

METROPOLİTAN ALAN AĞI DÜĞÜMLERİNDE OLUŞAN ÇAPRAZ KARIŞIMIN FİBER DOĞRUSALSIZLIKLARIYLA ETKİLEŞİMİ

İlknur GÖCEK¹

Sait Eser KARLIK²

Güneş YILMAZ³

^{1,2,3}Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü
16059, Görükle, Bursa

¹e-mail: igck@hotmail.com

²e-mail: ekarlik@uludag.edu.tr

³e-mail: gunesy@uludag.edu.tr

Anahtar Sözcükler: MAN, WDM, OADM, çapraz karışım, modülasyon kararsızlığı

ÖZET

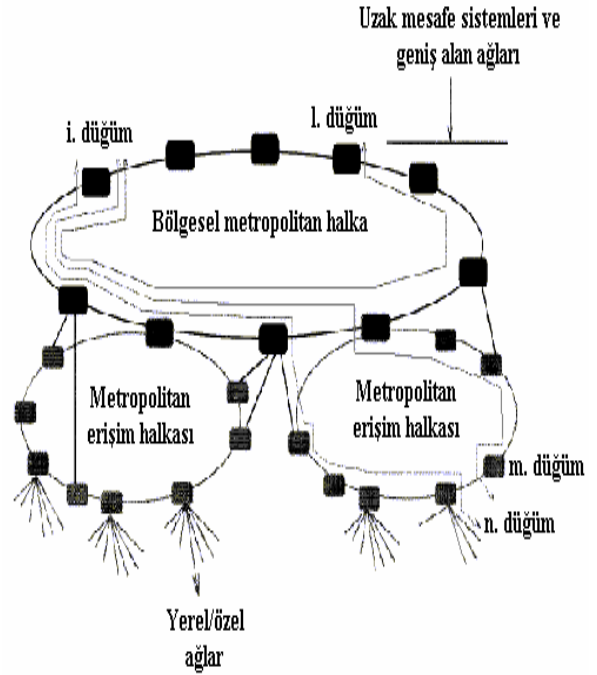
Metropolitan alan ağı (MAN) düğümlerinde ortaya çıkan problemler, fiberdeki doğrusal olmayan olaylarla etkileşebilmektedir. Bu çalışmada, 10 Gbit/s iletim hızında metropolitan ağ düğümlerindeki optik ekle/çıkır çoğullayıcılarda (OADM) oluşan çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarıyla etkileşimi incelenmiştir. Benzetimlerde tespit edilen iletim performansındaki kötüleşmeler, çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarının etkileşiminin ağ tasarımında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta olduğunu vurgulamaktadır

1. GİRİŞ

Haberleşme ağlarında, kullanıcıya sunulan hizmet çeşitliliği arttıkça bandgenişliği ihtiyacı da artmaktadır. Bu durum, dalgaboyu bölmeli çoğullamayı (WDM) mevcut ve gelecekte kurulacak kamu ağları için anahtar teknoloji yapmaktadır. Son on yılda, metropolitan alan ağlarında WDM kullanımı yaygınlaşmaktadır [1-6]. Geleneksel olarak erişim ağlarına, CATV ağlarına, LAN ve ISP ağlarına dağılmış bulunan çeşitli trafik tipleri, protokoller ve teknolojiler tek bir metropolitan altyapı üzerinden taşınmaya başlamıştır.

Metropolitan ağlar, kaskat bağlı ekle-çıkır çoğullayıcılar ve/veya çapraz bağlı düğümler içerdiğinden, ağ elemanlarındaki sorunlara karşı duyarlıdır. Ağ elemanlarında ortaya çıkan problemler, fiberdeki doğrusal olmayan olaylarla da etkileşebilmektedir. Bu bildirinin amacı, bu tarz etkileşimlerin sonuçlarını incelemektir. Özellikle, 10 Gbit/s iletim hızında ağ düğümlerinde oluşan çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarıyla etkileşimi incelenmiştir.

Bir kamusal ağda, bir ya da iki metropolitan seviye bulunabilmektedir. Şekil 1'de iki metropolitan seviye bulunduran bir ağ yapısı verilmiştir. Şekil 1'deki ağda bölgesel bir metropolitan halkanın yanısıra erişim halkaları da mevcuttur. Bölgesel metropolitan halka 200-300 km mesafelere ulaşırken, erişim halkaları genellikle 10-100 km'lik mesafelerde kullanılmaktadır.

