kullanıcıların haberli ya da habersiz sistemden ayrılmalarıdır. Bu durumda, akışlandırma oturumuna devam eden diğer düğümlerde video kesintisi gözlemlenebilmektedir. Bunun dışında video akışlandırma uygulamalarının ölçeklenebilir, dağıtık, değişken kullanıcı bantgenişliklerine uyum sağlayabilecek bir yapıda olması gerekmektedir.

IP çoklוגönderim protokolünün ölçeklenebilirlik, ağ yönetimi ve hata kontrol-kurtarma gibi konuların sağlanmasında eksiklikleri bulunmaktadır. Dolayısıyla, görevdeş ağlar üzerinde çalışan video akışlandırma uygulamalarına verilecek çoklוגönderim desteği IP tarafından tam olarak sağlanamaz, uygulamaların çoklוגönderimi destekleyecek bir üst mimari kurması gerekmektedir. Kurulan üst mimarinin altta yatan ağ mimarisine paralellüğünün artması video akışlandırma uygulamalarının başarımlarını arttırmaktadır. Kurulan üst mimari yapısı genel olarak ızgara tabanlı ağlar ve ağaç tabanlı ağlar olmak üzere 2 temel sınıfa ayrılmaktadır. Izzgara tabanlı ağlar hata dayanıklılığı açısından ağaç tabanlı ağlara göre daha iyi başarımlar sağlamaktadır. Diğer yandan

ağaç tabanlı ağların ekyükü ve oynatım bekleme zamanı ızgara tabanlı ağlara göre daha düşüktür.

Bu çalışmada, görevdeş ağlar üzerinde çalışan bir video akışlandırma sistemi için ağaç tabanlı ölçeklenebilir bir üst mimari kurularak internet ortamı üzerinde en iyi başarımla çalıştırılması için uygun parametre kümesi önerilmiştir. Bildirinin izleyen bölümleri şu şekildedir: İkinci bölümde konu ile ilgili literatürde yer almış önemli çalışmalardan söz edilmiştir. Üçüncü bölümde, önerilen video akışlandırma sistemi ile ilgili tasarım parametreleri verilmiştir. Dördüncü bölümde tasarlanan sistemin internet üzerinde uygulama sonuçlarına yer verilmiş; beşinci ve son bölüm ise tartışmaya ayrılmış ve ardından referanslar listelenmiştir.

### 2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Izzgara tabanlı üst mimariye sahip video akışlandırma sistemleri arasında [1-3] çalışmaları sayılabilir. Izzgara tabanlı sistemlerde, video verisi parçalara ayrılarak birbirine bağlı düğümler arasında bu veri parçaları değişimi ile akışlandırma sürdürülmektedir. Düğümler tampon haritası adı verilen yapılar üzerinde kendisinde bulunan ve bulunmayan veri parçalarının kaydını tutar. Tampon haritaları sürekli olarak komşu düğümler arasında gönderilerek düğümlerin eksik video veri parçalarını tamamlaması sağlanır. Düğümler aynı zamanda sistemi araştırarak kendisine bağlanabilecek yeni düğümler araştırır. Bu esneklik hata dayanıklılığı sağlar. Ancak ızgara tabanlı sistemlerin en zayıf noktası kontrol mesajlaşmalarının sebep olduğu ekyük – gecikme ödünleşimidir [4]. Ticari bir sistem olan [2] çalışmasının ölçümlerinde iki düğüm arasındaki oynatım gecikmesinin 140 saniyeye kadar çıktığı raporlanmıştır [5]. Bu durum, dakikaların önemli olabileceği canlı video akışlandırma uygulamalarında sorun oluşturmaktadır.

Ağaç tabanlı video akışlandırma sistemlerinde kurulan akışlandırma yolu önceden tanımlı olduğu için video paketleri istemcilere sıralı gitmekte, iki düğüm arasındaki oynatım süresi bir saniyeden daha kısa zamanda gerçekleşmektedir. Ağaç tabanlı video akışlandırma sistemlerinin en büyük dezavantajlarından biri, kaynağa yakın düğümlerin sahip olduğu yükleme hızının düşük olmasının o düğümün altında kalan tüm alt ağacın düşük kalitede video almasına neden olmasıdır. Benzer şekilde ağacın üst katmanlarında bir düğüm sistemden ayrıldığında, bu durumda tüm alt ağaç olumsuz etkilenecektir. Bu dezavantajlara karşı birden fazla çoklוגönderim ağacı kurularak her ağaçtan ayrı bir MDC video verisinin gönderilmesi önerilmiştir [6]. MDC kodlanmamış video verisi için ise kurulan ağaçlarda hata durumuna karşı yedek ebeveynler önerilmiştir [7, 8]; ancak bu

çalışmalarda sistem ölçeklenebilirliği için herhangi bir yaklaşım önerilmemiştir.

