

ARAÇ ÜSTÜ İŞLEME YAPABİLEN NGSO UYDU AĞLARINDA

VoIP BAŞARIMI

Suzan BAYHAN, Gürkan GÜR ve Fatih ALAGÖZ

NETLAB, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, TÜRKİYE
{bayhan, gurgurka, alagöz}@boun.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, araç üstü işleme yapabilen karma (çok katmanlı) uydu sistemlerindeki internet telefonu uygulamalarının başarımı incelenmiştir. Bir uydu, araç üstü işleme fonksiyonları ile aldığı veriyi uygulamanın özelliklerine göre işleyebilir ve iletim özelliklerine karar verebilir. VoIP (Voice over Internet Protocol) başarımını etkileyen faktörler teorik olarak sıralandıktan sonra bu faktörlerin başarım üzerindeki etkisi bir benzetim aracı olan OPNET Modeller kullanılarak incelenecektir. Sistem benzetim sonuçları, kamusal anahtarlamalı telefon sistemi ile yarışabilecek kalitede ve daha ekonomik ses servisleri sağlayabilmek için gerekli temel parametreleri gösterecektir. Belirtilen başarım parametreleri dikkatlice tasarlandığında, araç üstü işleme fonksiyonlarına sahip uyduların sesli iletişimde kullanılması daha başarılı sonuçlar verecektir.

Anahtar Sözcükler: LEO, MEO, VoIP, OPNET, ISL, başarımlar

1. GİRİŞ

VoIP servisleri, ses ve veri aktarımını tek bir alt yapıda ve düşük maliyetlerde gerçekleştirmelerinden dolayı son yıllarda popüler hale gelmiştir. Uydu sistemleri, evrensel kapsama ve yüksek bant genişliği özelliklerine sahiptirler. Buna ek olarak, sabit ve hareketli kullanıcılara servis verebilen özelliklerinden dolayı teleiletişim için uygun teknolojilerdendir. Bu iki teknoloji birleştirildiğinde çok verimli servisler geliştirilebilir. Yeni nesil uydular, eski tip uyduların aksine araç üstü işleme yapabilirler. Eski tip uydulara kıyasla daha yüksek fiyatlar ve daha karmaşık yapılarla sahip olmalarıyla birlikte, daha hızlı ve daha ucuz servis sağlayabilirler. Bu makalede, araç üstü işleme yapabilen karma uydu sistemlerindeki internet telefonu uygulamalarının başarımı incelenmiştir. Başarım, bir sistemin kullanıcılar tarafından benimsenmesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu nedenle, başarımı etkileyen faktörler dikkatlice belirlenmelidir [1]. Kullanıcılar, VoIP sistemlerinden, ses iletimi için tasarlanmış olan PSTN (Public Switched Telephone Network)'deki benzer kaliteyi beklemektedirler. Bu yüzden,

genellikle hayal kırıklığına uğramaktadırlar. Ses uygulamaları, gerçek zamanlı uygulamalar oldukları için gecikme ve gecikmedeki değişim sistem başarımı için temel faktörlerdir. Anlaşılabilir bir konuşma sağlayabilmek için, gecikme değerleri ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ve ITU (International Telecommunications Union) gibi otoritelerin belirlediği sınırlarda olmalıdır. Uydu sistemlerinde, gecikme değerlerinin önemi daha açık hale gelir. Örneğin, yer durağan (GEO-Geostationary Earth Orbit) uydularda gecikme 270 ms civarındadır. Uydunun yörüngesi - LEO (Low Earth Orbit), MEO (Medium Earth Orbit) veya GEO- gecikme değerini dolayısı ile sistem başarımını etkiler [3].

Bu çalışmada, LEO ve MEO uydulardan oluşan karma uydu sistemleri göz önünde bulundurulacaktır. 1, 2 ve 3. katman fonksiyonlarını içeren araç üstü işleme uygulamanın başarımını geliştirerek istenilen kaliteyi sağlamaya çalışır. Uydu, araç üstü işleme fonksiyonları ile aldığı veriyi uygulamanın özelliklerine göre işleyebilir ve iletim özelliklerine karar verebilir. Örneğin, uydu gelen veriyi depolayabilir, belirli bir hatanın üzerindeki veriyi iletmeden düşürebilir. Gecikme ve gecikmedeki değişim dışında, hat verimi, paket kaybı oranı ve iş çıkarma yeteneği değerleri sistemin verimini gösterir.