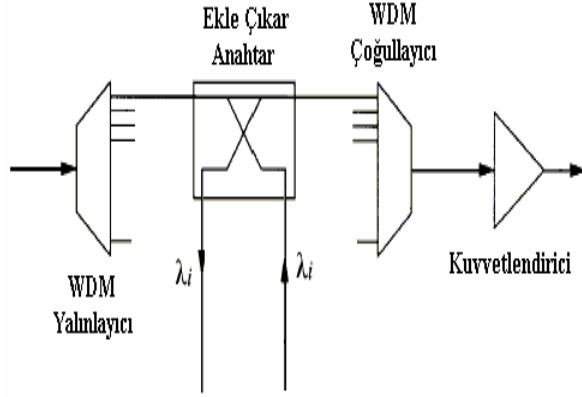


Şekil 1. Bölgesel metropolitan ve metropolitan erişim halkaları içeren kamusal ağ yapısı

Bu çalışmada 250 km mesafelere ulaşabilen geniş bölgesel halkalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Hem bölgesel hem de erişim halkaları üzerindeki tüm düğümlerin Şekil 2'de yapısı verilen optik ekle/çıkır çoğullayıcılardan (OADM) oluştuğu varsayılmıştır. Tüm düğümler halka üzerinde eşit aralıklarla yerleştirilmiştir.

Metropolitan halka üzerindeki i. düğümün girişine gelen veri, WDM yalınlayıcı tarafından tüm dalgaboyu kanallarına ayrıştırılır ve ekle/çıkır anahtar yardımıyla λ_i kanalından gelen veri alınır. Gönderilecek veri de yine ekle/çıkır anahtar yoluyla λ_i kanalından gönderilir. Ekle/çıkır anahtardan sonra tüm kanallar WDM çoğullayıcı tarafından çoğullanır. Çoğullanan veri optik kuvvetlendirici bloğundan geçerek kuvvetlendirilir. Kuvvetlendirici kazancının hem optik fiber hem de düğüm kayıplarını kompanze edecek seviyede olduğu kabul edilmektedir. i. düğümü terk eden çok kanallı veri bir sonraki j. düğüme gider. Bu düğümde de λ_j kanalının üzerinden veri

eklemesi/çıkarılması yapılır. Benzetimlerde, her düğümde sadece bir dalgaboyu kanalının eklenildiği/çıkarıldığı varsayılmaktadır. Benzetimlerde, işaretin kaskat bağlı sekiz düğümünden geçtiği bir optik yol kurgusu üzerinde durulmuştur. Bu durumda, i. düğümü sırasıyla 1, m veya n düğümlerinden birine bağlayan üç adet optik yol seçeneği Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Metropolitan halka üzerindeki i. düğümün yapısı

Metropolitan ağdaki optik elemanlarda oluşan sorunlar nedeniyle, OADM düğümlerinde giriş ve çıkış uçlarında istenmeyen band-İçi çapraz karışımlar oluşabilir. Band-İçi çapraz karışımların işaret üzerindeki etkisi optik fiberdeki doğrusalsızlıkların etkisiyle daha da artabilir. Bu olay, ilk olarak uzak mesafe WDM sistemlerinde incelenmiştir [7]. Bu çalışmada, band-İçi çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarıyla etkileşimi bölgesel metropolitan ağlar için iki farklı iletim sisteminde incelenmiştir. Birinci iletim sistemi dispersiyonu sıfırdan farklı optik fiberli (NZDF) sistem, ikinci sistem ise dispersiyon yönetimi için işaretin izlediği optik yol boyunca düğümler arasında düzenli olarak yerleştirilmiş dispersiyon kompanzasyonlu fiber (DCF) kullanan standard tek modlu optik fiberli (SMF) sistemdir.