Video akışlandırma uygulamalarının üzerinde çalıştığı üst mimariyi oluştururken, birbirine yakın olan düğümlerin gruplandırılması hem ölçeklenebilirlik, hem de alta yatan ağ hakkında bilgi sağladığı için tercih edilmektedir [1, 9]. Oluşturulan gecikmeye bağlı grupların hiyerarşik olarak yapılandırılması ile bu mimari üzerinde çalışan ağaç oluşturma algoritmaları önerilmiştir [9, 10] ancak bu çalışmalarda düğümlerin yükleme hızları gözönüne alınmadan düğümlere çocuk bağlanmaktadır. Çalışmalarda bunun dışında, hata sırasında grup liderinin değiştirilmesi yaklaşımı ile sınırlı bir ağaç bakım yöntemi önerilmektedir.

Bildiride önerilen sistemde, ağ mimarisinden yararlanabilmek amacıyla gecikme tabanlı gruplar ile oluşturulan hiyerarşik katmanlar üzerinde çokluguönderim ağaçları oluşturulmaktadır. Önerilen ağaç kurulumunun literatürdeki benzer çalışmalardan en büyük farkı ağaç oluşturulurken düğüm kapasitelerinin gözönünde bulundurulmasıdır. Hata dayanıklılığı için literatüre benzer şekilde yedek ebeveynler kullanılmıştır. Önerilen sistemin görevdeş ağlarda bulunan düğüm çeşitliliği ve değişkenliğine uyum sağlayabildiği Planetlab ortamı üzerinde yapılan deneyler ile gösterilmiştir. Bildiride, sistemde yüksek başarımla elde edilebilmesi için ayarlanması gereken önemli sistem parametreleri hakkında bilgi verilmiştir. Akışlandırma oturumu sırasında oluşan hatalara karşı dinamik bir ağaç bakımı algoritması önerilmiştir.

### 3. SİSTEM MİMARİSİ

Görevdeş ağlar üzerinde bulunan düğümler, birbirlerine yakınlıklarına göre gruplandırılmaktadır. Bu altyapı üzerinde tasarlanan video akışlandırma mimarisinin özellikleri ve Planetlab [11] ortamı üzerinde kullanılan tasarım parametreleri bu bölümde verilmiştir.

#### 3.1. Gruplandırma, Kontrol ve Akışlandırma Liderleri

Gruplandırma için, sisteme giren düğümler randevu noktası adı verilen bir düğüm ile iletişime geçer ve bu düğümden aldığı düğüm listeleri ile arasında gecikmeyi ölçümleyerek kendisine en yakın gruba dahil olur. Gruplar büyüdükçe bölünerek grup liderleri bir üst hiyerarşik katman gruplarını oluşturduğu için sisteme giriş yapan düğümler ilk olarak en üst katmandaki grup ile mesajlaşır ve katmanlar arasında aşağıya doğru ilerler. Planetlab ortamında yapılan testlerde, bir gruba giriş yapmak için gereken gecikme eşik değerleri, sisteme dahil olan düğümler arasındaki ikili gecikmelerin haftanın değişik günleri ve günün değişik saatlerinde bir süre tekrarlanan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Buna göre video akışlandırma açısından etkin bir gruplandırma sağlamak için, en alt katmanda (0. katman) bir gruba dahil olurken bu grup lideri ile düğüm arasında en fazla 300 ms fark kabul edilmektedir. Herbir üst katman için, bir alttaki katmandan 100 ms daha fazla eşik değeri belirlenmiştir, örnek olarak eşik değerleri 1. katman için 400 ms, 2. katman için 500 ms'dir. Gruplar önceden belirlenen boyuta ulaştığında bölünür; sistemden ayrılan düğümler ile boyutu küçülen gruplar ise eğer eşik değerleri uygun ise birleştirilmektedir.