Başarımı etkileyen parametreler teorik olarak belirlendikten sonra, bu parametrelerin sistem başarımı üzerindeki etkisi iki katmanlı bir uydu sisteminin modellendiği bir benzetim aracı kullanılarak yapılacaktır. Bu çalışmada, benzetim ortamı olarak OPNET 11.0.A tercih edilmiştir. OPNET Modeller çok kapsamlı modelleme ve benzetim olanaklarına sahiptir. OPNET Wireless Module ve Transceiver Pipeline™ kullanılarak uydu hatlarının gecikme ve bit hata oranı (BER-Bit Error Rate) gibi özellikleri kontrol edilebilir.

II. kısımda genel olarak VoIP uygulamaları ve uydu ağları hakkında bilgi verilecektir. Sonraki kısımda, kullanılan benzetim ortamı ve çeşitli senaryolar anlatılacaktır. IV. kısımda test sonuçları sunulacak ve sonuçların analizleri yapılacaktır. Son olarak da, V. kısımda genel bir değerlendirme yapılacaktır.

2. VoIP ve UYDU AĞLARI

A. VoIP ve Başarımı Etkileyen Faktörler

Paket tabanlı ağlarda, veri ve ses iletimi, iletim gereksinimleri açısından önemli farklılıklar gösterir. Veri iletiminde belirli bir değere kadar gecikme, sistem başarımında çok önemli bir etkiye sahip değilken, veri kaybı oldukça önemlidir. Ses aktarımında ise, bunun aksine, belirli bir sınıra kadar veri kaybı başarımı belirgin ölçüde etkilemezken, gecikme ve gecikmedeki değişimin etkisi büyüktür. Bu sebeple, VoIP uygulamalarında iletim katmanında TCP (Transmission Control Protocol) yerine UDP (User Datagram Protocol) kullanılır. TCP ise bağlantının kurulması ve bitirilmesi gibi mesajlaşma sinyallerinin gönderilmesinde kullanılır. Ayrıca, ses uygulamalarında UDP üzerinde, uçtan uca servis dağıtımı ve kontrolü, numaralandırma gibi servisleri sağlayan RTP (Real-time Transport Protocol) çalışır. İki uç arasında bağlantıyı sağlamak için çeşitli standartlar kullanılır. Kullanılan başlıca protokoller: bir ITU-T standardı olan H.323 protokolü ve IETF (Internet Engineering Task Force) standardı olan SIP (Session Initiation Protocol) 'tir.

Kullanıcı tarafından bakıldığında, sistem başarımı esas olarak kullanıcının algılarına bağlıdır. Kullanıcı algılarını etkileyen faktörleri ise üç grupta inceleyebiliriz : kullanılan VoIP aracının başarımı, kullanılan sistem alt yapısı ve uçtan uca gecikme değeri. Tüm bunları göz önünde bulundurarak, bir VoIP sistemi için gerekli temel tasarım özellikleri şöyle sıralanabilir: sessizlik sıkıştırılması, paketleme verimi, hata düzeltme metotları, ses kodlaması. VoIP için çeşitli kodlayıcı-kodçözücü (codec) standartları vardır. Kullanılacak olan kodlayıcı-kodçözücü, istenilen kaliteye ve mevcut bant genişliğine göre belirlenebilir. Genel olarak, bit oranı ne kadar düşük olursa dinleyici tarafından algılanan kalite de o oranda düşüktür [2]. Yaygın olarak kullanılan ITU G serisi codeceleri şöyle sıralanabilir : G.711, G.726, G.729 ve G.729a. VoIP sistemlerinde tipik olarak G.729a kullanılır. Ses 8 kbps'te kodlanır ve CELP (Code-Excited Linear Predictive) algoritması kullanılarak veri 8 kbps'e sıkıştırılır. G.711 ise PSTN tarafından sayısal sesin 64 kbps'e kodlanması için kullanılan standarttır [4]. Ses paketleri her biri sırası ile 20, 8 ve 12 byte olmak üzere IP/UDP/RTP paket başlığına sahiptir. Başlık sıkıştırması, bu 40 bytelik paket yükünü azaltmak için kullanılan yöntemlerdendir. Bağlantı kurulması aşaması tamamlandıktan sonra, değişmeyen başlık bilgisi gönderilmez ve kanalları belirlemek için alt başlıkları içeren bir IP (Internet Protocol) paketinin içinde birden fazla kanala ait ses verisi gönderilebilir. Genel olarak VoIP uygulamalarında küçük ses paketleri kullanılması uygun değildir. Bununla birlikte, büyük paketler daha uzun gecikmeye ve daha çok paket hatasına sebep olabilirler. [3]'de sistemin o anki durumuna göre, IP

paketlerinin boyunu dinamik olarak belirleyen bir metot önerilmiştir.

