

## Slotlanmış Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama Teknikleri \*

Can Eyüpoğlu<sup>1</sup>, M. Ali Aydın<sup>2</sup>, A. Halim Zaim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ceyupoglu@ticaret.edu.tr, aydinali@istanbul.edu.tr, azaim@ticaret.edu.tr

**Özet:** Bu makalede Slotlanmış Optik Çoğuşma Anahtarlama ve Slotlanmış Optik Paket Anahtarlama ağlarının yapısı ele alınmıştır. Slotlanmış Optik Çoğuşma Anahtarlama ve Slotlanmış Optik Paket Anahtarlama teknikleri incelenmiş ve bu tekniklerin kullanıldığı ağların geliştirilmesi için yapılan çalışmalara değinilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Slotlanmış Optik Çoğuşma Anahtarlama, Slotlanmış Optik Paket Anahtarlama.

### Slotted Optical Burst and Packet Switching Techniques

**Abstract:** In this paper, the architectures of Slotted Optical Burst Switching and Slotted Optical Packet Switching networks are examined. Slotted Optical Burst Switching and Slotted Optical Packet Switching techniques are analyzed. Moreover, the improvement studies for networks that these techniques are used are mentioned.

**Keywords:** Slotted Optical Burst Switching, Slotted Optical Packet Switching.

\*Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak yürütülen “Slotlanmış Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama Tekniklerinin Karşılaştırmalı Performans Analizi” başlıklı yüksek lisans tezinin bir bölümüdür.

### 1. Giriş

Optik ağlar, mevcut bilgisayar ağlarında görülen birçok problemin çözümüne olanak tanır (bant genişliği vs. gibi) ve çok yüksek bir kapasite sağlamanın yanı sıra, çeşitli hizmetlerin desteklendiği ortak bir ağ alt yapısı da sağlar. Ayrıca optik ağlarda, bant genişliği esnek bir yapıda ihtiyaca göre ayarlanabilir. Bunlar WR (Dalgaboyu Yönlendirme-Wavelength Routing), OPS (Optik Paket Anahtarlama-Optical Packet Switching) ve OBS (Optik Çoğuşma Anahtarlama-Optical Burst Switching)'dir. Tam optik ağların gelişimi WR ağlar ile başlamıştır. WR ağlarda, ağ düğümleri arasında ışık yolu (lightpath) adı verilen, uzun vadeli devre bağlantıları kurulmaktadır. OPS ağlarda ise kullanıcı trafiği optik paketlerde, kontrol bilgisiyle beraber beraber taşınmaktadır. Her düğümden kontrol bilgisi ele alınır ve elektro-

nik olarak işlenir. OBS, WR'den OPS'ye geçişte ara çözüm olarak önerilmiştir. Bir OBS ağı WDM fiberler ile birbirine bağlanmış olan çekirdek (core) düğümler ve uç cihazlardan meydana gelmektedir [1].

OPS, yüksek yük, tıkanma ya da ağın düşmesi durumlarına karşı kolayca adapte olabilme özelliğinden dolayı arzu edilen bir mimardır. OBS, sınırlı bir zaman için kanalı rezerve ederek ağın kullanımını artırır. En temel iletim birimi, bir giriş düğümünde aynı hedefe sahip veri paketlerinin belirli bir zaman zarfında veya belirli bir boyuta gelinceye kadar bir araya getirilmesi ile oluşan çoğuşmadır. Slotlanmış (slotted) ve slotlanmamış (unslotted) olmak üzere iki tür optik paket anahtar ve ağ tanımlanabilir. Slotlanmış, sabit uzunluklu zaman slotlarına ve senkron paket işlemeye dayanmaktadır. Slotlanmamış tipte paket uzunlukları değişken

uzunluklu olmaktadır. Slotlanmış ağlarda ise bir zaman birimindeki paket uzunluğu sabittir. Paketler sabit uzunluklu bir zaman slotunda iletilirler. Bir zaman slotunun uzunluğu, optik paketin uzunluğunun, başlık uzunluğunun ve veri bağlantı katmanının getirdiği ek yükün toplamına eşittir. Slotlanmamış bir ağda, paketlerin uzunluğu değişkendir. Değişken uzunluklu bir paket bir anahtara herhangi bir anda giriş yapabilir ve böylece anahtarlama işlemi herhangi bir anda gerçekleştirilebilir [1].