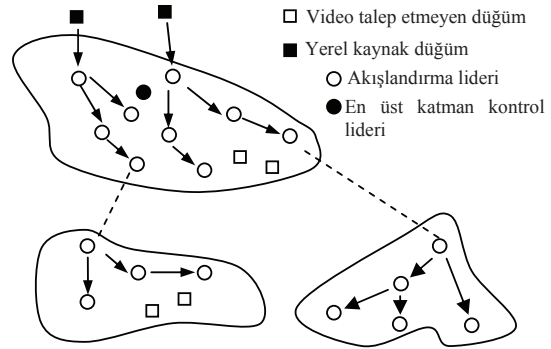
Gecikme tabanlı grupların oluşturulması ve bakımı kontrol liderleri adı verilen düğümler tarafından yapılmaktadır. Akışlandırma liderleri adı verilen düğümlerin görevi ise kendi gruplarına video verisi taşımaktır. Kapasite bilinçli

çokluguönderim ağacı oluşturmak için akışlandırma liderlerinden yararlanılır. Buna göre, her grupta video izlemek isteyen ve talep edilen videoyu üzerinde bulunduran düğümler arasında en yüksek yükleme hızına sahip düğüm akışlandırma lideri olarak seçilir, bu seçim tüm hiyerarşik katmanlarda tekrarlanır ve en üst hiyerarşik katmanda yer alan kaynak konumundaki akışlandırma lideri, çokluguönderim ağacının kökü olacak şekilde seçilir.

#### 3.2. Çokluguönderim Ağaçlarının Oluşturulması

En üst hiyerarşik katmanda bulunan akışlandırma lideri, çokluguönderim ağaç oluşturma algoritmasını başlatır. Algoritma göre, yükleme hızına, bir başka deyişle, kapasitesine bağlı olarak kendisine yakın bulunan ve yüksek kapasiteli düğümleri çocuk olarak seçer. Bu şekilde seçilen çocuk düğümler ağaç üzerinde konumlanmaktadır. Ağaç üzerine yerleşen her düğüm, ağacın aynı katmanında bulunan düğümler ile anlaşarak çocuk seçimi yapar. Bir grup içerisinde video izlemek isteyen tüm düğümler ağaca yerleşince, algoritma bir alt hiyerarşik katmanda çalışmaya devam eder. Ağaç oluşturma algoritması ve akışlandırma liderleri ile ayrıntılı bilgi [12] çalışmasında bulunabilir. Bu çalışmada verilen sonuçlar NS2 benzetim ortamı üzerinde elde edilmiş olup farklı parametre kümeleriyle çalıştırılmıştır.

Şekil 1'de tasarlanan sistemin bir görünümü yer almaktadır. Şekilde de görüldüğü üzere, bir düğüme her hiyerarşik katmanda çocuk bağlanır; üst katmanlarda yer alan akışlandırma liderleri alt katmanlarda da çocuk alabilmek için kapasitesinin bir kısmını alttaki hiyerarşik katmanlara ayırmalıdır. Algoritma, bu amaçla alta yatan her katman için düğümün kapasitesinden bir hücreyi ayırır. Planetlab ortamı üzerinde yapılan deneylerde, düğümlerin yükleme hızları belli bir kapasitenin üzerine çıkmadığı için oluşturulan hiyerarşik katmanların fazla sayıda olmaması gerekmektedir. Hiyerarşik katman sayısını kontrol edebilmek amacıyla, grup boyutu değişmektedir. Örneğin, sistemde 50 düğüm var iken grup boyutu 8, sistemde 100 düğüm var iken grup boyutu 15 olarak seçilmektedir. Bu seçimler ile oluşan hiyerarşik katman sayısı 3 ile sınırlandırılmakta ve sistemdeki düğüm kapasiteleri bu katmanlar üzerinde çokluguönderim ağacı oluşturabilmektedir.



Şekil 1: Çokluguönderim ağaç örneği.

Çokluguönderim ağaçları oluşturulurken düğümler tüm kapasitelerini çocuk almak için kullanmayabilir, bu durumda bazı hücreler yedek olarak tutularak akışlandırma sırasında ağaç bakımında kullanılır. Her düğüm çocuklarına yedek hücrelerin bulunduğu düğümlerin adreslerini iletir. Yedek

ebeveynler adı verilen bu adresler tüm düğümlerin elinde liste halinde bulunur ve bu adresler ağacın katmanlarına göre sıralıdır.