B. Karma NGSO Uydu Sistemleri

Bir uydu sistemi, uzay bölümü ve yer bölümü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Yer bölümünde, ağ geçidi istasyonları (GS-gateway station), ağ kontrol merkezi (NCC-network control center) ve operasyon kontrol merkezleri (OCC-operations control center) bulunur. NCC ve OCCler uydu operasyonunu, yörünge kontrolünü ve sistem kaynaklarının yönetimini sağlarlar. GSler ise diğer ağlar ve uydu ağı arasında arayüz olarak görev yaparlar. Bunlara ek olarak, iki sistem arasında protokol, adres ve biçim dönüşümü yaparlar. Uzay kısmında ise, uydular bulunur. Uydular, Dünya'nın yüzeyinden yüksekliklerine göre yere eşzamanlı yörüngeli (GSO-geostationary orbit) ve eşzamanlı olmayan (NGSO-nongeostationary orbit) yörüngeli uydular olarak sınıflandırılır. NGSO uydular sınıfında orta yükseklikteki yörüngede bulunan MEO uydular ve alçak yörüngede bulunan LEO uydular vardır. GEO uydular ekvatorun 35,786 km yükseklikindedirler ve Dünya etrafındaki dönüş periyotları Dünya ile aynı olduğundan, yerdeki bir gözlemciye göre her zaman aynı noktada yani sabit görünürler. Bu yüzden, gökyüzünde yineleyici olarak kullanılabilirler. GEO uydular oldukça yüksek yörüngeleri sayesinde, yüksek enlemler dışında, dünyanın üçte birine hizmet sağlayabilirler. Evrensel kapsama alanına sahip olmaları GEO uyduların kullanılmasında en önemli etkidir. Ancak çok yüksekte olmalarının beraberinde getirdiği problemler de vardır. Bunlar temel olarak; yörüngeye yerleştirme maliyetinin fazla olması, büyük anten ve yüksek iletim gücüne ihtiyaç, ve en önemlisi yüksek gecikme değerleridir. Tek yönlü gecikme değeri 250-280 ms civarındadır [5]. Bu da gerçek zamanlı uygulamalar için oldukça büyük bir değerdir.

MEO uydular Dünya yüzeyinden 3000 km yükseklikten GEO uyduların olduğu yüksekliklere kadar bulunabilirler. Gecikme değerleri 80 ms civarındadır. LEO uydular ise 200-3000 km yükseklikindedirler. Bir LEO uydu için gecikme değeri, karasal hatlara yakın bir değer olan 15-20 ms civarındadır. LEO ve MEO uydular yer yüzeyine daha yakın oldukları için, gerekli anten büyüklüğü ve iletim gücü değerleri daha küçüktür. Bununla birlikte, kapsama alanları GEO uydulara göre oldukça sınırlıdır. Evrensel kapsama sağlayabilmek için pek çok sayıda LEO-MEO uyduya ihtiyaç vardır. Yörünge ne kadar alçaksa, gerekli olan uydu sayısı o kadar fazladır. Buna ek olarak, uydular Dünya'ya göre hareketli olduklarından, bir kullanıcının bir uydudan diğerine aktarılması (el değiştirme) gerekebilir [6]. Bu nedenle, devamlı servis sağlayabilmek için yönetilebilir antenler gereklidir.

Servis sağlama açısından bakıldığında, her yörünge tipinin kendine özgü avantaj ve dezavantajları mevcuttur [7]. Örneğin, basitçe belirtmek gerekirse, GEO uydular, gecikmeye duyarlı olmayan servisler sağlamak için daha uygunken, LEO uydular evrensel gerçek zamanlı servisler sağlamak için daha elverişlidir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak, uydu sistemlerinde en elverişli çözüm, her yörünge türünün avantajlarından yararlanabilecek çok katmanlı sistemler kullanılması olabilir. Mesela, GEO uydular tüme gönderim ve çoklu gönderim için kullanılırken, NGSO uydular teke gönderim servisler için kullanılabilir. Ayrıca, bir GEO uydu ve onun kapsayamadığı bölgeleri kapsamak üzere NGSOlardan oluşan uydular kullanılabilir. Bu noktada, fiyat ve fayda analizi yapmak gerekmektedir. Karma uydu sistemi kullanılarak elde edilen kapasite artışı ve ek maliyet tutarı arasındaki bağlantı dikkate alınmalıdır.