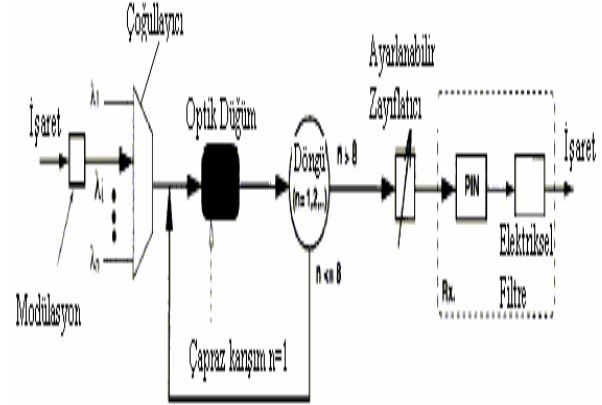
Tablo 1. Benzetimlerde kullanılan fiber parametreleri

Parametre	Fiber Tipi	Fiber Tipi		
		NZDSF	SMF	DCF
D (ps/nm.km)		2	18	78
α (dB/km)		0.25	0.21	0.50
γ (W ⁻¹ .km ⁻¹)		2.3	1.5	4.9
A _{eff} (µm ²)		50	80	30

2. BENZETİM MODELİ

Benzetimlerde kullanılan dispersiyon katsayısı (D), zayıflama katsayısı (α), doğrusalsızlık katsayısı (γ) ve etkin alan (A_{eff}) gibi fiber

parametreleri Tablo 1’de, benzetim modeli ise Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Benzetim modeli

