

IP Ağları Üzerinden Telefon Hizmetlerinde Gecikme “Latency”

IP ağları üzerinden telefon hizmetlerinin yaygınlaşması ile, kurulan sistemlerdeki gecikmenin sebeplerinin ve etkilerinin anlaşılması önem kazanmaktadır. Burada karşılıklı telefon görüşmesi yapan uçlar arasında gecikmenin etkileri, gecikmeye sebep olan sistem bileşenleri ve yeterli servis kalitesinin sağlanabilmesi için kullanılabilen yöntemler üzerinde durulmaktadır.

Bir IP Telefon sistemini inşa ederken ve devreye alırken, nihai sisteminin kalitesini etkileyecek birçok teknik özellik bulunmaktadır. Bu özellikler arasında ses kodlama algoritması (*Voice Coding, vocoder*), sistem gecikmesi, hat kalitesi bulunmaktadır. Bunlar arasında servis kalitesi üzerinde en etkili olanı kullanılacak ses kodlama algoritmasıdır.

IP Telefon sistemlerinde gecikme tipik olarak milisaniye cinsinden ölçülen, konuşan tarafın ağzından sesin çıkmasını takiben, sesin karşı tarafa ulaşması sırasında geçen süredir. Bu tek yönlü veya ağızdan kulağa gecikme olarak da adlandırılır. Gidiş dönüş gecikmesi (*Round Trip Delay*) ise, bir telefon çağrısındaki söz konusu iki adet tek yönlü gecikmenin toplamıdır. Konvansiyonel PSTN sistemlerinde, yerel çağrılarda bu gecikme her zaman 150 ms'nin altındadır. Bu seviyelerde gecikme birçok kişi tarafından algılanamaz. Ancak, özellikle uydu üzerinden gerçekleştirilen uluslararası çağrılarda gidiş dönüş gecikme süresi rahatsız edici olabilen bir saniyelik süreyi aşabilmektedir.

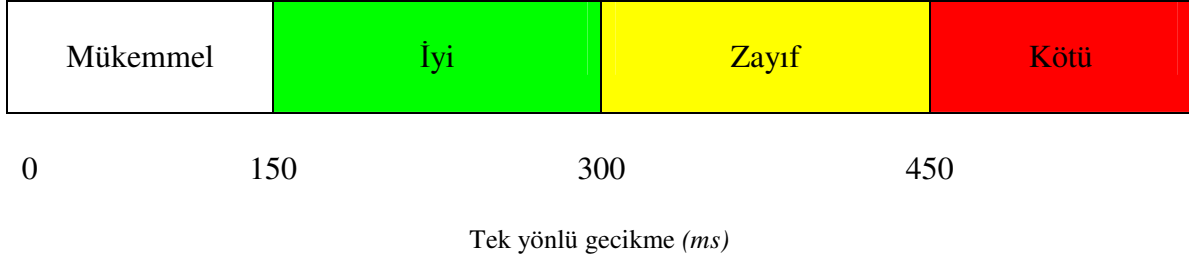
Gecikmenin Etkisi Nedir?

İki kişi arasındaki telefon görüşmesi birçok kişinin tahmin edebileceğinden daha çok konuşmanın zamanlamasına bağlıdır. Birçok görüşmede dinleyen taraf konuşan tarafa, dinlediğine dair ifadeler iletir. Böylelikle konuşan taraf, dinleyen tarafın kendisini dinlediğini algılar. Bir telefon görüşmesi sırasında bu ifadeleri, veya sözlü mimikleri doğal olarak yaptığınızın siz de farkına varacaksınız. Eğer bu sözlü mimikler kesilirse konuşan taraf bir onay gelene kadar bekleyecektir. Eğer bu sözlü mimikler gecikirse ve konuşan tarafa yanlış zamanda ulaşırsa, konuşmanın kesilmesine ve karmaşaya yol açacaktır. Bunu normal bir telefon görüşmesinde siz de deneyebilirsiniz.

Kabul Edilebilir Gecikme Miktarı Nedir?