Çok katmanlı uydu mimarilerinin kullanıldığı sistemler tek katmanlı sistemlerden daha iyi başarımlarına sahiptir. Katmanlar arasında “*yörüngeler arası hat*” (IOL- inter orbit link) olarak adlandırılan bağlantılar vardır. [8]’de GEO, MEO ve yüksek platformlar olarak adlandırılan HAPlardan (High Altitude Platform) oluşan bir sistem önerilmiştir. GEO uydular ağ omurga yönlendiricileri olarak, LEO uydular ise ikinci katmanda çalışırken, HAPlar savaş veya afet alanı gibi yüklü ve hassas trafiğin olduğu özel alanlarda çalışırlar. [9]’daki çalışmada ise çok katmanlı uydu sistemlerinin (SOS-Satellite over Satellite) tek katmanlı uydu sistemlerine oranla daha kaliteli servis sağladığı gösterilmiştir. Çok katmanlı mimariler kullanılarak uydu sistemlerinin başarımlarını önemli ölçüde geliştirilebilir [10].

C. Araç Üstü İşleme

Araç üstü işleme, yükseltme ve frekans dönüşümü yapan saydam uydu sistemlerinden farklı olarak, araç üstünde sinyal işleme ve yönlendirme fonksiyonlarına verilen genel bir addir. Klasik uydular, özellikle GEOlar, genellikle gelen veri üzerinde değişiklik yapmadan hedef adrese iletirler. Yerdeki iki nokta arasında taşıyıcı olarak görev yaparlar. Yeni nesil uydular ise, bunlara ek olarak, kodlama, modülasyon/demodülasyon, alıcı/hüzme anahtarlama ve yönlendirmeyi içeren araç üstü işleme fonksiyonlarını kullanarak makul fiyatlarda kullanıcı ihtiyaçlarına uygun çözümler sunarlar. Araç üstü işleme kullanımının belli başlı avantajları şöyle sıralanabilir; sinyallerin araç üstünde tekrar üretilmesiyle sağlanan hat kalitesindeki artış, uydu kapasitesini arttıran frekansın tekrar kullanılması ile etkin bant genişliği ve güç kontrolü, kullanılmayan bant genişliğinin dinamik olarak dağıtımı, sistem trafiğinin araç üstünde yönetimi, kullanıcılar arasında doğrudan bağlantının sağlanması [12],[13]. Bununla birlikte, araç üstü işleme ile uydular arasında yüksek kapasiteli hatlar (ISL-inter satellite

link) desteklenir. Gelen verinin yere gönderilmesi ve yerden tekrar uyduya gönderilmesi yerine uydular arasındaki doğrudan geçişler, gecikme değerini azaltırken servis kalitesini artırır. ISLler kullanılarak uzayda uydular arasında karasal kaynaklar olmadan da bağlantı sağlanabilir. Bu durum, özellikle karasal hatların büyük ölçüde zarar gördüğü ve kullanılamaz hale geldiği doğal afetlerden sonraki iletişim için oldukça önemlidir. Ancak, kullanılan sistemin daha gelişmiş olması sebebi ile daha karmaşık ve daha pahalı sistemler ortaya çıkmaktadır.

3. BENZETİM ORTAMI ve SENARYOLAR

Bu çalışmada LEO ve MEO uydulardan oluşan iki katmanlı bir uydu ağı ve yer istasyonlarından oluşan bir sistem incelenmiştir. Şekil 1’de gösterildiği gibi, LEO katmanı her biri 4 uyduya sahip iki tane uydu grubu olmak üzere toplam 8 uydudan oluşmaktadır. İki LEO grubu arasında iletişimi sağlayan bir MEO mevcuttur. LEO-MEO ve LEO-yer istasyonları arasındaki haberleşme uydu hatları tarafından sağlanır. Üç çeşit çift yönlü hat vardır: ISL, IOL ve Kullanıcı Veri Hatları (UDL, user data link). Aynı grup içindeki LEO uydular arasındaki iletişim ISL hatlar aracılığı ile sağlanır. IOLler ise MEO ve LEO arasındaki iletişimi sağlar. Yer istasyonları LEO uydulara doğrudan bağlıdır. İki LEO grubu arasında doğrudan bir iletişim yoktur. Tüm ağın topolojisi LEO uydular tarafından değil de sadece MEO tarafından bilindiğinden, LEOlar kendilerine gelen paketin hedef adresine bakarak kendi grubuna ait olup olmadığını kontrol eder. Kendi grubuna ait bir paket ise, o hedefi kapsayan LEO uyduya paketi yönlendirir. Belirtilen hedef adres eğer kendi grubunda değil ise, bu paketi MEO’ya yollar. Tablo 1’ de sistem özellikleri görülebilir.

