

ESNEK ŞEBEKELİ OPTİK AĞLARDA IP TRAFİĞİNİN VERİMLİ TAŞINMASI

EFFICIENT TRANSPORT OF TIME-VARYING IP TRAFFIC IN FLEXI-GRID OPTICAL NETWORKS

Çağlar Tunç, Nail Akar

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent Üniversitesi, 06800, ANKARA

{caglar, akar}@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe—Esnek (elastik) şebekeli optik ağlarda frekans dilimi genişliği seçimi ile kastedilen, talep edilen trafik durumuna göre, tahsis edilen frekans dilimi genişliğini dinamik olarak güncellemektir. Bununla birlikte güncelleme sıklığının artması, optik ağ için bir yük oluşturacağından ötürü güncelleme sıklığının genelde sınırlandırılması gereklidir. Bu makalede, trafik modelinden bağımsız olarak çalışan bir çevrimiçi frekans dilimi genişliği seçim mekanizması tanıtılmaktadır.

Anahtar Kelimeler—Dinamik frekans dilimi tahsisi, Esnek şebekeli optik ağlar, Trafik Mühendisliği, Trafik adaptasyonu

Özet—Frequency slot width selection in flexi-grid optical networks refers to the process of online update of the slot width of the channel, according to time-varying traffic demands. Since slot width updates are associated with signaling costs, it is common to limit the rate of updates. In this article, we propose a model-free hysteresis-based slot width selection algorithm for flexi-grid optical networks.

Keywords—Dynamic frequency slot allocation, Flexi-grid optical networks, Traffic engineering, Traffic adaptation, Hysteresis

I. GİRİŞ

Optik taşıma ağları, C-bandında (1530-1565 nm) optik spektrumu 50 GHz'lik sabit spektrum dilimlerine bölen Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) sabit frekans şebekesi aracılığı ile Yoğun Dalga Boyu Bölümlü Çoğullama (DWDM) tabanlı iletim kullanır [1], [2]. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), 100 Gbps'ın üzerindeki iletimler için esnek frekans şebekesini (kısaca esnek şebeke) tanımlamıştır [3]. Merkez frekansı (CF) ve gerekli frekans dilimi genişliği (SW) ile tanımlanan belirli bir kanala tahsis edilen frekans aralığını tanımlamak için, değişken boyutlu frekans dilimi tanımı yapılmıştır. Esnek şebekeler için ise, (n, m) çiftiyle karakterize edilen izin verilen frekans (veya spektrum) dilimi; $CF = 193.1 \text{ THz} + n\Delta_f$ merkez frekansına (THz cinsinden) ve $SW = \Delta_c m$ frekans dilimi genişliğine sahiptir (n bir tamsayı, Δ_c SW nesne boyu, m bir pozitif tamsayı ve Δ_f CF nesne boyu). Bu durumda, frekans dilimi genişliği (veya kanal boyutu), bir tanesinin genişliği Δ_c olan m tane kanal frekans bölütü olarak ifade edilebilir [4]. Bu makalede, Δ_c sabit olacak şekilde $SW = m$ frekans bölütü olarak kullanılacaktır.

Bu makalede esnek şebekeli optik ağlar (FG-ON) incelenecektir. FG-ON'ların gerçekleştirilmesinde iki önemli teknoloji büyük rol oynar: Değişken Bant Genişlikli Aktarıcılar (BV-T) ve Değişken Bant Genişlikli Optik Statik Anahtarlar (BV-OXC). BV-T; istemci trafiğini, istemci ihtiyacına tam yetecek kadar özkaynak kullanarak uygun modülasyon sırası ile bir optik sinyale eşlemler. BV-OXC ise, sabit şebekeli optik ağların aksine, değişken boyutlu frekans dilimlerini bir girdi kapısından diğer bir kapağa anahtarlar. Her ne kadar şu anki 100 Gbps iletim sistemleri sabit şebekeyi kullanabilseler de, 400 Gbps ve 1 Tbps gibi yüksek bit hızlı sinyaller, standart modülasyon formatlarında sabit bir frekans dilimine uyum gösteremezler [2], [5], [6]. Bununla beraber, orta dalga boylu (düşük bit hızlı) sinyaller de sabit şebekeli frekans dilimlerini kullanarak optik alanda verimli bir şekilde taşınmazlar. FG-ON'lar, değişken boyutlu frekans dilimleri kullanarak hem düşük hem de yüksek bit hızlı sinyalleri aynı altyapı ile taşırlar. Esnek veya elastik optik yol (kısaca esnek yol) ile kastedilen, bir ağın iki ucu arasında ağ düğümleri ve bağları içeren ve tüm spektrumda değişken boyutlu frekans dilimleri kullanan optik yollardır. Öte yandan FG-ON'larda kanal boyutu ve modülasyon formatı; gönderici ve alıcı arasındaki mesafe [5], zamana bağlı fiziksel bozulmalar [7] veya zamana bağlı trafik talebi [4] göz önünde bulundurularak belirlenebilir. Bu makalenin odak noktası ise yukarıda sayılanlar arasından, FG-ON'ların trafik talebine uyumlu yapısıdır.

