

GİGABİT HIZLARDA VERİ HABERLEŞMESİNİ DESTEKLEYECEK ETHERNET AĞLARININ MİMARİ YAPISI VE OLASI UYGULAMALARI

Sait Eser KARLIK
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
16059, Görükle/Bursa
E-mail: ekarlik@uludag.edu.tr

Güneş YILMAZ
Türk Pirelli Kablo ve Sistemleri A.Ş.
Ar-Ge Bölümü
16941, Mudanya/BURSA
E-mail: gunes.yilmaz@tr.pirelli.com

ÖZET

Bugün, dünya üzerinde kurulu tüm yerel alan ağı (LAN) uygulamalarının %85'inden fazlasını Ethernet teknolojisi oluşturmaktadır. IEEE tarafından 1995 yılında kabul edilen Fast Ethernet (100Base-T). Ethernet standardının iletim hızını 10 Mb/s'tan 100 Mb/s'a çıkarmasının yanı sıra çift yönlü iletim ve otogörüşme gibi yeni özellikleri gündeme getirmiştir. Fast Ethernet'in ortaya çıkmasının ardından, Intranet tabanlı işletimlerin masafistü işlem gücünü dramatik biçimde arttırması ve özellikle ağı bağlı kullanıcıların gecikmelere karşı son derece duyarlı uygulamalarla ilgili talepleri, gigabit bandgenişliğine sahip üçüncü nesil Ethernet LAN (Gigabit Ethernet) çalışmalarının yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Bu çalışmada amacımız, Gigabit Ethernet'in özelliklerini yorumlamak, asenkron transfer modu (ATM) teknolojisine göre avantajlı ve dezavantajlı yönlerini belirleyip uygulama örnekleri sunmaktır. Bu amaçla, Gigabit Ethernet'e duyulan ihtiyacın nedenleri ve standardın gelişim süreci özetlenmiş, Gigabit Ethernet mimarisi ve katmanları incelenmiş, performansı hakkında bilgi verilmiş, ATM ile Gigabit Ethernet teknolojileri karşılaştırılmış, olası Gigabit Ethernet uygulamalarıyla ilgili örnekler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: LAN, Gigabit Haberleşme, Ethernet

1. GİRİŞ

Modern kuruluşlar, karmaşık ve kritik öneme sahip çeşitli masafistü uygulamalarına bağlantı sağlamada yerel alan ağlarından (LAN) yararlanmaktadır. Mevcut LAN teknolojileri arasında Fast Ethernet (100Base-T) en çok tercih edilen seçenektir. Geniş kabul görmüş 10Base-T Ethernet standardı üzerine kurulan Fast Ethernet teknolojisi iletim bandgenişliğini 10 kat arttırmıştır. Ancak sunucularda ve masafistü bilgisayarlarda 100 Base-T bağlanmasının çoğalmasıyla, omurga ve sunucu seviyelerinde daha da yüksek hızlı bir ağ teknolojisine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Diğer taraftan, optik fiberler yardımıyla uzun mesafelerde gigabit mertebesindeki iletim hızlarının çok düşük hata oranlarıyla sağlanması, araştırmacılara gigabit ağların

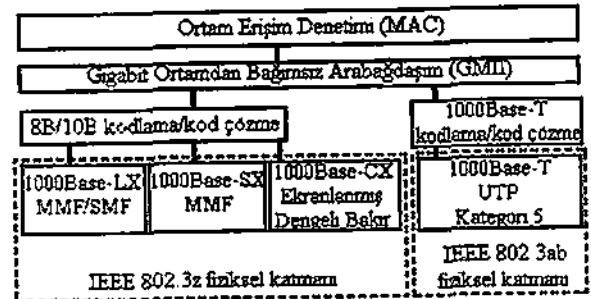
tasarımının teknolojik açıdan mümkün olduğunu göstermiştir.

Tüm bu gelişmeler ve aylarca süren uygulanabilirlik çalışmalarından sonra Temmuz 1996'da IEEE 802.3 çalışma grubu bünyesinde IEEE 802.3z altgrubu kurulmuştur. Bu grubun amacı bir Gigabit Ethernet standardı taslağı üzerindeki son teknik çalışmaların ardından Gigabit Ethernet Standardı 1998'de kabul edilmiştir [1].