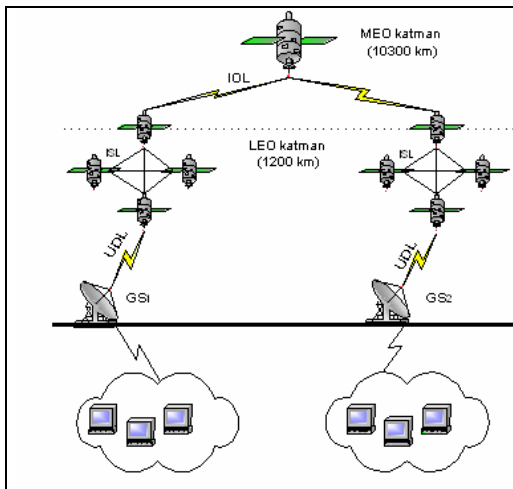
Yukarıda belirtilen sistemi modellemek için OPNET 11.0.A benzetim aracı kullanılmıştır. Radio Transceiver Pipeline kullanılarak uydu hatları ve haberleşme özellikleri ayarlanmıştır. İlk grupta 12, diğerinde 18 olmak üzere toplam 30 GS bulunmaktadır. Her GS 100 saniye süresince hem ses hem veri trafiği üretmektedir. Trafik bütün GSler arasında aynı dağılıma sahiptir. Başarımlar birimleri gecikme, gecikmedeki değişim, paket kaybı ve iş çıkarma yeteneğidir.

Bu senaryo pek çok durumda geçerli olabilir. Bir servis sağlayıcısına doğrudan bir uydu hattıyla bağlı olan bir araştırma merkezi veya iş alanına servis sağlayan bir 802.16 WiMax erişim noktası bu durumlardan biridir. Senaryolarımızda, ses paketlerinin diğer paketlerden herhangi bir metot kullanılarak ayırt edilebildiği varsayılmaktadır. IntServ ve DiffServ bu metotlardandır. Ancak, bu yöntemler bu çalışmanın konusu dışındadır.

Tablo 1: LEO/MEO parametreleri

	LEO	MEO
Yükseklik	1200 km	10300 km
Uydu sayısı	8	1
Uydu grubu sayısı	2	1
ISL sayısı	3	-
IOL sayısı	1	2

İyi kalitede sesli iletişim için belirlenen uçtan uca gecikme değeri 200 ms (veya sınır değer olarak 250 ms)'dir. Uçtan uca gecikme temel olarak hat gecikmesi, işleme gecikmesi ve kuyruk gecikmesinden oluşur. Çoğu zaman hat gecikmesi en belirgin gecikmedir. Bununla birlikte, trafiğin yoğun olduğu bazı hatlarda, işleme gecikmesi ve kuyruk gecikmesi daha büyük olabilir. Bu çalışmada, LEO-GS ve GS-LEO gecikmesi 20 ms olarak kabul edilmiştir. IOL gecikme değeri ise 80 ms olarak alınmıştır. LEO katmanının topolojisinin değişmesinden dolayı ISL gecikme değerleri için sabit bir değer atanamaz. Ancak bu çalışmada, belirtilen benzetim süresi içinde (100 s) bu topoloji sabit kaldığından ISL gecikme değerleri de 20 ms olarak alınmıştır. Tüm hatların kapasiteleri 160 Mbps'tir ve her hat 10 Mbitlik bir ara belleğe sahiptir. Ortalama paket boyu 512 bit alındığında hat kapasitesi 320.000 paket/sn ve ara bellek büyüklüğü 20.000 paket olur. Hata düzeltme kodlamasının (ECC-error correction code) ve sıralı kuyruklamanın karma uydu sistemlerinde VoIP başarımında etkisi incelenmiştir. Üç senaryo oluşturulmuştur : Temel durum, ECC etkisinin incelendiği senaryo, ve ECC ile sıralı kuyruklamanın etkisinin incelendiği senaryo (RRQ-round robin queueing). Bu senaryolar, bir sonraki kısımda tanımlanmıştır ve sonuçlar sunulmuştur. Şekil 1'de benzetim çalışmalarında kullanılan model gösterilmiştir.



