

IEEE 802.16j Tabanlı Sistemlerde Röle İstasyonu Yerleşimi

Relay Station Placement in IEEE 802.16j-Based Systems

Tolga Girici

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara 06530
tgirici@etu.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada IEEE 802.16j tabanlı çok atlamalı röleli hücreler sistemleri için en iyi röle yerleşimi problemini işledik. Hem gerçek, hem de gerçek olmayan zamanlı trafiğin taşındığı bu sistemlerde röle yerleşiminde amacımız, gerçek zamanlı trafik gereksinimleri karşılandıktan sonra maksimum orantısız adil toplam veri hızını sağlayacak röle konumunu bulmaktır. Problemin karmaşıklığı göz önüne alınarak tek röleli, çizgi halinde ve baz istasyonunun bütün kullanıcılarla röle aracılığıyla iletişim kurduğu bir sistem dikkate alınmıştır. Sonuç olarak elde edilen röle yerleşim tekniği bir kaynak tahsis algoritması kullanılarak test edilmiş ve gerçekten de iyi başarımlar sağladığı ortaya çıkmıştır.

Abstract

In this paper we studied the problem of optimal relay placement in a IEEE 802.16j based multihop relay network. Such networks support heterogeneous traffic and our aim in relay placement is to satisfy real time traffic rate requirements while maximizing the total proportional fair capacity for the non-real time traffic. Considering the complexity of the problem we considered a tandem network with a single relay station, where the base station uses the relays to access all service stations. The obtained relay placement scheme is tested with a resource allocation algorithm and it is observed that it indeed provides good performance.

1. Giriş

Yeni nesil kablosuz kentsel alan ağları çok sayıda ve çeşitli uzaklıktaki kullanıcılara yüksek hızda veri iletebilmek üzere tasarlanmaktadır. Bu tür sistemlerin en popülerlerinden biri IEEE 802.16 standardına dayalı çalışan WiMax ağlarıdır. Bu ve benzeri sistemlerde veri iletimi, yüksek hızın yanı sıra değişik hizmet kalitesi kriterlerini de sağlamak zorundadır. Bu nedenle toplam veri hızını eniyilemek yeterli değildir. Hücre kenarında bulunan, baz istasyonuna uzak kullanıcıların da uzaklıklarına ters orantılı olarak toplam kapasiteden pay alması beklenir. Bu, FTP, WWW gibi gecikme toleranslı uygulamalar için geçerlidir. Bunların yanı sıra ses (VoIP) ve Video gibi gerçek-zamanlı ve gecikme kısıtlı uygulamalar ise belli hız kısıtları kısa vadede sağlanarak iletilmelidir.

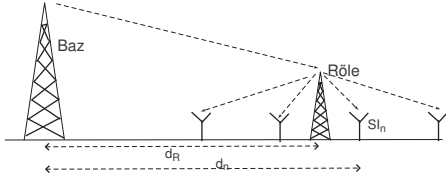
Yeni nesil kentsel alan ağları yukarıda bahsedilen hizmetleri kilometrelerce yarıçaplı alanlara taşımak durumundadır.

Kentsel alanlarda iletilen sinyalin güçlü bir şekilde hücre kenarına ulaşması zordur. Yüksek binalar, ağaçlar ve tüneller sadece kenarda değil, her yerde kapsama alanı delikleri yaratabilir. Bu durumda önerilen çözüm hücrenin değişik yerlerine röle istasyonları (relay station) yerleştirmektir. Bu istasyonlar kapsama alanını artırmak için olduğu kadar sistem kapasitesini artırmak için de kullanılabilir. Tamamlanma aşamasında olan IEEE 802.16j standardı bu sistemleri standardize edecektir [1]. Bu standart baz istasyonu, röle ve kullanıcı arasındaki mesaj alışverişini kurallara bağlar fakat eldeki kaynakların (OFDMA alt kanalları, güç ve zaman dilimi) nasıl tahsis edileceğini ve röle istasyonlarının nerelere yerleştirileceğini belirlemez. Kaynak tahsisi problemi hakkında yakın zamanda çalışmalar yapılmıştır. Röle yerleşimi konusu ise yeni yeni ilgi görmeye başlamıştır [2], [3], [4]. [2] sadece toplam veri hızının eniyilenmesini amaçlar. [3] ve [4] ise sabit veri hızı taleplerini karşılayacak minimum röle istasyonu sayısını ve konumlarını bulur. Bizim çalışmamızda ise çok basit bir yöntem kullanılarak gerçek zamanlı trafik taleplerini karşıladıktan sonra artan kaynakların orantısız adil çerçevesinde en iyi kullanıldığı röle konumu bulunmaktadır.