Slotlanmış OBS olarak adlandırılan zaman-solutlu OBS'de yönlendiriciler senkronizedirler ve sadece zaman slotlarının başında sabit uzunluklu çoğuşmalar yollarlar. SOBS'nin kullanılmasının birçok sebebi vardır. Bunlardan ilki kaybı düşürmek için çoğuşmaların aynı uzunlukta olmasıdır. Çoğuşmalar sadece diğer çoğuşmalarla üst üste geldiği zaman düşerler. Bu nedenle daha uzun çoğuşmalarla kıyaslanıldığında kısa çoğuşmaların düşme ihtimali daha azdır. İkinci sebep ise kaybı düşürmek için çoğuşmaların alınmasının ve gönderilmesinin senkronize olması gerektiğidir. Eğer uç yönlendiriciler çoğuşmaları rastgele zamanlarda yollarlarsa çoğuşmalar çekirdek yönlendiricilere rastgele zamanlarda ulaşırlar. Bu çoğuşmaların üst üste gelme zamanı kontrol edilemediğinden yüksek çoğuşma kaybına yol açabilir. Diğer önemli sebep ise sıraya koymayı desteklemek için olan bağlantı kullanımını arttırmaktır. Eğer çoğuşma rastgele zamanlarda ulaşırsa iki ardışık çoğuşma arasındaki boşluk da rastgeledir ve bazı durumlarda kullanılamamaktadır. Buna karşılık eğer tüm çoğuşmalar aynı uzunluktaysa ve sıralanmışlarsa iki çoğuşma arasındaki boşluk bir çoğuşmayı taşıyabilecek uzunlukta olmak zorundadır [2].

OPS ağlarında ışık dalgası bilgisi sadece uç süresi gecikmeleri ile sınırlanan sistemde bir uçtan diğer uca iletilir. Bu gibi ağlarda zamanlamadaki kesinlik etkinliği ve verimliliği maksimuma çıkarmak için çok önemlidir. Yapı dikkate alınmaksızın OPS ağları sistem senkronizasyonunu ve uygun paket akış zamanlamasını sür-

dürmek için fiberoptik yolların uzunluğunu göz önünde bulundurmaktadır. Çünkü optik paketler kolay bir şekilde yavaşlatılamaz ya da durdurulamazlar [3]. Bu nedenlerden dolayı Slotlanmış OPS çözümü üzerinde çalışılmaktadır.

İkinci bölümde Slotlanmış OBS ağları ile ilgili literatürde yapılan çalışmalara değinilecektir. Üçüncü bölümde ise Slotlanmış OPS'ye yönelik olan çalışmalardan bahsedilecek ve dördüncü bölümde sonuç verilerek makale sonlandırılacaktır.

## 2. Slotlanmış Optik Çoğuşma Anahtarlama

Slotlanmış OBS ağları üzerinde yapılan çalışmalardan bazıları bu bölümde verilecektir.

### 2.1. Slotlanmış Optik Çoğuşma Anahtarlama Ağları

OBS; çekirdek yönlendiricilerde buffer olmaması sebebiyle yüksek kayıp oranına sahiptir. Bu nedenle optik buffer kullanmadan kaybı düşürebilecek yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. Slotlanmış OBS (SOBS) bu çalışmalardan biridir. [2]'de yapılan simülasyon çalışmasında SOBS'nin paket kayıp olasılığını önemli derecede azalttığı görülmektedir. SOBS'in kayıp oranı slotlu olmayan OBS'ye göre çok azdır. Ayrıca SOBS çok az bir maliyet ile ya da hiçbir ek maliyet gerektirmeden uygulanabilmektedir.

SOBS'nin OBS'ye göre birçok avantajı vardır. En bilineni daha iyi QoS (Quality of Service-Servis Kalitesi) destekleyebilmesidir. İkincisi anahtarlama sistem maliyetinin büyük ölçüde düşürülebilmesidir. Üçüncüsü, veri çoğuşmaları FDL (Fiber Delay Line-Fiber Gecikme Hatı) ile ertelenebilir fakat kontrol çoğuşmaları ertelenemediğinden dolayı zaman planlayıcısı daha fazla zamana sahiptir ve ağ performansını arttıracak daha karmaşık algoritmalar kullanabilir. Sonuncusu ise kontrol çoğuşmalarının daha kısa ve basit olabilmesidir. Çünkü kontrol çoğuşmasının veri çoğuşmasının uzunluk bilgisini veya varış zamanını taşımasına gerek yoktur. Daha kısa kontrol çoğuşması kullanımı

kontrol çoğuşma çarpışması olasılığını azaltacaktır ve ağın güvenilirliğini arttıracaktır.