Şekil 1 : İki katmanlı NGSO uydu sistemi

A. Senaryo I – Temel Durum

Bu senaryoda uydular ISL ve IOL iletişimi sağlamak dışında araç üstü işleme yapmazlar. LEO uydular gelen paketi paketin hedef adresine göre, aynı gruptaki LEO uyduya, MEO'ya veya doğrudan kapsama alanındaki yer istasyonuna yollar. Trafik temel olarak uzak mesafe (UM), kısa mesafe (KM) ve genel durum (GD) olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Burada uzak mesafe ile kastedilen şey, trafiği oluşturan kaynak ile hedef adresin ayrı GS gruplarında olmasıdır. Başka bir deyişle, iletişim MEO uydu üzerinden gerçekleşmektedir. Kısa mesafede ise, iki GS de aynı grupta olduğundan haberleşme MEO üzerinden olmaz. GD ile belirtilen durumda, aynı veya ayrı GS gruplarında olabilirler. Ayrıca bu senaryoda tek katmanlı uydu sistemi kullanıldığında oluşacak gecikme değerleri de hesaplanmıştır. Sadece MEO uydudan oluşan bir sistemin gecikme değerleri incelenmiştir.

B. Senaryo II – Sıralı Kuyruklama (RRQ)

Gerçek zamanlı ses trafiği ve diğer uygulamalar arasında bir ayırım yapılmazsa, ses paketleri yüksek gecikmeye maruz kalabilirler. Bu nedenle, araç üstü işleme yaparak ses ve veri trafiğinin farklı değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu senaryoda, LEO uydular sıralı kuyruklama uygularlar. Sistem kaynakları ses ve veri trafiği arasında paylaşılır. Ancak burada ses paketleri diğer paketlere oranla iletimde daha önceliklidir.

C. Senaryo III - RRQ ve ECC

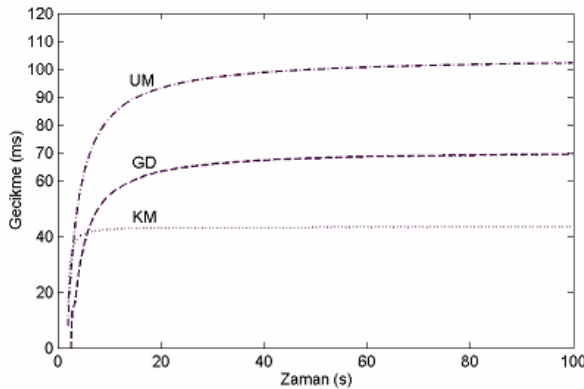
Uydu kanalları atmosfer etkilerinden kaynaklı yüksek bit hatalarına sahiptirler. Paket hatalarından kaynaklı paket kaybı eğer hiç bir hata düzeltmesi uygulanmazsa, sistem başarımında belirgin bir düşüşe sebep olur. Bununla birlikte hata düzeltme için ek bir işleme gerektiğinden, gecikme değeri artar. Bu ek gecikme, kullanılan algoritmanın gücüne göre değişir. Bu çalışmada, alıcı tarafında ecc eşik değeri değiştirilerek hata düzeltme gücü ayarlanır. Bu senaryoda, ECC ve RRQ'nun etkisi birlikte incelenmiştir.

4. TEST SONUÇLARI

Şekillerde ST ses trafiği ve DT gerçek zamanlı olmayan diğer trafiği göstermektedir. Senaryo 1' de uydular gelen trafiği ses ya da diğer trafik şeklinde ayırt etmeksizin hedef adrese yönlendirirler. Eğer gelen paket, uydunun kendi kapsama alanında ise doğrudan yer istasyonuna, aynı gruptaki bir LEO uydunun kapsamında ise o uyduya, aksi takdirde MEO uyduya yönlendirir. Bu durumda ST ve DT arasında hiç bir ayırım yapılmadığından her ikisi de eşit gecikmeye uğrar ve şekil üzerinde ayrı ayrı gösterilmemiştir. Şekil 2'den de görülebileceği gibi gecikme değerleri mevcut trafiğin özelliklerine göre değişir. Eğer uzun mesafe (UM) trafiği yoğun ise, yani GSler kendi gruplarındaki değil de diğer

