

## OPTİK AĞLARDA REJENERATÖR KONUMLANDIRILMASI

**Onur Özkök**

*Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliđi Bölümü, 06530, Ankara*

**Oya Ekin Karaşan**

*Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliđi Bölümü, 06800, Ankara*

**Özet:** Kullanıcı sayısındaki ve modern uygulamaların kullandığı kaynaklardaki artış, İnternet üzerindeki trafikte hızlı bir büyümeye yol açmıştır. Bu nedenle, fiber optik tellerin kullanıldığı ve daha çok veriyi, daha hızlı ve daha güvenli şekilde iletme imkanı sunan optik ağların yaygınlaşması beklenmektedir. Ancak optik ağlarda, katman kısıtları nedeniyle optik sinyaller zayıflamakta ve sinyal menzilleri kısalmaktadır. Menzilleri artırmak için rejeneratör adı verilen sinyal güçlendiriciler kullanılabilir. Ayrıca haberleşme ağının güvenilirliğini artırmak için, ağ üzerindeki her düğüm çifti için iki ayrı yol bulunmalıdır. Bu kısıtlara uygun bir ağ tasarlamak için uygun yerlere rejeneratörler yerleştirilmelidir. Ancak sinyal güçlendirmek yüksek maliyetli bir işlem olduğundan, gereksinimleri karşılamak için kullanılacak rejeneratör sayısını enazlamak istenmektedir. Ele alınan problem için bir tamsayılı doğrusal karar modeli geliştirilmiş, problem boyutunun çok büyük olması nedeniyle çözüm için sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Sezgisel algoritma, örnek problemler üzerinde çalıştırılmış ve bu problem için önerilmiş başka sezgisel algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlar bildiride özetlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Optik Ağlar, Rejeneratör Konumlandırılması, Tamsayılı Programlama*

### 1.Giriş

İnternet kullanıcılarının ve kullanılan kaynakların artması, İnternet üzerindeki trafiğin artmasına yol açmıştır. Bu nedenle ağların kapasitesinin ve veri iletim hızlarının artırılması önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bakır tellerin yerine fiber-optik kabloların kullanılmasıyla oluşan optik ağlar, daha fazla veriyi daha hızlı olarak iletme imkanı sunmaktadırlar. Yakın gelecekte bilgisayar ve haberleşme ağlarında taşınan veri miktarının hızla artması beklendiği için, optik ağların bu talebi karşılamak için önemli rol oynamaları beklenmektedir. Ancak Strand ve diğerlerinde (2001) tartışılan, optik ağlardaki bazı zayıflıklar sinyalleri yollamak için bazı rotaların kullanılmasını engellemektedir. Bu zayıflıklardan bir tanesi sinyal zayıflamasıdır. Optik sinyallerin sinyal-gürültü oranı adı verilen ve sinyalin seviyesi olarak da düşünülebilecek bir özellikleri vardır. Sinyaller bir düğümden yollandıktan sonra diğer düğüme varana kadar geçtiği ayırıtın uzunluğuna bağlı olarak zayıflamaktadır. Sinyal-gürültü oranı belirli bir seviyenin altına düştüğü zaman sinyaller kullanılamaz hale gelmektedir. Bu nedenle şu andaki teknolojiyle, fiziksel katman kısıtları optik ağlarda sinyal iletim menzilini sınırlamaktadır. İletim menzillerini artırmak için yeniden üretici cihazlar (rejeneratör) kullanılmaktadır. Optik ağlarda düğümlere yerleştirilen bu cihazlar optik sinyalleri alıp, yeniden üretilip yollamaktadır. Üzerine rejeneratör yerleştirilmiş olan düğümler *opak*, diğer düğümler ise *saydam* düğüm olarak adlandırılmaktadır. Optik ağlar düğümlerinin rejenerasyon özelliklerine göre üçe ayrılmaktadırlar. Hiçbir düğümünde rejenerasyon özelliği olmayan ağlara *saydam ağ*, her düğümünde rejeneratör olan ağlara *saydam olmayan ağ* adı verilir. Bu iki durumun arasında kalan, bazı düğümlerinde sinyal rejenerasyonu olan ağlar ise *yarı saydam ağ* olarak adlandırılmaktadır. Saydam ağlarda varolan sinyal iletim menzilinin yetersiz olması sorunu, saydam olmayan ağlarda yoktur. Buna karşılık rejenerasyon işlemi maliyetli bir işlem olduğu için saydam olmayan ağlar tercih edilmezler. Yarı saydam ağlar maliyet açısından daha avantajlı olmalarının yanı sıra, ağdaki düğümlerin yaklaşık %20'sine rejeneratör yerleştirildiği taktirde saydam olmayan ağların performansına ulaşabilmektedir, (Yang v.d., 2002). Bu nedenle hangi düğümlere rejeneratör yerleştirileceğine karar verilmesi önemli bir problemdir.