Gigabit Ethernet, daha yüksek performans seviyelerine kolay ve doğrudan geçiş sağlaması, yeni uygulamaları ve veri tiplerini destekleme yeteneği, düşük maliyeti ve ağ tasarım esnekliği açısından yüksek hızlı ağ seçimindeki anahtar özelliklere sahip bir teknolojidir.

2. GİGABİT ETHERNET MİMARİSİ, KATMANLARI VE PERFORMANSI

Gigabit Ethernet, IEEE 802.3 ailesinin temel çerçeve formatını kullanır. Tam çift yönlü iletişim için, IEEE 802.3x şartnamelerindeki tanımlamalara uyar. Aşırı yüklenmeleri önlemek için Ethernet'in standard akış kontrol metodlarına sahiptir. Yarı çift yönlü modda çalışırken aynı temel CSMA/CD erişim metodunu kullanır. Bu özellikler, Gigabit Ethernet'in 10Base-T ve 100Base-T teknolojileriyle uyumlu çalışmasına, yani ağın kademelendirilebilmesine imkan tanır [1,2].



Şekil 1. Gigabit Ethernet Katmanları

Gigabit Ethernet standardının katmanlı yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.

2.1. FİZİKSEL KATMAN

Gigabit Ethernet fiziksel katmanı, Ethernet ve Fiber Kanal teknolojilerini kullanır. Dört fiziksel ortam tipi mevcuttur. 1000Base-X ailesini IEEE 802.3z grubu, 1000Base-T'yi ise IEEE 802.3ab grubu standard hale getirmiştir.

2.1.1. 1000BASE-X

1000Base-X standardı, Fiber Kanal fiziksel katmanını temel alır. İstasyonlarını, süper bilgisayarları ve çevre birimleri birbirine bağlayan Fiber Kanal dört katmanlı bir yapıya sahiptir. FC-0 (arabağdaşım ve ortam) ve FC-1 (kodlama/kod çözme) katmanları Gigabit Ethernet tarafından kullanılmaktadır. Bu durum, Gigabit Ethernet standardının gelişim sürecini kısaltmıştır. 1000Base-X standardında üç ortam tipi mevcuttur. 1000Base-SX, çok modlu fiber (MMF) kullanımına dayanır. 850nm lazerlerle, 50 µm MMF'de 550 metre, 62.5 µm MMF'de 300 metre uzaklığa erişilebilir. 1000Base-LX, 1300 nm dalga boylu lazerlerin yanı sıra MMF ve tek modlu fiber (SMF) kullanır. 50 µm ve 62.5 µm MMF kablolarla 550 metreye, 9 µm SMF kablolarla 5000 metreye veri iletilir. 1000Base-LX ile bina ve kampus omurga ağlarının kurulumu, 1000Base-SX ile yatay kablolama ve omurgaya bağlanım amaçlanmıştır. Her iki standard da 8B/10B kodlama tekniğini kullanır. 1000Base-CX, 150 Ω ekranlanmış dengeli bakır kablo kullanır. Maksimum 25 metre uzaklığındaki bağlantılar için çabuk ve ucuz bir gerçeklemedir. Tablo 1'de 1000Base-X standardında kullanılan kablo tipleri ve erişilen uzaklıklar gösterilmiştir [1,2].

Tablo 1. 1000Base-X'te Kullanılan Kablo Tipleri ve Uzaklıklar

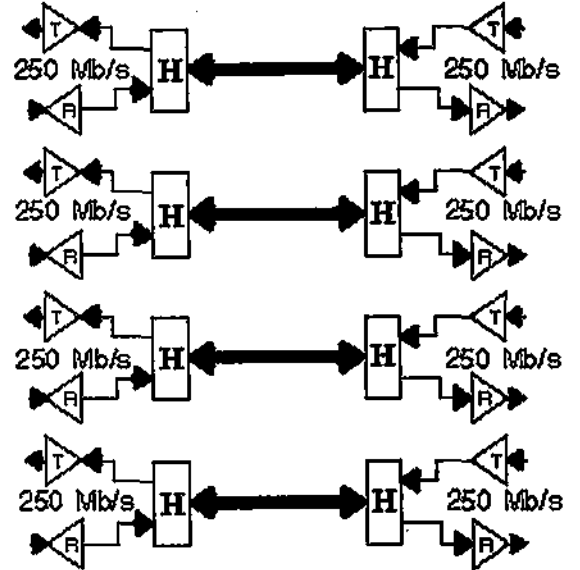
Kablo Tipi	Kablo Çapı	Lazer Dalgaboyu	Standart	Uzaklık
MMF	50 µm	850 nm	SX	550 m
MMF	62.5 µm	850 nm	SX	300 m
SMF	9 µm	1300 nm	LX	5000 m
MMF	50 µm	1300 nm	LX	550 m
MMF	62.5 µm	1300 nm	LX	550 m
Bakır			CX	25 m