### 3.3. Akışlandırma Sırasında Dinamik Ağaç Bakımı

Çokluguönderim ağaçlarının oluşturulmasından sonra video akışlandırma uygulaması kaynak konumundaki düğüm tarafından başlatılır. Önerilen sistemde çok katmanlı video kodlayıcısı kullanılmıştır. Kaynak düğüm, en üst kalitede videoyu tüm çocuklarına gönderir, video verisi alan düğümler eğer kapasiteleri en üst kalitedeki videoyu göndermeye uygun ise en üst kalitede, değil ise uygun sayıda katman çıkararak daha alt kalitede videoyu çocuklarına iletir. Her düğüm akışlandırma başlamadan önce 5 saniyelik video verisini tamponlar.

Video akışlandırma sırasında ebeveyninin sistemden ayrıldığını tespit eden düğümler elinde bulunan yedek ebeveyn listesine başvuruda bulunur. Ebeveyni sistemden çıktıktan sonra paket almamaya başlayan düğüm, tamponundaki video ile akışlandırmayı sürdürür. Yedek ebeveynine başvuru sırasında tamponunda bulunan veri miktarı hakkında bilgi gönderir. Bir yedek ebeveyn, kendisine bağlanmak üzere başvuruda bulunan düğüme, eğer yeterli kapasitesi var ise *kabul* mesajı ve yeni katman için yedek ebeveyn listesini gönderir. Yeterli kapasite yok ise düğümün tamponunda kalan veri miktarına bakar ve tamponda yeterli miktarda veri varsa düğümü ağacın üst katmanlarına yönlendirir. Bunun sebebi, üst katmanlara çıkıldıkça ağaç kurulum özelliğinden dolayı düğüme gönderilen video kalitesinin artmasıdır. Tamponda yeterli veri yoksa alt katmanlarına yönlendirir ve *aşağı yönlendirme* mesajı göndererek bu düğüme en alt kalitede video göndermeye başlar ve alt katmandaki yedek ebeveyn listesini gönderir. Bu durum, geçici bir süre için başvuruda bulunan düğümü çocuk olarak kabul etmesidir. Geçici olarak bağlanan düğümün *iptal* mesajı alan düğüm, veri akışını keser. Bir yedek ebeveyninden başvurusuna yanıt alan düğüm, Şekil 2’de verilen algoritmayı çalıştırır.

#### Ağaç üzerinde hareket algoritması

```

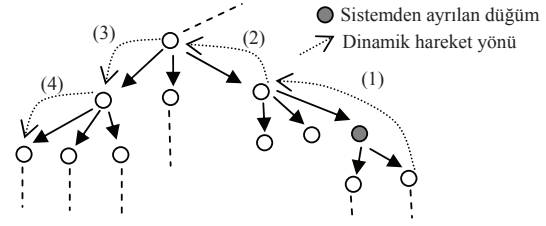
if (yanıt == kabul)
    ebeveyn = yedek ebeveyn;
    yedek ebeveyn listesini al;
else if (yanıt == yukarı_yönlendirme)
    yeni yedek ebeveynine başvur;
else if (yanıt == aşağı_yönlendirme)
    if (geçici_ebeveyn ≠ NULL)
        geçici ebeveynine iptal mesajı
        gönder;
    end if
    geçici_ebeveyn = yedek_ebeveyn;
    yedek_ebeveyn_listesini_al;
end if

```

Şekil 2: Ağaç üzerinde hareket algoritması.

Şekil 3’te verilen hata senaryosunda, sistemden ayrılan bir düğümün çocuklarının birinin ağaç üzerindeki hareket yönü verilmiştir. Şeklin basitliği açısından diğer çocuğun hareketi gösterilmemiştir. Hatayı tespit eden düğüm, yukarı hareket ettiği ilk iki adımda tamponundan video izlemeye devam etmekte, aşağı indiği 3. ve 4. adımlarda ise tamponu tüketmiş ve geçici olarak en alt kalitede video almaktadır. Ağaç

üzerinde hareket eden düğümün tüm alt ağacı kendisine bağlı kalmaktadır.



Şekil 3: Akışlandırma sırasında dinamik ağaç bakımı.

## 4. PLANETLAB DENEY SONUÇLARI

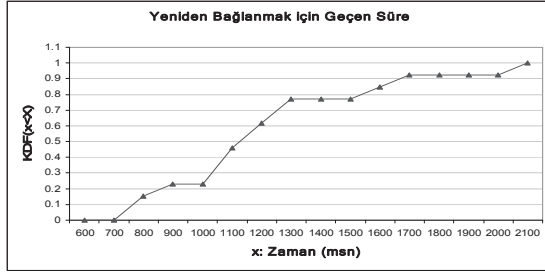
Bildirinin 3. bölümünde verilen algoritma ve sistem parametrelerinin internet üzerinde gerçekleştirilerek elde edilen başarımların sonuçları bu bölümde verilecektir.