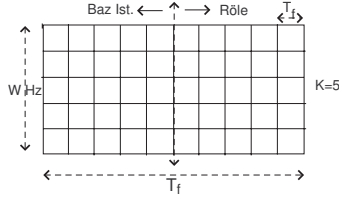
1.1. Sistem Modeli

Üzerinde çalışılan problem, kullanıcıların hücre içindeki konumlarına ve trafik gereksinimlerine göre röle istasyonlarının en iyi şekilde yerleşimidir. Problemin zorluğu ve basitten karmaşığa gitme ihtiyacı nedeniyle bu çalışmada tek boyutlu bir ağ (bir çizgi üzerinde konuşlanan kullanıcılar) ve tek bir röle istasyonu düşünülmüştür (bkz. Şekil 1). Düşünülen sistemde tekil kullanıcılar yerine sabit servis istasyonları (Sİ'ler) bulunmaktadır. Bu istasyonlar, kendilerine bağlı çok sayıda kullanıcıya (örneğin, WiFi hotspot'ları) veri sağlamaktadır. Bu kullanıcıların bir kısmı gerçek zamanlı ve gecikme kısıtlı ses (VoIP) ve Video hizmetleri, bazıları da esnek veri trafiği (www, FTP) talep eder.

IEEE 802.16j sistemlerinde kullanılması düşünülen röle istasyonlarındaki en temel kriterlerden biri maliyettir. Maliyeti düşürmek amacıyla bu istasyonlar tek alıcı-vericili olarak tasarlanır. Bu nedenle aynı anda alıp veremezler ve baz-röle ve röle-kullanıcı iletimleri Şekil 2'deki gibi zaman bölmeli olarak ayrılır. Birinci zaman diliminde baz istasyonundan röle istasyonuna, ikinci zaman diliminde ise röleden Sİ'lere iletim yapılır. Her iki alt çerçevede zaman dilimleri ve OFDMA alt kanalları kullanıcılara istenildiği gibi tahsis edilir.



Şekil 1: Sistem Modeli



Şekil 2: Çerçeve Modeli

Çalışmada kullanılan kanal modeli uzaklığa bağlı yol kaybı, hızlı Rayleigh sönmülmesi ve log-normal dağılımlı gölgelemeden oluşur. İletim gücü bu üç faktörün çarpımından oluşan bir katsayı ile kayba uğrayarak alıcıya ulaşır. Yol kaybı baz istasyonundan röleye $K^B d_R^{-\alpha}$, röleden n numaralı Sİ'ye ise $K^R |d_n - d_R|^{-\beta}$ olarak modellenir. Burada K^B ve K^R sabit katsayılardır. α ve β parametreleri ise sönmüm üsleridir. Röleler çatılara konuşlandığı için baz istasyonu ve röle görüş alanında (LOS) ve α β 'dan daha küçük bir sayıdır. Baz istasyonu orijin noktasındadır, d_R ve d_n ise rölenin ve n numaralı Sİ'nin baz istasyonuna uzaklıklarıdır. n numaralı Sİ'ye bağlı D_n adet veri, S_n adet ses ve V_n adet video kullanıcısı vardır. Toplam veri, ses ve video kullanıcıları D , S ve V adettir. Ayrıca bu çalışmada baz istasyonunun bütün kullanıcılara röle istasyonu aracılığıyla bağlantı kurduğu varsayılmıştır. Baz ve röle istasyonlarının toplam güçleri sırasıyla P^B ve P^R Watt'dır. Toplam çerçeve süresi T_f 'dir ve T_s saniyelik zaman dilimlerine ayrılmıştır. Toplam bant genişliği W Hz'dir ve K adet alt kanala ayrılmıştır.

2. Röle Yerleşim Problemi

Röle istasyonları yerleştirilirken sadece belli bir anda değil, uzun vadede iyi başarımlar sağlanması gerekir. Bu nedenle yerleşim problemi tanımlanırken kanal kazancının sabit kısmı (yol kaybına karşılık gelen kısmı) dikkate alınır. Bu durumda bir kullanıcı için bütün alt kanallar eşit kalitededir. Ayrıca eniyileme işlemini basitleştirmek amacıyla istasyon gücünün kanallara eşit ayrıldığı varsayılmıştır. Röle yerleştikten sonra normal çalışma sırasında bu varsayımlar yapılmayacaktır. Bu varsayımlar ışığında n numaralı Sİ için iletim yapıldığında baz-röle ve röle-Sİ arasında ulaşılan veri hızları aşağıdaki gibidir.