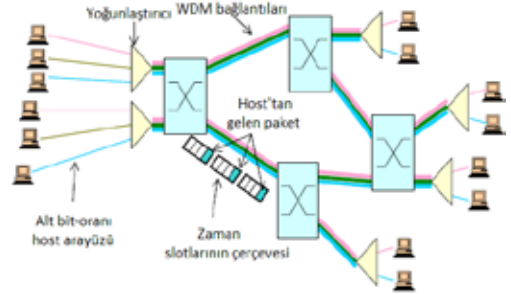
OBS ağlarında kayıp azaltmak için yük dengeleme algoritması (load balancing algorithm) üzerinde çalışılmıştır [2]. Bu algorithmada bağlantıların tıkanıklık miktarlarını temsil eden maliyetler bağlantılara atanır. Bir kaynak-hedef çifti için daha fazla tıkanıklık daha yüksek maliyet demektir. Ağa minimum tıkanıklık miktarını etkili bir şekilde ekleyen en kısa yolu bulmak için Dijkstra Algoritması kullanılır. Bir düğüm çifti arasındaki mesafe bir düğümden diğerine erişmek için en az sayıdaki atlama sayısı olduğunda daha uzun mesafeli kaynak-hedef çiftleri daha kısa mesafeli kaynak-hedef çiftinden daha önce seçilir. Bu BFS (Breadth First Search-Sığ Öncelikli Arama) ile bulunabilmektedir. Çoğuşma kayıp olasılığını düşürmek için Çoğuşma Yayım Kontrolü (Burst Emission Control) olarak adlandırılan bir teknik daha kullanılmıştır. Çoğuşma Yayım Kontrolü uç yönlendiriciler yüksek çoğuşma kayıpları tespit ettiği zaman çoğuşma yayım oranını (ağa yollanan çoğuşma oranı) azaltır ve yayım zamanlamasını kontrol eder. Bu TCP'deki tıkanıklık kontrolüne çok benzemektedir. TCP; bazı paketler uç noktalar tarafından alınmadığında pencere boyutunu düşürerek paket gönderme oranını azaltmaktadır [2].

## 2.2. Zaman Dilimli Optik Çoğuşma Anahtarlama

TSOBS (Time Sliced Optical Burst Switching-Zaman Dilimli Optik Çoğuşma Anahtarlama) anahtarlamanın dalga boyu alanı yerine zaman alanında yapıldığı bir optik çoğuşma anahtarlama çeşididir. Bu anahtarlama dalga boyu alanında yapan sistemlerin en büyük maliyet bileşeni olan dalga boyu dönüştürücü ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Zaman alanında anahtarlama gerçekleştirmek için OTSI (Optical Time Slot Interchangers-Optik Zaman Slot Değiştiricisi) tasarlanmıştır. OTSI TSOBS ağlarında yönlendiricilerin anahtar oluşturma bloklarıdır. Bir OTSI'nın maliyet ve performansını etkileyen üç anahtar etken vardır. Bun-

lar iç çaprazlayıcı boyutu, zaman slotlarını yeniden düzenlemede kullanılan gecikme hatları için gerekli olan fiber miktarı ve anahtarlama işlemlerinin sayısıdır.

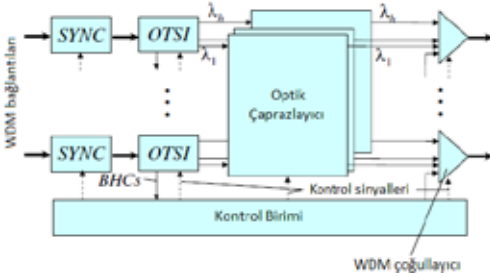
Zaman dilimli optik çoğuşma anahtarlama ağlarında anahtarlar veri taşıyan çoklu dalga boyu kanalları olan WDM bağlantıları ile bağlanırlar. Her bir dalga boyu üzerinden yollanan bilgi her biri sabit uzunluklu zaman slotlarına bölünen frame serileri içerisinde organize edilir. Bağlantı uçları veya diğer ağlar daha düşük hız arayüzlerindeki veriyi TSOBS veri formatına dönüştüren yoğunlaştırıcılar ile TSOBS ağına bağlanırlar. Yoğunlaştırıcılar kullanıcı veri çoğuşmalarını zaman bölmeli kanallarda iletirler. Veri çoğuşmalarını anahtarlama için gerekli olan kontrol bilgisi ayrı kontrol dalga boyları üzerinde taşınan BHC (Burst Header Cells-Çoğuşma Başlık Hücreleri) içerisinde yollar. Şekil 1 zaman dilimli optik çoğuşma anahtarlama bir ağı yapısını göstermektedir [4].



Şekil 1. Zaman-dilimli paket anahtarlama ağ yapısı [4]

TSOBS yönlendirici tasarımında gelen her bir WDM bağlantısı, gelen frame sınırlarını yerel zamanlama referanslarına eşleyen bir SYNC (Synchronizer-Eşleyici)'de sonlandırılır. Bu sistem kontrol birimi tarafından sağlanan gecikme geri bildirim kontrolü ile değişken gecikme hatları kullanılarak yapılır. Eşleyicilerin ardından tüm dalga boyları için gerekli olan zaman alanı anahtarlama sağlayan OTSI'lara gelir. OTSI'lar ayrıca BHC'leri taşıyan kontrol dalga boylarını ayırırlar ve bunları sistem kont-

rol birimine iletirler. Ek olarak giriş OTSI'lar veri dalga boylarını ayırırlar ve bunları ayrı fiberler üzerinden her bir Optik Çaprazlayıcı (Optical Crossbar) setine iletirler. Çaprazlayıcılar gerekli boşluk bölmeli anahtarlama işlemlerini gerçekleştirirler. Bu işlemlerin ardından çıkış fiberleri üzerinde kontrol dalga boylarını veri dalga boyları ile birleştiren pasif optik çoğullayıcı setleri gelir. Kontrol birimi BHC'lerdeki bilgileri anahtarlama kararlarını vermek için kullanır ve OTSI ve krosbarların işlemlerini kontrol etmek için kullanılan elektronik kontrol sinyallerini oluşturur. Bu tasarım Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Zaman-Dilimli Optik Çoğuşma Anahtar tasarımı [4]