2.1.2. 1000Base-T

Bakır UTP kablolar, dünya çapındaki mevcut kablo kurulumunun en büyük kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca, yüksek hızlı LAN'larda en çok kullanılan fiziksel ortam da Kategori 5 UTP kablodur. Hem bu durum, hem de bakır kabloların fiber optiklerden daha ucuz olması 1000Base-T standardının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu standard dört çift Kategori 5 UTP kablo üzerinden 100 metre mesafeye 1000 Mb/s veri iletimini gerçekleştirebilmektedir.

1000BASE-T için tam çift yönlü iletim taslağı hazırlanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi dört çift kablo üzerinden çift yönlü 1000 Mb/s'lık iletim.

her çift üzerinden 250 Mb/s veri akışı ile sağlanmıştır. Çift yönlü iletim sistemi, her iki uç noktasından işaretleri alıp gönderebilmek için ikiye alıcı ve ikiye verici gerektirmektedir. 1000Base-T alıcı-vericilerinde ekoları bastırmak için denkleştiriciler bulunur.

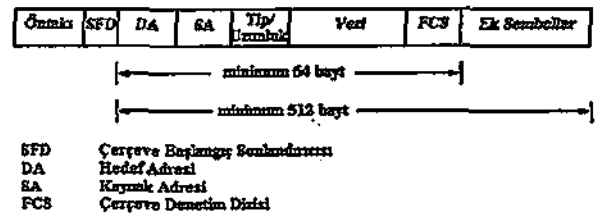


Şekil 2. Dört Kablo Çifti Üzerinden 1000 Mb/s Çift Yönlü Veri İletimi

1000Base-T'de beş seviyeli darbe genlik modülasyonu kullanılmaktadır. Gönderilen semboller, dizi karıştırma yöntemi kullanılarak randomize edilirler [3].

2.2. MAC KATMANI

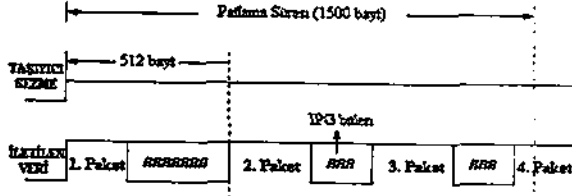
Gigabit Ethernet Ortam Erişim Denetimi (MAC) katmanı, yarı çift yönlü modda çalışırken Ethernet'in temel CSMA/CD protokolünün geliştirilmiş şeklini kullanır. Böylece, verici istasyon bir çarpışma algılamadan önce minimum boyutlu Ethernet paketlerinin iletimi tamamlaması olasılığı önlenmiş olur. Geliştirilmiş metotta, paket uzunluğu 64 bayttan 512 bayta çıkarılmıştır. 512 bayttan daha küçük paketlere taşıyıcı ekleme (carrier extension) işlemi uygulanır. İlave semboller, alıcıda hata kontrolü yapılmadan önce silinir. Şekil 3'te taşıyıcı eklenmiş Ethernet çerçevesi verilmiştir.



Şekil 3. Taşıyıcı Eklenmiş Ethernet Çerçevesi

Taşıyıcı ekleme işlemi, çok sayıda küçük paketin iletilmesi sırasında performansı önemli ölçüde düşürür. Bu durumu önlemek için, CSMA/CD algoritmasına paket patlaması (packet bursting) kavramı eklenmiştir. Paket patlamasında, ilk paket

gerekliyorsa taşıyıcı eklemesi yapılarak iletildikten sonra, diğer paketler birbirlerinin ardından paketler arası boşluk (IPG) minimum olacak şekilde 1500 baytlık patlama süresi sona erene kadar gönderilirler. Böylece mevcut bandgenişliğinin etkin biçimde kullanılması sağlandığından performans önemli ölçüde artar. Paket patlaması kavramı, Şekil 4'te gösterilmiştir [2].



