

# VoIP'de Ses Kalitesinin Analizi

N. Özlem Ünverdi<sup>1</sup>

Murat Barutçu<sup>2</sup>

A. Doruk Küçüker<sup>3</sup>

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Fakültesi,  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34349, Beşiktaş, İstanbul

<sup>1</sup> e-posta: unverdi@yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta: muratbarutcu@yahoo.com

<sup>3</sup> e-posta: arkadasdoruk@yahoo.com

**Özet:** Bu çalışmada, korunması gereken ses kalitesi bileşenleri, ses kalitesi ölçme metotları ve ses kalitesini artırmak üzere sisteme uygulanacak olan efektif QoS araçları incelenmiştir. İletimde veri kaybına neden olan gecikme kaynakları yorumlanmış ve bu etkenlerin optimizasyon analizi yapılmıştır. Konuyla ilgili algoritmalar değerlendirilmiş ve VoIP'de ses kalitesinin artırılması sağlanmıştır.

## 1. Giriş

VoIP, günümüzün devre anahtarlamalı haberleşme servislerinin paket anahtarlamalı data şebekelerinde çalışmasını sağlayan ve IP (İnternet Protokolü) temelli çalışan bir iletişim teknolojisidir. Başka bir ifadeyle, sesin yanısıra faks ve video-konferans gibi çoklu ortamın, IP paketlerine dönüştürülerek tamamen IP temelli şebekeler üzerinden iletilmesidir.

İnternet, IP şebekelerinin en iyi bilinen, en yaygın ve en büyük örneğidir. IP şebekelerinde bilgi sayısallaştırılarak, sayısal veri şebekeleri üzerinden paketler dizisi olarak iletilir. IP şebekelerinde her paket, hedef için diğer paketlerden bağımsız olarak kendisine en uygun yolu seçerek hedefe ulaşır. Bu durum, IP şebekelerinin, kaynakları en verimli olarak kullanmalarını sağlar.

Bu çalışmada, günümüzün önemli iletişim teknolojileri arasında yer alan VoIP'de ses iletiminin kalitesi analiz edilmiştir. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, VoIP protokolleri incelenmiş ve 3. Bölüm'de, ses kalitesinin artırılmasında önemli olan etkenler tartışılmıştır. 4. Bölüm'de dinamik jitter bufferdaki algoritmalar ışığında ses kalitesinin artırılması sağlanmış ve 5. Bölüm'de ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yorumlanmıştır.

## 2. VoIP Protokolleri

IP telefon, PSTN şebekeleri tarafından sağlanan ses, faks haberleşmesi, yönlendirme, yetkilendirme, tanımlama, ücretlendirme, faturalandırma ve şebeke yönetimi işlemlerini destekler. Bunun için, IP şebekelerinin yönetilen bir şebeke olması ve servis kalitesinin garanti edilmesi gerekir [1]. PSTN şebekelerinde çağrı oluşturulurken, her abone uçtan uca çağrı sonlandırılıncaya kadar 4 KHz genişliğinde bir kanal işgal eder. VoIP ise IP teknolojisini kullandığı için ses, data paketleri halinde taşınır. Konuşmaları içeren bu paketler bir düzen içerisinde sırasıyla en uygun bulunduğu iletişim ortamından geçerek hedefe ulaşır. Böylece arama boyunca belli bir hat tahsis edilmediği için hattın boş yere işgal edilmesi söz konusu olmaz ve aynı hat, farklı paketlerin iletimi için de eş zamanlı olarak kullanılabilir. Paketlerin iletiminde, paketlerin standartta kodlanması ve adres bilgisini de içerecek şekilde etiketlenmesine olanak sağlayan TCP/IP (Transmisyon Kontrol Protokolü/İnternet Protokolü, Transmission Control Protocol/Internet Protocol) kullanılır. Böylece paketlerin farklı yollardan geçerek hedefteki adrese ulaşmaları sağlanır. IP telefonlarda tüm bu işlemler kullanıcının hissedemeyeceği hızlarda gerçekleşir [2].

VoIP'nin avantajlarının kaynağı, iletim için kullandığı IP'dir. Bu avantajları daha iyi anlayabilmek için IP'nin, dolayısıyla OSI modelinin analiz edilmesi gerekir. Yedi katmandan meydana gelen OSI referans modeli, 1980'lerin başında bilgisayarların birbirleriyle haberleşmelerini belirli standartlar ölçüsünde gerçekleştirmek için geliştirilmiştir. TCP/IP de tıpkı OSI referans modelinde olduğu gibi katmanlı yapıdadır. OSI'den farklı olarak yedi katman yerine dört katman kullanılmıştır. İnternet, TCP/IP kullandığı için bu protokolün kullanımı çok

yaygınlaşmıştır. TCP ve UDP, TCP/IP'deki iletim protokolleridir. TCP, güvenilir bir bağlantı sağlar, ancak UDP'ye göre daha yavaştır. UDP, aralarında VoIP'nin de yer aldığı ses ve görüntü aktarımı gibi multimedya uygulamalarında tercih edilir. VoIP'de UDP'ye güvenilirlik katan RTP protokolünden de yararlanır. Böylelikle VoIP paketleri, RTP/UDP/IP üzerinden taşınmış olur [2,3].