OTSI tasarımı tıkanmalı (blocking) veya tıkanmasız (nonblocking) olarak sınıflandırılabilir. Tıkanmasız tasarımlar en iyi performansı sağlıyor olsa da tıkanmalı tasarımlardan çok daha maliyetlidir. Tıkanmalı OTSI'lar tıkanmasızlara göre daha az karmaşıktır. Performans sonuçları 64 zaman slotundan daha az sayıda slotlu bir sistemin sadece dört gecikme hatlı tıkanmalı OTSI'sı olsa bile mükemmel istatistiksel çoğullama performansı sağlayabileceğini göstermektedir.  $1 \mu s$  zaman slotu süresi ile her bir OTSI ışığın  $15 \mu s$ 'de fiberde seyahat ettiği mesafeye eşit olan toplam gecikme hattı uzunluğuna ihtiyaç duyar. Bu yüzlerce veya binlerce kilometreye yayılan geniş alan optik bağlantılarını sonlandıran yönlendiriciler için oldukça makul bir ek yükür. Çoğuşmalara bağlı olan anahtarlama işlemlerinin ortalama sayısı da oldukça azdır. İşlem sayısı %90'lık yük için her bir atlamada dört anahtarlama işleminden daha

azdır. Bu sayede çoğu çoğuşma muhtemelen elektronik forma ara dönüştürme olmadan uçtan uca anahtarlanabilecektir [4].

### 2.3. Kayıpsız Optik Çoğuşma Anahtarlama için Slot Rezervasyonu

Optik Çoğuşma Anahtarlama'nın en büyük dezavantajı yeterli optik bufferlama eksikliği sebebiyle kaçınılmaz olan yüksek paket kayıplarıdır. Böylece elektronik alana yük dönüşümünden kaçınmanın avantajı aynı çıkış portu için rekabet eden düşen paketlerin maliyetinde ortaya çıkmaktadır. Bu rekabet sınırlı fiber gecikme hattının sağlayabildiğinden daha fazla paket için devam etmektedir. Bu kayıplardan kaçınmak için bir yöntem öne sürülmüştür. Çoğuşma başlığı yerine kontrol kanalı üzerinden bir gözcü (scout) başlığı yollanmaktadır. Bu gözcü başlık gerçek paketin karşılaşacağı olayları simüle edebilmek için yollanmaktadır. Gözcü mesaj bir düşmanın kaçınılmaz olduğu bir ara düğümde bir kez bildirildiği zaman geri gelir ve gerçek paketin yollanmasını engeller. Yerine yeni bir gözcü bildirilir. Eğer hepsi sorunsuzsa paket kayıpsız olarak yollanır. Bunu sağlamak için slotlanmış bir yaklaşım tüm gerekli kontrol araçlarıyla edinilir. Dezavantajı ise dolaylı rezervasyonların gecikmesi ve bu yaklaşımın uygulanabilirliğini sınırlayan ara sıra meydana gelen tekrarlı denemelerdir.

İki yöllü slot rezervasyon uygulamaları herhangi bir OBS ortamına benzemektedir. Düğümler W veri dalga boyları ve kontrol dalga boylarından oluşan WDM bağlantıları ile birbirlerine bağlanmaktadır. Yerel trafik slotları oluşturmak için kullanılır. Elektronik bufferlar sadece optik bufferlar transit trafik için olası iken bu tip trafik için kullanılır. Kuyruklama her bir hedef ve QoS sınıfından etkilenir. Zamanlama algoritmasında gözcüler her biri bir hedef ve QoS sınıfıyla bağdaştırılan kuyruk ile yönetilir. Veri slotu yollanmadan önce yol boyunca olan tüm düğümlerdeki gelecek rekabet sonucu ilk olarak bir gözcü tarafından bulunur. Gözcü veri çoğuşması için optik yol hazırlarken bilgiyi taşıyan kontrol kanalında yolculuk

eder. Fakat her bir düğümün zamanlama sonucuyla bilgilendirilir. Bu yapı araştır-ve-git (probe-and-go) olarak tanımlanır. Sonuç olarak bu protokol tek yöllü OBS'nin kabul edilemez olan kayıplarından ve yüksek katman sürecinin ek gecikmelerinden kaçınılabilir [5].

