



İLETİŞİMDE GÜNCEL KONULAR

Ender Ayanođlu (*)

ÖZET

İletişim kuramı şimdiye dek bantsınırlı ve gürültü kısıtlı ortamlar üzerinden güvenilir iletişim sorununu çözmeye çalışmıştır. Optik lifin yaygın biçimde kullanılması iletişim sorununda varolan kısıtları değiştirdiği için iletişim kuramının ilgi alanına giren sorunlar ve çözüm yöntemleri de değişme göstermektedir. Bu yazı bu değişmeyi irdelemekte, yeni sorun ve yöntemlerden örnekler vermektedir.

(*) Bilkent Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

SAYISAL İLETİŞİMDE TEMEL SINIRLAR VE TEKNOLOJİ

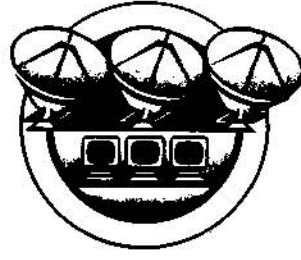
Bilindiği gibi sayısal iletişimde amaç, verilen zamanda mümkün olduğunca çok veriyi en az sayıda yanlış ile kaynaktan kullanıcıya iletmektir. Başarım ölçüsü olarak kullanıcı için kabul edilebilir bir yanlışlık olasılığına karşılık gelen iletim hızı alınır. İletim hızı bit/saniye ile ölçülür ve bit oranı olarak da adlandırılır. İletişim kuramının matematiksel kökeni olan bilişim kuramının temel sonuçlarından birisi, gerçek hayatta karşılaşılan iletim ortamları, yani iletişim kanalları ya da kısaca kanallar, için kaynaktan kullanıcıya kendisiyle güvenilir olarak iletim yapılabilecek bit oranının sınırlı olduğudur. Kanal sığası olarak adlandırılan bu sınır aşıldığında güvenilir iletim olanaksızdır, yanlışlık olasılığı bire yaklaşıp. Öte yandan, kanal sığasının altında iletim hızlarında güvenilir, iletişim teknolojisi ile sınırlıdır. Bilişim kuramı bize daha çok işlem karmaşası, bellek ve gecikme kullanarak, verilen herhangi küçüklükte yanlışlık olasılığı ile, kanal sığasına istenildiğince yaklaşılabileneceğini söyler.

Kanal sığasını iki etmen belirler: Kanalin bantsınırlılığı ve kanal gürültüsü. Bantsınırlılık ardışık olarak gönderilen sayısal simgelerin zaman içinde birbirleri içine geçmesine, kanal gürültüsü ise simgelerin iletim sırasında işaret uzayı içinde karışmalarına neden olur. Geleneksel iletişim kuramı güvenilir iletişim sağlayabilmek için bu iki sorunu çözmeye çalışmıştır. Bu işlevi gerçekleştirebilmek için geliştirilmiş çeşitli yöntemler vardır. Teker teker ya da dizi olarak simge sezme, kanalin bantsınırlılığını giderme -yani kanal eşitleme- zaman içinde değişen kanallar için uyarlamalı kanal eşitleme, kanal özelliklerine uygun simge görünüşü elde edebilmek için hat kodlaması, kanal gürültüsüne karşılık bir önlem olarak yanlış sezme kodlaması ve yanlış düzeltme kodlaması, bu kodlama yöntemlerinin sonucu olarak ortaya çıkan bantgenişlemesi ve bununla birlikte gelen gürültü gücü artımı sorunlarını çözmek için işaret uzayı içinde kodlama (bu yöntemle birleşik kodlama ve modülasyon; bu yöntemin özel bir biçimine de çit kodlu modülasyon adı verilir), veri sıkıştırması bu yöntemlerin bazılarıdır. Bir sayısal iletişim dizgesinde

bu yöntemlerin bazıları ya da hepsi birden kullanılarak kanal sığasına ulaşılmaya çalışılır.

Değişik uygulama alanları arasında sayısal iletişim teknolojisinin gelişiminin en iyi izlenebileceği alan sesbandı telefon kanalı üzerinden sayısal iletişim sağlayan modemlerdir (Şekil 1). Değişik yerlerdeki bilgisayarları ve onların uç ve çevre birimlerini birbirlerine kolaylıkla ve ekonomik olarak bağlama gereksinmesinin çözümü olarak ortaya çıkan bu modemlerde ticari nedenlerle teknoloji hızla geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. Sesbandı telefon kanalı yaklaşık 3.5 kHz bantgenişliğine sahip doğrusal ve örneksel bir kanaldır.

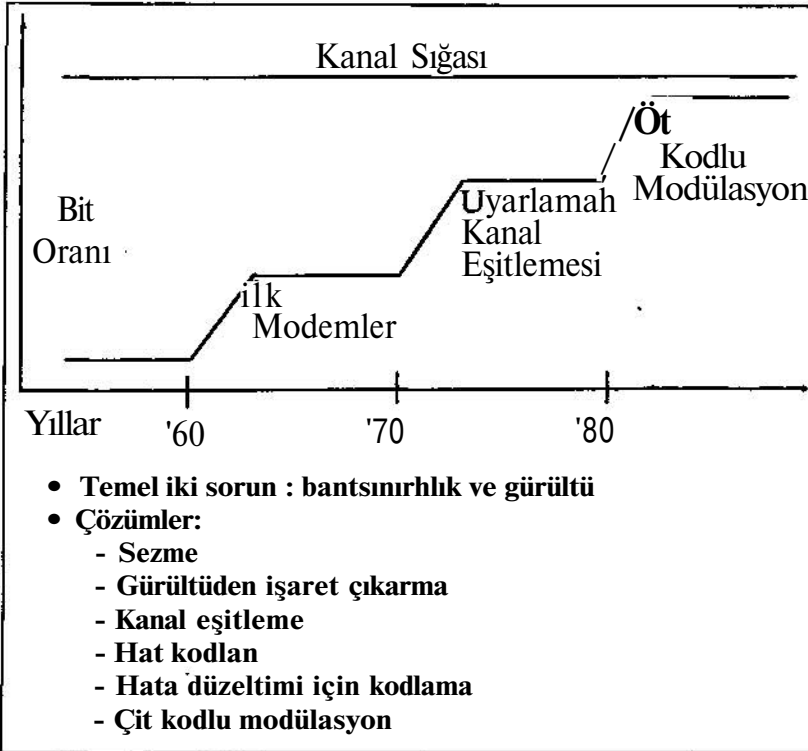
Bu kanalın kanal gürültüsü beyaz görüngeli ve Gauss dağılımlı bir rastgele süreç olarak modellenebilir. Ölçmeler sonucu bu kanaldaki işaret - gürültü oranı ortalama olarak 20 dB yakınlarında bulunmuştur. Bu sayılar 23 kilobit/saniye'lik bir kanal sığasına karşılık gelirler, lksesbandı modemlerin ortaya çıktığı 1950'li yılların ortalarında teknolojinin olanak verdiği iletişim hızları 100 bit/saniye kadardı. Artan araştırmalarla, 1960'lı yılların başlarında modülasyon yöntemleri



iii Kanal gürültüsü ile savaşmanın geleneksel iletişim kuramındaki yöntemi, gönderilen kaynak simgelerine ek olarak, bu kaynak simgelerine göre kodlanmış yeni simgeler de göndermektir. „