FG-ON'larda kullanılan üç temel spektrum tahsisi (SA) yöntemi vardır: Sabit SA (FSA), Yarı-Sabit SA (SSSA) ve Elastik SA (ESA) [4]. FSA'da hem CF hem de SW zamana bağlı olarak değişmez. SSSA'da ise CF sabittir ancak SW zamanla değişken özellik gösterir. Son olarak ESA'da ise, hem CF hem de SW zamana bağlı olarak değişebilir. Bant genişliği ve harcanan enerji kazançları göz önünde bulundurulduğunda, ESA'nın diğer iki yöntemle üstünlük sağladığı söylenebilir; bu nedenle bu makalede ESA incelenecektir. Bununla beraber, yöntemin uygulama ve gerçekleştirim sorunları ileriki araştırmalara bırakılacaktır.

Esnek yol'da bir SW güncellemesi ihtiyacı olduğu zaman, ağa bir güncelleme isteği gönderilir ve uygun spektrum özkaynakları kontrol edilerek yeni CF ve SW için bir karar verilir. Öte yandan, güncelleme isteği çok sık yapılırsa bu durum ağ için bir yük oluşturur; bu nedenle güncelleme isteği sıklığı da bu problemde hesaba katılması gereken önemli bir faktördür.

Bu makalenin amacı; istenilen belirli bir SW güncelleme sıklığını aşmamak koşulu ile, zamana bağlı IP trafiğini esnek yola eşleyen ve trafik talebine uyumlu bir çevrimiçi yöntem mekanizması geliştirmektir. Bütün istekleri kabul eden bir FG-ON'da bant genişliğindeki kazancı tanımlamak hedeflenmiştir.

2. bölümde, zamana bağlı IP trafiğini esnek yola eşleyen önerilen yöntem anlatılmıştır. Sayısal sonuçlar 3. bölümde verilmiştir. Son bölümde ise anlatılanlar sonuçlandırılmıştır.

II. ÇEVİRİMİÇİ FREKANS DİLİMİ GENİŞLİĞİ SEÇME MEKANİZMALARI

Bu bölümde zamana bağlı IP trafiğini; ESA yöntemi altında trafik değişimine göre frekans diliminin genişliğini, frekans dilimi kesiti cinsinden güncelleyerek esnek yola eşleyen Çevrimiçi Frekans Dilimi Genişliği Seçme (OSWA) mekanizması anlatılacaktır. Spektrum frekans diliminin merkez frekansının (CF) bulunması ise bu makalenin kapsamı dışında bırakılmıştır.

OSWA algoritmasında, istenilen maksimum SW güncelleme sıklığı, birim zamanda β adet güncelleme olarak tanımlanır. $T_u = 1/\beta$ ise iki güncelleme arasında geçen istenilen minimum ortalama süreyi gösterir. Bununla beraber, SW güncelleme kararları T_m (saniye birimli) ile gösterilen ölçüm periyotlarının tam sayı katlarında gerçekleştirilir. $((k-1)T_m, kT_m), k \geq 1$ zaman aralığındaki anlık veri hızı R_k ile gösterilirken, aynı aralıkta esnek yol tarafından ihtiyaç duyulan minimum SW miktarı ise Z_k frekans bölütü ile olarak gösterilir ve şu şekilde tanımlanır:

$$Z_k = \frac{R_k}{B_{mod}\Delta_c}. \quad (1)$$

Eşitlik (1)'deki ifadede B_{mod} , seçilen modülasyon formatı için spektrum verim oranını b/s/Hz birimiyle verirken ($B_{16-QAM} = 4$ b/s/Hz, $B_{QPSK} = 2$ b/s/Hz vs.) Δ_c ise daha önce tanımlandığı üzere SW nesne boyunu (GHz) gösterir. Önceden bilindiği kabul edilen $R_{max} = \max_k R_k$ için, mevcut veri akışı için kullanılabilir maksimum SW ise (1)'deki ifadede R_k yerine R_{max} yazılarak elde edilir.