**2.4. Çakışmasız Zaman-Slotlu OBS Ağı için Dinamik Bant Genişliği Rezervasyon Şeması**  
Optik Çoğuşma Anahtarlama IP paketlerini WDM ağları üzerinden iletmek için öne sürülen gelecek vaat eden bir anahtarlama yapısıdır. Çünkü paket anahtarlama ve devre anahtarlamanın iyi taraflarını birleştirmektedir. Fakat şu anki OBS ağ yapısında kaynak düğümler çoğuşmaları bir araya getirirler ve onları herhangi bir zamanda rastgele olarak OBS çekirdek ağlarına yollarlar. Bu çekirdek ağlarda kaçınılmaz çakışmalara neden olur. Her bir düğümde çakışmaları azaltmak için dalga boyu dönüştürücüler kullanılabilir. Ancak şu anki teknolojide optik dalga boyu dönüştürücüler oldukça masraflıdır. Buradaki amaç dalga boyu dönüştürücü kullanımından kaçınmak ve tam dalga boyu dönüşümünden daha iyi bir performans sağlamaktır. [6] numaralı çalışmada uçtan uca rezervasyon kullanan bir çoğuşma zinciri için bant genişliğini rezerve eden yeni bir mekanizma öne sürülmüştür. Bu makul sinyal verme yüklü OBS ağlarında çakışmasız çoğuşma iletimini başarmak içindir.

Zaman slotlu OBS şeması dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar araştırma, zaman slotu arama, ters yönlü rezervasyon ve çoğuşma yollama aşamalarıdır. Araştırma aşaması süresince araştırma paketi uçtan uca yol boyunca her düğümde bir dalga boyu için zaman slotu elverişliliği üzerinde bilgileri toplamaktadır. Zaman slotu arama aşamasında araştırma paketi hedefe bir kez ulaştığında hedef araştırma paketi tarafından toplanan bilgilere göre yeterli zaman slotu için arama yapar. Bu arada araştırma paketi uçtan uca yol boyunca her düğüm için zaman slotu elverişliliği bilgisi listesine sahiptir. Arama süreci ilk düğümde ilk frame içerisinde ilk slottan başlar. Ters yönlü rezervasyon aşamasında rezerve

edilmiş zaman slotu ışık yolu vektörlü rezerve paketi seçilen zaman slotlarını rezerve etmek için geri yollanır ve ters yönlü yol boyunca zaman slotu anahtarlama yapılandırılır. Çoğuşma yollama aşamasında ise kaynak gelen IP paketlerini aynı boyutlu çoğuşmalara bir zaman slotu olarak birleştirir. Her bir frame içinde eğer şimdiki slot o anki bağlantı tarafından rezerve edilmiş ise kaynak bufferında bekleyen bir çoğuşma hedefe yollanır. Farklı kaynakların aynı zaman slotlarını rezerve etmeye çalışması durumundan kaçınmak için farklı zaman slotlarında her bir kaynak için araştırma süreci başlatılır [6].

### **3. Slotlanmış Optik Paket Anahtarlama**

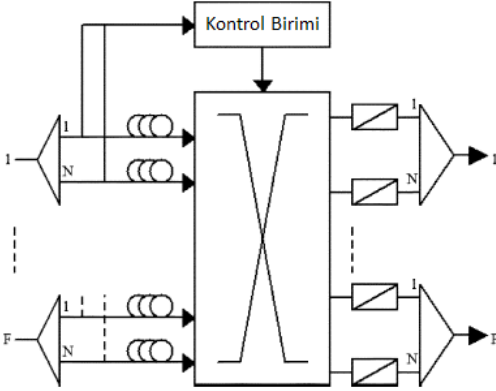
Literatürde slotlanmış OPS ağları üzerinde yapılan çalışmalardan bazılarında bu bölümde yer verilecektir.

#### **3.1 Slotlu Optik Paket Anahtarlama Ağlarında Paket Kayıp Oranı Ayrıştırma**

[7]'deki çalışma slotlu optik paket anahtarlama ağları için uygun olan bir paket kayıp oranını (PLR-Packet Loss Rate) ayrıştırma şeması sunmaktadır. OPS tüm optik ağ senaryoları için gelecek vaat eden bir aday olarak görülmektedir. Optik alanda zaman-bölmeli çoğuşmayı etkinleştirerek OPS ağları istatistiksel çoğuşmadan yararlanabilir. Bu da ağ kaynaklarının iyi bir şekilde kullanımını garanti altına alır. OPS eşzamanlı olmayan ya da slotlu modda çalışır. Eşzamanlı olmayan OPS'de paketler anahtara herhangi bir zamanda giriş portları arasında herhangi bir eşzamanlama olmadan ulaşırlar. Slotlu OPS'de paketler giriş portları arasında senkronize olan sabit ve eşit aralıklı ayrı zaman slotlarında anahtara ulaşırlar. Slotlu OPS eşzamanlı olmayan OPS ile kıyaslandığında anahtar düğümün karmaşıklığını artırıyor olsa da daha verimlidir. Çünkü rekabet oluşma ihtimali daha düşüktür. Makalede PLR ayrıştırmanın slotlu buffersız OPS'de nasıl sağlandığına değinilmiştir.