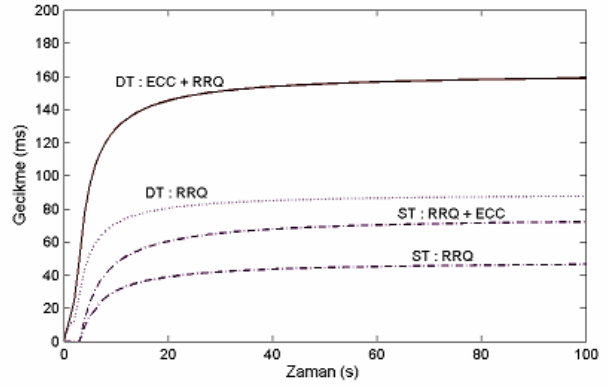
gruptaki GSlerle daha çok trafik oluşturuyorlarsa, iletişim sırası ile LEO-MEO-LEO uyduları üzerinden yürüyeceğinden karşılık gelen gecikme değeri 102 ms olacaktır. KM ile gösterilen trafik ise, GSlerin kendi gruplarındaki GSlerle trafik oluşturduğu durumdur. Gecikme değeri 40 ms civarındadır. GD (genel durum) ise, GSlerin eşit oranda uzun ve kısa mesafe trafiği oluşturduğu durumdur. Bu durumda gecikme değeri 65 ms'dir. Sadece MEO'dan oluşan bir sistemde ise, tüm trafik uzun ya da kısa mesafe farkı olmaksızın MEO uydusu üzerinden akacağından ortalama gecikme değeri her üç trafik grubunda da aynı ve 92 ms'dir. Paketler LEO üzerinden değil de doğrudan MEO uydudan yönlendirildiği için LEO'daki işleme gecikmesi ortadan kalkmış ve uçtan uca gecikme değeri 92 ms'ye düşmüştür.

Şekil 3'te RRQ'nun gecikme değeri üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Temel durumda ST ve DT aynı işlemlere tabii tutulduğundan gecikme değerleri eşitti. Bu durumda ise, ses paketleri önceliğe sahip olduğundan uydu tarafından daha hızlı işlenir. Yani, eğer sistemde işlenmesi gereken ses ve diğer paketler varsa ses paketleri önceliğe sahiptir. Bu sebeple, ST gecikmesi temel duruma göre daha az olacaktır. Bununla birlikte DT ilk duruma göre daha fazla gecikmeye uğrayacaktır. DT'nin uğrayacağı gecikme değeri sistemin yükü ile doğrudan bağlantılıdır. Eğer uydularda sistem kapasitesinin çok altında bir trafik varsa, kuyrukta az ya da hiç paket olmayacağından, gecikme değeri temel duruma göre çok farklı olmayacaktır. Ancak, eğer sistem tüm kapasitede çalışıyorsa, kuyrukta hem ST paketleri hem DT paketleri olacağından, ve ST paketleri daha öncelikli olduğundan bu kez DT'nin uğrayacağı gecikme değeri önemli ölçüde artacaktır.



Şekil 2 : Senaryo 1 Sonuçları

Aynı zamanda Şekil 3'te ise, hata düzeltmesinin sistem gecikme değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. ECC kullanıldığında gecikme değerleri artacaktır, bununla birlikte uydulardaki paket kaybı da azalacağından GSlerin aldığı trafik artacaktır. Ses uygulamaları gerçek zamanlı uygulamalar olduğundan gecikmeye veri kaybına olduğundan daha hassastır. Ancak belirli bir değer