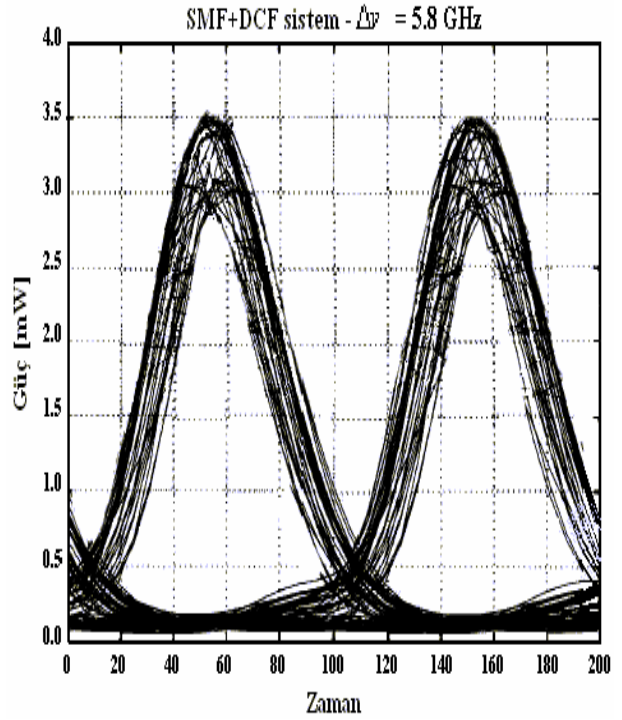
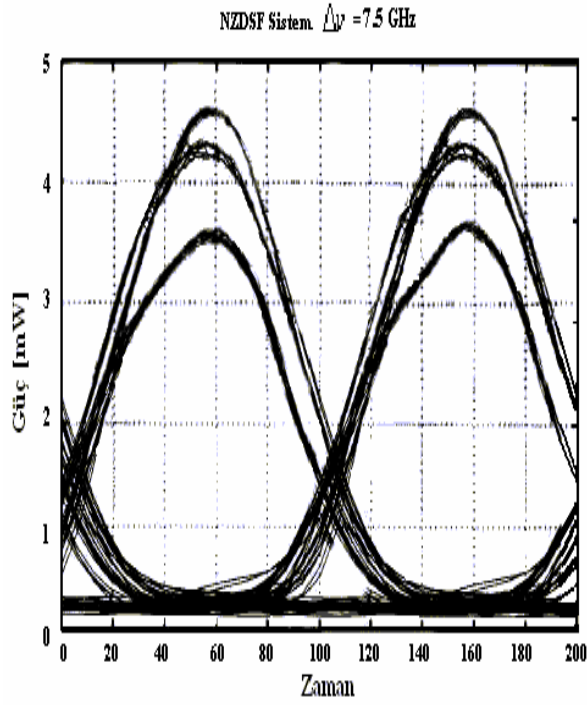
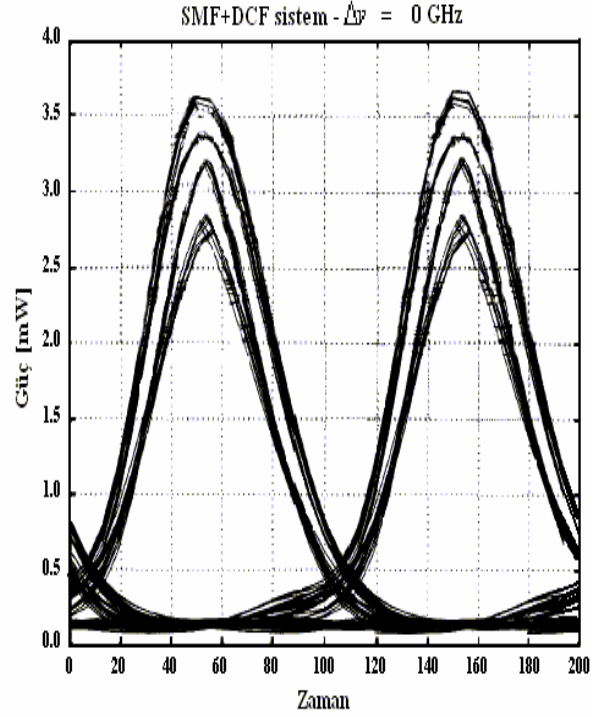
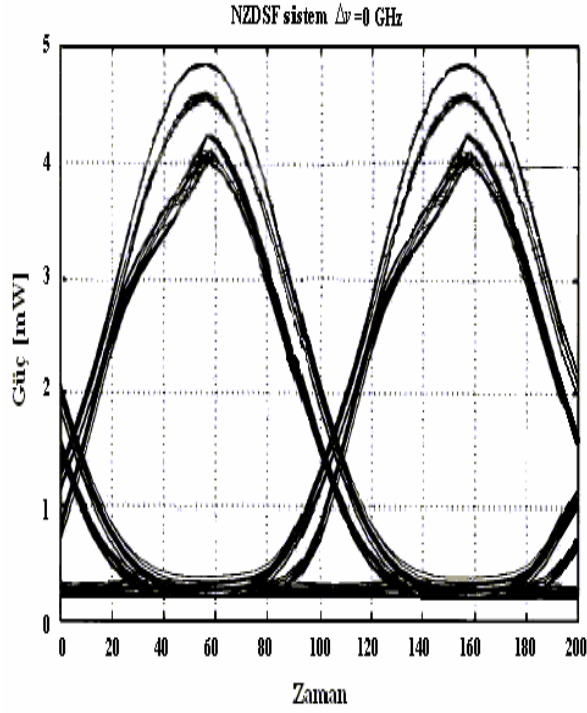
λ_j dalgaboyu 1550 nm’dir. Çapraz karışımın taşıyıcı frekansdan $\Delta\nu$ kadar ötelenmiş bir frekansta oluştuğu kabul edilmiştir. Bu frekans ötelenmesi, uygulamada lazerin dalgaboyundaki kararsızlıklardan ve/veya filtrelerle ilgili sınırlamalardan kaynaklanabilmektedir. Benzetimlerde ASE gürültüsü ihmal edilmiş, doğrusal olmayan etkileri gözlemlemek için işaretin güç seviyesi 10 dBm alınmıştır. Çapraz karışımın ilk düğümde oluştuğu ve işaret ile birlikte sekizinci düğüme ilerlediği kabul edilmiştir. Çapraz karışım seviyesi işaretin güç seviyesinden 25 dB daha düşük alınmıştır. En kötü durum benzetimi yapmak için, işaret ve çapraz karışımın polarizasyon durumları özdeş kabul edilmiştir.

Bu benzetim modelinde, çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarıyla etkileşimini inceleyebilmek için, sadece bir dalgaboyu kanalına (λ_j) odaklanılmıştır. Ancak iletim sistemi çok dalgaboyludur. Bu nedenle, incelenen olayın yanısıra çapraz faz modülasyonu (XPM) ve FWM gibi olaylar da ortaya çıkabilir. Ancak, NZDF sistemde kanallar arasında yeterince boşluk bırakıldığında ve SMF+DCF sistemdeki yüksek kromatik dispersiyon nedeniyle bu tip olayların bildiride incelenen olay üzerindeki etkisi ihmal edilebilir.