VoIP'de sinyalleşme için H.323 ve SIP protokolleri kullanılır. H.323, ITU-T tarafından IP temelli ağlar üzerinden ses, görüntü ve data iletimini sağlanması, SIP ise, IETF tarafından multimedya uygulamaları için geliştirilen protokoldür. Terminal, gateway, gatekeeper ve MCU (Multipoint Control Unit) olmak üzere dört temel bileşenden oluşan H.323 yaygın olarak kullanılır. SIP, H.323'e göre daha basit bir protokoldür [4].

VoIP'de ayrıca aynı boyuta sahip paketlerde daha fazla ses taşıyabilmek amacıyla ses kodlaması yapılır. G.711, G.726, G.728, G.729, G.723.1, bu kodlama standartlarından bazılarıdır [5].

### 3. Ses Kalitesinin Korunması ve Artırılması

Telefon konuşmasının etkileyciliği, sesin anlaşılabilirliğine bağlıdır. Eğer ses kaliteli değilse, dinleyici bundan rahatsız olur ve konuşan kişi de mesajını tam olarak iletemez. Sesin anlaşılabilirliği uçtan uca konuşmacı ve dinleyici arasında sağlanmalı ve korunmalıdır. Sesin anlaşılabilirliğine etki eden faktörler, uyumluluk, yankı, gecikme ve jitter, konuyla ilgili yan faktörler ise, yanton ve arka plan gürültüsüdür.

Ses paketleri, ağ kalitesinin düşük olması, ağın tıkalı olması ve ağda çok fazla gecikme olması durumlarında kaybolabilir. Paket kayıpları sesin kesilmesine ve seste atlamalara neden olur. Ses paketleri gerçek zamanlı oldukları için TCP'de olduğu gibi kayıp paketler tekrar istenemez. Bu yüzden kaybolan paketin yerine kayıp gidericiler tarafından çeşitli algoritmalar yardımıyla yeni paketler eklenir. Ancak paket kayıplarının fazla olması durumunda bu teknik de yeterli olmaz.

Jitter, paketlerin hedefe ulaşma zamanları arasındaki farklılıklardır. Jitter, paket temelli ağların karakteristik özelliğinden kaynaklanan bir sorundur. Paketler hedefe farklı yollardan gidebildikleri için jitter meydana gelir. Ses ağları, jitteri genelde *jitter buffer* olarak adlandırılan bir sistemle engeller. Gelen paketler bufferda biriktirilir ve aralarındaki mesafeler ayarlandıktan sonra bu paketler DSP (Sayısal İşaret İşleyici) üzerinde bulunan kod çözücüye gönderilir. Doldurulan paketler, kayıp paketler, erken gelen ve geç gelen paketlerin olması, o ağda jitterin olduğuna dair belirtilerdir [5].

### 4. Dinamik Jitter Buffer

Jitter buffer, statik ve dinamik olmak üzere iki tiptir. Statik bufferda, paketler ayarlanmış sabit bir süre zarfında tutulur ve jitter giderilerek yollanır. Dinamik jitter bufferda ise, bu süre, çeşitli algoritmalar yardımıyla önceki paketlerin durumuna göre değiştirilir. Şekil 1'de, bir pakete ait paket iletim diyagramı görülmektedir. Burada,  $t_i$   $i$ . paketin gönderilme zamanı,  $a_i$  paketin karşı tarafa ulaşma zamanı,  $p_i$  paketin bufferdan gönderilme (playout) zamanı,  $n_i$  paketlerin ağ gecikmesi,  $d_i$  toplam gecikme (playout gecikmesi) ve  $b_i$  ise buffer gecikmesidir.

Dinamik jitter buffer için çeşitli algoritmalar kullanılır. Bunlardan bazıları aşağıda yer almaktadır [6,7]:

**a) Üstel Algoritmada (Exponential Average, Exp Avg)**, playout gecikmesi, ortalama olarak  $\hat{d}_i$ , varyans olarak da  $\hat{v}_i$  olmak üzere iki değişkenle tanımlanır ve bu algoritmada  $i$ . paketin playout gecikmesi  $\hat{p}_i$  ile gösterilir:

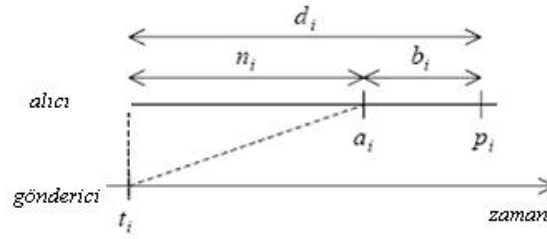
$$\hat{p}_i = \hat{d}_i + 4\hat{v}_i \quad (1)$$