Şekil 4. Paket Patlaması

2.3. GİGABİT ORTAMDAN BAĞIMSIZ ARABAĞDAŞIM (GMII)

MAC katmanı ile fiziksel katman arasında yer alan GMII, farklı fiziksel ortamların aynı MAC denetleyicisiyle beraber kullanılmasına imkan tanır. Fast Ethernet'teki MII'nın geliştirilmiş bir versiyonu olup 10, 100 ve 1000Mb/s veri hızlarını destekler. İletilen ve alınan veriler için 8 bitlik farklı veri yolları önerdiğinden yarı çift yönlü işletimin yanısıra tam çift yönlü işletimi de destekler. Taşıyıcının ve çarpışmanın olup olmadığını belirten ortam statü işaretlerini temin eder [2].

GMII, üç altkatmana ayrılır:

PCS- Fiziksel Kodlama Altkatmanı Fiber Kanal'ın 8B/10B kodlama tekniğini kullanır. Bu kodlama tekniğinde, 8 bitlik sembol grupları 10 bitlik kod gruplarıyla temsil edilirler. 10 bitlik kod grupları veri sembollerinin yanısıra bazı kontrol sembolleri için de kullanılır. Taşıyıcı sezme ve çarpışma algılama işaretleri bu altkatman tarafından üretilir. Ağ hızını (10, 100 veya 1000 Mb/s) ve çalışma modunu (yarı çift yönlü ya da tam çift yönlü) belirlemek için, ağ arabadaşım kartlarının (NICs) ağ ile haberleştiği otogörüşme işlemini de PCS yönetir [2].

PMA- Fiziksel Ortam Bağlılığı. kod gruplarını iletim ortamına uygun işaretlere dönüştürürken ortamdan alınan bitleri de kod gruplarına çevirir [2].

PMD- Fiziksel Ortama Bağlı Altkatman. farklı ortam çeşitleri için kullanılan fiziksel katman işaretlenmesini tanımlar. PMD'nin bir parçası olan Ortama Bağlı Arabadaşım (MDI), gerçek fiziksel katman arabadaşımıdır. Bu katman, fiziksel bağlantı elemanlarını da tanımlar [2].

2.4. PERFORMANS

Değişik paket uzunluklarında, çok port'lu bir Gigabit Ethernet anahtarın tek port performansı ile ilgili sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Paket uzunluğuna bağlı olarak çıkış verimi (throughput).

81274 paket/saniye ile 1488000 paket/saniye arasında değişmektedir.

Sonuçlar. %100 verimin pratik olarak sağlandığını göstermektedir. Örneğin, 64 bayt uzunluğundaki paketlerde çıkış verimi, 1488000 paketin üzerindedir. Çerçeveler arası boşluğun 12 bayt ve öntakımın (preamble) 8 bayt olduğu hesaba katılırsa;

$$1488095 \text{ pps} \times (64 + 12 + 8 \text{ bayt}) \times 8 \text{ bit} \approx 1 \times 10^9 \text{ bps}$$

Gigabit Ethernet bağlantısının 1Gb/s'lık hıza eriştiği görülmüştür. Benzer bir hesaplamayla, 1518 baytlık maksimum uzunluğa sahip paketlerle verimin %99'un üzerinde olduğu görülmüştür [1].

Tablo 2. Gigabit Ethernet Performansı

Paket Uzunluğu (bayt)	Çıkış Verimi		Verim (%)
	(pps)	(000 bps)	
64	1488095	1000000	100
128	844594	999999	100
256	452898	999999	100
512	234962	999998	100
768	158629	999997	100
1024	119731	999993	100
1280	96153	999991	100
1518	81274	999995	100

3. GİGABİT ETHERNET'İN ATM İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Asenkron Transfer Modu (ATM), ağ üzerinden küçük, sabit uzunluklu hücreler kullanarak ses, görüntü, çoğulortam ve veri haberleşmesi gibi çeşitli uygulamalara yüksek hızlı iletim imkanı tanımaktadır. ATM, başlangıçta Fast Ethernet bandgenişliğinin 1.5 katı olan 155 Mb/s'lık bir bandgenişliğine sahipti. Bugün, 622 Mb/s (OC-1) hızlı uygulamalar da mevcuttur. LAN'ların yanısıra WAN'larda da ATM'e yönelik talep devam etmektedir [4].

