

# İNTERNET PROTOKOLU ÜZERİNDEN SES İLETİŞİMİ (VoIP): STANDARTLARI, SERVİS KALİTESİ, TRAFİK VE KANAL KAPASİTESİ HESAPLAMALARI

Demir ÖNER

İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Avcılar, 34850, İstanbul  
e-posta: [doner@istanbul.edu.tr](mailto:doner@istanbul.edu.tr)

*Anahtar Kelimeler: VoIP ağlar, Servis kalitesi, Trafik hesabı, Kanal kapasitesi*

## ABSTRACT

The VoIP (Voice over Internet Protocol) technology has changed the traditional application of sending data over voice networks to sending voice over data networks. As depicted under the umbrella of ITU-T 323 recommendations, multimedia (voice, data and video) communication can be carried over the Internet Protocol. Big organizations, universities, big companies and other establishments, having units or campuses situated in different sites in the same city or in different cities can make use of the VoIP technology to reduce their telephone costs. The technology is ready for VoIP, but the regulations concerning VoIP in Turkey need to be clarified or rearranged. In this work, the connection of Private Branch Exchanges (PBX) to a VoIP network, PSTN (Public Switched Telephone Network) and ISDN (Integrated Services Digital Networks) are investigated from the technological point of view; VoIP protocol architecture, VoIP standards, quality of service (QoS) issues in VoIP are discussed, traffic load and line capacity calculations of a sample application are presented.

## 1. GİRİŞ

Telefon iletişimi çağımızın kaçınılmaz bir gereksinimidir. Ancak, özellikle farklı yerleşimlerdeki birimlerden oluşan devlet kurumları, üniversiteler, şirketler ve bankalar gibi kuruluşlar için telefon iletişim maliyeti oldukça büyük boyutlara ulaşmaktadır. Ses iletişiminde maliyet indirimi sağlamak amacıyla, 1995'de PC kullanarak İnternet üzerinden hobi düzeyinde ses iletişimi yapılmaya başlanmıştır. Ses ve verinin İnternet üzerinden birlikte iletilmesine ilişkin altyapı çalışmaları ise ileri teknoloji ülkelerinde 1999'da başlatılmıştır.

İnternet protokolu (IP) üzerinden ses iletişimi iki yeni kavramın doğmasına neden olmuştur: (1) İnternet üzerinden telefon iletişimi (İnternet Telephony ya da IP Telephony), (2) İnternet Protokolu üzerinden ses iletişimi (VoIP). Birinci kavram ikincisini de

içermektedir. Her iki iletişim türünde de, analog ses işareti sayısal ses işaretine dönüştürülüp veri sıkıştırma yöntemleri ile iletim hızı azaltıldıktan sonra IP (İnternet Protocol) paketleri içine yerleştirilerek paketler halinde iletilir. İnternet üzerinden telefon iletişiminde (IP telephony), IP telefon kullanıcısı IP paketleri ile taşınan sıkıştırılmış sayısal ses işaretlerini uygun ağ geçitleri (gateways) aracılığıyla telefon ağı (PSTN: Public Switched Telephone Network), WAN'lar (Wide Area Networks) ya da İnternet üzerinden dünyanın herhangi bir yerindeki telefon aboneline ileterek ses iletişimi kurabilir. İnternet üzerinden telefon iletişimine ilişkin yapı taşları [1]'de, PSTN ile IP ağların birlikte çalışma konusu ise [2]'de incelenmiştir. VoIP'de ise, IP paketleri ile taşınan sıkıştırılmış sayısal ses işaretleri sadece bir LAN (Local Area Network) ya da kuruma özgü IP ağı (intranet) üzerinden iletilir ve sadece aynı kuruma ait farklı yerleşim yerlerindeki birimleri arasında dahili konuşma yapmak amacıyla kullanılır.

