

Hücrel Ağlarda Kanal Planlama Problemine

Tabu Araması Yaklaşımı

Didem Gözüpek, Gaye Genç

Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

didem.gozupek@boun.edu.tr, gaye.genc@boun.edu.tr

Özet: Hücrel ağlardaki kanal planlaması problemi (KPP), frekansların baz istasyonlarına girişim kısıtlarını bozmayacak ve hücrelerin trafik gerekliliklerini karşılayacak şekilde tayin edilmesini ve tekrar kullanılmasını içerir. Bu makalede kanal atama problemini çözmek için Peng ve ekibi tarafından kullanılan tabu araması yöntemini [1] uyguluyoruz. Yaptığımız benzetim çalışmalarının sonuçlarını yazındaki genetik algoritma tabanlı yöntemlerle karşılaştırdığımızda kullandığımız yöntemin daha kısa zamanda daha iyi sonuçlara ulaştığını görmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Haberleşme, Hücrel Ağlar, Kanal Ataması, Kanal Planlaması, Tabu Araması.

A Tabu Search Approach to the Channel Assignment Problem in Cellular Networks

Abstract: The channel assignment problem (CAP) in cellular networks is concerned with the allocation and reuse of the frequency spectrum to the base stations in such a way that both the interference constraints and the traffic requirements of the cells are met. In this paper, we apply the tabu search based method proposed by Peng et al. in [1] to solve CAP and compare this approach with the genetic algorithm based approaches in the literature. The simulation results indicate that the tabu search based method yields better results within less number of iterations.

Keywords: Wireless Communication, Cellular Networks, Channel Assignment, Frequency Assignment, Channel Planning, Tabu Search.

1. Giriş

Frekans planlaması problemi (FPP) olarak da adı geçen kanal planlama problemi (KPP), ilk kez 1960'larda ortaya çıkmıştır. 1980 ve 1990'ların sonunda GSM'in yaygınlaşması frekans atamasına olan ilgiyi daha da artırmıştır. Hükümetlerin hücrel ağ operatörlerini kullandıkları her bir frekans için ücretlendirmekte olmaları, operatörlerin yüksek girişim seviyelerinden kaçınmakla birlikte, aynı zamanda lisans masraflarını da en aza indiren frekans planlamaları yapmaları ihtiyacını doğurmuştur.

Sabit kanal ataması (SKA) bağlantı kümelerinin zaman içinde değişmediği statik model-

leri içerir. Öte yandan, dinamik kanal ataması (DKA) frekanslara olan talebin zaman içinde değişmesinin yol açtığı problemlerle ilgilenir. Melez kanal ataması (MKA) ise SKA ve DKA yöntemlerini birleştirir: Belli bir sayıdaki frekans önceden atanır, fakat spektrumdaki diğer bir bölüm talebe göre çevrimiçi olarak frekans atanması için ayrılır. Biz bu çalışmada SKA problemi üzerinde odaklanıyoruz.

Hücrel ağlardaki en iyi sabit kanal ataması, kısıtları olan NP-tam (polinom zamanda çözülemeyen) bir problemdir. Çizge boyama yöntemleri ve küme teorisinden sinirsel ağlara, benzetimli tavlama genetik algoritmalara kadar pek çok yöntem bu problemi adreslemek

için kullanılmıştır. Bu çalışmada [1] tarafından önerilen tabu araması tabanlı yöntemi KPP problemi üzerinde uygulamaktayız. Benzetim çalışmaları aracılığıyla yöntemimizi [2] tarafından öne sürülen genetik algoritma tabanlı yaklaşımla karşılaştırmaktayız.

Makalenin geri kalan kısmı şu şekildedir: Bölüm II’de yazındaki bu konuyla ilgili yapılmış çalışmalardan bahsediyoruz. Bölüm III’te problemi-mizi matematiksel olarak tanımlıyoruz. Bölüm IV’te ise tabu araması yöntemimizi açıklıyoruz. Bölüm V’te benzetim çalışması sonuçlarımızı karşılaştırıyoruz. Bölüm VI’da ise çalışmanın çıkarımlarından ve ileride yapılabilecek olası araştırma alanlarından bahsediyoruz.