İnsan faktörünün devreye girdiği her konuda olduğu gibi bu konuda da herkesin görüşü arasında farklılıklar bulunmaktadır. Ancak gecikmenin kabul edilebilir bir üst sınırı bulunmaktadır. Gecikmenin kabul edilebilir miktarının tam olarak belirlenmesi oldukça zordur; zira kullanıcılar sunulan kalite ile sağlanan katma değeri dengeleyebilmektedirler. GSM gibi mobil sistemlerde gecikme süresi fazla, ses kalitesi düşük olmasına rağmen sunulan hareket özgürlüğü kullanıcıların GSM hizmetlerini tercih etmelerini sağlamaktadır.

Maliyet avantajı sunan IP telefon sistemleri için **Brooktrout** tarafından bulunan değerler aşağıda gösterilmektedir. Daha fazla katma değer sunulan uygulamalarda daha yüksek gecikme sürelerinin kabul edilebilir olacağı göz önünde bulundurulmalıdır:



Şekil 1. - Kalite algısı ve gecikme

Görüldüğü gibi tek yönlü gecikme 150 ms’yi aşmaya başladığında, kullanıcıların kalite algısı kötüleşmektedir. Eğer gecikme 450 ms’yi geçerse bir konuşmayı sürdürmek zorlaşmakta ve gecikme rahatsız edici olmaktadır. Seçme imkanı olduğunda birçok kullanıcı, ses kalitesi tatmin edici ölçülerde olsa da, gecikme süresi 200 ms’nin altında olan telefon hatlarını tercih edecektir.

Gecikmenin Sebepleri Nelerdir?

Genel olarak bir IP telefon sistemi, bir geniş alan ağı üzerinden (WAN) birbirlerine bağlanan ve mevcut konvansiyonel telefon cihazlarına ara yüz sağlayan ses geçitleri kullanılarak inşa edilir. Bu tipik yapılandırma, birbirleri arasında telefon görüşmesi yapabilen iki ucun ses geçitleri ve ip yönlendiricileri ile bağlanması aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Ses geçidi işlevi yönlendirici hatta telefon cihazına bütünleşik olabilir; ancak sesin işlenmesi ve iletilmesi için aynı işlemler gerçekleştirilir. Bu yüzden IP telefon sistemleri ile görüşme yapılabilmesi için en az iki ses geçidi gereklidir; uygulamaya göre sadece geçidin yeri değişecektir.



Şekil 2. - Tipik IP telefon sistemi

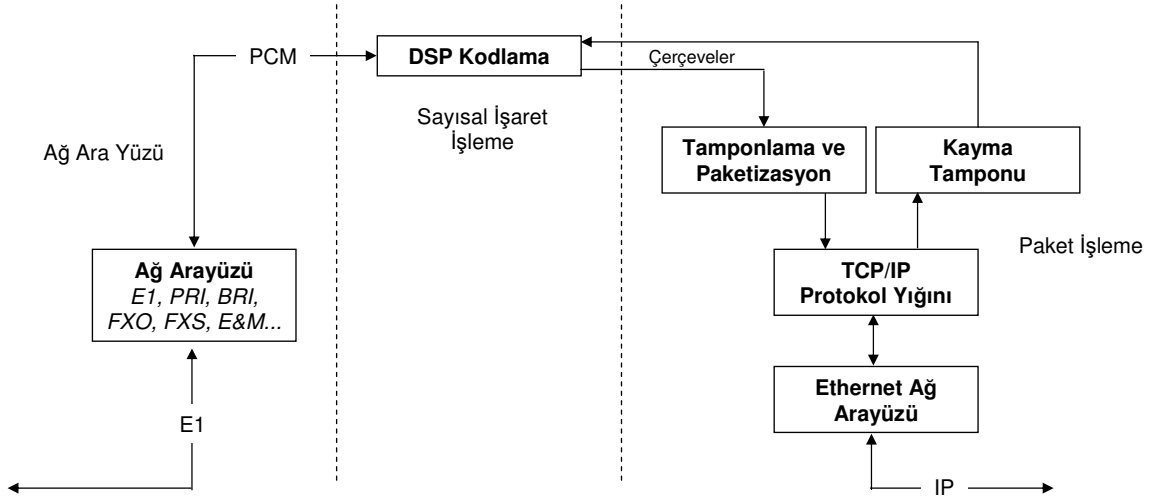
Bir IP telefon sisteminde gecikme iki temel kaynaktan ileri gelir. Gecikmenin bir kısmı IP telefon geçitlerinin iç dinamiklerinden geri kalanı ise IP geçitlerini birbirine bağlayan IP ağından kaynaklanır.