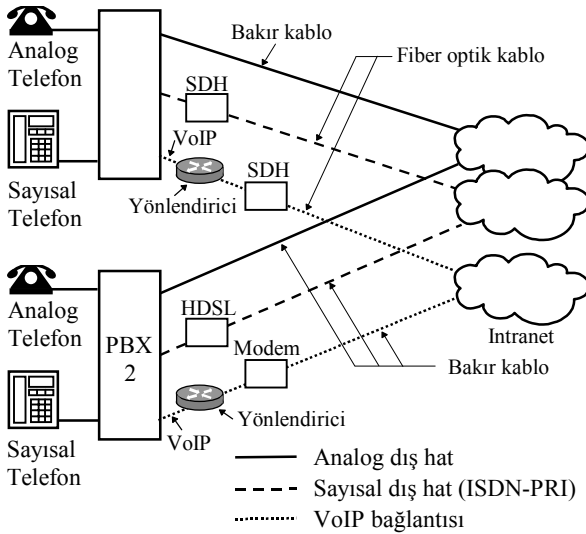
Bu çalışmada, yukarıda ikinci olarak tanımlanan VoIP kavramına dayanan ses iletişim ağı teknolojik yönden ele alınarak incelenmiştir. Ancak, VoIP iletişimi konusunda, Türkiye'deki mevcut yasal düzenlemelere açıklık getirilmesi ya da bu konuda yeni yasal düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

## 2. PBX'LERİN VoIP, ISDN VE PSTN BAĞLANTILARI

VoIP ağlarda, kurumun farklı yerleşim yerlerindeki kurum santralleri (PBX'ler) yönlendiriciler (routers) ve modemler üzerinden bir LAN yapısında birbirlerine bağlanarak kuruma özel bir ağ oluştururlar (intranet). PBX'lerden biri (genellikle, en büyük abone kapasitesine sahip olanı) merkez santral seçilir ve VoIP ağındaki bütün VoIP bağlantıları bu santralde Ethernet LAN yapısında bir araya getirilir. PBX santralleri arasındaki VoIP bağlantıları teknolojik olarak kiralık hatlar (LL: Leased Lines) üzerinden olabileceği gibi Çerçeve İletimi (FR: Frame Relay) ya

da ATM (Asynchronous Transfer Mode) yöntemi kullanılarak da yapılabilir. FR üzerinden yapılan VoIP bağlantıları, ancak şehirlerarası bağlantıların bulunduğu uygulamalarda kiralık hatta göre ekonomik üstünlük sağlar. ATM üzerinden iletim ise, genellikle genişbantlı çoklu ortamlı (multimedia) uygulamalar için tercih edilebilir. Sadece ses iletmek için ATM kullanılmasının bir getirisi olacağı söylenemez.

VoIP ağına bağlı PBX santrallerinin dahili abonelerine ait analog ve sayısal telefon makineleri PBX santrallerinin ilgili abone modüllerine bağlanırlar; VoIP telefon makineleri ise bir bağlantı kutusu (hub) üzerinden doğrudan VoIP ağına bağlanabilirler. VoIP ağına bağlı ISDN özellikli PBX santralleri aynı zamanda analog dış hatlar üzerinden telefon ağına (PSTN) ve/veya sayısal dış hatlar (ISDN-PRI: Integrated Services Digital Networks-Primary Rate Interface) üzerinden ISDN ağına bağlanabilirler. Her ISDN-PRI bağlantısı her biri 64 kbps kapasitesinde 30 adet sayısal iletim kanalı (B kanalları) ve 1 adet 64 kbps kapasitesinde işaretleşme kanalı (D kanalı) içerir. PBX santralleri arasındaki yukarıda tanımlanan bağlantılar Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1 PBX santralleri arasındaki PSTN, ISDN ve VoIP bağlantıları.