$$S_n^B(d_R) = W \log_2 \left(1 + \frac{P^B K^B}{N_0 W d_R^\alpha} \right), \forall n \quad (1)$$

$$S_n^R(d_R) = W \log_2 \left(1 + \frac{P^R K^R}{N_0 |d_n - d_R|^\alpha} \right), \forall n \quad (2)$$

Birinci denklem bütün Sİ'ler için aynıdır. Her Sİ için o istasyona bağlı gerçek zamanlı trafik talep eden kullanıcıların talep ettikleri toplam trafik (r_n^0) problemde hız kısıtı olarak yer alır. Gerçek zamanlı olmayan esnek veri trafiği için ise kullanıcılar arasında orantısız adillik sağlanacaktır. Düz sönmülme ve eşit güç olduğu için iki boyutlu zaman-frekans düzleminde kaynağın nasıl aktarıldığı değil sadece alanı (zaman çarpı frekans) önemlidir. Bu nedenle problem zaman tahsisi olarak kurulacaktır ve her Sİ kendi zaman aralığı içerisinde bütün W bant genişliğini kullanacaktır. Problem aşağıdaki gibidir,

$$\max_{r, T, d_R} \sum_n D_n \log \left(\frac{r_n - r_n^0}{D_n} \right) \quad (3)$$

$$T_n^\phi S_n^\phi(d_R) \geq r_n, \forall n, \phi = B, R \quad (4)$$

$$\sum_n T_n^B + T_n^R \leq T_f \quad (5)$$

Burada r_n , n numaralı Sİ'ye sağlanan toplam veri hızı miktarıdır ve (3) denklemi kullanıcılara sağlanan elastik veri miktarlarının orantısız adil olmasını amaçlar. Veri hızlarının logaritmalarının toplamı genel kabul görmüş bir orantısız adillik ölçütüdür [5] çünkü maks-min adillik ile toplam veri hızı amaçları arasında iyi bir ödünleşim sağlar. Burada D_n ise n numaralı Sİ'ye bağlı olan elastik veri kullanıcısı sayısıdır. Bu katsayının eklenme nedeni daha çok veri kullanıcısı barındıran Sİ'lere daha fazla kaynak ayırmak (bu problemde ise röleyi onlara yakınlaştırmak) amacıdır. (4) denkleminin amacı ise bir Sİ için baz-röle ve röle-Sİ veri hızlarının eşit olmasıdır. (5) denklemi ise toplam zaman kısıtıdır. Bu problemin çözümünde elde edilen zaman aralıklarının (T_n) T_s 'nin katı olmalarına gerek yoktur çünkü zaten bu çıktılar kullanılmayacaktır, ihtiyacımız olan sadece röle pozisyonudur.

Bu problemi çözmek için öncelikle herhangi bir röle uzaklığı için en iyi zaman tahsisi ve sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu (3) değeri analiz edilecektir.

2.1. Verilen Röle Uzaklığı için En İyi Başarımlar

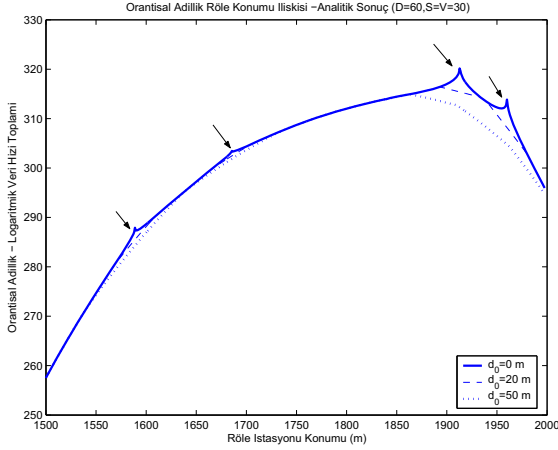
Yukarıdaki problemi çözmek için öncelikle verilen herhangi bir röle konumu için yine yukarıdaki varsayımlarla ulaşılabilecek maksimum amaç fonksiyonunu bulacağız. Lagrange çarpanları yöntemini kullanarak aşağıdaki fonksiyon yazılır ve değişkenlere göre türevi alınır,

$$L(\mathbf{r}, \mathbf{T}, \lambda_T, \lambda^r) = \sum_n D_n \log \left(\frac{r_n - r_n^0}{D_n} \right) + \sum_n \sum_{\phi=B,R} \lambda_n^{\phi} \left(T_n^\phi S_n^\phi(d_R) - r_n \right) + \lambda_T \left(T_f - \sum_n (T_n^B + T_n^R) \right) \quad (6)$$

Problem çözüldüğünde sonuç olarak, röle istasyonu uzaklığına bağlı olarak aşağıdaki veri hızı elde edilir,

$$r_n(d_R) = r_n^0 + \frac{T_f - T_f^R(d_R)}{\sum_{n=1}^N D_n} \frac{D_n}{\frac{1}{S_n^B(d_R)} + \frac{1}{S_n^R(d_R)}} \quad (7)$$

burada $T_f^R(d_R) = \sum_n \left(\frac{r_n^0}{S_n^B(d_R)} + \frac{r_n^0}{S_n^R(d_R)} \right)$ gerçek zamanlı kullanıcıların ihtiyacı olan zamandır.