2. Yazındaki İlgili Çalışmalar

Tabu araması, yerel buluşsal bir aramayı yerel bellek yapılarıyla yönlendiren bir öte-buluşsal yaklaşımdır. Ana fikir, yeni ziyaret edilen çözümlere dönmeyi sağlayacak hamleleri tabu haline getirerek engellemektir. Peng ve ekibi, KPP’yi çözmek için tabu araması algoritmasını uygulamışlardır [1]. Karşılaştırmalı değerlendirme KPP’leri için sundukları benzetim sonuçları, bu yaklaşımdaki başarımın mevcut yöntemler-dekinden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmadaki problem tanımını uyarladığımız çalışmalarında Jaimes-Romero ve ekibi, KPP’yi çözmek için basit genetik algoritma ve melez genetik algoritma kullanmışlardır [2]. Büyük tümleşik problemler üzerinde uygulandığında, basit genetik algoritmanın yakınsama sorunları olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, yazarlar probleme tamsayı kodlamalı melez genetik algoritma ile yaklaşmakta, mutasyon operatorü olarak ise yerel bir arama algoritması kullanmayı önermektedirler.

KPP’yi çözmekte kullanılan diğer yaklaşımlar arasında tepkisel tabu araması ile çizge boyama [3], tamsayı doğrusal programlama [4], hırslı buluşsal yöntemler [5], yapay sinir ağı

yöntemleri [6] ve parçacık sürüsü eniyilemesi yöntemleri [7] sayılabilir.

3. Problem Tanımı

Aşağıdaki problem tanımı [2] çalışmasından uyarlanmıştır. Tüm ağı N tane altıgen şeklin-de hücreden oluştuğunu düşünelim. Her hücrenin merkezinde m_k ($k = 1, 2, \dots, M$) şeklinde gösterilen M tane boş frekansa ayarlanabilen bir baz istasyonu olsun. Her bir hücre çifti arasındaki frekans açısından girişim kısıtları bilinmektedir. Bu girişim kısıtlarını aşağıdaki x girişim matrisi ile gösterebiliriz:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & x_{ij} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{NN} \end{bmatrix}$$

Burada x_{ij} - değerleri i ve j hücrelerinde girişim değerlerini belli bir eşik değerinin altında tutabilmek için gerekli olan en az frekans uzaklığını göstermektedir. Yani i ve j hücrelerinin kullandıkları frekanslar arasındaki fark en az x_{ij} kadar olmalıdır. Diğer bir deyişle:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1; & i \text{ ve } j \text{ aynı frekansı kullanamıyorsa} \\ 0; & i \text{ ve } j \text{ aynı frekansı kullanabiliyorsa} \end{cases}$$

Yukarıdaki koşullara ihlal edilemez olmalarından dolayı katı gereksinimler denilmektedir. Ayrıca, her hücrenin kaç tane frekans kanalına ihtiyacı olduğunun da bilinmesi gerekmektedir. Her hücre, Erlang-B formülüne göre aramaların bloke olma olasılığını belli bir değerden aşağıda tutmak için kaç tane kanala ihtiyacı olduğunu belirler. Kanal talep vektörünü t_j ($i = 1, 2, \dots, N$) değeri i hücresi tarafından talep edilen frekans sayısı olacak şekilde $T = [t_i]$ şeklinde gösterebiliriz. Bu durumda, kanal atama problemini, M frekans kanalı ve herbiri t_i kadar frekans talep eden N tane hücre olacak şekilde, büyüklüğü $N \times M$ olan aşağıdaki A matrisini bulmak şeklinde tanımlayabiliriz:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & a_{ik} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix}$$

Burada a_{ik} değerleri aşağıdaki gibidir:

$$a_{ik} = \begin{cases} 1; & m_k \text{ frekansı } i \text{ hücresine atanmışsa} \\ 0; & m_k \text{ frekansı } i \text{ hücresine atanmamışsa} \end{cases}$$

Bir kanal ataması hem trafik talebi hem de girişim kısıtları sağlandığında kabul edilebilir:

Trafik Talebi Kısıtı:

$$\text{Girişim Kısıtı: } |m_k - \sum_{k=1}^M a_{ik}| = t_i, \forall i$$

m_i i ve j hücrelerine atanmış kanallar ise.