Burada,  $n_i$ ,  $i$ . paketin tek yöndeki gecikmesi olmak üzere,  $\hat{d}_i$  ve  $\hat{v}_i$ ,

$$\hat{d}_i = \alpha \hat{d}_{i-1} + (1-\alpha) n_i \quad (2)$$

$$\hat{v}_i = \alpha \hat{v}_{i-1} + (1-\alpha) |\hat{d}_i - n_i| \quad (3)$$

olarak tanımlanır. C Kodu analizinde,  $\hat{d}_{i-1} = 9$ ,  $\hat{v}_{i-1} = 6$ , o anki gecikme değeri 3,  $\alpha = 0.998002$  için, birinci playout gecikmesi 32.987915 ( $\mu$ s), birinci yeniden hesaplanan ağ gecikmesi 10.8 ( $\mu$ s) olarak bulunmuş ve gecikmelerin azaldığı gözlenmiştir [8].



Şekil 1. Paket İletim Diyagramı.

**b) Hızlı Üstel Algoritma (Fast Exponential Average, F Exp Avg)**, üstel algoritmayla benzer özellikler gösterir. Aradaki tek fark, o anda paketteki ağ gecikmesi olan  $n_i$ ,  $\hat{d}_{i-1}$ 'den büyükse,  $\beta = 0.75$  olmak üzere, (2) eşitliğinin,

$$\hat{d}_i = \beta \hat{d}_{i-1} + (1 - \beta) n_i \quad (4)$$

formunu almasıdır. C Kodu analizinde, kalitenin, Üstel Algoritma'daki sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür.

**c) Minimum Gecikme Algoritmasında (Minimum Delay, Min - D)**, o ana kadar gelen paketlerdeki minimum gecikme ele alınarak daha sonra gelecek paketler için bu değer öngörülmüştür.

**d) MOS Temelli Geliştirilmiş Algoritmada (Enhanced - MOS - Based, E - MOS)**, MOS'un (Mean Opinion Score) değeri en üst düzeye çıkarılarak kalitenin artırılması amaçlanır.

**e) Maksimum MOS Algoritmasında (Maximize MOS, M - MOS)**, gecikmelerdeki en iyi sonucu elde etmek için MOS özellikleri kullanılır. Kayan pencereler halinde gelen paketler, playout gecikmelerini göz önüne alarak bir önceki MOS değerini maksimum yapmağa çalışır.

İyi bir jitter buffer algoritmasından aşağıdaki özellikleri sağlaması beklenir:

- Hissedilen ses kalitesini iyi bir şekilde yorumlamalıdır.
- Her türlü ağ koşuluna karşı uygun olmalı ve ağ gecikmesini doğru bir şekilde anlamalıdır.
- Değişken gecikmeler az olduğunda bufferı iyi bir şekilde ayarlamalıdır.
- Hızlı tepki verebilen ani yükselme tesbit (spike detection) mekanizması olmalıdır.
- Ani yükselme (spike) meydana geldiğinde uygun bir playout gecikmesi (zamanı) öngörmelidir.
- Ardışık iki paket arasında meydana gelebilecek çarpışmalardan kaçınmalıdır.
- Ani yükselme (spike) olduktan sonra playout zamanını uygun bir şekilde düşürmelidir.
- Her alınan paket için playout zamanının hesaplanabilmesi için yüksek hesap hızına sahip olmalıdır.

## 5. Sonuçlar

Kullanımı hızla yaygınlaşan iletişim teknolojileri arasında yer alan VoIP'de amaç, verinin iletimi ve ses kalitesinin artırılmasıdır. Bu çalışmada, ses kalitesini etkileyen faktörler yorumlanmış ve kalitenin artırılması analiz edilmiştir. Konuyla ilgili algoritmalar ışığında VoIP'de gecikmeler azaltılarak ses kalitesinin artırılması sağlanmıştır.

## 6. Kaynaklar

- [1]. Hardy W. C., "VoIP Service Quality", McGraw Hill, A.B.D., 2003.
- [2]. Davidson J., "Voice over IP Fundamentals", Cisco Yayınları, Indianapolis, A.B.D., 2000.
- [3]. Çölkesen R., "Network, TCP/IP, UNIX" Papatya Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [4]. Khasnabish B., "Implementing Voice Over IP", Wiley - Interscience, Massachusetts, A.B.D., 2003.
- [5]. Davidson J., "Cisco Voice over IP", Cisco Yayınları, Indianapolis, A.B.D., 2004.
- [6]. Ramjee R., Kurose J., Towsley D. ve Schulzrinne H., "Adaptive Playout Mechanism for Packetised Audio Application in Wide - Area Networks", IEEE, Toronto, Kanada, 1994.
- [7]. Moon S. B., Kurose J. ve Towsley D. "Packet Audio Playout Delay Adjustment: Performance Bounds and Algorithms", Acm / Spring Multimedya Sistemleri, 5. Baskı, Massachusetts, A.B.D., s. 17-28, 1998.
- [8]. Barutçu M. ve Küçükler A. D., "VoIP'de Ses Kalitesinin Artırılması", Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, 2006.