Slotlu OPS'deki PLR ayrıştırma her bir fiberin dalga boyu-bölmeli çoğuşma kullanılarak

N dalga boyu sağladığı durumda F giriş ve çıkış fiberli slotlu tıkanmaz optik paket anahtarı göz önünde bulundurulmuştur. Anahtarın rekabet çözümü için bufferı yoktur. Fakat her bir çıkışta tam-alan dalga boyu dönüştürücüler kullanılır. Bu anahtar yapısı Şekil 3’de gösterilmektedir.



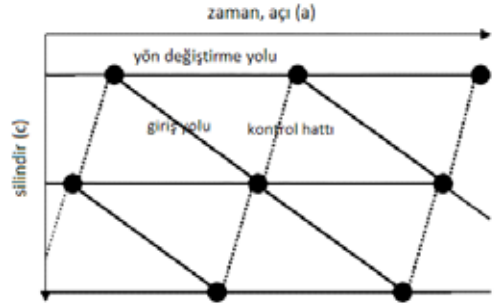
Şekil 3. Slotlu optik paket anahtarı [7]

Önerilen şemanın analitik modeli ileri sürülmüş ve PLR’ler için olan ifadeler birçok sınıflı senaryo için türetilmiştir. Önerilen şemanın kullanımı ortalama anahtar verimliliğinde herhangi bir azalmaya neden olmamaktadır. Sonuçlar önerilen şemanın oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Birçok servis sınıflı bir senaryodan en iyi-çaba senaryosuna taşıma yapılırken anahtar verimliliğinde bir dezavantaj yoktur [7].

### 3.2 Optik Paket Anahtarlama Ağlarında Slot Zamanlama Değerlendirmesi

Veri vorteks ağ topolojisi paketlerin dağıtık kendi-yönlendirmesi için 2 x 2 anahtarlama düğümleri arasındaki pasif saatle eşzamanlamasız kısıtlamalara dayanmaktadır. İlk olarak paket slot zamanları birçok OPS sisteminde olduğu gibi yönlendirme yolu gecikmeleri tasarımıyla sürdürülür. Bunun nedeni uygun dinamik bufferlama olmamasıdır. İkinci olarak bireysel düğümler bir saat sinyali gerektirmemesine rağmen düğümler arasında yollanan elektronik yön değiştirme sinyalleri doğru zamanlanmak

zorundadır. Doğru şekilde yönü değiştirilen bir paket için anahtarlama düğümü yön değiştirme sinyalini doğru zamanda almalıdır. Böylece yönlendirme kararı paket hala o düğüm içerisinde iken verilebilir. Bu gereksinim Şekil 4’de görülebilir.



Şekil 4. Veri vortex yön değiştirme sinyal zamanlama gereksiniminin grafiksel gösterimi [3]

[3] numaralı makalede veri vorteksinde slot zamanlaması gereksinimlerinin esnekliği deneysel olarak çalışılmış ve bu gereksinimler teorik olarak analiz edilmiştir. Gecikme-duyarlı zaman-slotlu OPS bağlantı anahtarlama yapıları için birkaç genel ölçeklendirme ilişkileri sunulmuştur. Gerçeklenen 12 x 12 veri vorteks yapısının zamanlama ve gecikme gereksinimleri açısından ölçeklenebilirliği ve dayanıklılığı analiz edilmiştir. Sistem %4’lük optimum slot zamanında yıkıcı olmayan yönlendirme sonuçları ile paket zamanlama çeşitlerine makul tolerans göstermektedir. Zamanlama gereksinimlerinin bu özellikleri büyük ölçekli OPS bağlantı ağlarının tasarım ve gerçekleştirilmesinde önemlidir [3].

### 3.3 Slotlu OPS Ağlarında Düz Slot-İletimi

Bant genişliği erişim tekniklerindeki araştırmalar giriş anahtarındaki optik paketleri bir OPS ağına iletmek için olan birçok farklı yöntem içermektedir. Bir optik paket temel iletim birimi olarak zaman slotlarının yaygın kullanımından dolayı bazen slot olarak adlandırılır. Bir slot bir istemci paketi içerebilir veya bir ağda trafik burstiness’ı azaltmak için birçok paketi birleştirir. Var olan iki bant genişliği erişim



şeması TTA (Timer-based ve Threshold-based bandwidth Access, Zaman-tabanlı ve Eşik-tabanlı bant genişliği Erişimi) ve DA (Distributed bandwidth Access-Dağıtk bant genişliği Erişimi)'dir.

Optik paket anahtarlama ağlarda birçok farklı bant genişliği erişim şeması arasında bir giriş anahtarına optik paketleri sorunsuz bir şekilde iletme konusu dikkate alınmamaktadır.