Bu durumda amaç fonksiyonu, kısıtları en aza indirmek şeklinde aşağıdaki gibi tanımlanabilir [2]:

$$F_1 = \sum_{i=1}^N \left(t_i - \sum_{k=1}^M a_{ik} \right)^2$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \sum_{j=1, j \neq i}^N \sum_{l=1}^M x_{ij} a_{ik} a_{jl}$$

Amaç fonksiyonu: $F = F_1 + F_2$ dir. Burada F_1 terimi trafik talebi gereklerinin ne kadarının sağlanamadığını, F_2 ise girişim gereklerinin ne kadarının sağlanamadığını göstermektedir. Amaç F 'yi en aza indirmektir.

4. Tabu Araması

Tabu araması, yerel buluşsal bir aramayı çözüm kümesindeki yerel en iyi çözümlerin ötesinde arama yapacak şekilde yönlendiren bir öte-buluşsal yaklaşımdır ve bunu kötüye giden sonuçları da kabul ederek yapar [1]. Tabu aramasının ana bileşenleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1. Tabu araması yönteminin akış şeması.

Başlangıç Çözümü: Tabu araması bir başlangıç çözümü ile başlar. Çalışmamızda başlangıç çözümü her hücrenin kanal talebi karşılancak şekilde rastgele olarak belirlenmektedir.

Hamle: Hamle, şimdiki çözüme yapılan küçük sarsıma (pertürbasyona) verilen isimdir. KPP çerçevesinde hamle, belirli bir hücrede kullanımda olan rastgele seçilmiş bir kanal ile kullanımda olmayan bir kanalın değiş-tokuş edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bir hücre için yapılabilecek tüm hamleler kullanımda olan rastgele seçilmiş bir kanal ile kullanımda olmayan her kanalın tek tek değiş-tokuş edilmesidir.

Komşuluk: Çözümü iyileştirmek için her hücrede yapılabilecek tüm hamlelerin kümesidir. Dolayısıyla, komşuluğun büyüklüğü hücrelerin toplam kanal talebine eşittir.

Tabu Listesi: Kısa süreli ve uzun süreli belleklerin listesidir.

Kısa Süreli Bellek: Yakın zamanda yapılmış olan hamlelerin kümesidir.

Uzun Süreli Bellek: Sıklıkla gerçekleşmiş olan hamlelerin kümesidir.

Tabu Süresi: Kısa süreli belleğin büyüklüğü olarak özetlenebilir. Bir hamlenin kaç yineleme boyunca tabu olacağını belirtir. Her hücrenin tabu süresi farklı olabilir.

Sonlanma Ölçütü: Tabu araması, sonlanma ölçütlerinden biri karşılandığında biter. Bu ölçütler en iyi sonuca ulaşmak, zaman aşımı veya azami yineleme sayısına ulaşmak olabilmektedir.

Bizim bu çalışmada uyguladığımız tabu arama yöntemi Şekil 1'deki gibidir. Başlangıç çözümünü yarattıktan sonra komşuluğu yaratıyoruz. En fazla iyileştirmeyi sağlayan çözümü bulabilmek için komşuluktaki tüm aday çözümlerin amaç fonksiyonlarının irdelenmesi gerekir. Ancak bu yöntem hesaplama olarak pahalı olduğu için sadece yapılan değiş-tokuşun amaç fonksiyonu üzerinde yarattığı farkı hesapladık. En iyi farkı yaratan çözüm komşuluktaki en iyi çözümdür ve tüm adaylar için amaç fonksiyonunu hesaplama yöntemiyle aynı sonucu verir. Komşuluk içinde en iyi sonucu veren hamle yapılı ve şu anki en iyi çözüm güncellenir. Yapılan hamle $N \times M$ boyutunda bir matris olan tabu listesinde ilgili yere tabu süresine eşit olan sayı konarak işaretlenir. [1] çalışmasında tabu süresi şu şekilde hesaplanmıştır:

$$TN_j = \frac{(M - t_j) \times S}{2 \times t_j}$$

Burada TN_j değeri j hücresine ait tabu süresine, M toplam frekans sayısına, t_j değeri j hücresi tarafından talep edilen frekans sayısına, S ise komşuluğun toplam büyüklüğüne, yani $E[=t_j]$ değerine eşittir. [1] çalışmasında tabu