ve simge • yerleşimleri geliştirilerek 2400 bit/saniye'lik iletim hızına ulaşılabildi. Bu dönemde iletim kanallarındaki bant sınırlılığın güvenilir iletişimi engelleyen başlıca etmenlerden biri olduğu biliniyordu. Ayrıca, bu kısıtın giderilmesi için kanalın geçiş işlevinin yaklaşık olarak tersinin iletim zincirine eklenmesi gerektiği de biliniyordu. Ancak, aynı kaynak ve kullanıcı çifti

için bile, her yeni çağrının telefon ağı içinde değişik anahtarlar ve yollardan bağlantılanması sonucu yeni bir geçiş işlevinin tersinin hesaplanması gereği bir sorundu. Kanalı tanımlamak ve tersini hesaplamak için Fourier dönüşümü yöntemleri işlem karmaşası çokluğu nedeni ile sayısal işaretleme teknolojisini henüz gelişmemiş olduğu o dönemde kullanılmıyordu. Yardıma, bu dönemde yeni gelişme başlayan uyarlamalı işaretleme yöntemleri geldi. Lucky'nin öncü çalışması¹¹ Widrow ve Hoff'un ortaya attığı yanlışın ortalama karesi ölçütünü enaza indirgeyen basit ve etkin bir yöntem olan LMS (Least Mean Squares) algoritmasının veri iletişimine uygulanmasına neden oldu²¹. Bu buluş sesbandı modemlerde bit oranının 9600 bit/saniye düzeyine çıkmasını sağlamıştır. 1960'lı yılların sonlarından 1970'li yılların başlarına kadar geçen bir dönemde daha hızla sonuca ulaşan kanal eşitleme algoritmalarının geliştirilmesi, LMS algoritmasının değişik mimarilere uygulanması, bu algoritmanın içerdiği bazı sorunların çözülmesi gibi ilerlemeler gerçekleşmekle birlikte, bit oranında artış sağlanamamıştır. Bu durum kanal gürültüsünün yarattığı kısıttan kaynaklanıyordu. Kanal gürültüsü ile savaşmanın geleneksel iletişim kuramındaki yöntemi, gönderilen kaynak simgelerine ek olarak, bu kaynak simgelerine göre kodlanmış yeni simgeler de göndermektir. Bu kodlama öyle yapılır ki bu fazla simgeler aracılığı ile alıcı aldığı simgelerde kanalın belirli sayıda yanlışına neden olup olmadığını belirleyebilir ve yine belirli sayıda yanlışını düzeltebilir. Uzay ve uydu kanallarında başarı ile uygulanan bu yöntem, bant sınırlı sesbandı telefon kanalında sonuç vermedi. Bunun temel nedeni zaman boyutunda fazla simgeler eklemenin gönderilen işaretin bantgenişliğini artırmasıdır. Öncelikle, telefon kanalında bu yeni bantgenişliğini koyacak yer yoktu. Ayrıca, artan bantgenişliği alıcıya daha fazla gürültü gücü girmesine neden olur, bu da kodlamanın yararını azaltır. Telefon kanallarında kullanımı düşünülen kodlar için bu ikinci etmen de önemli oldu. Bu sorun çözülmez gibiyken, küçük bir gözlem büyük bir başarıya yol açtı. 1970'li yılların sonlarında Ungerboeck zaman boyutunda fazla simge eklemektense, işaret uzayını yalnızca



Şekil 1: Sayısal İletişimin Evrimi

iki kez büyütmeyle ve kodlama sonrası simgeleri bu yeni uzaydan seçmekle hem kodlamanın tüm yararının elde edilebileceğini, hem de bantgenişliğinin artmayacağını gösterdi.^[3] Veri iletişimde bir devrim yaralan bu buluşla sesbandı modemlerde bit oranı 19200 bit/saniye'ye kadar yükseldi. Bugünlerde kayıpsız veri sıkıştırması yöntemleri de kullanılarak kanal sığasına iyice yaklaşmış bulunmaktadır. Veriden bağımsız ve beyaz görgüneli gürültü ile kısıtlı ve bant-sınırli ömeksal kanallardan sayısal veri iletişimde sınırları zorlamayı sürdüren araştırmacılar varsa da, kanal sığasına çok yaklaşmış olduğu için pek çok uygulayıcı bu çabaları artık yalnızca akademik saymaktadır.



TEKNOLOJİDE YENİLİK VE GELENEKSEL İLETİŞİM KURAMI

Bir süredir optik lif aracılığı ile iletişim geçerli bir seçenek olarak iletişim mühendisliğinin gündemindedir. Ülke boyutlarında büyük kentleri bağlayan noktadan noktaya iletişim bağlantıları optik lifle yapılmakta, optik lif yerel iletişim ağları geliştirilip pazarlanmakta, hattâ ileride gerekli olacağı düşüncesiyle yerleşim birimlerinde evlere optik lif bağlantıları döşenmektedir. Bu gelişmenin iletişim mühendisliği açısından önemli sonuçları olacağı kuşkusuzdur. Bugünlerde bazı araştırmacılar bu konuda iddialı savlar öne sürmektedirler. Bu savları aşağıdaki altbaşlıklar altında toplayabiliriz.

- Bant-sınırli ve gürültü kısıtlı iletişimin önemi bitti.

Bilindiği gibi optik lif ortamında bantgenişliği çok büyük, gürültü ise gözardı edilebilecek kadar küçüktür. Sonuç olarak, optik lif ortam onlarca Terabit / saniye, yani onlarca 10¹² bit/saniye'lik bir kanal sığasına sahiptir.

Birçok kullanıcının bilgisayarlarıyla 9600 bit/saniye'lik hızla çalışan uç birimleri aracılığı ile iletişim kurdukları gözönüne alınırsa bir tek optik lifin 100 milyonu aşkın kullanıcıya aynı anda etkin bilgisayar bağlantısı sağlayabileceği ortaya çıkar. Yani, kabaca, Türkiye'de şu anda yaşayan herkes bir tek optik lifle bilgisayarlarıyla iki yönlü 9600 bit/saniye'lik bağlantı-

ya sahip olabilir, ve bu bağlantıyı herkes aynı anda kullanabilir; bir tek optik lif bu kadar sığaya sahiptir! Bu koşullarda, metalik bağlantılar üzerinden iletişimin, dolayısı ile de bant-sınırli ve gürültü kısıtlı iletişimin ne ölçüde önemsizleştiği açıktır.

- ISDN gereksiz, optik lif geliyor

Bilindiği gibi, ISDN, (Integrated Services Digital Network) ya da Tümleşik Hizmetler Sayısal Ağı, birçok kullanıcıya 144 kilobit/saniye, bazı kullanıcılara da 1.5 Migabit/saniye bit oranında sayısal tümleşik iletişim sağlamayı amaçlayan temel olarak devre anahtarlamalı bir iletişim ağıdır ve telefon şirketleri ya da PTT'ler tarafından şu andaki telefon hizmetinin yerine önerilmek üzere uluslararası bir standart haline getirilmiştir. Tümleşik iletişim ses, veri, ve görüntü hizmetlerinin ayrımsız olarak birarada verilebilmesi anlamına gelir; amaç üç ayrı iletişim ağı yerine tek bir ağ kurarak yatırımda ve işletmede tasarruf sağlamaktır. Ancak 1.5 Megabit/saniye hız bile doyurucu biçimde sürekli görüntü hizmeti vermeye yeterli değildir. Öte yandan, optik lifin yaygın biçimde dö-

şeniyor olması dolayısı ile ISDN'in başlamadan önce zaman; geçecek bir hizmet önerisi olduğu kuşkusuz iletişim mühendisliği çevrelerinde oldukça yaygındır.

