GSM’DE FREKANS ATAMA PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM ALGORİTMALARI

Bülent ÖZASLAN ve Birsen SAKA
Hacettepe Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
06800, Beytepe, Ankara
bulent@interaktif.net.tr ,birsen@hacettepe.edu.tr

Özet

Gezgin hücresel haberleşme, bugünün bilgi çağında anahtar bir teknoloji konumundadır. Ekipman tasarımında ulaşılan büyük gelişmelere rağmen girişim ya da karışma, radyo iletişiminde sınırlayıcı bir faktör olmaya devam edecektir. Dolayısıyla, GSM şebekelerinin çalışması esnasında en önemli ve zor olan görevlerden biri de iyi bir frekans planlaması yapmaktır. Bu çalışmada, frekans atama problemine matematiksel bir model gösterilip, çözüm için bazı popüler algoritmalar incelenecektir.

Frekans Atama Problemlerinin Sınıflandırılması ve Matematiksel Gösterimi

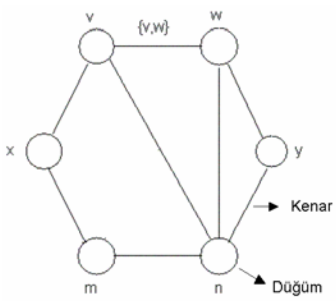
İletişime etki edebilecek miktarda girişim, aynı frekansı ya da komşu frekansı kullanan verici çiftleri arasında meydana gelebilir. Ayrım gereksinimi, elektromanyetik spektrumda, vericilere atanan frekanslar arasında olması gereken minimum uzaklığı belirtir. Buna ek olarak, her frekans her verici için mümkün olmayabilir. Özetlemek gerekirse, çözülecek problem aşağıdaki gibidir.

“Verilen TRX çiftleri, frekans spektrumu, her TRX için yerel bloke kanalların listesi, minimum ayrım gereksinimleri, aynı kanal girişimi ve komşu kanal girişimi matrisleri için, her TRX ünitesine spektrumdan öyle bir frekans atanmalıdır ki; bu frekans o TRX için yerel bloke olmasın, ayrım gereksinimlerini sağlasın ve atama sonunda oluşan toplam girişim değeri minimum olsun.”

Literatürde, farklı amaç fonksiyonlarına sahip çeşitli frekans atama problemlerinden (FAP) bahsedilmektedir. GSM’in şartlarına en uygun FAP problemi ise MI-FAP problemidir[1]. MI-FAP problemindeki amaç, mevcut kullanılabilir bir frekans bandının, toplam girişim seviyesi minimum olacak şekilde vericilere atanmasıdır.

FAP, her verici için bir düğüm (vertex) ve birbirlerine girişimde bulunabilecek vericiler arasında da kenarlar (edge) bulunan yönsüz bir çizgeyle modellenir (*İkili kısıt modeli)*[3]. Her kenar, bağlı olduğu düğümlere atanacak frekanslar arası minimum frekans ayrımını (kabul edilebilir bir girişim) gösteren bir etikete sahiptir. İkili kısıt yaklaşımında sadece aralarında girişim olan verici çiftleri dikkate alınır. Toplam girişim, yani aynı anda birden çok vericinin oluşturduğu girişim düşünülmez, dolayısıyla, sadece vericiler arasındaki sınırlamanın sağlanması ya da ihlal edilmesi dikkate alınır.

$G=(V,E)$, yönsüz bir çizgedir (Şekil 3.2). V ile gösterilen çizgenin köşeleri, aynı zamanda düğüm olarak adlandırılırlar ve TRX ünitelerini belirtirler. E, çizgede frekans ayrımı gerektiren vericiler arasındaki kenarların kümesini gösterir. Kenar kümesindeki bir $vw \in E$ kenarı için $d(vw)$, v ve w düğümlerine atanan frekanslar arası gerekli minimum ayrımını, $c^{co}(vw)$ ve $c^{ad}(vw)$ sırasıyla, v ile w düğümleri arasında oluşabilecek *aynı kanal* ve *komşu kanal girişimini* göstersin.