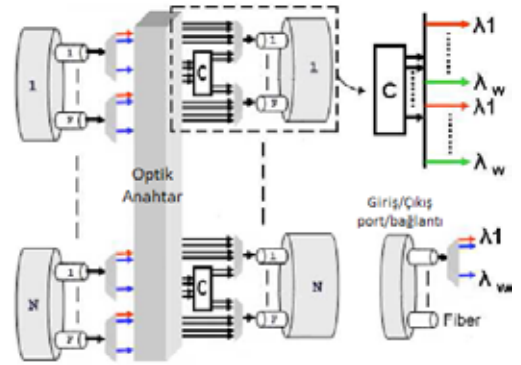
[8]'deki çalışmada birçok parametrelili slotlanmış optik paket anahtarlama ağlarda düz (even) slot iletimi üzerinde çalışılmıştır ve yöntemler bir giriş anahtarında düz slot iletiminin nasıl olacağına karar vermek için hazırlanmıştır. Makalede desteklenen formül çoklu-dalga boyu/çoklu-fiber slotlu OPS ağlarında olan farklı bant genişliği erişim şemalarını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Örneğin bu indeksler DA ve TTA'ya uygulanmış ve DA'nın TTA'dan daha iyi iletim indekslerine sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle DA OPS'ye daha düzgün bir erişim sağlamaktadır [8].

### 3.4 Slotlu Optik Paket Anahtarlama Ağlar için Hiyerarşik Dayanıklılık

Ağ dayanıklılığı (survivability) bir ağın hata olma durumunda ağ performansının kabul edilebilir seviyede devam ettirilmesi yeteneği olarak tanımlanır. Saf ağ performansı üzerinde ağ dayanıklılığını ölçme optimistik olma eğilimindedir. Çünkü hata olma durumunda ağdaki kaynakların elverişliliğini yok sayar. Diğer bir yandan saf elverişlilik analizi konservatif olma eğilimindedir. Çünkü performans kriterleri değerlendirilmemektedir. Makalede slotlanmış çoklu-fiber optik paket anahtarlama ağlarının dayanıklılığını kesin olarak ölçmek için birleşik bir model öne sürülmüştür.

Slotlanmış bir sistemde gelen paketler girişlerde işlenmeden önce senkronize edilirler. Geliştirilen model farklı durumlarda ve işlem parametrelerinde slotlanmış OPS anahtarını hesaplamak için kullanılabilen kapsamlı bir modeldir. Bu işlem parametreleri dalga boyu

sayısı, fiber sayısı, dönüştürücü sayısı ve farklı anahtar yapılandırmalarıdır. N girişli simetrik bir OPS farklı kaynaklardan gelen ve N çıkış bağlantısına gönderilen her biri F paralel fiberden oluşmaktadır. Bu yapı Şekil 5'te gösterilmiştir. Anahtar her bir fiber için w dalga boyulu ve çevrilebilir anahtar yapılandırması durumunda C dönüştürücülerin dönüştürme banklı bir WDM sinyali destekler. Paket uzunluğu bir zaman slotu için sabit kabul edilir.



Şekil 5. Slotlanmış çoklu-fiber OPS anahtar yapısı [9]

[9]'daki makalede sistem dayanıklılık performansını hesaplamak için hiyerarşik bir model geliştirilmiştir. Çok atlamalı bir ortamda çoklu-fiber OPS ağlarının uçtan uca performansı modellenmiş ve dalga boyu dönüştürmeli ve dönüştürme olmadan hesaplanmıştır. Bu modeller bir hata olduğunda performans bozulmasını hesaplamak için kullanılmıştır. Performans bozulması modeli ve elverişlilik analiz modeli hiyerarşik bir ağ dayanıklılık hesaplama modeli oluşturmak için birleştirilmiştir. Ağ dayanıklılığı hata süresi ve hatanın ağa etkisini içeren bir birleşik ölçüm olarak tanımlanmıştır.

OPS ağlarının dayanıklılığı sabit durum elverişliliği düştüğü zaman düşer. Bu sonuç yapılan araştırmadaki hipotezi ispatlamaktadır. Bu hipotez optik ağın doğru ölçümü için hata süresi boyunca performans bozulması ve hata süresinde kaynak elverişliliğinin ikisini birden göz önünde bulundurulması gerektiğini söylemek-

tedir. Daha dayanıklı bir optik ağ için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım düğümler arasında çoklu fiber sağlamaktadır. Fakat bu fiberler aynı fiziksel bağlantı üzerinde değildir ve pasif bağlayıcı gibi davranan bir ara düğüm sahiptir. Çalışma OPS ağlarının bağlantı topoloji seviyelerinde çoklu fiberlerin kullanımının ek ağ kapasitesi sağladığını ve bağlantı hatası durumunda çoklu fiberlerde aynı dalga boylarının yeniden kullanımıyla ağ dayanıklılığını arttırdığını göstermektedir. Dalga boyu dönüşümü kullanımı dalga boyu rekabet sorununu çözerek dayanıklılığı artırır. Fakat dalga boyu dönüşümü kullanımı maliyeti, donanım karmaşıklığını ve ağ için gereken yer gereksinimlerini artırır [9].