süresini bu şekilde hesaplamamızın her zaman yeterli sayıda kanalı seçmeyi mümkün kılacağı belirtilmiştir. Ancak biz bu şekilde hesaplama yapıldığında tabu süresinin azami yineleme sayısından daha fazla olduğunu, dolayısıyla bir hamle tabu olarak işaretlendiğinde algoritma bitene kadar bir daha dikkate alınmadığını gözlemledik. Bu nedenle çalışmamızda aşağıdaki hesaplama şeklini kullandık:

$$TN_j = \frac{(M - t_j) \times S}{200 \times t_j}$$

Uzun süreli bellek içinse belli bir hamlenin hangi sıklıkta çözüm içinde yer aldığını dikkate aldık. Eğer hamle belli bir eşik değerini aşmışsa tabu olarak işaretledik. Bunu aşağıdaki gibi gösterebiliriz [1]:

$$FM_{jk} = \frac{B_{jk}}{T}$$

Diğer bir deyişle belli bir hücre numarası ve kanal numarası çiftinin hangi sıklıkta çözüm içinde yer aldığı (FM_{jk}), bu çiftin kaç defa çözüm içinde yer aldığını (B_{jk}) o ana kadar olan yineleme sayısına (T) bölünmesiyle elde edilir. Eşik değerini ise aşağıdaki gibi hesapladık [1]:

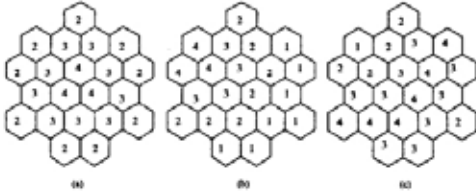
$$TR_j = \frac{2 \times t_j}{(M - t_j) \times S}$$

Burada TR_j değeri j hücresi için olan eşik değerini göstermektedir. Diğer değişkenler ise daha önce tanımladığımız gibidir.

5. Benzetim Çalışması Sonuçları

Kullandığımız test senaryosu [2] çalışmasındaki gibidir. 21 tane hücre düzlemsel olarak klasik altıgen şeklinde düzenlenmiştir. Toplamda 12 tane frekans kanalı vardır. Trafik talepleri için 2 farklı örüntü şeklini inceledik. Birinci örüntüde her hücrenin aynı frekans talebi var-

dır, yani frekans talepleri homojendir. Her hücrenin 1, 2, 3 ve 4 frekans talebi olacak şekilde 4 senaryo inceledik. İkinci örüntüde ise her hücrenin birbirinden farklı frekans talepleri vardır, yani frekans talepleri heterojendir. Bunun için de Şekil 2’de gösterilen 3 farklı frekans talebi dağılım şeklini inceledik.



Şekil 2. Heterojen Frekans Talebi Dağılımı.

Benzetim çalışmalarını MATLAB [8] kullanarak yaptık ve azami yineleme sayısını;

$N_{azami} = 100$ olarak aldık. Eğer $[N_{azami} / 4] = 25$

yineleme boyunca daha iyi bir çözüm elde edilemediyse veya en iyi çözüm zaten elde edilmişse (yani amaç fonksiyonu değeri 0 olarak bulunduysa) tabu araması işlemini sona

erdirdik. Uzun süreli bellek kullanmadan tabu arama yöntemini, uzun süreli belleği kullanan tabu arama yöntemini ve [2] çalışmasındaki sonuçları karşılaştırdık. Tablo 1 homojen trafik talebi dağılımı örüntüsü için ortalama amaç fonksiyonunu ve ortalama yineleme sayısını göstermektedir. Buradaki trafik talep türleri her hücrenin 1, 2, 3, ve 4 frekans talep ettikleri senaryolara karşılık gelmektedir. Tablo 2 ise heterojen trafik talebi dağılımı örüntüsü için olan sonuçları göstermektedir. Buradaki trafik talep türü 1, 2, ve 3 ise şekil 2’deki a, b ve c’deki dağılımlara karşılık gelmektedir. Tüm senaryolarda tüm ortalamaları algoritmaları 10’ar defa koşturarak aldık.