Gigabit Ethernet ürünlerinin ortaya çıkması iki teknoloji arasında rekabetin doğmasına neden olacaktır. Şu anda, kurulu işletasyonlarının ve kişisel bilgisayarların büyük çoğunluğunun bu yüksek hızlı ağları doğrudan kullanabilecek kapasiteye sahip olmaması, rekabetin omurga ağında, anahtarlarla sunucular arasındaki ağ bağlantılarında yaşanacağını göstermektedir.

ATM taraftarları, LAN Benzetimi (LANE) ve IPOA yoluyla Ethernet ağlarının benzetimi için çalışırken Ethernet/IP taraftarları RSVP ile ATM işlevselliği sağlamaya çalışmaktadır. Dolayısıyla, bu iki teknoloji birbirine yakınlaşmaya başlamıştır.

Geçmişte, görüntü iletiminin çoğul ortam için özel olarak tasarlanmış değişik bir ağ teknolojisi gerektireceği düşünülüyordu. Ancak bugün Gigabit Ethernet üzerinden görüntü ve çoğulortam trafiğinin iletimi bazı gelişmeler sayesinde mümkün hale gelmiştir. Bu gelişmeler;

- Fast Ethernet ve Gigabit Ethernet'in sağladığı bandgenişliği artışı
- RSVP gibi bandgenişliği tahsisine imkan tanıyan yeni protokollerin geliştirilmesi
- 802.1Q ve 802.1p gibi sanal LAN (VLAN) kurulumu ve ağdaki paketlere öncelik bilgisi sağlayan yeni standartların ortaya çıkması
- MPEG-2 gibi geliştirilmiş görüntü sıkıştırma tekniklerinin yaygın kullanımıdır [1].

Bu gelişmelere rağmen, görüntü ve çoğulortam uygulamaları için ATM daha uygundur: çünkü ATM'in hizmet kalitesi (QoS) ve sabit bit hızı (CBR) gibi servisleri bu tip uygulamalar için daha iyidir. RSVP'nin ise bazı sınırlamaları mevcuttur. Ayrıca ATM'de dağıtımdaki maksimum gecikme gibi QoS parametrelerinin belirlenmesi mümkündür [1,5].

Gigabit Ethernet'in en büyük avantajı mevcut ağların Gigabit Ethernet'e terfisinin sancısız olmasıdır; çünkü Ethernet'te çalışan tüm uygulamalar Gigabit Ethernet'te de çalışacaktır. Ancak ATM'de durum böyle değildir. Mevcut uygulamaların ATM'de koşturulması uygulama katmanını ile ATM katmanını arasında bir miktar çevrim gerektirmektedir. Ağ yapısı ve elemanların değişiminin getireceği mali yük de göz ardı edilmemelidir [5, 6].

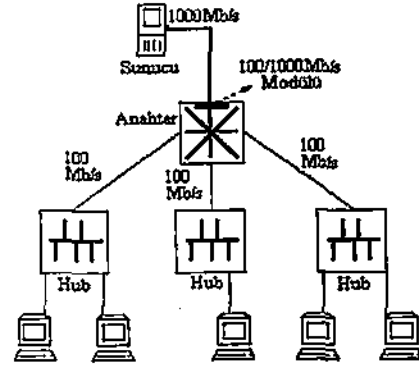
Yeni ağ kurulumunda da, Ethernet'in daha basit yapısı ve talebin daha fazla olması nedeniyle anahtarlama Gigabit Ethernet bağlantılarının 622Mb/s ATM arabadaşımından daha ucuz olması beklenebilir. Gigabit Ethernet tekrarlayıcı arabadaşımlarının maliyeti de 622 Mb/s ATM bağlantılarından belirgin biçimde daha düşük olacaktır [1].

Uzun vadeli çözüm olarak en uygunu ATM ile Gigabit Ethernet'in beraber kullanılmasıdır. Böyle bir ortak çalışma hem kullanıcıyı seçeneklerden biri üzerinde karar verme zorunluluğundan kurtaracak hem de her iki teknolojinin avantajlarını bir bütün halinde sunan yerel alan ağı oluşturacaktır. Gigabit Ethernet ile daha yüksek bit hızına ulaşılırken, ATM ile video konferans ve çoklu ortam erişimi gibi gerçek zamanlı asenkron uygulamalar gerçekleştirilecektir [5,7].