Sayısal dış hat (ISDN-PRI) sayısı fazla olan (örneğin dörtten fazla) PBX santrallerinin ISDN’e bağlantısı ile yüksek trafik taşıyan VoIP bağlantıları (örneğin, merkez olarak seçilen PBX’in VoIP bağlantısı) SDH (Synchronous Digital Hierarchy) donanımı ve fiber optik hat üzerinden yapılabilir. Sayısal dış hat (ISDN-PRI) sayısı az olan PBX santrallerinin ISDN’e bağlantısı HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line) modem ve bakır kablo üzerinden, VoIP ağına bağlantısı da yine uygun bir modem ve bakır kablo üzerinden yapılabilir.

VoIP ağı üzerinden yapılan dahili telefon iletişimde aboneler PSTN’e bağlı abonelerin sahip oldukları tüm abone özelliklerine sahip olabilirler. Sayısal dış hatlar üzerinden gelen çağrılarda doğrudan dahili aboneye erişim (DID: Direct Inward Dialing) özelliği kullanılabilir. Sayısal dış hatlardan gelen çağrılarda ya da VoIP ağı üzerinden gelen dahili çağrılarda, ISDN ve GSM telefonlarında olduğu gibi, arayan abone numarası (ya da belleğe kayıtlıysa arayan abone adı) aranan abonenin sayısal telefon makinesi ekranında görüntülenebilir.

VoIP ağına sürekli olarak yapılan hizmet kalitesi (QoS: Quality of Service) kontrolü, VoIP ağındaki ses kalitesini garanti eder ve QoS parametreleri belirli eşik değerlerin altına düştüğü zaman farklı PBX’ler arasındaki taşan dahili trafiği PSTN ya da ISDN üzerinden yönlendirebilir ya da arayan aboneye taşma tonu (overflow tone) verebilir.

VoIP uygulamalarının yararları şöyle sıralanabilir: (1) Kullanım maliyetinde indirim sağlar. Özel iletişim ağı (intranet) olması ve iletim bantgenişliğinin ekonomik kullanılması nedeniyle VoIP ağına bağlı farklı yerleşimlerdeki PBX aboneleri arasındaki dahili konuşmalar ucuza mal olur. (2) Ses ve veri iletişiminin aynı VoIP ağı üzerinden yapılmasına olanak tanır. (3) Merkezi ağ yönetiminin basit ve esnek olmasını sağlar. Ses ve verinin IP üzerinden iletilmesi ağ yönetimine kolaylık ve esneklik kazandırır.

### 3. VoIP PROTOKOL MİMARİSİ VE STANDARTLARI

VoIP protokol mimarisi, ITU-T önerilerinde H.323 önerilerinin şemsiyesi altında tanımlanmaktadır [2], [3]. H.323 standartları, IP üzerinden yapılan gerçek zamanlı (real time) çoklu ortam (multimedia) iletişimle ilgili veri sıkıştırma (data compression) ve çağrı denetimi (call control) protokollerini tanımlar. H.323 protokol mimarisinde, sesin IP paketleri haline getirilmesi ile ilgili bölümü LAN tabanlı bir VoIP uygulaması için Şekil 2’de TCP/IP dayanak modeli [4] ile karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

Analog sesin sayısala dönüştürülmesi ve sıkıştırılması ile ilgili ITU-T standartları aşağıda verilmiştir. Her standardın yanında iletim hızı, kanal gecikmesi hariç uçtan uca gecikme ve ses kalitesi belirtilmiştir.

- G.711 PCM (Pulse Code Modulation): 48, 56, 64 kbps; gecikme << 1 ms; ses kalitesi çok iyi.
- G.723.1 MPE/ACELP (Multi-Pulse Excitation Algebraic Codebook Excited Linear Prediction): 5.3, 6.3 kbps; gecikme 67-97 ms; ses kalitesi: 6.3 kbps için iyi, 5.3 kbps için orta.