Gecikme kümülatif olduğundan, IP telefonun sisteminin bir bileşeni tarafından kaynaklanan gecikme kullanıcının maruz kalacağı toplam gecikmeyi doğrudan etkileyecektir.

Ses Geçidinden Kaynaklanan Gecikme

Bir ses geçidinden kaynaklanan gecikmenin anlaşılabilmesi için bir ses geçidinin nasıl çalıştığı öncelikle incelenmesi gereklidir. Aşağıdaki şekilde bir ses geçidinde yürütülen işlemler bir blok şemasında gösterilmektedir. Konvansiyonel telefon sistemine bağlantı sol tarafta, IP ağına bağlantı ise sağ tarafta gösterilmektedir.

Sesli bir görüşmede, bir telefondan diğerine izlenen yolda, her işlevsel blok, geçitten kaynaklanan gecikmeye bir katkıda bulunmaktadır. Bu işlevler ve her birinin sebep olduğu gecikme ile ilgili detaylı bilgiye de ayrıca değinilmektedir:



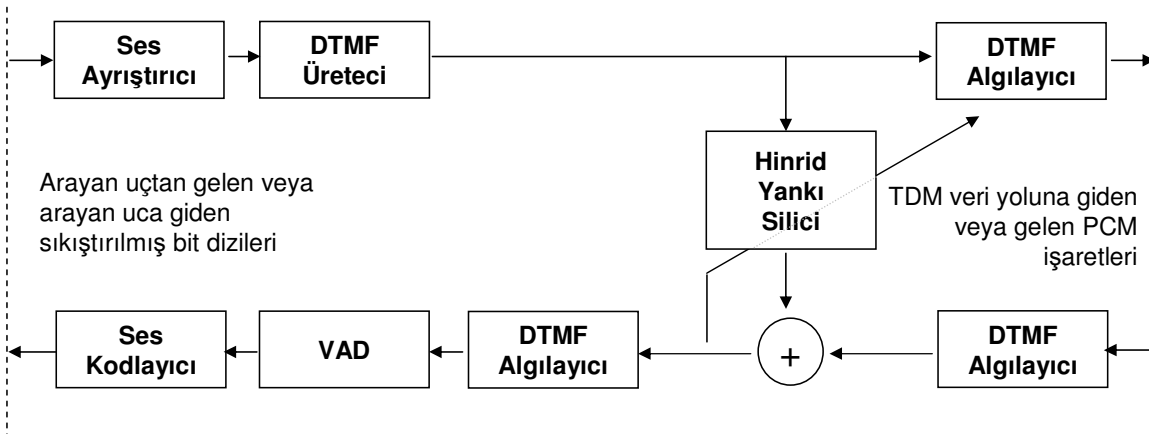
Şekil 3. - Ses geçidi işlevleri

Ağ Ara Yüzü Gecikmesi

Bir ses geçidindeki ağ ara yüzü, geçidin bir telefona veya telefon konvansiyonel telefon ağına bağlantısını sağlayan yazılım ve donanımı içerir. Tipik bir ağ ara yüzü ağ tarafından gelen sayısal sesi içeren PCM veri dizilerini çerçevesel ve dahili PCM veri yolu aracılığı ile DSP taşınması için bir çevrime tabi tutar. Bu işlem sırasında tipik olarak 1 ms altında bir gecikme söz konusudur.