Şekil 3 : Senaryo 2 ve 3 Sonuçları

üzerindeki paket kaybı konuşmayı anlaşılabilir yapacaktır. Eğer hiç hata düzeltmesi uygulanmazsa, paket kaybı oldukça yüksek bir değer olan %36 olarak görünmektedir. ECC sınır değeri 5×10^{-7} alındığında paket kaybı %20'ye düşer. Daha kuvvetli yöntemler kullanılarak hata düzeltme gücü artırıldığında ise paket kaybı %8 civarındadır. Bu değerlere karşılık gelen gecikme değerleri şekilde görülmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, çok katmanlı NGSO uydu sistemlerinde servis kalitesini etkileyen bazı faktörler ve bu faktörlerin sistem başarımındaki etkisi incelenmiştir. Gecikme değerleri tek katmanlı sistemlerle karşılaştırıldığında iki katmanlı bir mimarinin kullanılmasının daha avantajlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca hata düzeltimi, ISL hatlarının kullanımı gibi araç üstü işleme yapılarak hem ses trafiği için gecikme değerleri azaltılabilir hem de karasal sistemlere bağlı kalmaksızın uzayda yönlendirme ve el değiştirme işlemleri gerçekleştirilebilir. Karasal sistemlerden bağımsız olma özellikle doğal afetler sonrasında haberleşmenin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Bu özellikte uydu sistemleri kullanılarak iyi kalitede VoIP uygulamaları mümkün hale gelir. ECC ve kuyruklama özelliklerine sahip karma uydu sistemleri, paket tabanlı sistemleri kullanarak ses servisleri için uygun çözümler sunar. Sonraki çalışmalarda, evrensel kapsama sağlayan pek çok sayıda LEO ve MEO uydudan oluşan daha gerçekçi bir sistem tasarlanabilir. Böylece daha kesin sonuçlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] T. Nguyen, F. Yegenoglu, A. Sciuto, and R. Subbarayan, "Voice over IP service and performance in satellite networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 3, pp. 164–171, 2001.

- [2] R. Swale, *Voice over IP: Systems and Solutions*. London, UK: The Institution of Electrical Engineers (IEE), 2001.
- [3] H. Oouchi, T. Takenaga, H. Sugawara, and M. Masugi, "Study on appropriate voice data length of IP packets for voip network adjustment", in *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2002)*, November 2002.
- [4] L. E. Kingsley, "IP telephony via satellite: A technology primer", *Internet Telephony Online Exclusive*, December 2000.
- [5] Y. Hu and V. O. K. Li, "Satellite-based internet: A tutorial", *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 3, p. 154, 2001.
- [6] C. Chen and E. Ekici, "A routing protocol for hierarchical leo/meo satellite IP networks", to appear in *ACM/Kluwer Wireless Networks Journal*.
- [7] R. E. Sheriff and Y. F. Hu, *Mobile Satellite Communication Networks*. John Wiley & Sons, 2001.
- [8] A. Durrezi, D. S. Dash, B. Anderson, R. Kannan, S. Kota, and R. Jain, "Routing of VoIP traffic in multi-layered satellite networks", in *Proc. Performance and Control of Next-Generation Communications Networks*, 2003, pp. 65–75.
- [9] J. Lee and S. Kang, "Satellite over satellite (SOS) network: A novel architecture for satellite network", in *Proc. IEEE INFOCOM 2000*, 2000, pp. 315–320.
- [10] I. Akyildiz, E. Ekici, and M. Bender, "MLSR: A novel routing algorithm for multilayered satellite ip networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 10, no. 3, 2002.
- [11] S. Verma and E. Wiswell, "Next generation broadband satellite communication systems", in *Proc. 20th AIAA International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit*, Montreal, Quebec, CA, May 2002.
- [12] G. Eckhardt, "On-board processing," *Space Communications*, vol. 17, pp. 1–3, 2001.
- [13] A. R. D. Gupta and K. S. D. Gupta, "The emerging trends in satellite and wireless communications technologies", in *Indian Academy of Sciences 69th Annual Meeting*, Guwahati, India, November 2003.
- [14] J. Janssen, D. D. Vleeschauwer, G. H. Petit, R. Windey, and J.-M. Leroy, "Delay bounds for voice over ip calls transported over satellite access networks", *Mob. Netw. Appl.*, vol. 7, no. 1, pp. 79–89, 2002.
- [15] M. Ibnkahla, Q. Rahman, A. Sulyman, H. Al-Asady, Y. Jun, and A. Safwat, "High speed satellite mobile communications: Technologies and challenges", *Proc. IEEE, Special issue on Gigabit wireless communications: Technologies and Challenges*, pp. 312–339, February 2004.
- [16] D. S. Dash, A. Durrezi, and R. Jain, "Routing of VoIP traffic in multilayered satellite networks," in *Proc. Performance and Control of Next-Generation Communications Networks*, 2003, pp. 65–75.
- [17] B. Sankur, *Ansiklopedik Bilişim Sözlüğü*, Pusula Yayıncılık, İstanbul, 2002.