- G.726 ADPCM (Adaptive Differential PCM): 16, 24 32, 40 kbps; gecikme 60 ms; ses kalitesi 40 kpbs için iyi, 24 kpbs için orta.
- G.727 AEDPCM (Adaptive Embedded Differential PCM): 16, 24 32, 40 kbps; gecikme 60 ms; ses kalitesi 40 kpbs için iyi, 24 kpbs için orta.
- G.728 LD-CELP (Low Delay Codebook Excited Linear Prediction): 16 kbps; gecikme  $\ll 2$  ms; ses kalitesi iyi.
- G.729A CS-ACELP (Conjugate Structure- ACELP Ek A: Karmaşıklık azaltılmış algoritma): 8 kbps; gecikme 25-35 ms; ses kalitesi iyi.

TCP/IP Dayanak Modeli	VoIP Protokol Kümesi
Uygulama Katmanı (Application Layer)	Ses Uygulamaları Ses Kodlayıcıları G.711; G.723.1 G.726; G.727; G.728; G.729A
Taşıma Katmanı (Transport Layer)	Gerçek Zaman Protokolü (RTP) Kullanıcı Datagram Protokolü (UDP)
İnternet Katmanı (Internet Layer)	İnternet Protokolü (IP)
Ağa Erişim Katmanı (Network Access Layer)	IEEE 802.3
Fiziksel Katmanı (Physical Layer)	IEEE 802.3

Şekil 2 VoIP protokol kümesi ve TCP/IP dayanak modeli.

Sıkıştırma verimliliğini artırarak bantgenişliğini azaltmak için kodlayıcılar konuşmanın sessizlik dönemlerinde (silence period) küçük paketler gönderirler. Buna sessizlik bastırma (silence suppression) denir. Ayrıca, IP, UDP ve RTP protokollerinin başlıkları da sıkıştırılarak (header compression) iletim bantgenişliği daha da azaltılabilir.

RTP (Real-time Transport Protocol), gerçek zamanlı ses, video ya da simülasyon verilerinin uçtan ucu taşınmasını sağlayan protokoldür. RTP, kaynak ayırımı (resource reservation) yapmaz ve hizmet kalitesini (QoS) garanti etmez. RTCP (RTP Control Protocol), RTP protokolu ile birlikte çalışır ve oturumda yer alan tüm kullanıcılara periyodik olarak kontrol paketleri göndererek alma kalitesi (reception quality) ile ilgili bilgi sağlar. Eğer sıkışıklık oluşmaya başlamışsa, uygulama veri hızını azaltabilir. Gerçek zamanlı ses ve video iletişiminde, varış noktasına erişemeyen kayıp paketlerin tekrar gönderilmesi sorun yaratacağı için kayıp paketlerin tekrar gönderilmediği bir taşıma katmanı protokolu seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, gerçek zamanlı ses ve video uygulamalarında TCP (Transmission Control Protocol) yerine UDP (User Datagram Protocol) seçilmektedir.

#### 4. VoIP'DE SERVİS KALİTESİ (QoS)

Sesin IP üzerinden iletilmesi, iletim bantgenişliğinde ve kullanım maliyetinde azalma sağlamasına karşılık, hizmet kalitesinde gecikme (delay), seğirme (jitter), yankı giderme (echo cancellation), sessizlik bastırma (silence suppression), kayıp paket aradeğerleme (lost packet interpolation) gibi konuları gündeme getirmektedir.