DSP Gecikmesi

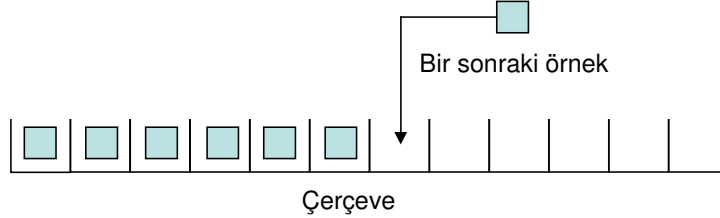
Bir IP telefon geçidinde gerçekleşen en karmaşık işlemlerden biri sayısal işaret işlemedir. Bu işlev, sesi sıkıştıran veya açan, DTMF tonlarını tespit eden, sessizliği algılayan, DTMF tonlarını oluşturan, seçime bağlı olarak arka plan gürültüsü ekleyen ve yankıyı iptal eden bir sayısal işaret işlemcisi (*Digital Signal Processor, DSP*) ve ilgili diğer yazılım algoritmaları ile gerçekleştirilir. Tüm bu işlemler toptan olarak ses kodlama (*Vocoding*) olarak adlandırılır.



Şekil 4. - DSP ses sıkıştırma alt sistemi

Çerçeveleme (Framing) Gecikmesi

Ses kodlamasının en verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için DSP uyarlamaları tüm veri çerçevelerinin aynı anda işlenmesine dayanır. Bu DSP'nin, yüksek yoğunluklu IP telefon uygulamalarında ihtiyaç duyulan özel yönergeleri kullanabilmesine olanak tanır.



Şekil 5. - Çerçeveleme işlemi

Verinin çerçeveler içinde işlenmesinin yan etkisi verinin çerçeve dolduktan sonra işlenebilmesidir. Konvansiyonel sayısal telefon ağından sayısal ses dizileri sabit, saniyede 8000 örnek olarak geldiğinden verinin işlenmesi için kullanılan çerçevenin boyu gecikmenin miktarını doğrudan etkilemektedir. Örneğin 100 örnekten oluşan bir çerçevenin dolması 12,5 ms sürerse 1000 örneklilik çerçeve 125 ms'de dolacaktır. Çerçeve boyu büyüdükçe DSP performansı artacak ancak gecikme de artacaktır.

Ancak bu seçim genelde kullanıcı inisiyatifinde değildir. Her ses kodlama yöntemi kendine has standart bir çerçeve boyu kullanır. Çerçeveleme işleminden kaynaklanan gecikme doğrudan seçilen ses kodlaması yöntemine bağlıdır:

Ses Kodlaması	Band Genişliği (bps)	Çerçeve Süresi (ms)	Çerçeve Genişliği (Byte)
G.711 ¹	64000	15	120
G.723.1	5300-6300	30	24
G.729a	8000	10	10

Tablo 1. - Ses kodlaması çerçeve boyları

İşleme Zamanı

Tüm çerçeveyi oluşturacak verinin toplanmasından sonra, oluşturulan çerçeve üzerinde DSP algoritmaları çalıştırılmalıdır. Bu işlem için gerekli süre değişkendir ancak çerçevenin teşkil edilmesi için gerekli süreyi geçemez (*Eğer öyle olsaydı DSP bir sonraki çerçeve gelmeden önce işlemeyi bitiremezdi*).

Birçok yüksek yoğunluklu IP telefon geçidi her DSP üzerinde birden fazla ses kanalını eş zamanlı olarak işlediğinden kodlama veya sesin ayrıştırılmasındaki işlemlerden dolayı gecikmenin hesaplanması biraz karmaşıktır. Bu gibi durumlarda her DSP farklı kanallardan gelen çerçeveleri birbirini ardına sıra ile işler. Bu ilk kanalın sonraki diğer kanallardan daha önce işleneceği anlamına gelir. Tam olarak yüklü bir DSP alt sisteminde son kanal için işleme ilk kanal için veri gelmeden hemen önce tamamlanır.

¹ G.711 teknik olarak bir “Vocoder” olmamasına rağmen burada sadece karşılaştırma amacıyla listeye eklenmiştir.

Sonuç olarak DSP tek bir ses kanalı için kodlama süresi işlemeden dolayı eklenen gecikmenin hesaplanması için kullanılamaz. Bunun yerine işlemeden dolayı kaynaklanan gecikme ms cinsinden çerçeve süresi olarak ifade edilir. Bu çerçeveleme ve işlemeden kaynaklanan toplam gecikmenin çerçeve süresinin iki katını geçemeyeceği anlamına gelir.