- Veri sıkıştırması gereksiz, optik lif sonsuz sığa sağlıyor.

Bu, tartışmalı olmakla birlikte oldukça yaygın bir iddidir. Optik lif gerçekten de çok geniş bantgenişlikleri önermektedir. Veri sıkıştırması ise işlem karmaşası, bellek artımı ve gecikme pahasına elde edilebildiğine göre, gerekliliği tartışılır diye düşünülmektedir. Ancak, optik lif ortamında bile, kullanıcının kullandığı bantgenişliği kadar eder ödeyeceği beklenebilir. Bu durum veri sıkıştırması için ekonomik bir gerekçe oluşturmaktadır. Ayrıca, optik lifin önerdiği çok geniş sığanın bile çok hızla tüketilmesi azımsanmayacak bir olasılıktır. Özellikle görüntü hizmetlerinin çok yüksek bir hızla artması beklentisi bu olasılığı güçlendirmektedir. Örneğin, ülkemizde PTT'nin artık onlarca kanaldan kablolu televizyon hizmeti vermeye gönüllü olarak bu alanda büyük yatırımlara yönelmesi bu eğilimin bir göstergesidir.

- Büyük sorunlar fiziksel katmanda değil, üst katmanlarda.

Bilindiği gibi, veri iletişimde farklı işlevler vardır. Bir noktada üretilen bir mesajın ağ içinde hangi yolları izleyeceği, bu yollardan geçen güvenilir iletişim, iletim olmadığında yinelenmesi, ağ içindeki ara düğümlerin bellek denetimi, ağda sıkışmalarına engel olacak önlemlerin uygulanması gibi işlevler birbirinden ayrılmış ve ardeşik işlemler dizisi halinde standartlaştırılmıştır. Bu işlemleri denetleyen kurallar kümesine iletişim protokolleri, ardeşik işlemlerin herbirine de bir protokol katmanı adı verilir. Sayısal simgelerin elektrik veya optik enerji halinde bir noktadan diğerine iletilmesi en alta bulunan protokol katmanının görevidir. Bu katmana fiziksel katman adı verilir ve geleneksel iletişim kuramı bu katmandaki işlemlerin eniyileştirilmesini üstlenmiştir. Oysa, üst katmanlardaki yönetim sorunları o denli büyüktür ki, fiziksel katmandaki eniyileştirme genel dizge başarımını çok da etkilemeyecektir. O nedenle, iletişim mühendisleri,

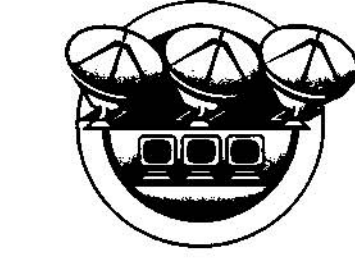
kendilerini son zamanlarda üst katmanlardaki yönetim sorunlarını da çözmeye yönelmek zorunda duymaktadırlar.

• Üst katman sorunları geleneksel iletişim kavramı ile çözülemez.

Üst katmanlardaki yönetim sorunları yöneylem araştırması gibi bilim dallarının çözümlenmeye çalışıldığı sorunlarla benzerlik gösterir. Bu sorunların çözümü çizge kuramı gibi, kuyruk kuramı gibi yöntemlerin uygulama alanıdır. Oysa geleneksel iletişim kuramı doğrusal dizgeler kuramı ve rastgele süreçlerin böyle dizgelerden geçişinin çözümlenmesi yöntemlerine dayanır. Yukarıda sayılan sorunlar ve çözümleri geleneksel iletişim kuramının ilgi alanının dışındadır, iletişim kuramı kaçınılmaz olarak bu konuları da içerecek biçimde genişleyecektir.

• Kuram önemini yitirdi, benzetim önemli olacak.

Yine çok iddialı olan bu sav, yukarıda sayılan yönetim sorunlarının çözümünde kullanılan, ardışık kuyrukların çözümlenmesi gibi sorunların çözümünde ancak çok fazla yaklaştırma yapılarak çözümlenmeli sonuçlar elde edilebildiği gözlemine dayanır. Bu kadar yaklaştırma ile elde edilen sonuçlara genellikle araştırmacının güveni kalmaz, ve çoklukla bilgisayar benzetimi yöntemleri ile bu sonuçların sağlanması gerekli olur. Bu eğilim,

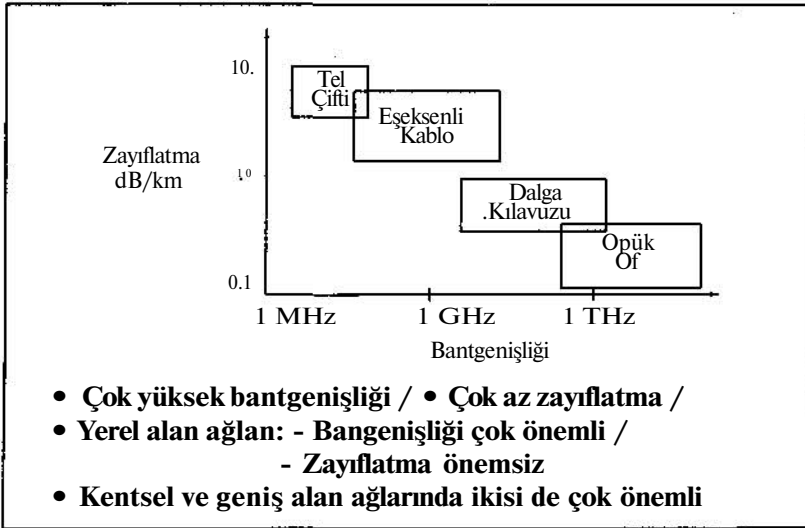


“Bir tek lif şimdide kadar üretilmiş tüm filmlerin veri sıkıştırması olmaksızın sayısal TV ile iletilmesine olanak verir. Hattâ, her filmi beş dakikada bir yeniden başlatarak iletmek de mümkündür. „

kuramın artık önemini yitirdiği inancının yaygınlaşmasına neden olmuştur.

• Donanım önemini yitirdi, yazılım önemli olacak

İletişim protokollerinin gerçekleştirilmesi programlanabilir yongalar aracılığı ile olur. Çok amaçlı bu yongaların üretimi, bir kez tasarlandıktan sonra, kolaydır. Oysa, bu yongaların programlanması, programların doğruluğunun denetlenmesi gerektiğinde bu programların değiştirilmesi, zordur. Bu nedenle yazılımın öneminin donanıma oranla arttığı inancı yaygınlaşmıştır.



Şekil 2: Neden Optik Lif?

OPTİK LİF İLETİŞİM AĞLARI

Şekil 2de de görüldüğü gibi, optik lifler çok yüksek bantgenişliği ve çok düşük zayıflamaya sahip oldukları için, diğer iletim ortamlarına oranla çok üstündürler. Bu özellikle, onların her tür iletişim ağında üstün sayılmalarına neden olur. Olağan olarak bir yapıyı, ya da bir yerleşkeyi kapsayan yerel alan ağlarında bantgenişliği, yüksek bit oranındaki verilerin iş istasyonları ile merkezî işlem birimleri arasında sık sık yerdeğiştirilmesi gereğinden dolayı, çok önemlidir. Küçük uzaklıklar dolayısı ile zayıflatma unsuru yerel alan ağlarında önemli değildir. Öte yandan, kentleri kapsayan kentsel alan ağlarında ve ülkeleri kapsayan geniş alan ağlarında, bu unsurların ikisi de çok önemlidir. Bu yüzden de optik lif her boyutta iletişim ağı için vazgeçilmez bir nitelik taşır⁴⁴.