Ağlarda dikkate edilmesi gereken diğer bir konu ise veri iletimi sırasında bir bağlantıda sorun yaşanması durumunda bu problemin nasıl düzeltileceğidir. Bu durumda sinyalin kurtarılması için Yetginer (2002) ve Shen ve Grover (2004)'te anlatılan farklı yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada sinyallerin gönderilebileceği biri asıl diğeri onarım yolu olmak üzere iki ayrı yol bulunması tercih edilmiştir. Bu sayede asıl yolda bağlantı kopması olursa, onarım yolu devreye alınarak problem giderilebilir.

### 2. Problem ve Karar Modeli

$G(V,E)$  optik ağı temsil eden yönsüz bir serim olmak üzere amacımız, ağ üzerindeki bütün düğüm çiftleri arasında ayrıklı iki yol bulmak ve bu yolların uzunluklarını belirtilen sınır içinde tutmaktır. Herhangi bir yolun uzunluğu ise bu problem için farklı şekilde tanımlanmıştır. Bir yolun üzerinde

bulunan rejeneratörler arasında kalan kısım *yol parçası* olarak adlandırılır. Bu yol parçasının ilk ve son düğümlerinde sinyal yeniden üretildiği için yol parçalarının uzunluklarının belirtilen uzunluktan kısa olması yeterlidir. Buna göre bir yolun uzunluğunun, o yola ait yol parçalarının uzunluklarından en büyüğüne eşit olduğu söylenebilir. Düğümler arasındaki bağlantılarda iki yönlü sinyal iletimi mümkün olduğu için yönsüz serimin kenarları, her iki yöndeki yönlü ayrıtlar ile değiştirilerek elde edilen  $H(N,A)$  üzerinde çalışılmıştır.

Yetginer (2003) bu problemi incelemiş ve çözümü için doğrusal olmayan bir karar modeli ile iki sezgisel algoritma önermiştir. Bu model üzerinde yapılan değişikliklerle aşağıda verilmiş olan tamsayılı doğrusal karar modeli geliştirilmiştir.

#### Karar Değişkenleri:

$$x_{ijk}^{st} = \begin{cases} 1, & \text{eğer ayrıt } (i, j), (s, t) \text{ çiftine ait } k. \text{ yolda ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i. \text{ düğümde rejeneratör varsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$w_{ik}^{st-}$  :  $(s, t)$  düğüm çiftine ait  $k.$  yoldaki,  $i.$  düğüme giren yol parçasının uzunluğu

$w_{ik}^{st+}$  :  $(s, t)$  düğüm çiftine ait  $k.$  yoldaki,  $i.$  düğümünden çıkan yol parçasının uzunluğu

$$w_{ik}^{st+} = \begin{cases} w_{ik}^{st-}, & \text{eğer } i. \text{ düğümde rejeneratör yoksa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

#### Parametreler:

$c_{ij}$  :  $i$  ve  $j$  düğümleri arasındaki ayrıtın uzunluğu

$R_{\max}$  : optik sinyal için izin verilen en çok zayıflama miktarı

Yukarıda verilmiş olan tanımlamalara göre karar modeli aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ijk}^{st} - \sum_{j:(j,i) \in A} x_{jik}^{st} = \begin{cases} 1 & i = s \\ -1 & i = t \\ 0 & i \neq s, t \end{cases} \quad \forall i \in N, \forall k, \forall (s, t), s < t \quad (1)$$

$$w_{jk}^{st-} \geq w_{ik}^{st+} - M(1 - x_{ijk}^{st}) + c_{ij} x_{ijk}^{st} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k, \forall (s, t), s < t \quad (2)$$

$$w_{ik}^{st+} \geq w_{ik}^{st-} - Mr_i \quad \forall i \in N, \forall k, \forall (s, t), s < t \quad (3)$$

$$w_{ik}^{st-} \leq R_{\max} \quad \forall i \in N, \forall k, \forall (s, t), s < t \quad (4)$$

$$x_{ij1}^{st} + x_{ij2}^{st} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in A, \forall (s, t), s < t \quad (5)$$

$$x_{ij1}^{st} + x_{ji2}^{st} \leq 1$$

$$w_{sk}^{st-} = w_{sk}^{st+} = 0 \quad \forall k, \forall (s, t), s < t$$

$$x_{ijk}^{st} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k, \forall (s, t), s < t$$

$$r_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N$$

$$w_{ik}^{st-} \geq 0 \quad w_{ik}^{st+} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall k, \forall (s, t), s < t$$