$t = kT_m$ anındaki güncelleme kararına göre, $(kT_m, (k+1)T_m), k \geq 1$ zaman aralığında frekans dilimi, S_{k+1} frekans bölütünden oluşur. Eğer $S_{k+1} \neq S_k$ koşulu sağlanıyorsa, $t = kT_m$ anında bir SW güncellemesi yapılmıştır demektir. Bu senaryoda, esnek yol kapasitesi zaman zaman talebin altında kalabileceği için kayıpların oluşumu kaçınılmazdır. Bu makalede kullanılacak olan ve L ile gösterilen kayıp oranı tanımı aşağıdaki gibidir:

$$L = \frac{\int_{t=0}^T \max[0, R(t) - S(t)B_{mod}\Delta_c] dt}{\int_{t=0}^T R(t) dt}. \quad (2)$$

Burada kullanılan T , ölçümlerin alınacağı zamanı; $R(t)$ ve $S(T)$ ($Z(t)$) ise anlık veri hızı ve kullanılan (ihtiyaç duyulan) frekans bölütü sayısını belirtmektedir. Öte yandan, önceden belirlenmiş ve $T_s \ll T_m$ koşulunu sağlayan bir T_s değeri için, $((j-1)T_s, jT_s)$ zaman aralığındaki veri hızını gösteren ve $R(t)$ fonksiyonunun örneklenmiş hali olan $R^{(j)}$ genelde elde edilebilir. Aynı zaman aralığında kullanılan frekans bölütü sayısı $S^{(j)}$ ile gösterilecek olursa, (2) aşağıdaki hale dönüşür:

$$L = \frac{\sum_{k=1}^N \max[0, (R^{(j)} - S^{(j)}B_{mod}\Delta_c)]}{\sum_{k=1}^N R^{(j)}}. \quad (3)$$

Yukarıdaki N ile belirtilen, toplam örnekleme periyodu sayısıdır. Numerik örneklerde T_s , 1 saniye olarak alınmıştır.

Kayıp oranıyla birlikte diğer bir ölçüm olan kazanç (G) ise, trafikten bağımsız ve sabit olarak S_{max} frekans bölütü vermek yerine OSWA mekanizmasını kullanılarak elde edilen yüzde kazanç olarak tanımlanmıştır. G , matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$G = \frac{\sum_{k=1}^N (S_{max} - S_k)}{S_{max}N} 100\%. \quad (4)$$

Burada kullanılan N ise toplam ölçüm periyodu sayısıdır. G , hem bant genişliği hem de harcanan güç bakımından kazancı göstermektedir.

OSWA mekanizmasının en önemli parçalarından biri de, SW güncellemelerini kontrol edebilmek için kullandığımız sızıntılı kova kaptır. Kabin $t = kT_m$ anındaki doluluğu B_k ile gösterilir. Her ölçüm periyodunda, kabin doluluğu sıfıra vurana kadar $\kappa/\beta T_m$ kadar azaltılır. Matematiksel gösterim ile, önceden belirlenen bir κ parametresi için, $B_k = \max(0, B_{k-1} - \kappa/\beta T_m)$ olarak ifade edilir. $t = kT_m$ anında, kap doluluğu B_k ve Z_k değişkenlerini kullanarak bir sonraki olası SW güncellemesine kadar $S_k - B_k$ ile bir alt eşik ve S_k ile de bir üst eşik tanımlıyoruz. $t = kT_m$ anında, aşağıdaki koşul sağlandığı takdirde bir SW güncelleme kararı alınır:

$$Z_k \notin (S_k - B_k, S_k) \quad (5)$$

Bu koşulun sağlandığı her zaman periyodu, olası SW güncelleme periyodu olarak adlandırılır. Eğer bir güncelleme gerçekleşmiş ise ($S_{k+1} \neq S_k$) kap doluluğu, önceden belirlenmiş bir B_{max} değerine vurana kadar κ kadar artırılır.