Şekil 1. Yönsüz çizge

Spektrum F, pozitif tamsayılar kümesinde, ardışık frekans kanallarını belirten sonlu bir kümedir. Her v düğümüne $F(v) = F$ kümesindeki frekanslardan biri ya da bir kaçı atanır. Birbirine girişimde bulunabilecek v ve w vericileri, grafikte bağlandıkları bir $\{v,w\} \in E$ kenarı ile gösterilirler. $f \in F(v)$ ve $g \in F(w)$ olan her frekans çifti için yapılan seçimler girişim seviyesine bağlı bir ceza ölçüsü ile sınırlandırılır. Bu ceza $p_{vw}(f,g)$ ya da p_{vwfg} ile gösterilir. Bu durumda, taşıyıcı şebeke, 6 elemanlı $N=(V, E, F, d, c^{co}, c^{ad})$ kümesinden oluşur. N kümesinde bir *frekans ataması*, $y: V \rightarrow F$ fonksiyonu ile gösterilir. Bir atama, eğer V kümesindeki her v için mümkün olan bir kanal atanmış ve tüm ayrım gereksinimleri sağlanmış ise *makul* sayılır [2]. Yani,

$$y(v) \in F \qquad \forall v \in V \tag{1}$$

$$|y(v) - y(w)| \geq d(vw) \qquad \forall vw \in E \tag{2}$$

Bir N taşıyıcı şebekesi için, MI-FAP problemi, optimizasyon problemi olarak Eş.3'teki gibi verilir.

$$\min_{makul\ y} \sum_{\substack{vw \in E \\ y(v)=y(w)}} c^{co}(vw) + \sum_{\substack{vw \in E \\ |y(v)-y(w)| \leq d_{vw}}} c^{ad}(vw) \tag{3}$$

Frekans Atama Algoritmaları

Frekans atama algoritmaları genel olarak *sıralı atama* ve *sezgisel atama* yöntemlerinden oluşur [4]. Sıralı atama yöntemleri başlıca iki adıma dayalı açgözlü (greedy) atamalardan oluşur. İlk olarak, vericiler herhangi bir şekilde sıralanır ve daha sonra bu sıralamaya göre vericilere yine herhangi bir şekilde seçilen frekanslar atanır. Vericiler sıralanırken genellikle büyüklük dereceleri ya da genelleştirilmiş büyüklük dereceleri esas alınır. Sıralamadaki vericilere frekans seçilirken ise, en küçük kabul edilebilir frekans, kullanılmış ve kabul edilebilir frekans, en küçük kabul edilebilir ve kullanılmış frekans ya da en küçük kabul edilebilir ve en çok kullanılmış frekans atanır.

Sezgisel algoritmalara verilebilecek en popüler iki örnek ise Tavlama Benzetimi ve Tabu Arama algoritmalarıdır. Büyük serbestlik derecelerine sahip bir maliyet fonksiyonunun küresel minimumunu kısıt uyuşmazlıklarını dikkate alarak bulmak aslında polinom olmayan tam (NP-Complete) bir problem olduğundan, problemlerin genelinde maliyet fonksiyonu çok kez yerel minimum tuzağına düşer. Bu tip problemleri çözmek için kullanılacak prosedürün çözüm uzayındaki optimum ya da optimuma yakın sonuçları bulma olasılığı yüksek olmalı ve bunu kabul edilebilir bir zaman diliminde tarayabilmesi gerekir.