Paket Yönetiminde Gecikme

DSP işleme ve verinin WAN'e iletilmesi arasında, sistem gecikmesine etki eden bir dizi paket yönetim işlemi bulunmaktadır:

Tamponlama

Ses kodlama işleminden sonra birçok IP telefon sistemi üretilen sıkıştırılmış ses verisi çerçevelerini ağ yazılımına iletmeden önce ayrıca tamponlar. Bu ek tamponlama geçitteki DSP'nin CPU'ya erişmesi için ihtiyaç duyduğu seferleri azaltması için gerçekleştirilir. Diğer durumlarda tamponlama kodlama algoritmalarının çerçeve süresine (*Çerçeve uzunluğuna değil*) uyması için uygulanır.

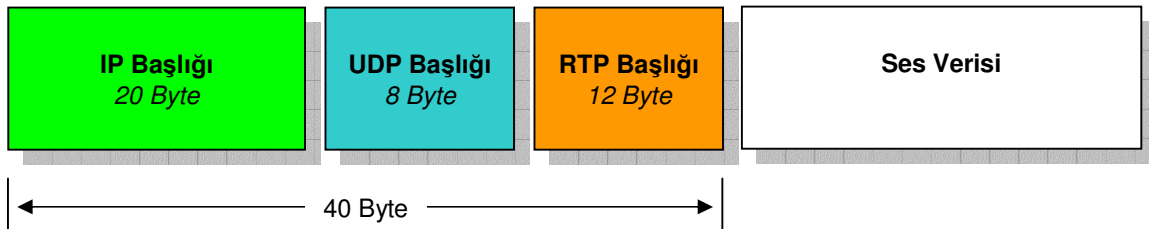
Örneğin bir sistem bir kanalda G.723.1, diğer bir kanalda G.729a kullanıyorsa çerçeve uzunlukları farklıdır (*Tablo 1.'e bakınız*). Bir sistem tasarlanırken her G.723.1 çerçevesi için üç G.729a çerçevesini bir tamponda toplayabilir. Bu sistemin bir tamponu kodlama algoritmasından bağımsız olarak 30 ms'de bir iletilmesine olanak tanır.

Paketizasyon

Kodlanmış ses WAN üzerinden iletme hazırlanmadan önce, paketler içinde düzenlenmelidir. Bu işlem tipik olarak TCP/IP protokol yığını tarafından UDP (*User Datagram Protocol*) ve RTP (*Real Time Protocol*) kullanılarak yapılır. Bu protokoller ses trafiğinin zamanında, iletim sırasında paket onaylarından kaynaklanan fazlıklardan ve yeniden iletimden kaçınılması için seçilirler.

Tipik bir IP telefon veri paketine bakıldığında her paket toplamı 40 Byte olan bir IP, UDP ve RTP başlığı ile başlar. Her başlık kaynak ve alıcı IP adresleri, IP port numarası, paket sıra numarası ve verinin iletilebilmesi için gerekli diğer protokol bilgilerini içerir.

IP başlığını bir veya daha fazla kodlanmış ses veri çerçevesi takip eder. Tek bir veri paketine birden fazla çerçevenin konuşlandırılması her IP telefon sistemi için göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur. G.723.1 kodlamasını (*Her 30 ms'de 24 Byte'lık çerçeveler üretir*) kullanan bir sistemde, her paket 40 Byte ve 24 Byte'lık veriden oluşacaktır. Bu da veri yükünün 1,5 (% 166) katı büyüklüğünde bir başlığın kullanılması anlamına gelir!



Şekil 6. - Bir IP telefon paketinin anatomisi

IP paket fazlalığından kaynaklanan verimsizliği azaltmanın en yaygın yolu bir IP paketine birden fazla kodlanmış ses çerçevesini konuşlandırmaktır. Eğer her paket ile iki çerçeve taşınırsa fazlalık % 83 oranına düşecek ancak bir çerçeve periyodu kadar gecikme eklenecektir. Bu bir IP telefon sistemi tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken başka bir husustur.