Algorithm 1: OSWA Çevrimiçi Frekans Dilimi Genişliği Seçme Algoritması.

Input: Anlık veri hızı R_k

Output: Tahsis edilen bölüt sayısı, S_{k+1}

1 initialization $i = 0, k = 0, B_0 = \frac{B_{max}}{2}, S_0 = S_{max},$

$Z_{k_0} = Z_1, k_0 = 0$

2 **while True do**

3 $k \leftarrow k + 1$

4 $Z_k \leftarrow \frac{R_k}{B_{mod}\Delta_c}$

5 $B_k \leftarrow \max(0, B_{k-1} - \kappa/\beta T_m)$

6 **if** $Z_k \notin [S_k - B_k, S_k]$ **then**

7 $S_{k+1} \leftarrow \min(S_{max}, \lceil Z_k \rceil)$

8 **if** $S_{k+1} \neq S_k$ **then**

9 $B_k \leftarrow \min(B_{max}, B_k + \kappa)$

10 **else** $S_{k+1} \leftarrow S_k$

11 **return** S_{k+1}

OSWA algoritması, kap doluluğunu sınır değerleri olan sıfır ve B_{max} 'tan uzakta tutarak gerçek güncelleme sıklığını β civarında tutmayı amaçlar. Tahmin edilebileceği üzere, T_m seçimi ile G ve L arasında doğru orantı bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, seçilen T_m değeri büyüdükçe G ve L değerleri de artacaktır. Kısacası, T_m seçimi, algoritmanın daha önceden belirlenen tolere edilebilir kayıp oranı olan L_T 'yi aşmaması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sebepten ötürü, gerçek kayıp oranını (L), daha önceden belirlenen L_T değerinin etrafında tutmayı amaçlayan ve bu doğrultuda T_m değerini dinamik olarak değiştiren kayıp-kontrollü OSWA (LC-OSWA) algoritmasını öneriyoruz. Burada tanımlanan gerçek kayıp oranı olan L , daha önceden belirlenen bir gözlem periyodu (T_o) boyunca ölçülen kayıp oranıdır. Buna göre; T_o zaman dilimi boyunca sabit bir T_m değeri ile OSWA algoritması çalıştırılır. Her gözlem periyodunun sonunda ise L ile L_T karşılaştırılarak bir sonraki gözlem periyodunda kullanılacak olan T_m değeri belirlenir. LC-OSWA algoritmasında, T_m 'in alt (üst) sınır olan T_{min} (T_{max}) tarafından sınırlandırılacak şekilde değerler almasına müsaade edilir. Bunun yanında, dinamik olarak değiştirilen bir alt (üst) sınır da T_- (T_+) olarak tanımlanır. Algoritmanın ana mantığı, $[T_-, T_+]$ bandını ikili arama yöntemi ile taramaktır. Öte yandan, trafik örüntüsündeki rasgelelikten ötürü, her gözlem periyodunun çıktısı da rasgele olmaktadır. Dolayısıyla, $[T_-, T_+]$ bandı kapandığı durumlarda bant tekrar açılarak algoritmanın rasgele olan trafik örüntüsüne uyum sağlaması amaçlanmaktadır. Kolaylık açısından, algoritma parametreleri olan T_{min} , T_{max} , T_- ve T_+ , ana zaman birimi olan T_s 'in tam sayı katı olarak seçilmiştir. LC-OSWA mekanizmasının çalışma prensipleri Algoritma 2'de anlatılmıştır.

Algorithm 2: LC-OSWA Kayıp Kontrollü Çevrimiçi Frekans Dilimi Genişliği Seçme Algoritması.