Tavlama Benzetimi

Tavlama benzetimi, büyük ölçekli optimizasyon problemlerine küresel minimum ya da küresel minimuma yakın maliyet çözümleri bulmak için istatistiksel mekanikten türetilmiş bir olasılıklı karar verme tekniğidir. Amaç ya da enerji fonksiyonu, tavlama benzetimi algoritmasıyla minimuma indirgenecek fonksiyonu gösterir. Enerji fonksiyonu E'ye bir çok faktör etki eder [4] ve

$$E = \mu_1 e_{ihlal} + \mu_2 e_{toplam} + \mu_3 (f_{\max} - f_{\min}) + \mu_4 e_{sayı} + \mu_5 f_{\max} + \mu_6 l_{ihlal} \tag{4}$$

biçiminde yazılabilir. Burada, l_{ihlal} uyulmayan kısıtların en büyüğünü, e_{ihlal} bunların sayısını ve e_{toplam} ise bu kısıtların miktarlarının toplamını gösterir. Kullanılan en büyük frekans değeri, f_{max} ve en büyük (f_{max}) ve en küçük (f_{min}) frekansların farkı, $f_{max} - f_{min}$ ile gösterilmiştir. $e_{sayı}$ ise kullanılan frekans sayısıdır.

Enerji fonksiyonu, bulunacak çözümün kalitesine doğrudan etki edeceğinden parametreler probleme özel seçilebilir. Örneğin bir MI-FAP problemi için, enerji fonksiyonundaki ilk iki faktör, e_{ihlal} ve e_{toplam} çok önemlidir. Tavlama benzetiminde bir frekans ataması, $f = (f_1, f_2, ..., f_N)$, $f_j = d_{x_j}$ $(1 \leq j \leq N)$ olan bir $[X_1, X_2, ..., X_N]$ indisler dizisi kullanılarak gösterilir.

Mevcut atamadan yeni bir atama üretmek için ise, bir f atamasının tek bileşeninin değiştirildiği "Tek değiştir" ya da bir atamada sınırlamalara uymayan vericilerden rasgele birine spektrumdan rasgele bir frekans atandığı "Kısıtlı tek değiştir" yöntemleri bilinen en iyi komşuluk bulma yöntemleridir. Başlangıç ve bitiş sıcaklıkları da kararlaştırılırken yapılacak yineleme sayısı dikkate alınır. Çizelgeleme ya da soğutma hızı belirlenirken de yaygın olarak geometrik soğutma, Costa metodu ya da Hurley ve Smith soğutma metodu kullanılır[4]. Şekil 2'de tavlama benzetimi algoritması verilmiştir.

```
t' yi başlat
Rasgele çözüm üret, X_eski
WHILE t > t_min DO
        FOR Döngü Sayısı kadar DO
            X_eski'den yeni çözüm üret, X_yeni
            Yeni çözümün enerjisini hesapla, E_yeni
            Enerji farkını hesapla, ΔE=E_yeni – E_eski
                    IF ΔE<0 ya da Random < Olasılık = e^(-(E_yeni - E_eski)/t)
THEN
                    X_eski ⇐ X_yeni
                    E_eski ⇐ E_yeni
                    END IF
        END FOR
        t'yi azalt
END WHILE
```

Şekil 2. Tavlama benzetimi algoritması

Tabu Arama

Tabu arama algoritması temel olarak, tüm makul çözümlerin arama uzayını taşınmalar dizisiyle bulmaya çalışır. Bir taşınma, bir çözümden başka birine geçerken bulunan çözümlerin en iyisidir. Fakat yerel optimumlardan kaçmak ve tekrarlamaları önlemek için bir yinelemedeki bazı hareketler “tabu”, yani yasak olarak sınıflandırılırlar. Tabu arama, taşınmalar dizisinin kısa dönem ve uzun dönem geçmişlerini baz alır. Basit bir uygulama, örneğin, bir hareketi eğer bu hareketin aksi durumu daha önce gerçekleştiyse ya da bunu sıkça tekrarladıysa tabu olarak değerlendirebilir. Bazen, eğer uygun olduğu düşünülürse, tabu hareketi tabu olmaktan çıkarılabilir. Bu şekilde bir ölçüt, tabu yıkma ya da isteklilik (aspirasyon) kriteri, yani tabu olan bir hareketin unutulması ve o ana kadar bulunan çözümlerin en iyisine gidilmesini sağlar.