4. UYGULAMALAR

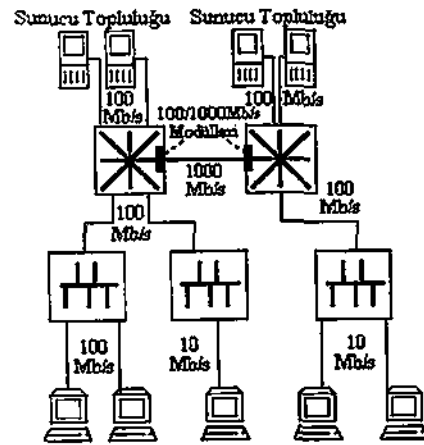
Gigabit Ethernet'in, yönlendiriciler, anahtarlar, tekrarlayıcılar ve sunucular arasında daha yüksek bandgenişliğine ihtiyaç duyan kampüslerde ve binalarda omurga ağı olarak yayılması beklenmektedir. Sunucuların, sunucu topluluklarının ve Fast Ethernet anahtarlarının birbirlerine bağlanmasında yanısıra tıbbi görüntüleme ve CAD gibi uygulamalar için işstasyonları arasındaki bağlantılarda da Gigabit Ethernet kullanılabilir. Başlangıçta Gigabit Ethernet'in masaüstü bilgisayarlara geniş çapta yayılımı beklenmemektedir. Muhtemel uygulamaların hepsinde ağ işletim sistemi (NOS) ve masaüstü bilgisayarlardaki NIC sürücülerinin değişime uğramayacaktır [1,6].

Birçok ağ merkezi dosya ve işletim sunucularına sahiptir. Dolayısıyla, bir sunucu çok sayıda kullanıcıya hizmet vermektedir. Bu nedenle sunucu, yüksek bandgenişliğine ihtiyaç duyar. Şekil 5'te görüldüğü gibi sunucularla anahtarlar arasındaki bağlantılarda Gigabit Ethernet'in kullanılması sunuculara yüksek hızlı erişim sağlayacaktır [1].



Şekil 5. Sunucu - Anahtar Bağlantısı

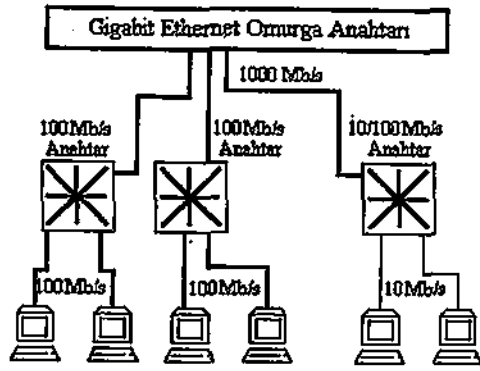
Bir başka Gigabit Ethernet uygulaması, Fast Ethernet anahtarlarının Gigabit Ethernet hatlarıyla birbirine bağlanmasıdır (Şekil 6) [1].



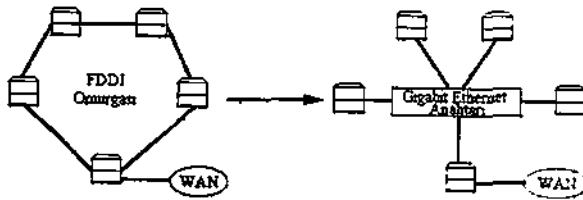
Şekil 6. Anahtar - Anahtar Bağlantısı

Fast Ethernet omurga anahtarı bünyesinde, çok sayıda 10/100 Mb/s anahtarı toplanır. Bu omurga anahtarı, Şekil 7'de görüldüğü gibi, Gigabit Ethernet arabadaşımlarına sahip yönlendiricilerin ve hub'ların yanısıra çok sayıda 100/1000 Mb/s anahtarı destekleyen bir Gigabit Ethernet anahtarına dönüştürülebilir. Bu durum, yüksek bandgenişliği gerektiren uygulamalar için çıktı verimini belirgin biçimde arttıracaktır [1].

Fiber Dağıtım Veri Arabirimi (FDDI), 125 Mb/s hızında çalışan yaygın bir kampüs omurga ağı teknolojisidir. Şekil 8'de, FDDI toplayıcıların veya yönlendiricilerin bir Gigabit Ethernet anahtarı ya da tekrarlayıcısı ile değiştirilmesi yoluyla FDDI omurgasının Gigabit Ethernet omurgasına dönüştürülmesi gösterilmiştir [1,4].