Şekil 3: Optik Lif ile İletişim.

Optik lifin içerdiği geniş bantgenişliği ve düşük gürültü nedeni ile iletişim sığası inanılmaz boyutlardadır. Nice-lik olarak onlarca Terahertz'den söz edilmektedir. Bir Terahertz'in 1000 Gigahertz'e eşit olduğu, ve şimdi kullanılan tüm radyo frekans görüngeninin en fazla, olsa olsa 100 Gigahertz kadar olduğu düşünülürse, bu sığanın ne boyutta olduğu ortaya çıkar. Bu sığanın büyüklüğünü şu örnek de

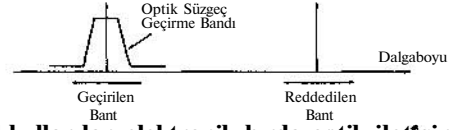
ortaya koyar: bir tek lif şimdiye kadar üretilmiş tüm filmlerin veri sıkıştırması olmaksızın sayısal TV ile iletilmesine olanak verir. Hattâ, her filmi beş dakikada bir yeniden başlatarak iletmek de mümkündür. Böylece, işiniz çıktığında izlediğiniz filmi bırakabilir, döndüğünüzde en çok son beş dakikayı yeniden izleyerek filmi izlemeyi sürdürebilirsiniz. Dünyada şimdiye dek üretilmiş tüm filmler için bir tek optik lifin bu olanağı vermesi baş döndürücüdür.

İletişim ağlarında yüksek hız gereksinmesi hızla artmaktadır. (Şekil 3). Yaklaşık on yıl içinde, hız gereksinmesi ve önerilen ürünlerin hızları yaklaşık 100 kat artmış, 1 Megabit/saniye'den 100 Megabit/saniye'ye ulaşmıştır. 1 Gigabit/saniye hızda çalışan öncü ürünler vardır.

Optik lif ile noktadan noktaya iletimde varolan tüm pratik sorunların çözülmesi düşünülmektedir. Bu konuda bit oranı çarpı uçaklık ile ölçülen başarımların ölçütü her geçen yıl daha da iyileştirilmekte, pratikte kullanılması ancak çok ilerlenebilecek düzeyler çok geride bırakılmaktadır. Öte yandan, optik lifler aracılığı ile iletişim ağları oluşturmakta aynı başarı gösterilememiştir.

Optik lif ile çok kullanıcı ve geniş alanları kapsayan iletişim ağları kurabilmeyi engelleyen iki temel sorun vardır: güç sorunu ve elektronik kısıt. Güç sorunu optik güç kaynaklarının güçsüzlüğünden ve bilgi sezmenin ancak ortamdaki enerjiyi almakla mümkün olmasından kaynaklanır. Bir ağ üzerindeki istasyonlar gönderilen veriyi sezmek için ortamdaki enerjiyi kullanarak ortamda güç kaybına neden olurlar. İstasyon sayısı arttıkça ardışık olarak eklenen bu güç kaybı, önemli boyutlara, istasyon sayısı ile üstel oranla, hızla ulaşır. Optik iletişim ağlarında, fiziksel boyutlarla ilgili pratik nedenlerle optik güç kaynakları olarak yarı iletken lazerler kullanılmaktadır. Bu lazerlerden elde edilebilecek optik güç sınırlıdır. Bu iki unsur nedeni ile optik ağlarda kullanıcı sayısı kısıtlı olmak zorundadır.

İkinci sorun elektronik kısıt olarak bilinir. İstenilen iletişim hızları Terabit/saniye düzeylerinde iken optoelektronik aygıtlar ancak Gigabit/saniye düzeyinde hızlarda çalışabilmektedirler. İletişimi Gigabit/Saniye düze-



- Her kanal kullanılan elektronik hızda optik iletişim hızı kullanır /
- Optik süzgeçler
 - Fabry-Perrot interferometresine dayanır /- Yüksek Q (finesse)
 - Merkez frekans elektronik olarak değiştirilir
- Tan iletken lazerler
 - Dağıtılmış geribesleme ya da dağıtılmış Bragg yansıtıcı /
 - Tek frekansta çalışır / - Frekans besleme akımı ile değişir /
 - Terel alan ağ deneylerinde kullanılmaya başlandı

Şekil 4: Güç Sorunu İçin Bir Çözüm Önerisi: Dalgaboyu Bölmeli Çoklama?

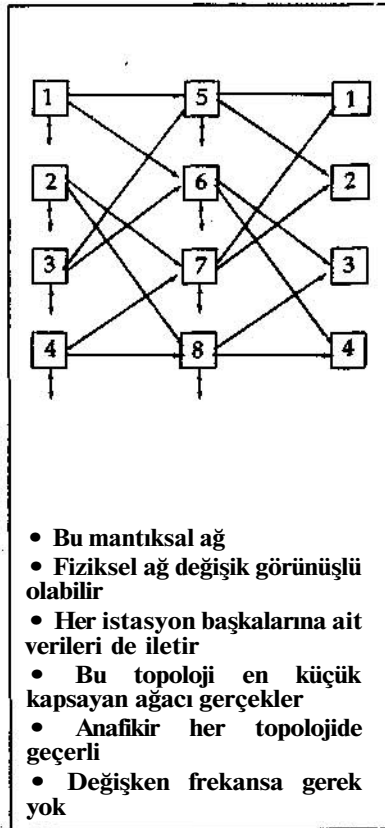
yinde hızlarla sınırlayan bu kısıt her istasyonun ağdan geçen tüm bilgileri işlediği halka biçimli ağlarla daha elverişli bir sorundur, çünkü böylece yalnız kullanıcı çiftlerinin değil, tüm ağdaki iletişimin de hızı sınırlanmış olur.

Güç sorunu için ortaya atılmış olan bir çözüm önerisi dalgaboyu bölmeli çoklama adını alır. Frekans bölmeli çoklama ile hemen hemen aynı kalı-

rama dayanan bu yöntemde her kullanıcı çiftine bir dalgaboyu karşılık gelir ve kaynağa üretilen bilgi bu dalgaboyu çevresine yüklenir. Alıcı bir optik süzgeç kullanarak kendisine yönlendirilmiş bilgiyi ayırır (Şekil 4). Herhangi bir kullanıcı çiftlerinin bu yöntemle haberleşmeleri için verici lazerlerinin ya da alıcı süzgeçlerinin merkez frekanslarının hızla değiştirilebilmeleri gerekir. Yaygın olarak kullanılan optik süzgeçler Fabry - Perrot Interferometrelerine dayanır.

Bu süzgeçlerle Yüksek seçicilik elde edilebilmekte, böylece çok sayıda istasyon çiftine iletişim olanağı sağlanabilmektedir. Süzgeçin merkez frekansı elektronik olarak değiştirilir. Yarı iletken lazerler dağıtılmış geribesleme ya da dağıtılmış Bragg yansıtıcısı ilkelerini kullanırlar. Besleme akımı ile değeri değişen tek bir frekansta çalışırlar. Bu lazerler günümüzde yerel alan ağ deneylerinde kullanılmaya başlanmıştır⁴⁴.