### 4.1. Deneysel Kurulumu

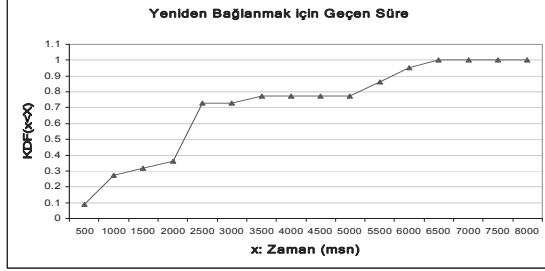
Planetlab, 2003 yılında Princeton Üniversitesi önderliğinde akademik ve ticari ağ sistemlerini internet üzerinde test etmek amaçlı kurulmuş bir platformdur. Dünya üzerindeki çeşitli noktalarda bulunan düğümler yardımı ile görevde ağlar üzerinde çalışabilecek algoritmaların başarımlarını test etme olanağı sağlar. Bildiride sunulan algoritmaların testi için Avrupa, Amerika ve Asya kıtasında bulunan çeşitli düğümler ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Düğümler, belli zaman aralıklarında sisteme dahil olarak, verilen parametreler ile hiyerarşik katmanlar ve Planetlab sitesinde verilen düğümlerin yükleme hızları esas alınarak çokluguönderim ağaçları oluşturulmuştur. Akışlandırma başladıktan sonra rastgele düğümler deneyin herhangi bir anında sistemden ayrılacak şekilde parametreler girilmiştir. Buna göre, ağaç üzerinde yer alan düğümlerin %30’u akışlandırma sırasında çocuklarına haber vermeden sistemden ayrılmıştır. Sistemden ayrılan düğümler sebebiyle akışlandırma sırasında ağacın yapısı dinamik olarak değişmiştir. Deneylerde, video paketleri UDP üzerinden, kontrol paketleri TCP üzerinden gönderilmektedir. Düğümler tarafından alınan video paketlerinin zaman sınırlarına bağlı kalmış ve zamanında gelmeyen paketler kabul edilmemiştir. Gönderilen videonun en üst kalite bithızı 600 Kbps olarak belirlenmiştir. Tüm deneylerde sadece 1 adet düğümden video bulunmaktadır ve dolayısıyla kaynak düğümün kök olduğu 1 adet çokluguönderim ağacı oluşturulmaktadır.

### 4.2. Deneysel Sonuçları

Çalıştırılan deneyler sonucu 50 ve 100 düğümden oluşan görevde ağlar üzerinde elde edilen ağaçlarda, verilen hata oranları sonucu dinamik ağaç bakımı ile hatadan etkilenen düğümlerin yeni bir ebeveyn bulması için gereken sürenin kümülatif dağılım fonksiyon grafiği Şekil 4’te verilmiştir. Verilen süreler düğümün ebeveyninin sistemden ayrıldığını tespit etme süresi de dahildir. 50 düğüm için en fazla 2.1, 100 düğüm için en fazla 6.5 saniyede dinamik ağaç yapılanmasının tamamlandığı görülmektedir. Akışlandırma başladıktan sonra 5 saniye tamponlama süresi olduğu için 50 düğümden oluşan deneylerde video kesintisiz olmamıştır. 100 düğümden oluşan düğümlerde ise düğümlerin %10’unda 1.5 saniyelik bir duraklama gözlemlenmiştir.



a. 50 düğüm için yeniden bağlanma süresi



b. 100 düğüm için yeniden bağlanma süresi

Şekil 4: Hatadan sonra yeniden bağlanmak için geçen süre.

Yapılan deneyler ile ilgili farklı sonuçlara ait özet bilgiler tablo 1’de verilmiştir. Sayısal değerler kümülatif fonksiyon değerleridir.