VoIP uygulamalarında üç tür gecikmeden söz edilebilir: Bunlar kodlayıcıların yarattıkları gecikme (algorithmic delay), paketlerin işlenmesi sırasında oluşan işleme gecikmesi (processing delay) ve paketlerin ağda ilerlemeleri sırasında karşılaşılan ağ gecikmesi (network delay) olarak sıralanabilir. Ağ gecikmesi, fiziksel ortamın, kullanılan protokollerin ve paket seğirmesini azaltmak için kullanılan tampon belleklerin (buffer) yarattığı gecikmedir. Toplam gecikmenin 50 ms'yi aşması durumunda yankı sorunu ortaya çıkar ve ses kalitesi bozulur. Konuşmacının sesi karşı taratan yankılanır. Yankı kalitesi ile ilgili standartlar ve gereksinimler ITU-T G.165'de tanımlanmıştır. Paket gecikmesindeki değişimler seğirme (jitter) olarak tanımlanır. Seğirmeyi azaltmak için tampon bellek (buffer) kullanılır. Tampon belleklerde paket gecikmesi ile toplam gecikme arasında bir denge kurulur. Kayıp paket durumunda, eğer paket kayıp oranı % 10'un altındaysa, kayıp paket yerine son paketin tekrar kullanılması ses kalitesinin bozulmasını engelleyebilir.

Uygulamada, yukarıdaki hizmet kalitesi parametreleri sürekli olarak izlenir ve kalite eşik değerinin altına düştüğünde, yeni çağrı kurma istekleri reddedilir. Bu durumda, kullanıcıya ya taşıma tonu gönderilir ya da çağrı analog dış hatlar ve PSTN üzerinden ya da sayısal dış hatlar ve ISDN üzerinden otomatik olarak kurulur.

#### 5. VoIP'DE TRAFİK VE HAT KAPASİTESİ HESAPLAMALARI

VoIP iletişiminde telefon çağrılarının durağan Poisson sürecine uygun yapıldığını varsayarsak, trafik-performans ilişkisini Eşitlik (1)'de verilen Erlang kayıp formülü (Erlang loss formula) ile tanımlayabiliriz [5]. Erlang B formülü olarak da bilinen bu formülde,  $a$  Erlang'lık bir meşgul saat trafik yükünün (BHT: Busy Hour Traffic)  $n$  adet ses devresi (ses kanalı) üzerinden iletilmesi durumunda oluşabilecek çağrı tıkanıklığı olasılığı (congestion probability or blocking probability)  $P$ 'yi verir.

$$P = \frac{a^n / n!}{\sum_{i=0}^{i=n} a^i / i!} \quad (1)$$

Burada yapılan varsayımları şöyle sıralayabiliriz:

- Çağrılar rasgele anlarda yapılır,
- Çağrı kaynağı sayısı sonsuzdur,
- Başarısız çağrılar kayıp çağrılardır,
- Başarısız çağrılar tekrarlanmaz,
- Tüm devreler yetkilidir.

Eşitlik (1) kullanılarak,  $a$ ,  $n$  ve  $P$  parametrelerinden herhangi ikisinin bilinmesi durumunda üçüncü parametre hesaplanabilir [6]. Burada çağrı tıkanıklığı olasılığı  $P$  çağrı süresinden bağımsızdır.  $P$ 'nin alabileceği değerler 0 ile 1 arasındadır. Ancak uygulamada, genellikle,  $P=0.01$  alınır. Bu değer 100 çağrı başlatmasından birinin başarısız olduğu duruma karşı gelir. Bazı uygulamalarda,  $P$  için 0.02 ya da 0.03 değeri de alınmaktadır.

Erlang bir iletişim trafiği ölçüsü olup, bir saat içindeki çağrı sayısı ile saat türünden ortalama çağrı süresinin çarpımına eşittir. Örneğin, bir grup telefon abonesi bir saat içinde 50 çağrı yapmışsa ve her çağrının ortalama süresi 3 dakika (3/60 saat) ise, Erlang türünden trafik şöyle hesaplanır:

$$a = [\text{çağrı sayısı}] \times [\text{ortalama çağrı süresi (saat)}]$$

$$a = 50 \times (3 / 60) = 2.5 \text{ Erlang} \quad (2)$$

Trafik yükü hesabı günün en yüksek telefon trafiğinin olduğu saat için yapılırsa, meşgul saat trafik yükü (BHT: Busy Hour Traffic) elde edilmiş olur.