Güç sorunu için başka bir çözüm Şekil 5'te 8 düğümlük bir örneğinin mantıksal topolojisi gösterilen çok-sıçramalı ağıdır. Bu ağın özelliği her istasyonun başkalarına ait verileri de iletmesi, böylece verinin kaynaktan hedefe ara istasyonlar aracılığı ile iletilmesidir. Böylece değişken frekanslı lazerlere veya optik süzgeçlere gerek kalmaksızın iletişim sağlanabilir. Sıçramalar nedeni ile bir gecikme cezası ödenirse de noktadan noktaya iletimde sağlanabilen yüksek hızlar dolayısı ile bu ceza az düzeydedir. Buradaki anafikir herhangi bir düğümden diğer tüm düğümlere ulaşılabilen her topolojide geçerli olmakla birlikte, Şekil 5'deki topoloji en küçük kapsayan ağacı gerçeklediği için tercih edilir. Aynı çıkan hattı iki giren

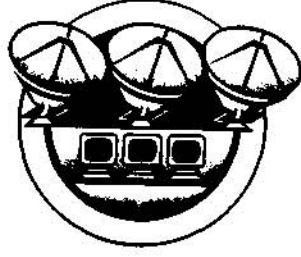


- Bu mantıksal ağ
- Fiziksel ağ değişik görünüşlü olabilir
- Her istasyon başkalarına ait verileri de iletir
- Bu topoloji en küçük kapsayan ağacı gerçekler
- Anafikir her topolojide geçerli
- Değişken frekansa gerek yok

Şekil 5: Güç Sorunu İçin Başka Bir Çözüm: Çok-sıçramalı Ağ?

hattın da istemesi nedeni ile ortaya çıkabilecek çelişme sorunu ya bellekler ya da eski bir yöntemin yeniden uygulaması olan yansıtma yönlendirmesi ile çözülür. Yansıtma yönlendirmesinde, giren hatlar içinde öncelik başka istasyonlardan gelen hatlara verilir. Yine de çelişme olduğu takdirde, giren hatlardan birisi istediği çıkan hatta, diğeri ise kalan çıkan hatta yönlendirilir. Topolojide her düğüm diğer tüm düğümlerle bağlantılı olduğu için veri en sonunda hedefine ulaşacaktır. Beklenti, kısa dönemde katlanılan bu yanlış yönlendirme dolayısı ile ödenecek cezanın az olmasıdır. Çoksıgramalı ağın en önemli özelliği aynı anda ağdaki tüm hatların kullanılabilmesi aracılığı ile yüksek verimlilik sağlanmasıdır⁴¹.

Optik lif iletişim ağlarında frekansı değiştirilebilir optik süzgeçler yerine kullanımı araştırılan bir yöntem de genel olarak bağdaşık yöntemler adı ile anılır. Sayısal iletişimde eşzamanlılıkla eşanlamı olan bağdaşık sözcüğü optik iletişimde süperheterodin ilkesini belirtmek için kullanılmaktadır. Burada, bir yarı iletken lazerden gelen bilgi yüklü işaret ile optik frekansta çalışan yerel optik üreticinin çıktısı bir dalga kırıncıda birleştirilir. Bir fotosezici diyot hem optik işareti elektrik işarete çevirir, hem de sahip olduğu doğrusal olmayan geçiş işlevi aracılığı ile modülasyon ürünleri oluşturur. Bunlardan bilgi işareti ile yerel işaretin frekanslarında tutulur



“Okyanusun altına inerek yineleyicilerin değiştirilmesi olanaksız olduğu için, her on senede bir yeni baştan optik lif döşenmesi gerekmektedir. Yineleyicilerin ortadan kaldırılmasını sağlayan solitonlar aracılığı ile, şimdi bu bağlantı yineleyicisiz olarak bir kez yapılacak.”

ve artık bilinen mikrodalga işaret işleme yöntemleri ile işlenerek bilgi çözülür. Burada frekans seçicilik için optik süzgeç frekansını değiştirmek yerine yerel üreticinin frekansı değiştirilmiştir. Hızla frekansı değiştirilebilen lazerler üretildikçe, bağdaşık yöntemlerin çekiciliğinin daha da artması beklenmektedir⁴¹.

FOTONİK TEKNOLOJİSİNDEKİ YENİLİKLERİN İLETİŞİME ETKİLERİ

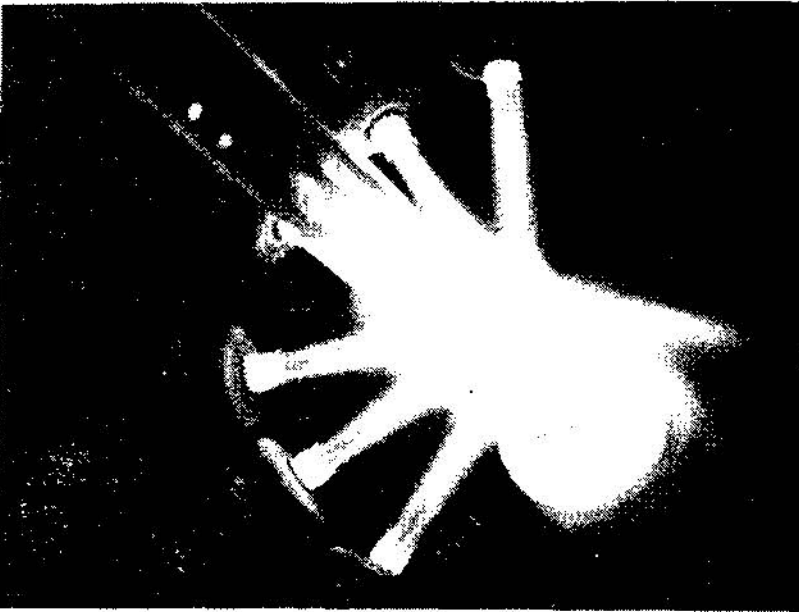
Fotonik sözcüğü foton enerjisinin etkin biçimde değiştirilmesi aracılığı ile işaret ve bilgi işlemeye verilen addır. Optik, edilginlik açısından elektrik sözcüğü ile karşılaştırılabilir, böylece fotonik de elektroniğe karşı gelir. Optik ve elektronik işlevlerin birlikte sürdürüldüğü teknolojiye optoelektronik denir. Bu teknoloji elektrik olarak etkin, optik olarak edilginidir. Son yıllar fotonik ve optoelektronik teknolojilerde büyük gelişmelere sahne oldu. Elektroniğe olduğu gibi, ilk gereksinimler ve dolayısı ile de ilk uygulamalar iletişim konusunda ortaya çıktı. Bunların bazılarını aşağıda belirteceğiz.

Fotonik devre elemanlarından sonra fotonik tümleşik devreler de yapılabilmeye başlandı. Bunlara ilk örnekler düşük kayıplı çok uçlu yıldız bağlayıcılarıdır. Bunların gerçekleştirdiği işlev girişlerindeki işaretleri toplayarak tüm çıkışlarına dağıtmaktır.

Yıldız bağlayıcılar dalgaboyu bölmeli çoklamaya dayanan iletişim ağları ve anahtarların temel yapıtaşlarını oluştururlar. Bunların tümleşik yöntemlerle elde edilmesindeki sorun çok sayıda giriş ve çıkış ucu içermelerinin sağlanması ve düşük kayıpla gerçekleştirilebilmeleridir. Bu amaçlar artık doyurucu biçimde yerine getirilebilmektedir.