### 3.5 Slotlu ve Slotlu Olmayan Tam Optik Paket Anahtarlama Ağları için Öncelik-Tabanlı Yönlendirme

Anahtarlama fonksiyonunu elektronik alandan optik alana taşıma optik-elektronik-optik dönüşüm dar boğazını (bottleneck) çözmek için yardımcı olabilir. Tüm optik paket anahtarlama optik katman işlemleriyle birçok katman iki ve katman üç fonksiyonları sunmaktadır. Optik paket anahtarlama bir ağda iki veya daha fazla paket aynı anda aynı portun aynı dalga boyunu işgal etmeye çalıştığı zaman anahtarlama düğümünde rekabet oluşur. Diğerleri arasındaki rekabet paket kaybının ana nedenidir. Optik rastgele erişim belleği olmaması sebebiyle rekabet dalga boyu dönüştürücü, optik bufferlama ya da yön değiştirme ile çözülmek zorundadır. Simülasyon çalışması yapılarak slotlanmış ve slotlanmamış ağlar arasında öncelik-tabanlı yönlendirme ile paket kayıp oranı karşılaştırma çalışması yapılmıştır [10].

Üç öncelik sınıfı vardır. Bunlar sınıf 3'ün en yüksek olduğu sınıf 3, 2 ve 1'dir. Bu sınıflar arasındaki trafik dağılımı sınıf 3 için %10, sınıf 2 için %30 ve sınıf 1 için %60'dır. Belirli bir topolojide her bir düğüm için dört fiber gecikme hattı verici yükünün 0.3'den az olması durumunda üç öncelik sınıfı için paket kayıp oranını 0.01'in altında sağlamaktadır. Sonuçlar slotlan-

mış ağda gerekli olan karmaşık paket parçalamaya, tekrar toplama ve eş zamanlama aşamalarından kaçınmanın mümkün olduğunu göstermektedir ve ağ performansından ödün vermeden değişken paket boyutu sağlanmaktadır. Ayrıca paket önceliklerini sınıflandırarak ağda ayırt edilen servis sınıfı sunulabilmektedir [10].

## 4. Sonuç

Bu çalışmada literatürde var olan slotlanmış Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama tekniklerinin bir kısmı özetlenmiştir. Bu tekniklerin kullanıldığı ağlar incelenmiş ve ağ yapıları ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. Yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi slotlu Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama slotlu olmayan Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama göre birçok açıdan avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca slotlu Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama tekniklerinin her ikisi için de kullanımının daha uygun olduğu durumlar vardır. Bu alanda yapılan çalışmaların giderek artması gelecekte bu anahtarlama tekniklerinin daha fazla kullanılacağını göstermektedir.

## 5. Kaynaklar

- [1] Aydın, M.A., Turna, Ö.C., Zaim, A.H., "Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama Tekniklerinin Karşılaştırılması", Akademik Bilişim 2009, Şanlıurfa/Türkiye.
- [2] Zhang, Z., Liu, L., Yang, Y., "Slotted Optical Burst Switching (SOBS) networks", Computer Communications, 30, (2007), Page(s):3471-3479.
- [3] Small, B.A., Bergman, K., "Slot Timing Considerations in Optical Packet Switching Networks", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 17, No. 11, November 2005, Page(s):2478-2480.
- [4] Ramamirtham, J., Turner, J., "Time Sliced Optical Burst Switching", INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of



- the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies, Vol. 3, 30 March-3 April 2003, Page(s): 2030-2038.
- [5] Angelopoulos, J.D., Leligou, H.C., Kannonakis, K., Linardakis, H., Pountourakis, I., Stavdas, A., "Slot reservations for lossless Optical Burst Switching", 47th International Symposium ELMAR-2005, 08-10 June 2005, Zadar, Croatia, Page(s):311-314.
- [6] Liu, Y., Mohan, G., Chua, K.C., "A Dynamic Bandwidth Reservation Scheme for a Collision-Free Time-Slotted OBS Network", Broadband Networks, 2005. BroadNets 2005. 2nd International Conference, Vol. 2, 7-7 Oct. 2005, Boston, MA, Page(s):1115-1117.
- [7] Overby, H., "Packet Loss Rate Differentiation in Slotted Optical Packet Switched Networks", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 17, No. 11, November 2005, Page(s):2469-2471.
- [8] Rahbar, A.G.P., Yang, O.W.W., "Even Slot-Transmission in Slotted OPS Networks", Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference, 19-23 May 2008, Beijing, Page(s):391-395.
- [9] Al-Zahrani, F.A., "Hierarchical Survivability Model for Slotted All Optical Packet Switching Networks", Wireless and Optical Communications Networks, 2008. WOCN '08. 5th IFIP International Conference, 5-7 May 2008, Surabaya, Page(s):1-6.
- [10] Yao, S., Yoo, S.J.B., Mukherjee, B., "A comparison study between slotted and unslotted all-optical packet-switched network with priority-based routing", Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 17-22 March 2001, OFC 2001, Vol. 2, Anaheim, CA, USA, Page(s):TuK2-1-3.