Input: Tolere edilebilir kayıp oranı L_T , Gözlem periyodu T_o
Output: Ölçüm periyodu T_m

- 1 initialization $h = 1$
- 2 **while** *True* **do**
- 3 Güncel gözlem periyodu boyunca sabit ölçüm periyodu olarak T_m kullanılır
- 4 Güncel gözlem periyodunda elde edilen kayıp oranı \hat{L} hesaplanır
- 5 **if** $\hat{L} > L_T$ **then**
- 6 $T_+ \leftarrow T_m$
- 7 $T_m \leftarrow \max \left(T_{min}, T_s \left\lfloor \frac{T_m + T_-}{2T_s} \right\rfloor \right)$
- 8 **else if** $\hat{L} < L_T$ **then**
- 9 $T_- \leftarrow T_m$
- 10 $T_m \leftarrow \min \left(T_{min}, T_s \left\lfloor \frac{T_m + T_+}{2T_s} \right\rfloor \right)$
- 11 **if** $T_- = T_+$ **then**
- 12 $T_- \leftarrow \max (T_{min}, T_- - \Delta)$
- 13 $T_+ \leftarrow \min (T_{max}, T_+ + \Delta)$
- 14 **return** T_m
- 15 $h \leftarrow h + 1$

III. SAYISAL ÖRNEKLER

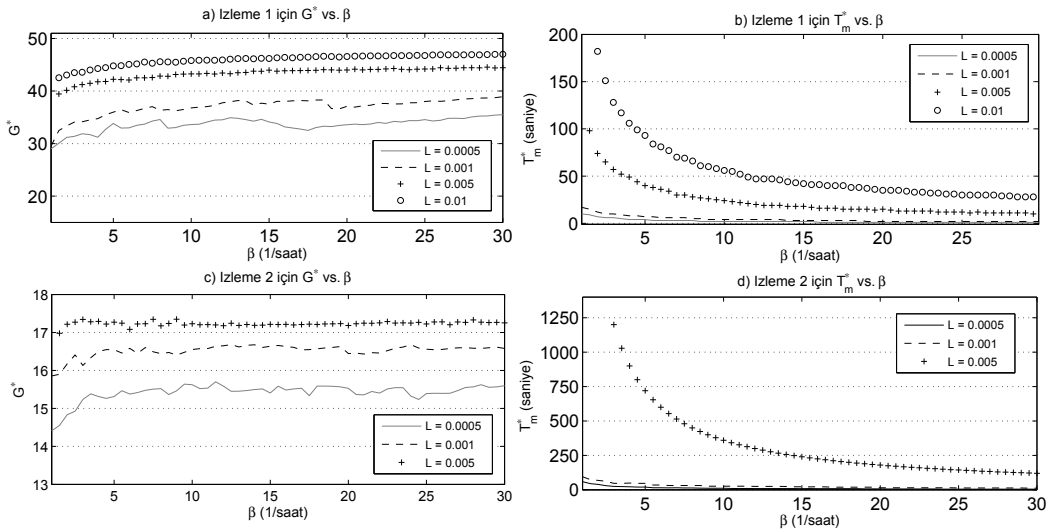
Önerilen OSWA ve LC-OSWA algoritmalarını değerlendirmek için MAWI arşivinden [8] alınan iki gerçek trafik izlemesi kullanılmıştır. *İzleme 1* 50.25 saatlik bir izleme olup 9 Ocak 2007 tarihinde 150-Mbps'lık bir trans-Pasifik hattından alınırken; *İzleme 2* ise 24 saatlik bir izleme olup 3 Mart 2006 tarihinde 10-Mbps'lık başka bir trans-Pasifik hattından alınmıştır. Her iki izleme de $R_{max} = 100$ Gbps'a ölçeklenmiş ve $R^{(j)}$ değerlerini elde etmede $T_s = 1$ sn seçilmiştir. Bununla birlikte, daha uzun izlemeler elde edilmesi amacıyla, her iki izleme de arka arkaya 10 kere eklenmiştir. Frekans bölütü genişliği olarak $\Delta_c = 6.25$ GHz alınırken QPSK ve 16-QAM modülasyon formatları incelenmiştir. Bu formatlar kullanıldığında, QPSK (16-QAM) için $S_{max} = 8$ ($S_{max} = 4$) durumları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca κ parametresi bütün örneklerde 0.5 olarak seçilmiştir.