Tablo 1: Deneyler ile ilgili özet bilgiler

	50 düğüm	100 düğüm
<b>Ağaç uzunluğu (zıplama cinsinden)</b>	4 zıplama	4 zıplama
<b>Ağaç uzunluğu (gecikme cinsinden)</b>	650 msn	650 msn
<b>Alınan ort. bithızı</b>		
<480 Kbps	%2	%2
<500 Kbps	%67	%63
<520 Kbps	%97	%100
<540 Kbps	%100	%100
<b>Düğümlerin yükleme hızı</b>		
<1000 Kbps	%12	%27
<2000 Kbps	%83	%62
<3000 Kbps	%100	%100

Tabloya göre, ağacın yapıklarında bulunan düğümlerin hem 50 hem 100 düğümden oluşan ağlar için akışlandırma başladıktan 650 milisaniye sonra video paketlerini almaya başlayabildikleri görülmektedir. Bu durum, kurulan üst mimarinin etkinliğini göstermektedir. Her iki sayıda düğümden oluşan deney kümesi için de en fazla zıplama adedi 4 olarak gözlemlenmiştir. Gönderilen 600 Kbps bithızına sahip video için sistemdeki düğümlerin çoğu ortalama olarak 500 Kbps bithızına sahip video elde etmiştir. Tabloda verilen bantgenişliği değerlerine göre gönderilen videonun bithızı artırılabilir. Bu durumda, oluşan ağaç uzunluklarının bir miktar artması beklenmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Bu bildiride görevde ağlar için internet ortamı üzerinde çalışabilecek ölçeklenebilir bir video akışlandırma sistemi kullanılacak parametreler ile birlikte sunulmuştur. Planetlab ortamı üzerinde yapılan deneylere göre, ağaç tabanlı üst mimariye sahip bu sistemde düğümler arası gecikme 150 milisaniyenin ve tüm düğümlerin kaynağa olan uzaklıkları 650 milisaniyenin altındadır. Bu değerler, sistemin gecikme duyarlı, canlı akışlandırma için uygun bir altyapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Görevde ağlarda sıkça karşılaşılan sorunlardan biri düğümlerin sistemden haberi ya da habersiz olarak ayrılmalardır. Ağaç tabanlı üst mimariye sahip ağlar için hata dayanıklılığını oldukça düşüren bu durum için etkin bir dinamik ağaç bakımı algoritması önerilmiştir. Bu algoritma ile Planetlab ortamı üzerinde yapılan deneylerde alınan sonuçlar, sisteme katılan düğümlerin izledikleri videoların sistemden ayrılan düğümlerden etkilenmeyerek kesintisiz devam ettiği gözlemlenmiştir.

Gelecek dönem çalışmalarında, sisteme giren düğüm sayısının artırılarak daha büyük ağlar için sonuçların elde edilmesi hedeflenmektedir.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 108M411 no’lu proje kapsamında desteklenmektedir.

## 7. KAYNAKÇA

- [1] Zhang, X., Liu, J., Li, B. and Yum, Y., “CoolStreaming/DONet: A Data-driven Overlay Network for Peer-to-peer Live Media Streaming”, INFOCOM, 3:2102-2111, 2005.
- [2] [www.pptv.com/en/](http://www.pptv.com/en/)
- [3] <http://www.ppstream.com>
- [4] Liu, J., Rao, S.G., Li, B. and Zhang, H., “Opportunities and Challenges of Peer-to-peer Internet Video Broadcast,” *Proc. of the IEEE Sp. Is. on Recent Advances in Distributed Multimedia Comm.*, 96(1):11-24, 2008.
- [5] Hei, X., Liang, C., Liang, J., Liu, Y. and Ross, K.W., “A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System”, *IEEE Trans. on Multimedia*, 9(8):1672-1687, 2007.
- [6] Padmanabhan, V.N., Wang, H.J., Chou, P.A. “Resilient Peer to Peer Streaming”, *IEEE ICNP*, p:16-27, 2003.
- [7] Jeon, J-H., Son S-c., and Nam, J-S., “Overlay Multicast Tree Recovery Scheme Using a Proactive Approach”, *Computer Communications*, 31:3163-3168, 2008.
- [8] Fei, Z., and Yang, M., “A Proactive Tree Recovery Mechanism for Resilient Overlay Multicast”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 15(1):173-186, 2007.
- [9] Tran, D. A., Hua, K. and Do, T., “A Peer-to-Peer Architecture for Media Streaming”, *IEEE JSAC Sp. Iss. on Adv. in Service Over. Networks*, 22(1):121-133, 2003.
- [10] Birrer S. and Bustamante, F. E., “A Comparison of Resilient Overlay Multicast Approaches”, *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, 25(9):1695-1705, 2007.
- [11] <http://www.planet-lab.org/>
- [12] Fesci Sayit, M., Tunalı, E. T. ve Tekalp, A. M., “Bandwidth-aware Multiple Multicast Tree Formation for P2P Scalable Video Streaming Using Hierarchical Clusters”, *IEEE ICIP*, p: 1522-4880, 2009.