Tablo 1 ve 2 incelendiğinde tüm senaryolar için tabu arama yönteminin [2]’deki genetik algoritma yönteminden hem amaç fonksiyonu hem de ortalama yineleme sayısı bakımından çok daha iyi olduğu görülmektedir. Tablo 1’de hücrelerin frekans talep miktarları arttıkça yineleme sayılarının ve amaç fonksiyonu değerinin de arttığı görülmektedir. Ayrıca, uzun süreli bellek kullanımının elde edilen sonuçları

Trafik Talep Türü	Ortalama Amaç Fonksiyonu Değeri			Ortalama Yineleme Sayısı		
	Uzun süreli belleksiz tabu araması	Uzun süreli bellekli tabu araması	Genetik algoritma [2]	Uzun süreli belleksiz tabu araması	Uzun süreli bellekli tabu araması	Genetik algoritma [2]
1	0	0	27	3.1	3.4	170
2	0	0	21	12.2	11.9	195
3	3.3	3.5	27.2	51.8	51.5	198
4	15.6	17.2	38.6	68.4	65.2	196

Tablo 1. Homojen trafik dağılımı sonuçları

Trafik Talep Türü	Ortalama Amaç Fonksiyonu Değeri			Ortalama Yineleme Sayısı		
	Uzun süreli belleksiz tabu araması	Uzun süreli bellekli tabu araması	Genetik algoritma [2]	Uzun süreli belleksiz tabu araması	Uzun süreli bellekli tabu araması	Genetik algoritma [2]
1	4.7	4.4	29	55.3	56.1	175
2	2	2.3	25.4	42.6	44.8	186
3	5.5	6.4	28.8	57.6	55.6	192

Tablo 2. Heterojen trafik dağılımı sonuçları

çok az etkilediği görülmektedir. Bu durum, [1] çalışmasıyla da tutarlılık göstermektedir. Tablo 2'deki senaryolarda da benzer şekilde tabu araması yöntemimizin genetik algoritma yönteminden her iki performans kriteri açısından da daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

4. Sonuç

Bu makalede uzun süreli belleği olan ve olmayan tabu araması yöntemlerini KPP üzerinde uyguladık. Benzetim sonuçları, uyguladığımız yöntemin yazındaki genetik algoritma tabanlı çözümlerden hem amaç fonksiyonu değeri hem de yineleme sayısı bakımından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Bu çalışmada girişim kısıtlarımız sadece farklı hücrelerin aynı kanalı kullanıp kullanamayacakları bilgisini, yani katı gereksinimleri modellemektedir. Aynı hücre içinde kullanılan frekansların birbirinden belli bir miktarda uzak olması gibi kısıtlar da ilerideki bir araştırmada modellenilebilir.

5. Kısaltmalar

Kısaltma:	Açıklama:
KPP	Kanal Planlaması Problemi
FPP	Frekans Planlama Problemi
SKA	Sabit Kanal Ataması
DKA	Dinamik Kanal Ataması
MKA	Melez Kanal Ataması

6. Kaynaklar

[1] Y.Peng, ve B.Soong, "Optimal Channel Assignment in Cellular Systems using Tabu Search," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. PIMRC 2003. 14th IEEE Proceedings on, vol. 1, 2003.

[2] F.Jaimes-Romero, D.Munoz-Rodriguez ve S.Tekinay, "Channel assignment in cellular systems using genetic algorithms," in Vehicular Technology Conference, 1996. 'Mobile Technology for the Human Race', IEEE 46th, vol. 2.

[3] I.Blöchliger ve N.Zufferey, "A graph coloring heuristic using partial solutions and a reactive tabu scheme," Computers and Operations Research, vol. 35, no.3, pp.960-975, 2008.

[4] R. Montemanni, D.Smith, ve S.Allen, "Lower bounds for fixed spectrum frequency assignment," Annals of Operations Research, vol. 107, no.1, pp. 237-250, 2001.

[5] R.Borndörfer, A.Eisenblaetter, M.Grötschel, ve A.Martin, "Frequency assignment in cellular phone networks," Annals of Operations Research, vol.76, pp. 73-93, 1998.

[6] N.Funabiki ve Y.Takefuji, "A neural network parallel algorithm for channel assignment problems in cellular radio networks," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, vol.41, no.4, pp. 430437, 1992.

[7] Y.Zhang ve D.O'Brien, "Fixed channel assignment in cellular radio networks using particle swarm optimization," Industrial Electronics, 2005.ISIE 2005. Proceedings of IEEE International Symposium on, vol.4, pp.1751-1756, 2005.

[8] T.Mathworks. (2008) Matlab [Online]. Available: <http://www.mathworks.com>