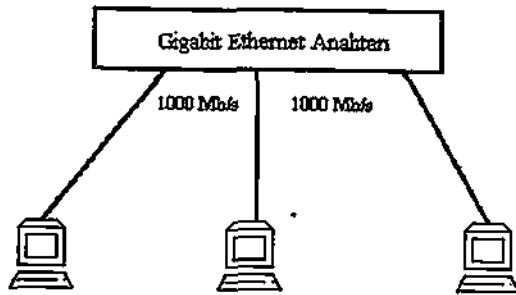


Şekil 7. Omurga Anahtarında Gigabit Ethernet Uygulaması



Şekil 8. FDDI Omurgasının Gigabit Ethernet Omurgasına Dönüştürülmesi

İşstasyonlarının gücü arttıkça, kullanıcılar daha yüksek bantgenişlikli ağ bağlantılarına ihtiyaç duymaktadır. Gigabit Ethernet, bu tip bağlantılar için ideal bir seçenektir (Şekil 9) [1].



Şekil 9. Yüksek Performanslı İşstasyonlarının Birbirlerine Bağlanması

5. SONUÇ

Gigabit Ethernet, 1000 Mb/s iletim hızına sahip üçüncü nesil Ethernet teknolojisidir. Mevcut Ethernet standartları ile aynı CSMA/CD protokolünü, çerçeve formatını ve çerçeve boyutlarını kullandığı için tamamen uyumludur. Bu durum, kullanıcıların büyük çoğunluğu için ağlarını, mevcut kablolamada, protokollerde ve uygulamalarda herhangi bir değişiklik yapmadan makul bir fiyatla, gigabit hızlarda çalışan ağlara dönüştürebilmeleri anlamına gelmektedir. Bu nedenlerin yanı sıra tam çift yönlü

işletim sayesinde Gigabit Ethernet, 10/100 Base-T anahtarlar arasında, yüksek performanslı sunuculara bağlanımda ve gelecekte 100 Base-T'nin önerebildiğinden daha fazla bantgenişliğine ihtiyaç duyacak masaüstü bilgisayar uygulamalarında ideal bir omurga arabacılığı teknolojisi olacaktır.

Gigabit Ethernet ile ATM kısa vadede birbirleriyle rekabet etseler de, uzun vadede ortak çalışabilmelerini sağlayacak protokollerin geliştirilmesiyle kullanıcılara her iki teknolojinin avantajları bir bütün olarak sunulacaktır.

KISALTMALAR

ATM	- Asenkron Transfer Modu
CSMA/CD	- Çarpışma Algılamalı Taşıyıcı Sezmeli Çoklu Erişim
FDDI	- Fiber Dağıtım Veri Arabirimi
GMII	- Gigabit Ortamdan Bağımsız Arabirim
IPG	- Paketler Arası Boşluk
LAN	- Yerel Alan Ağı
LANE	- Yerel Alan Ağı Benzetimi
MAC	- Ortam Erişim Denetimi
MMF	- Çok Modlu Fiber
NIC	- Ağ Arabacılığı Kartı
PCS	- Fiziksel Kodlama Altkatmanı
PMA	- Fiziksel Ortam Bağlılığı
PMD	- Fiziksel Ortama Bağlı Altkatman
QoS	- Hizmet Kalitesi
SMF	- Tek Modlu Fiber
UTP	- Ekranlanmamış Bükülü Çift

KAYNAKLAR

- [1] Gigabit Ethernet Alliance White Paper. "Gigabit Ethernet: accelerating the standard for speed". May 1999.
- [2] IEEE Draft P802.3z/D3. "Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layer, Repeater and Management Parameters for 1000 Mb/s operation". June 1997.
- [3] Gigabit Ethernet Alliance White Paper. "Gigabit Ethernet Over 4-Pair 100 Ohm Category 5 Cabling". November 1997.
- [4] Karlık, S.E., G. Yılmaz. "FDDI ile ATM'in Karşılaştırılması ve Ortak Çalışabilme Olanaklarının İncelenmesi". BAS'2000, Bilkent, Ankara, 15-16 Haziran 2000, sayfa 244-253.
- [5] Skorupa, J., G. Prodan. "Battle of the Backbones: ATM vs. Gigabit Ethernet". Data Communications, April 1997.
- [6] McLean, M.R. "Gigabit Speeds Mandate Fix". LAN Times, September 1996
- [7] Kurtz, Y. "Gigabit Ethernet". Network, April 1997.