Optik iletişimi kısıtlayan sorunların birisinin elektronik kısıt olduğundan daha önce sözetmiştik. Bu, özellikle çelişme sorununun çözümü için bellek kullanılması gerektiğinde belirleşir. Fotonik bellekler varolsa, bellek işlevi için elektroniğe çeviri gerekmeyecek, hız da kısıtlanmayacaktır. Şimdiye kadar hiç bulunmayan fotonik bellekler bir süredir üretilebilmektedir. Bu bellekler henüz ancak birkaç Megahertz düzeyindeki hızlarda çalıştırılabilmekte ise de teknolojinin varlığı ortaya çıkmıştır, hızların önümüzdeki yıllarda çok artması artık beklenebilir.

Fotonik belleklerin ilk uygulamalarından birisi bir fotonik sonlu durum makinasıdır. 1990 yılı baharında Alan Huang ve arkadaşları tarafından gösterilen bu aygıt 16'ya kadar sayan bir sayıcıdır. Henüz ancak birkaç megahertz düzeyinde hızlarda çalışabil-



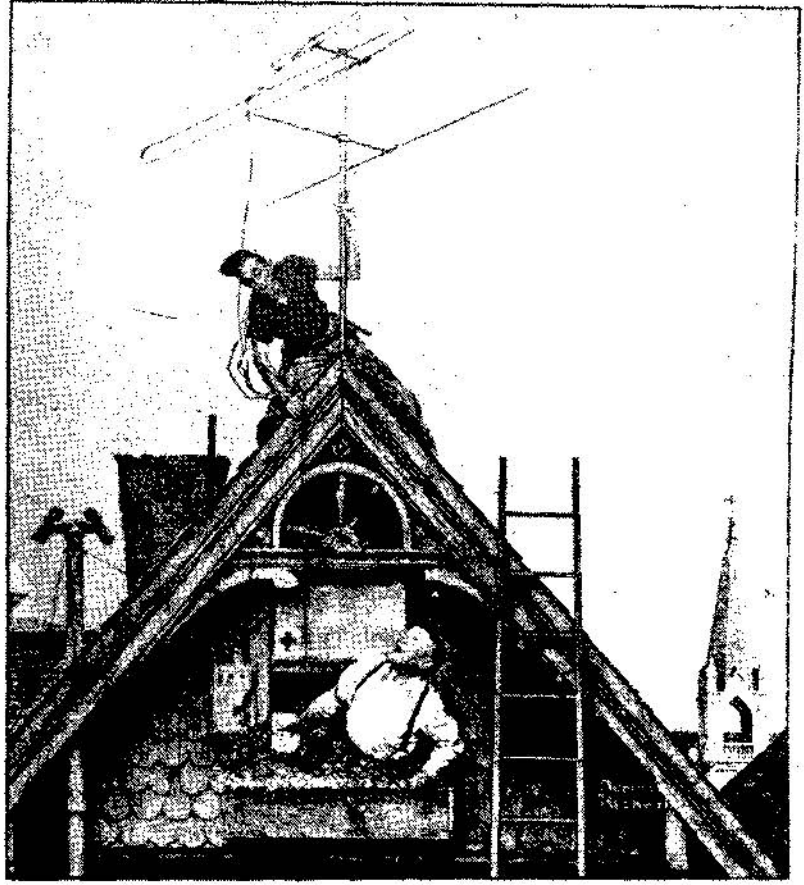
mekteyse de, fotonik bilgisayarların olabilirliğini kanıtlayan bu gösteri çok ün kazanmış, tüm dünyada geniş yankılar uyandırmıştır.

Fotonik teknolojinin en çarpıcı, en inanılmaz başarılarından birisi optik lifte dağıtılmış yükselteç işlevinin sağlanmasıdır. İletkenleri katkılayarak yarı iletken transistörler elde etmeye benzer bir biçimde, optik lifler katkılanarak ve lazerlerle fotonik beslenme sağlanarak optik lifin bir optik yükselteç gibi çalıştırılması sağlanmıştır. Böylece zayıflatma sorununun çözümü olanaklı olabilecek, istasyon sayıları ve istasyon ara uzaklıkları çok artabilecektir.

Optik iletişimde önemi çok artan bir konu da solitonlardır. Bilindiği gibi doğrusal dizgelerin özışlevleri sinüs biçimli işaretlerdir: Bir doğrusal dizgeye sinüs biçimli bir işaret verilirse, çıkışta genliği ve evresi değişmiş bir sinüs işareti elde edilir. Farklı frekans, genlik, ve evrede iki sinüs işaretinin toplamı bir doğrusal dizgeye verilirse çıkışta yine aynı frekansta iki sinüs işareti bulunur, genlikler ve evreler dizge özelliklerine göre değişir. Ancak, bir optik life iki sinüs biçimli optik işaretin toplamı verilirse, çıkışta ikiden çok sinüs biçimli işaret, birçok modülasyon ürünleri elde edilir. Bu, optik lifler üzerinden iletişimi kısıtlayan bir etmendir. Bu olayın nedeni ise, optik lifin doğrusal bir ortam olmaması, onu belirleyen türevsel denklemin doğrusal olmayan terimler içermesidir. Öte yandan bu türevsel denklemin özışlevleri belirlenmiştir. Soliton adı verilen bu özışlevler optik life verildiğinde birbirleri ile karışmadan, modülasyon ürünleri ortaya çıkarmadan, ortamdan geçebilmektedirler. Bunun önemi çok yüksek uzaklıkta yineleyicisiz iletişimi olanaklı kılmasıdır. Pratikteki ilk uygulamalardan birisinin ABD ile Japonya arasındaki iletişim bağlantısında olması beklenmektedir.

Binlerce kilometreyi kapsayan bu bağlantıda şimdiye dek yineleyicilerin kullanılması bir zorunluluktur. Yaklaşık her on senede bir teknolojinin değişimi ile yineleyicilerin de değişmesi gerekmektedir. Okyanusun altına inerek yineleyicilerin değiştirilmesi olanaksız olduğu için, her on senede bir yenî baştan optik lif döşenmesi gerekmektedir. Yineleyicilerin ortadan kaldırılmasını sağlayan

Norman Rockwell, 1949. "TV anteni dikme heyecanı"



solitonlar aracılığı ile, şimdi bu bağlantı yineleyicisiz olarak bir kez yapılacak, teknolojinin değişimine yalnızca iki uçtaki kutular değiştirilerek ayak uydurmak mümkün olabilecektir.

Dalgaboyu bölme çoklamalı iletişimi olanaklaştıran çalışma frekansı hızla değişebilir lazer ve süzgeç üretiminde de son yıllarda büyük ilerlemeler sağlanmış, güç sorununun çözümüne yönelik olarak optik yükselteç teknolojisi çok ilerlemiştir.