3. BENZETİM SONUÇLARI

Şekil 4’te, ilk düğümde gönderilen işaretin eriştiği en son düğümde (Şekil 1’deki 1, m veya n düğümleri) gözlenen iki göz diyagramı verilmiştir. i. düğümdeki 10 dBm’lik giriş gücünün her yeni düğümün girişinde tam olarak kuvvetlendirilip 10 dBm’lik değerini koruduğu kabul edilmiştir.

Göz diyagramları en iyi durumu ($\Delta\nu = 0$ GHz) ve en kötü durumu ($\Delta\nu = 7.5$ GHz) göstermektedir. İki diyagram karşılaştırıldığında, ikinci diyagramda iletim karakteristiklerinin belirgin biçimde kötüleştiği görülmektedir.



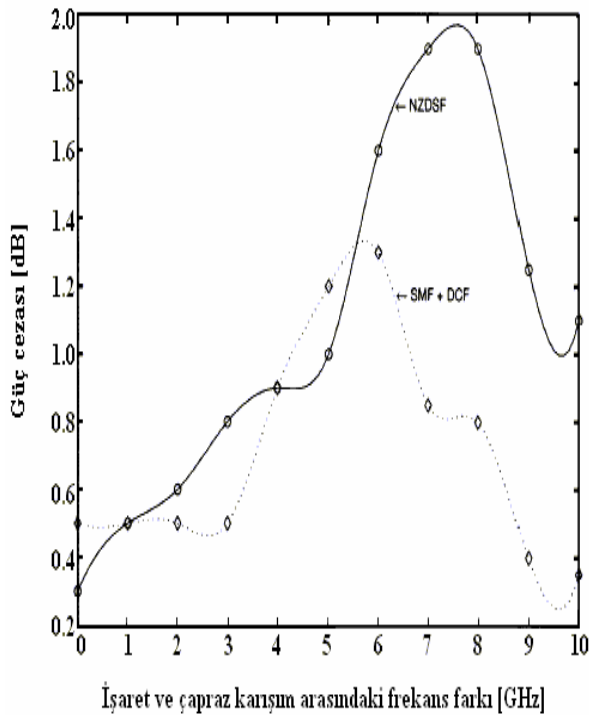
Şekil 4. NZDF sistemde en iyi (üstteki) ve en kötü (alttaki) durum için göz diyagramları

Şekil 5. SMF+DCF sistemde en iyi (üstteki) ve en kötü (alttaki) durum için göz diyagramları

Şekil 5'te, SMF+DCF sistemde en iyi durumu ($\Delta\nu = 0$ GHz) ve en kötü durumu ($\Delta\nu = 5.8$ GHz) gösteren göz diyagramları verilmiştir. SMF+DCF sistemdeki iletim performansı NZDF sisteminkine benzemektedir.

Bu göz diyagramlarından elde edilen sonuçlar, ağ düğümlerinde oluşan çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarıyla etkileşiminin bölgesel metropolitan ağlardaki optik iletime kısıtlamalar getireceğini göstermektedir.

Şekil 6'da güç cezasının $\Delta\nu$ frekans farkıyla değişimi gösterilmiştir. Giriş gücü 10 dBm'dir. NZDF sistemde, $\Delta\nu = 0$ GHz için güç cezası ihmal edilebilecek bir düzeydedir. $\Delta\nu$ değeri arttıkça güç cezası da artmakta ve $\Delta\nu = 7.5$ GHz için güç cezası yaklaşık 2 dB seviyesine ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra $\Delta\nu$ değeri arttıkça güç cezası azalmaktadır. SMF+DCF sistemde, $\Delta\nu = 0$ GHz için güç cezası ihmal edilebilecek bir düzeydedir. $\Delta\nu$ değeri arttıkça güç cezası da artmakta ve $\Delta\nu = 5.8$ GHz için güç cezası yaklaşık 1.3 dB seviyesine ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra $\Delta\nu$ değeri arttıkça güç cezası azalmaktadır.