Fazlalığın azaltılması için ilgi çekici başka bir yöntem aynı IP paketine farklı kanallardan gelen ses verisi çerçevelerinin konuşlandırılmasıdır. Bu yaklaşım söz konusu ses kanallarından verinin aynı ses geçidine gittiği durumlarda kullanılabilir. Bu özellik H.323 protokolü tarafından desteklenmemektedir ancak verimliliğin artırılması için bazı özel uyarlamalarda kullanılabilir.

Kayma Tamponu Gecikmesi

IP ağları veri paketlerinin teslim edileceği süre ve zamanı (*Aynı zamanda sırasını*) garanti edemediğinden veri bir uçtan diğerine değişken zamanlarda ulaşır. Varış zamanındaki bu değişkenlik kayma (*Jitter*) olarak adlandırılır. Sesin decode edilmesi işlemi sırasında (*Ağdan gelen ses paketlerinden, sesin yeniden sentezlenmesi*) ağdan gelen verideki kaymayı karşılamak durumundadır. Kaymanın karşılanabilmesi için birçok sistem ağdan gelen en az bir paketi DSP'ye geçirmeden önce tamponlar.

Bu kayma tamponları veri DSP'ye iletilirken zamanlamanın doğruluğundan emin olunmasını sağlar. Bu tamponlar kullanılmazsa veride boşluklar oluşur ve konuşmayı etkilerdi.

Ancak tahmin edileceği üzere kayma tamponlarının kullanılması gecikme süresinin artmasına neden olacaktır. Kayma tamponu ne kadar geniş tutulursa sistemin IP ağından kaynaklanan kaymaya daha bağımsız olmasını sağlarken gecikmeyi de artıracaktır.

IP Ağından Kaynaklanan Gecikme

Ses, sıkıştırıldıktan ve paketlenildikten sonra, karşı uçtaki ses geçidine ulaştırılması için IP ağına geçirilir. IP ağı toplam gecikme süresine etki edecek potansiyel bazı özelliklere sahiptir:

Ortam Erişiminden Kaynaklanan Gecikme

Veri fiziksel olarak bir ortamdan diğerine geçerken, her geçişte ortama erişimden kaynaklanan bir gecikme meydana gelmektedir. Bir IP ağı birbirine yönlendiriciler ve diğer ağ cihazları ile bağlı birçok fiziksel olarak farklı ortamdan oluşabildiğinden, göz önünde bulundurulması gereken gecikme süreleri oluşacaktır.

Eğer bir WAN bağlantısı saniyede 28800 bitlik bir hat üzerinde işletiliyorsa her bir Byte'lık bilginin bu hat üzerinden iletimi 0,35 ms'ye ihtiyaç vardır. Yani 100 Byte'lık bir paketin iletimi 35 ms sürecektir. Bir E1 hattı kullanıldığında (*2 Mbps*), 100 Byte'lık paket için gecikme 0,4 ms'ye düşecektir. Fast Ethernet (*100 Mbps*) kullanıldığında ise gecikme 0,008 ms olacaktır. Elbette bu veriler söz konusu hattın sadece 100 Byte'lık veri iletimi için rezerve edildiği durumlar için geçerlidir. Örneğin veri trafiğinin yoğun, çağırma ve tıkanmaların yaşandığı bir Ethernet bağlantısında gecikme ideal durumdan daha fazla olacaktır.

Yönlendirmeden Kaynaklanan Gecikme

IP yönlendirilebilir bir protokol olduğundan, her paket bir kaynak ve alıcı adresine sahiptir. Bu basit tasarım her yönlendirici ağ cihazının her paketi inceleyip alıcı adrese göre (*Kimi zaman kaynak adrese göre de*) uygun bir yöne yönlendirmesini gerektirir. IP telefonu kavramı var olmadan önce birçok yönlendiricinin kullandığı kuyruk mekanizması geliştirilmiştir. Kuyruk mekanizması yönlendirici cihazın farklı kaynaklardan gelen paketleri hafızada sıraya dizerek, sırayla işleyip yönlendirmesini sağlar. Ancak bu mantık IP telefon sistemlerinin gerçek zamanlı çalışma sistemi için bir zayıflık oluşturmaktadır. Bu yüzden klasik yönlendiriciler tıkanma durumlarında trafik türü ne olursa olsun tüm veriyi geciktirirler.