Şekil 1'de gösterilen VoIP ağına ilişkin trafik ve kanal kapasitesi hesaplamalarını bir örnek ile açıklayalım. VoIP ağına örneğin 6 adet PBX santralının bağlı olduğunu varsayalım. Her PBX santralının VoIP ağı bağlantısındaki Erlang türünden trafik yükü  $a$ 'yı Eşitlik (3)'deki formül ile hesaplayabiliriz.

$$a = MN_1N_2 / (N_1 + N_2) \quad (3)$$

Burada,  $N_1$  parametresi PBX santrallarının dahili abone sayılarını,  $N_2$  parametresi ise PBX'lere bağlı toplam abone sayısı ile  $N_1$  arasındaki farkı gösterebilir.  $M$  doluluk oranı ise santraldaki abonelerin PBX'ler arası dahili konuşma yapma olasılıkları ile ilgili olarak, genellikle, 0.01 ile 0.10 arasında seçilen bir parametredir. Örnek olarak alınan 6 adet PBX santralının dahili abone sayıları, Eşitlik (3)'den  $M=0.05$  için hesaplanmış trafik yükleri, Eşitlik (1)'den Erlang B hesaplayıcısı [6] ile hesaplanmış VoIP kanal sayısı ve bir VoIP ses kanalı 16 kbps alınarak hesaplanmış kanal kapasitesi sayısı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: PBX'lerin VoIP bağlantıları için trafik yükleri, VoIP kanal sayıları ve VoIP kanal kapasiteleri.

PBX No.	$N_1$	$N_2$	Trafik (Erlang)	VoIP Kanalları	
				Sayısı	Kapasitesi (kbps)
1	2000	3150	61.17	76	1216
2	1500	3650	53.16	67	1072
3	1000	4150	40.29	53	848
4	500	4650	22.57	33	528
5	100	5050	4.9	11	176
6	50	5100	2.48	7	112

## 6. SONUÇ

VoIP iletişimi, iletim ortamının kapasitesini PSTN ve ISDN'e göre daha verimli kullanmaktadır. ISDN ve PSTN'de bir ses işaretinin 64 kbps kapasitesindeki bir iletim kanalından iletilmesine karşın, VoIP'de bir ses işaretinin iletilmesi için genellikle 16 kbps'lik iletim kapasitesi yeterli olmaktadır. IP ağların gerçek zamanlı ses, video ve data iletişimini bütünleştirilerek iletilmesi ve merkezi ağ yönetimini kolaylaştırması da önemli bir avantajdır. VoIP ağlarda, QoS parametrelerinin sürekli olarak izlenmesi ve parametrelerin belirli bir eşik düzeyinin altına düşmesi durumunda, VoIP çağrılarını mevcut analog ya da sayısal dış hatlar üzerine yönlendirilmesi mümkündür. VoIP'ye geçiş, dağınık yerleşime sahip büyük kuruluşların ve firmaların telefon kullanım maliyetini azaltacaktır. Ancak, VoIP iletişimi konusunda, Türkiye'deki mevcut yasal düzenlemelere açıklık getirilmesi ya da bu konuda yeni yasal düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Bergmark D., and Keshav S., "Building Blocks of IP Telephony", IEEE Com. Magazine, pp. 88-94, April 2000.
- [2] Hamdi M., Verscheure O., Hubaux J. P., Dalgıç İ., and Wang P., "Voice Service Interworking for PSTN and IP Networks", IEEE Com. Magazine, pp. 104-111, May 1999.
- [3] ITU-T Rec. H.323, "Packet-based Multimedia Communication Systems", 1998.
- [4] Stallings W., "Data and Computer Communications", 5th Ed. Prentice-Hall, Inc., 1997.
- [5] Roberts J. W., "Traffic Theory and The Internet", IEEE Com. Magazine, pp. 94-99, January 2001.
- [6] Westbay Engineering Limited, "Erlang B Calculator", Online Traffic Calculator, <http://www.erlang.com/calculator/erlb>