Şekil 6. Güç cezasının işaret ve çapraz karışım taşıyıcı frekansları arasındaki farkla ($\Delta\nu$) değişimi

Şekil 6'da elde edilen sonuçlar, düşük $\Delta\nu$ değerlerinde çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarıyla etkileşiminin iletim performansı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını; $\Delta\nu$ değeri arttıkça, bu etkileşimden kaynaklanan güç cezasının arttığını; NZDF sistemde $\Delta\nu = 7.5$ GHz ve SMF+DCF sistemde $\Delta\nu = 5.8$ GHz değerlerinden sonra ise güç cezasının azaldığını göstermektedir. Bu durum modülasyon kararsızlığı (MI) ile açıklanabilir. MI fiberin doğrusalsızlık katsayısına (γ) ve işaret gücüne bağlıdır. Bu iki parametre, MI kazanç tepe frekansını belirler. Bu frekansta, iletim sistemi üzerindeki MI etkisi maksimumdur. MI kazanç tepe frekansı NZDF sistemde yaklaşık 20 GHz'dir. Ancak 7.5 GHz bandgenişliğine sahip alıcı filtresi MI'nın 7.5 GHz'in üzerindeki etkilerini bastırır. MI kazanç tepe frekansı SMF+DCF sistemde 6 GHz'dir. Bu değer, alıcı

filtresinin bandgenişliği aralığında ve en yüksek güç cezasının oluştuğu noktadadır. SMF+DCF sistemdeki maksimum güç cezası, NZDF sistemdeki maksimum güç cezasından yaklaşık 0.6 dB daha düşüktür. Bu durumun sebebi, Tablo 1'den de görüldüğü gibi, tek modlu fiberdeki doğrusalsızlık katsayısı değerinin (γ) dispersiyonu ötelenmiş fiberdeki değerden daha düşük olmasıdır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, metropolitan ağ düğümlerindeki OADM'lerde oluşan çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarıyla etkileşiminin, NZDF ve SMF+DCF sistemlerin iletim performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Benzetimlerde tespit edilen iletim performansındaki kötüleşmeler, çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarının etkileşiminin ağ tasarımında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta olduğunu vurgulamaktadır. Benzetimlerde ASE gürültüsünün ihmal edildiği unutulmamalıdır. Gerçek sistemlerde, incelediğimiz etkileşimin yanısıra ASE gürültü etkisi de var olacaktır. Bu durumda, çapraz karışımın fiber doğrusalsızlıklarının etkileşimi optik iletimi daha fazla kısıtlayacaktır. Ayrıca, gerçek sistemlerde güç kayıpları ve kuvvetlendirici kazançları değişkendir. Bu nedenle, optik işaret gürültü oranı (OSNR) ve giriş gücündeki değişimler göz diyagramlarını etkileyecektir. Son olarak, gerçek sistemlerde çapraz karışım sadece bir düğümde değil işaret yolu üzerindeki diğer düğümlerde de oluşabileceğinden çok daha karmaşık etkileşimler ve kısıtlamalar söz konusu olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] D. Sengupta, D. Saha and D. Datta, Performance analysis of access protocols for multi-level optical WDM MANs using wavelength routing switch, IEEE International Conference on Communications ICC 2000, v. 3, pp: 1633-1637, 2000.
- [2] I. M. White, D. Wonglumsom, K. Shrikhande, S. M. Gemelos, M. S. Rogge and L. G. Kazovsky, The architecture of Hornet: A packet-over-WDM multiple-access optical metropolitan area ring network, Computer Networks, 32(5):587-598, 2000.
- [3] C. C. Li, S. W. Kau and W. S. Hwang, A CSMA/CP MAC protocol for IP over WDM metropolitan area ring networks, The 8th International Conference on Communication Systems ICCS 2002, v. 2, pp: 1212-1216, 2002.

- [4] L. Xu, H. G. Perros and G. N. Rouskas, Access protocols for optical burst-switched ring networks, *Information Sciences*, 149(1-3):75-81, 2003.
- [5] J. Liu and N. Ansari, A new control architecture with enhanced ARP, burst-based transmission, and hop-based wavelength allocation for ethernet-supported IP-over-WDM MANs, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(8):1419-1431, 2004.
- [6] L. Xu, H. G. Perros and G. N. Rouskas, A simulation study of optical burst switching and access protocols for WDM ring networks, *Computer Networks*, 41(2):143-160, 2003.
- [7] E. Ciaramella and F. Curti, Experimental assessment of node crosstalk limitations enhanced by nonlinear effects in all optical transport networks, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 11(6):751-753, 1999.