Komşuluklar, bir *f* atamasının tavlama benzetimi algoritmasında tanımlanan tek değiştir yöntemiyle bulunan bütün komşuluklarının kapsandığı *tüm komşuluklardan* ya da bir atamadaki kısıt sağlamayan rasgele bir vericiye rasgele bir frekansın atandığı *kısıtlı rasgele komşuluklardan* seçilebilir.Tabu arama algoritması, girişim değeri sıfır olduğunda ya da önceden belirlenmiş maksimum yineleme sayısına ulaşıldığında sonlanır. Buradan çıkan sonuç, girilen parametrelere göre bulunan en düşük girişim değerine sahip çözümdür.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, frekans atama problemine gerekli veriler ve uygun matematiksel model bulunduktan sonra, çözüm için uygun bulunan algoritmalar gerçek FAP örneklerinde uygulanıp performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Çizelge 1’de Philadelphia P1 örneği için bulunan sonuçlar verilmiştir. Bu örneğin yapısı ve daha önce bulunan sonuçlar [5]’de görülebilir. Buna göre, kullanılan bir çok sıralama algoritması ve sezgisel yöntemlerle bulunan üst sınırlar (Tabu Arama ve Tavlama Benzetimi), literatürde çalışılmış alt sınırlarla karşılaştırıldığında, büyük ölçekli problemlere, uygun bir ilk sıralama çözümünün kullanıldığı tabu arama algoritmasının etkili çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Frekans Aralığı	Sıralı Atama		Tavlama Benzetimi		Tabu Arama		Sıralı Atama + Tabu Arama	
	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre	Maliyet	Süre
600	0	28 dak.	0	< 1 dak.	0	< 1 dak.	0	< 1 dak.
500	0	59 dak.	0	45 dak.	0	36 dak.	0	34 dak.
480	0	2 sa. 50 dak.	0	1 sa. 34 dak.	0	1 sa. 10 dak.	0	1 sa. 12 dak.
461	0	5 sa. 55 dak.	0	3sa. 7dak.	0	2 sa. 49 dak.	0	2 sa. 31 dak.
451	4	6 sa. 18 dak.	0	8 sa. 21 dak.	0	6 sa. 33 dak.	0	6 sa. 16 dak.
447	4	10 sa. 30 dak.	0	18sa. 51dak.	0	15 sa.10 dak.	0	16 sa. 58 dak.
441	12	23 sa.	0	47 sa. 7dak.	0	41sa. 40 dak.	0	41 sa. 26 dak.
431	26	49 sa. 30 dak.	0	108 sa.	0	89 sa. 30 dak.	0	93 sa.30 dak.
426	-	-	16	178 sa.	4	157 sa.	6	155 sa.

Çizelge 1. Philadelphia P1 örneği için bulunan sonuçlar

Kaynaklar

[1] K. Aardal, S.P.M. Van Hoesel, A.M.C.A. Koster, C.Mannino, A. Sassano. Models and Solution Techniques for Frequency Assignment Problems.ZIB report 01-40, December 2001.

[2] Eisenblatter A, Frequency Assignment in GSM networks: Models, Heuristics and Lower bounds, Berlin, 2001

[3] R. Montemanni, D.H. Smith, and S.M. Allen. An improved lower bound for the fixed spectrum frequency assignment problem. Submitted for publication, October 2001.

[4] D.H. Smith, S. Hurley, and S.U. Thiel. Frequency assignment algorithms. Technical report, Interim Report Year 2, Radiocommunications Agency Agreement Ref. RCCM 070, October 1996. http://www.cs.cf.ac.uk/User/Steve.Hurley/Ra/interim2/interim2.html.

[5] http://fap.zib.de (FAP resmi web sitesi)