kısıtları altında

$$\text{enk} \sum_{i \in N} r_i \quad (6)$$

Bu modelde (1) no.lu kısıt,  $(s, t)$  düğümleri arasındaki  $k.$  yolu bulmak için kullanılan akış kısıtlarıdır. (2). kısıt, düğümlere giren yol parçalarının uzunluklarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu uzunluk, bu yol parçası üzerindeki bir önceki düğümünden çıkış uzunluğuna aradaki ayrıtın uzunluğunun eklenmesiyle bulunmaktadır. (3) no.lu kısıtla bir düğüm üzerinde rejeneratör varsa, yol parçasının uzunluğu (sinyal zayıflama miktarı) yok sayılmakta, (4) no.lu kısıtla yol parçalarının uzunluklarının  $R_{\max}$  ile belirtilen limiti

aşması engellenmektedir. Ağın güvenilirliğini artırmak için bulunan iki yolun ayrık olması (5) no.lu kısıt ile sağlanmaktadır. (6) numaralı amaç fonksiyonu ise ağ üzerine yerleştirilen rejeneratör sayısını göstermekte olup, amaç bu sayının en küçüklenmesidir.

Modelin boyutu çok büyük olduğu için çözülmesi mümkün olmamıştır. Problem tek bir düğüm çifti için çözülmek istense bile modelin boyutu küçülmekte ancak çözüm zamanları çok uzun olmaktadır. Çözülmesi gereken birçok düğüm çifti olduğu için bu karar modelini kullanmak çok kullanışlı değildir. Ayrıca herhangi bir yol üzerinde, bir ayırıt bir defadan fazla kullanılırsa, karar modeli en iyi çözümü bulamayabilmektedir. Bu nedenle problemin çözümünde kullanılmak üzere sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir.

### 3. Sezgisel Algoritma

Problemin çözümü için sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritma ağda hiç rejeneratör olmadığını varsaymakta ve her iterasyonda seçilen bir düğüme rejeneratör yerleştirmektedir. Bu işleme, ağdaki bütün düğüm çiftleri haberleşene kadar devam edilmektedir. Bir düğüm çiftinin haberleşmesi ise düğüm çifti arasında uzunluk kısıtlarına uyan iki ayrık yok bulunduğu taktirde mümkün olmaktadır. Her iterasyonda yerleştirilen bir rejeneratörün, mümkün olduğunca çok düğüm çiftinin haberleşmesini sağlaması istenmektedir. Bu sayede ağa daha az rejeneratör yerleştirilmesi beklenmektedir. Hangi düğüme rejeneratör yerleştirileceğini bulmak için *düğümün marjinal faydası* adı verilen ve belirtilen düğüme bir rejeneratör yerleştirilmesi halinde kaç düğüm çiftinin haberleşmeye başlayacağını belirten bir ölçüt geliştirilmiştir. Her adımda marjinal faydası en yüksek olan düğüm seçilip o düğüme bir rejeneratör yerleştirilmektedir. Düğümlerin marjinal faydalarını hesaplamak zor olduğu için, tahmini değerler kullanılmıştır.

Yetginer ve Karaşan (2003), bu problem için iki farklı sezgisel algoritma önermiştir. Bu çalışmada önerilen algoritma ile diğer iki algoritma örnek problemler üzerinde çalıştırılmış, sonuçlar karşılaştırılmış, önerilen algoritmanın hem sonuçlar hem de çalışma zamanı açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Karşılaştırmalı sonuçlar bildiride sunulacaktır.

### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu bildiride, optik ağlarda rejeneratör konumlandırılması problemi incelenmiştir. Problem için tamsayılı bir doğrusal karar modeli geliştirilmiş, ancak bu model, büyük problemlerde artan boyut sebebiyle problemin en iyi çözümünü bulmak için kullanılamamıştır. Çalışmada, problemi çözmek için bir algoritma önerilmiş, bu algoritma daha önceden önerilmiş olan iki algoritma ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda önerilen algoritmanın, hız ve çözüm kalitesi yönüyle önekilere göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

### Kaynaklar

**Shen, G. ve Grover, W.D.**, Segment-based approaches to survivable translucent network design under various ultra-long-haul system reach capacities. *Journal of Optical Networking*, 3(1), 1-24, 2004.

**Strand, J. ve diğerleri.**, Issues for routing in the optical layer. *IEEE Communications Magazine*, 39, 81-87, 2001.

**Yang, X. ve diğerleri.**, Dynamic routing in translucent wdm optical networks. *Proceedings of IEEE ICC'2002*. New York, NY, 2002.

**Yetginer, E.**, Traffic Engineering and Regenerator Placement in Mpls and GMPLS Networks with Restoration, Bilkent University, Institute of Engineering and Science, *Master's Thesis*, 2002.

**Yetginer, E. ve Karaşan, E.**, Regenerator placement and traffic engineering with restoration in gmpls networks. *Photonic Network Communications*, 6(2), 139-149, 2003.