IETF tarafından tanımlanan Kaynak Ayırım Protokolü (*Resource Reservation Protocol, RSVP*) IP yönlendiriciler ve geçitler içindeki kaynakların oluşturulması ve yönetimi için bir yol sağlar. RSVP, geçitler arası bir bağlantıda, ara ağ cihazları üzerinden garantili bir band genişliği tahsisi yapılmasını ve paket teslim sürelerindeki değişkenliği azaltarak hizmet kalitesinin artmasını sağlar. Ancak RSVP'nin kullanılabilmesi için ağı oluşturan tüm cihazların RSVP'yi desteklemesi ve RSVP işaretlemesi için yapılandırılmış olmaları gereklidir. Bu yüzden RSVP çok kez bir ağ yöneticisinin uçtan uca tüm ağ cihazları üzerinde denetimi olduğu kapalı sistemlerde kullanılabilir.

Firewall'lar ve Proxy Sunucuları

Günümüzde birçok ağda güvenliğin sağlanması için Firewall ve Proxy sunucuları kullanılmaktadır. Her iki tür güvenlik sistemi de her gelen ve giden IP paketini incelemek zorunda olduğundan kayda değer bir gecikmeye sebep olabilirler. Bu yüzden IP telefonu sistemlerinde bu tür cihazların kullanımından kaçınılmaktadır. Ayrıca Firewall ve Proxy sunucularının aşırı yük durumunda, nominal yük durumuna göre daha az responsif olacağı unutulmamalıdır.

Firewall kullanımı yerine yönlendiricilerin birçoğunda dahili olarak mevcut paket filtreleme özelliği nispeten daha az gecikme ile yeterli güvenliğin sağlanmasına yardımcı olabilir.

Gecikme ile Nasıl Başa Çıkılır?

Gecikme ile başa çıkma, başarılı bir IP telefonu sistemi için anahtar bir konudur. Aşağıda gecikme ile başa çıkmak için bazı önemli adımlar bulunmaktadır:

- Sistemdeki gecikme kaynakları sıralanarak bir özet hazırlanmalıdır. Sistemdeki gecikmenin anlaşılabilmesi için büyük resmin görülmesi gereklidir.
- Seçilen portlarında paket bazlı önceliklendirmeyi destekleyen veya RSVP'yi destekleyen yönlendirme cihazları kullanılmalıdır. Ayrıca yönlendirme cihazlarının yapılandırmaları azami paket çıktısını sağlayacak şekilde iyileştirilmelidir.
- IP telefonu sisteminin üzerinde çalıştığı IP ağında yeterli band genişliğinin mevcut olduğundan emin olunmalıdır. Bu kapsamda uygun ses kodlama algoritmasının kullanılması iyi bir yaklaşımdır. Ayrıca çağrı bazında hatta çağrı sırasında ağın yoğunluğuna göre dinamik olarak kullanılan ses kodlama algoritmasını değiştirebilen IP telefonu platformlarının kullanılması önerilebilir.
- Sunulacak hizmetin kalitesi göz önünde bulundurularak tüm denetimin sağlanamadığı Internet gibi ortamların kullanılmasından kaçınılmalıdır.
- Paket fazlalığı azaltılmaya çalışılmalıdır. Aynı alıcıya giden ses paketleri konsolide edilerek % 50'nin üzerinde verimlilik artışı sağlanabilir.

Örnek Toplam Gecikme Hesabı

Aşağıdaki örnekte bir sistem için tek yönlü gecikme hesabı gösterilmektedir:

Kaynak	Gecikme (ms)
Ağ ara yüzü	1 (2 Mbps E1)
Çerçeveleme	30 (G.723.1)
İşleme süresi	10 (En kötü hal)
Tamponlama	0 (Ek tamponlama yok)
Paketizasyon	30 (Paket başına iki çerçeve)
Ortam erişim gecikmesi	10 (5 - 2 ms atlama)
Yönlendirme	50 (Yönlendiriciye bağlı...)
Kayma tamponu	30 (Tek tampon)
Toplam tek yönlü gecikme	161

Tablo 2. - Toplam gecikme hesabı