YENİ KULLANIM ALANLARI

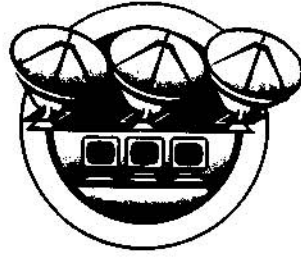
Çok yüksek hızlarda iletişime yönelik teknolojilerin geliştirilmesi sık sık gereklilik açısından sorgulanır. Gigabit/saniye ya da Terabit/saniye hızlarında iletişim için gereksinimi olan kullanıcıların var olmadığı söylenir. Oysa veri iletişimi için gerek duyulan hızlar giderek artmaktadır. Ülkelerarası uzaklıklarda bile yüksek hızda veri iletişimi gerekmektedir. Bunun bir örneği benzetim amacı ile süper bilgisayarların uzaktan etkileşimli kullanımında ortaya çıkar. Örneğin meteoroloji araştırmacıları kaotik türevsel

denklemlerin çözümünde bilgisayar benzetimi yöntemlerini kullanır, sık sık parametreleri değiştirerek sonuçları anında izlemek isterler. Yüksek çözünürlükte ekranlar gerektiren bu benzetimler, yüksek veri iletimi hızlarını da gerektirirler. Bir ülkede sınırlı sayıda olan süper bilgisayarları bir çok araştırmacının ekonomik olarak kullanabilmesi için, araştırmacıları süper bilgisayarların bulunduğu yerlere göndermek yerine, onların yüksek hızlı veri iletişim kanalları ile süper bilgisayarlara bağlamak tercih edilir. Böyle durumlarda Gigabit/saniye düzeyindeki hızlar kolaylıkla tüketilebilir.

Evdeki kullanıcıya da yeni hizmetler gündemdedir. Çok kanallı yüksek tanımlı TV (HDTV) gibi, bilgisayar aracılığı ile kütüphanelere erişim ve hızla sayfa tarama gibi hizmetler çok uzakta değildir. Bu hizmet için gereken veri iletişimi hızları da çok yüksek düzeydedir.

Öte yandan, yeni ve beklenmedik hizmetler de ortaya çıkabilir. Buna örnek olarak dünyada şimdiye dek geliştirilmiş iletişim ağları gösteril-

mektedir. Bugün dünyayı kapsayan Internet'in başlangıcı olan deneysel ağ Arpanet deney amaçları ile geliştirildiğinde amaç paket ses gibi, dağıtılmış hesaplama gibi uygulamalarla ilgili deney yapmaktır. Bu arada geliştirilen elektronik posta hizmetinin trafiğin önemli bir kısmını oluşturması beklenmiyordu. Ancak, Arpanet Internet'e dönüşürken trafiğin en büyük kısmının elektronik posta olduğu ölçüldü. Kimsenin kestiremediği, öngörmediği bir hizmet beklenmedik bir gereksinmeyi karşıladığı için çok kullanıcı bulmuş, en yaygın hizmet haline gelmişti. Benzer bir durum Usenet'te sözkonusu oldu. Unix işletim dizgesi kullanan bilgisayarların ekonomik olarak birbirine bağlanması için oluşturulan Usenet, geliştirilen bir programın çok yaygın kullanım bulması üzerine, kaynakların en çoğunu yüzlerce özel ilgi grubunun tüm dünyayı kapsayan haberleşme amaçlarını karşılayan bir elektronik haber panosuna ayırır oldu. Bu hizmetin de gelişip yaygınlaşması hiç beklenmiyordu. Düşünülmektedir ki sözü edilen boyutlarda sığa insanların hizmetine sunulduğunda beklenmedik hizmetler ortaya çıkabilir, öngörülmedik gereksinmelere yanıt verilebilir.



" 1990 baharında ABD'de eyaletlerarası telefon iletişim hizmeti veren şirketlerden birinin bir tatil günü devreye soktuğu sinyallere yazılımındaki hata yüzünden tüm ulusal iletişim ağı felce uğradı. „

İLETİŞİM YAZILIMI

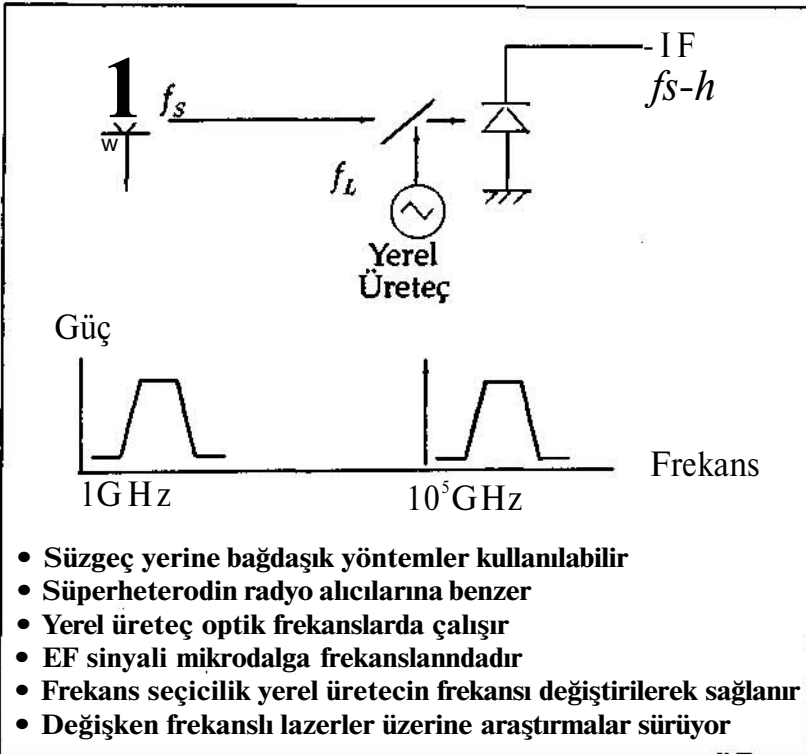
İletişim protokollerinden daha önce söz etmiştik. Yüksek hızlı veri iletişimi ortaya çıkan gereksinimler iletişim protokollerinde değişiklikler gerektirmektedir. Geleneksel iletişim protokolleri yanlışlık olasılığının çok olduğu ve paket boylarının iletim gecikmesine oranla büyük olduğu or-

amlar için yazılmıştır. Bu durumda paketler başarılı olarak hedefe ulaşmazlarsa iletimleri yinelenir. Bu amaçla her protokol katmanında yeni baştan yanlışlık denetimi yapılır. Optik ortam, geleneksel metalik ortamdaki çok düşük yanlışlık olasılığı ve gecikmeye oranla küçük paket boyutları ile ayrılır. Bu durumda paket yinelenmeli protokollerin başarımı düşürür. Optik ortamda yanlış olasılığının çok düşük olması nedeni ile her katmanda yeni baştan yanlışlık denetimi gereksizleşir, protokollerin başarıya yönelik olarak tasarlanması gereği ortaya çıkar.

Benzer biçimde, birtakım iletişim işlevlerinin ağ içinde her istasyon arasında yapılmasının gerekliliği sorgulanır olmuştur. Yanlışlık denetimi bu işlevlerden biridir. Bir başkası, akış denetimidir. Bu işlevlerin kaynak ve hedef uçlarında gerçekleşmelerinin yeterli olduğu iddiası yaygınlaşmaktadır. Nasıl gerçekleşeceği tartışmalı olan bir iletişim işlevi de sıkışıklık denetimidir. Yüksek hızlar ağ içinde çok kısa süreli çok yoğun yerel sıkışıklık olasılığını geçerli kılmıştır. Bu durumun sezilmesi ve önlenmesi için etkin yöntemlerin uygulanması iletişim ağı mühendisliğindeki güncel sorunların en önemlilerinden bir tanesidir.