A. Örnek 1

Bu bölümde, OSWA algoritması her iki izleme üzerinde de $S_{max} = 8$ durumu için farklı T_m değerleriyle çalıştırılıp G ve L değerleri elde edilmiştir. Ardından, dört farklı kayıp değerine ($L = 0.01, 0.005, 0.001$ ve 0.0005) tekabül eden T_m değerleri, T^* gösterimi ile elde edilmiştir. Bununla beraber, T^* 'lerle elde edilen G değerleri de G^* olarak gösterilmektedir. G^* ve T^* değerlerinin dört farklı L değeri için β 'ya göre çizdirilmiş grafikleri Şekil 1'de verilmiştir. Bununla beraber, ihtiyaç duyulan frekans bölütü sayısı değişkenliği düşük olan 2. izleme için, T_m değerleri T_u 'ya kadar arttırılarak elde edilebilen en yüksek kayıp değeri 0.4 civarındadır. Dolayısıyla, bu izleme için $L = 0.01$ gösterilmemiştir ve $L = 0.005$ 'e tekabül eden sonuçlar da $T_m = T_u$ değeriyle elde edilen T_m^* ve G^* değerlerdir. Bu sonuçlar gösteriyor ki; belirli bir L değeri için, OSWA algoritmasını kullanılmaktaki kazanç, β değeriyle doğru orantılıdır. Bunun yanında belirli bir β değeri için daha yüksek bir kayıp oranının tolere edilebilmesi, daha yüksek kazançlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, esnek optik ağların avantajlarından yararlanılmak isteniyorsa, belirli miktarlarda kayıp tolere edilmelidir. Ayrıca, iki izlemenin anlık veri hızı değişkenlikleri oldukça farklılık göstermektedir. İzleme 1'in değişkenliği oldukça yüksekken izleme 2'nin değişkenliği bir o kadar düşüktür. Simülasyon sonuçları göstermektedir ki veri hızı değişkenliği yüksek izlemelerde oldukça büyük kazançlar elde edilirken değişkenlik azaldıkça kazanç da azalmaktadır. T^* seçimi, G^* 'in aksine β ile ters orantılıdır. Ayrıca sabit bir β için tolere edilen kayıp oranı arttıkça T^* da artmaktadır.

B. Örnek 2

OSWA algoritması, yalnızca uygun bir ölçüm periyodu T_m seçimi ile önemli kazançlar sağlamaktadır. Bu noktada, T_m 'i dinamik olarak değiştirerek kayıp oranını kontrol altında tutan LC-OSWA algoritması önerilmektedir. Bu son örnekte LC-OSWA algoritması, izleme 1 üzerinde iki farklı $L = 0.01$ ve 0.001 değeri için çalıştırılmıştır. Bu örnekteki simülasyonlarda, 1. izleme dört kez arka arkaya eklenerek 201 saatlik bir izleme elde edilmiştir. Ayrıca, $\Delta = 1$ sn olarak alınmıştır. T_{max} değeri ise $1/(2\beta)$ olarak seçilmiştir. T_{max} değeri seçilirken, sisteme yeterli miktarda güncelleme yapma olanağı vermek amaçlanmıştır. Tablo I ve Tablo II'de, farklı β değerleri için, LC-OSWA ve OSWA algoritmalarının gerçek güncelleme sıklıklarıyla kazançları karşılaştırılmıştır. Çoğu durumda, LC-OSWA



Şekil 1: Farklı L değeri ve her iki izleme için, β 'ya göre G^* ve T_m^* değerleri.

algoritmasının kayıp oranını L_T etrafında tutmayı başardığı ve OSWA algoritmasına yakın kazançlar sağladığı görülmektedir. Buradaki önemli nokta şudur ki; OSWA algoritması için alınan T_m^* değerleri, L_T değerini tam olarak tutturamayabilir; çünkü tanım gereği bu T_m^* değerleri, kaybın L_T değerinden küçük olmasını sağlamaktadır. Bazı durumlarda LC-OSWA'nın OSWA algoritmasından daha yüksek kazançlar elde etmesinin ana sebebi de budur. Son olarak, güncelleme sıklıklarının β etrafında başarıyla tutulduğu görülmektedir.

β	LC-OSWA			OSWA	
	Kayıp oranı L	LC-OSWA güncelleme sıklığı	Kazanç G^* (%)	G^* (%)	OSWA güncelleme sıklığı
2	0.0011	2.01	34.83	33.36	2.03
4	0.0011	4.01	37.01	34.76	3.04
8	0.0010	8.00	38.92	36.35	8.00
16	0.0011	15.87	40.68	38.05	15.92
32	0.0012	31.10	41.23	40.13	31.50

Tablo I: $L_T = 0.001$ için LC-OSWA ve OSWA karşılaştırması.