Bilgisayarlarla geleneksel olarak iletişim işlevi merkezî işlem biriminde gerçekleşir. Merkezî işlem birimi birçok diğer işlevi yanında, çeşitli iletişim protokollerini gerçeklemeye de çalışır. Bu, hem işlemciyi hem de iletişim protokolünün gerçekleşmesini yavaşlatır. Yaygınlaşan bir öneri, iletişim işlevlerinin bilgisayarlarda özel işlemcilerle gerçekleşmesidir. Bunu izleyen öneriler de vardır: protokol işlemede paralellik kullanılması, değişik katmanlarda yinelenen işlevlerin (örneğin yanlışlık denetiminin) birleştirilmesi, katman sayısının azaltılması gibi. Gerçekten de Uluslararası Standartlar Örgütü'nün önerdiği yedi iletişim protokolü katmanının herhangi bir eniyileştirmeye dayanmadığı bilinir. Katman sayısı azaltılarak gereksiz olarak yinelenen işlevlerin yinelenmesi önlenebilir ve başarıya yönelik protokoller tasarlanarak hız artımı sağlanabilir.

İletişim yazılımı çağdaş iletişim teknolojisinde en önemli kesimlerden birini oluşturmaktadır. Örneğin, kullanıcılar ya da telefon şirketleri için pa-



- Süzgeç yerine bağdaşık yöntemler kullanılabilir
- Süperheterodin radyo alıcılarına benzer
- Yerel üreteç optik frekanslarda çalışır
- EF sinyali mikrodalga frekanslarındadır
- Frekans seçicilik yerel üreticinin frekansı değiştirilerek sağlanır
- Değişken frekanslı lazerler üzerine araştırmalar sürüyor

Şekil 6: Bağdaşık Yöntemler

zarlanan anahtarlarda toplam yatırımın ancak % 10 - 20'si donanımına harcanır, kalan harcama yazılıma gider. Büyük anahtarlar onbinlerce satır program içerirler. İletişim protokollerinin gerçekleştirilmesinde de sözettiğimiz gibi, bu programın yazılması, doğruluğunun denenmesi, gerektiğinde değiştirilmesi çok büyük sorundur. Özellikle yeni işlevler eklemek, ya da değişen standartlara ayak uydurmak için değişiklik yapılması gerektiğinde bu değişiklikleri gerçekleştirmek büyük güçlükler sunar. Bu konu aslında yalnızca iletişim yazılımının değil, yazılım mühendisliğinin temel bir sorundur. Arzu edilen, yeniden kullanılabilir yazılım üretebilmektir. Bu yazılım kolayca anlaşılabilir, farklı amaçlara kolaylıkla hizmet edebilmeli, kolaylıkla değiştirilip, kolaylıkla doğruluğu denenebilmelidir. Bu, yazılım mühendisliğinde bir disiplin ve ona bağlı olarak özel nitelikli programlama dilleri gelişmesine neden olmuştur. Bilgisayar programlamanın ilk günlerinde programlarda yanlış bulmanın güçlüğüne karşı geliştirilen yapısal programlama disiplini, ve ona bağlı olarak geliştirilen Algol ve Pascal gibi yapısal dillere benzer olarak, yeniden kullanılabilir yazılım için nesneye yönelik programlama disiplini, ve C ++ gibi nesneye yönelik programlama dilleri geliştirilmiştir.

İletişimde gittikçe önemi artan bir konu da güvenilirlik sorundur. Bir iletişim ağının gerekli güvenilirlik önlemleri alınmaksızın kurulması ölümcül sonuçlara yolaçabilir. Hızlı iletişimin gelişmesi ile iletişim ağlarında bir

hattın taşıdığı kullanıcı sayısı artarken, iletişim ağının topolojisi de az sayıda bağlantı içerecek biçimde değişmekte, bu da ıkı nokta arasında değişik /ol seçeneklerinin azalmasına neden olmaktadır. Sonuçta, hem santrallerde hem de hatlarda etkinliğin kesilmesinin sonuçları gerçekten ölümcül olabilmektedir. Santral güvenilirliliğinin önemine örnek olarak ABD'de Şikago yakınlarında bulunan Hisdale Santralindeki 1988 bahar yangınına örnek verebiliriz, bu yangın Şikago'yu bir ayı aşkın bir süre dünyadan kopardı, yöredeki iletişimin değişik bir santrale aktarılması, böyle bir felâket öngörülmediği için, mümkün olmadı. Sonuçların ticaret açısından, ulusal güvenlik açısından, ivedi yaşamsal nedenlerle çok önemli olabileceğini kestirmek çok zor değildir. Sık sık ortaya çıkan bir başka sorun, yol yapımında çalışan buldozerlerin genellikle de yol kenarlarına döşenmiş olan iletişim hatlarını koparmasıdır. Bu durumda onbinlerce kullanıcının iletişimi aksayabilmekte, onarın> saatler ya da günler alabilmektedir. İletişim ağlarında bu soruna karşı tasarım sırasında önlemler alınmasının gerekliliği artık yaygın biçimde kabul edilmekte, çeşitli çözüm önerileri ortaya atılmaktadır.

İletişim güvenilirliliğindeki en önde gelen sorunların biri de yazılım güvenilirliliğidir. Topluca denenmesi olanaksız olan yazılım, beklenmedik yanlışlar ortaya koyabilmektedir.

Buna örnek olarak 1990 baharında ABD'de eyaletlerarası telefon iletişimi hizmeti veren şirketlerden birinin bir tatil günü devreye soktuğu sinyalleme

yazılımındaki hata yüzünden tüm ulusal iletişim ağının felce uğramasını gösterebiliriz. Yazılım devreye sokulmazdan önce kezlerce denenmiş olmakla birlikte, denemelerde görülen hatalı bir sonlu durumun öncül olması ile beklenen işlev yerine getirilmemekle kalmamış, tüm iletişim yazılımı yanlış davranmış ve ABD'deki ulusal iletişimin büyük çoğunluğunu taşıyan bu ağ büyük ölçüde işlev dışı kalmıştır. Tatil günü felâketin boyutlarının küçülmesini sağlamışsa da, sonuç yazılım mühendisliğinin temel inançlarından birinin bir kez daha ortaya konmasını sağlamıştır: "hatasız yazılım olmaz, hatası bulunmamış yazılım olur."

SONUÇ:

Bu yazıda iletişim kuramı ve teknolojisinde optik lifin yaygınlaşan üretim ortamı haline dönüşmesi, tümleşik hizmetlerin önerilmeye başlanması, ve kullanıcı sayısının çok artması dolayısıyla beklenen bazı gelişmelere değindik. Bu yazıda değinemediğimiz diğer bazı önemli konular da şunlardır: genişbantlı tümleşik hizmetler sayısal ağı ve bu ağ için kullanılacak olan iletim yöntemi olan ATM teknolojisi, telsiz tüketici telefonları ile hücresel telefonların sayısal teknoloji ile birleşmesi ve telsiz bilişim ağlarının gelişmesi, yaygın görüngen yöntemlerinin bu amaçla ilk kez sivil kesimde de kullanılmaya başlanması, görüntüsel hizmetlerin yaygınlaşması, ve konuşma tanıma yöntemlerinin gelişmesi. Bu konuların bazılarında bu ve önümüzdeki sayılardaki diğer yazılarda değinilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] R.W. Lucky, "Automatic equalization for digital communication" Bell System Technical Journal s. 547 - 588, April 1965.
- [2] 8 Widrow, M.E. Hoff, "Adaptive Switching circuits", IRE Wescon Convention Record s. 96 - 104, August 1960.
- [3] G. Ungerboeck. "Channel coding with multilevel phase signals" (IEEE) Transactions on Information Theory s. 55-67, January 1982.
- [4] P.S. Henry, "High - capacity light-wave local - area networks" IEEE Communications Magazine, s. 20-26, October 1989.