β	LC-OSWA			OSWA	
	Kayıp oranı L	LC-OSWA güncelleme sıklığı	Kazanç G^* (%)	G^* (%)	OSWA güncelleme sıklığı
2	0.0096	1.95	43.82	43.06	1.89
4	0.0098	3.77	44.64	44.29	3.60
8	0.0091	7.27	45.50	45.57	6.73
16	0.0094	13.18	46.65	46.41	12.16
32	0.0098	22.32	47.36	47.56	20.48

Tablo II: $L_T = 0.01$ için LC-OSWA ve OSWA karşılaştırması

IV. VARGI

Bu makalede, FG-ON'ların trafiğe adapte olabilen yapıları ve bu sayede elde edilebilecek güç/bant genişliği kazançları üzerinde durulmuştur. FG-ON'ların bu yapısından avantaj sağlayabilmek adına belirli kayıp oranlarının tolere edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Zamana bağlı IP trafiğini esnek yola eşleyen çevrimiçi frekans dilimi genişliği seçme mekanizması anlatılmıştır. OSWA mekanizmasının belirli ölçüm

periyotları için kayıp oranını istenilen ölçülerde tutarken yüksek kazançlar sağlayabildiği gösterilmiştir. Bununla beraber, ölçüm periyodunu, gerçek kayıp oranını tolere edilen kayıp oranıyla karşılaştırarak çevrimiçi olarak arttıran ($L < L_T$ ise) ya da azaltan ($L > L_T$ ise) LC-OSWA algoritması tanıtılmıştır. Önerilen çevrimiçi algoritma olan LC-OSWA'nın, OSWA algoritmasına yakın kazançlar elde ederken aynı zamanda kayıp oranını kontrolde de genelde başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Son olarak, her iki algoritmada da frekans dilimi genişliği güncelleme sayısının β etrafında tutulduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Pincemin, "Challenges of 40/100 Gbps deployments in long-haul transport networks on existing fibre and system infrastructure," in *Optical Fiber Communication (OFC), collocated National Fiber Optic Engineers Conference, 2010 Conference on (OFC/NFOEC)*, 2010, pp. 1–3.
- [2] O. Gerstel, M. Jinno, A. Lord, and S. J. B. Yoo, "Elastic optical networking: a new dawn for the optical layer?" *Communications Magazine, IEEE*, vol. 50, no. 2, pp. s12–s20, 2012.
- [3] ITU-T, "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid," International Telecommunication Union, Recommendation G.694.1, 2012.
- [4] M. Klinkowski, M. Ruiz, L. Velasco, D. Careglio, V. Lopez, and J. Comellas, "Elastic spectrum allocation for time-varying traffic in flexgrid optical networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 31, no. 1, pp. 26–38, 2013.
- [5] M. Jinno, B. Kozicki, H. Takara, A. Watanabe, Y. Sone, T. Tanaka, and A. Hirano, "Distance-adaptive spectrum resource allocation in spectrum-sliced elastic optical path network [topics in optical communications]," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 48, no. 8, pp. 138–145, 2010.
- [6] M. Jinno, H. Takara, B. Kozicki, Y. Tsukishima, Y. Sone, and S. Matsuoka, "Spectrum-efficient and scalable elastic optical path network: architecture, benefits, and enabling technologies," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 47, no. 11, pp. 66–73, 2009.
- [7] D. J. Geisler, R. Proietti, Y. Yin, R. P. Scott, X. Cai, N. K. Fontaine, L. Paraschis, O. Gerstel, and S. J. B. Yoo, "Experimental demonstration of flexible bandwidth networking with real-time impairment awareness," *Opt. Express*, vol. 19, no. 26, pp. B736–B745, Dec 2011.
- [8] K. Cho, K. Mitsuya, and A. Kato, "Traffic data repository at the WIDE project <http://mawi.wide.ad.jp/mawi/>," in *Proceedings of the annual conference on USENIX Annual Technical Conference*. USENIX Association Berkeley, CA, USA, 2000, pp. 51–51.