Şekil 3: Röle uzaklığı ve başarımlar arasındaki ilişki

Herhangi bir d_R değeri için (3) amaç fonksiyonuna göre ulaşılabilecek en iyi veri hızları yukarıdaki gibidir. Elde edilen en iyi amaç fonksiyonu $U(d_R)$ aşağıdaki gibidir,

$$\begin{aligned}
 U(d_R) &= \sum_n D_n \log \left(\frac{r_n(d_R) - r_n^0}{D_n} \right) \\
 &= \left(\sum_n D_n \right) \log \left(\frac{T_f - T_f^R(d_R)}{\sum_n D_n} \right) \\
 &\quad - \sum_n \log \left(\frac{1}{S_n^B(d_R)} + \frac{1}{S_n^R(d_R)} \right) \quad (8)
 \end{aligned}$$

Bu yol kaybı modeli için bu fonksiyonun konkav(içbükey) olmadığı Şekil 3'te görülmektedir. Gerçekçi yol kaybı modellerinde ise $K^R \max(d_0, |d_n - d_R|)^{-\beta}$ gibi bir d_0 minimum uzaklık parametresi içerir. Bu durumlarda bu sivri uçlar kaybolur, fakat yine de fonksiyonun konkav olup olmadığı kesin değildir. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) gibi yöntemlerle bütün durumlarda global eniyi uzaklığın hızlı bir şekilde bulunduğunu görülmüştür.

3. Benzetim

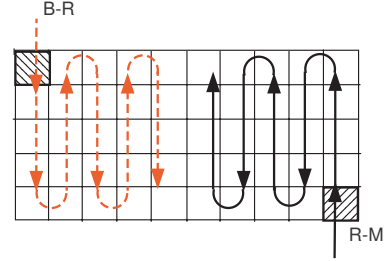
Yukarıdaki yöntemle bulunan eniyi röle uzaklığına karşılık gelen başarımlar diğer uzaklıklar ile karşılaştırılacaktır. Bunun için Tablo 1'de açıklanan 5 Sİ ve toplam 60 veri, 30 ses ve 30 video kullanıcıları ağ topolojisi kullanılmıştır. Görüldüğü gibi 2000 metre uzunluğundaki hücrenin kenarına yakın bulunan iki Sİ çok sayıda veri kullanıcıları içermektedir, fakat 1588 metrede bulunan Sİ'ye bağlı olan da çok sayıda ses ve video kullanıcıları vardır.

3.1. Kaynak Tahsis Algoritması

Röle konumuna göre gerçekçi bir başarımlar analizi yapabilmek için bu çözümü test edecek bir kaynak tahsis algoritmasına ihtiyacımız vardır. Literatürde ise çoklu ortam trafiği için kullanılabilen bir kaynak tahsis algoritması henüz yoktur. Biz bu çalışmada ilk olarak tek kanallı sistemler için önerilen Largest Weighted Delay First [6] algoritmasını röleli ve çok kanallı sistemler için uyarlayarak kullanacağız. Bu metoda göre kay-

Tablo 1: Servis İstasyonu (Sİ) Konumları ve İçerikleri

SS,n	uzaklık	D_n	S_n	V_n
1	1960.1	25	2	8
2	1384.9	5	5	1
3	1685.5	2	2	7
4	1588.8	6	8	8
5	1913.0	22	13	6



Şekil 4: Kaynak tahsisi.

nak aktarımı aşağıdaki ölçüte göre olmaktadır. Bu ölçüt her kullanıcı-altkanal çifti için veri kapasitesi ($S_{n,k}^\phi$), kullanıcı ağırlığı (w_n), gecikme ($delay_n^\phi$) ve ortalama veri hızı (R_n^ϕ) birleştirmektedir.

$$m_{n,k}^\phi = \frac{w_n S_{n,k}^\phi delay_n^\phi}{R_n^\phi}, \quad \forall n, k \phi = B, R \quad (9)$$

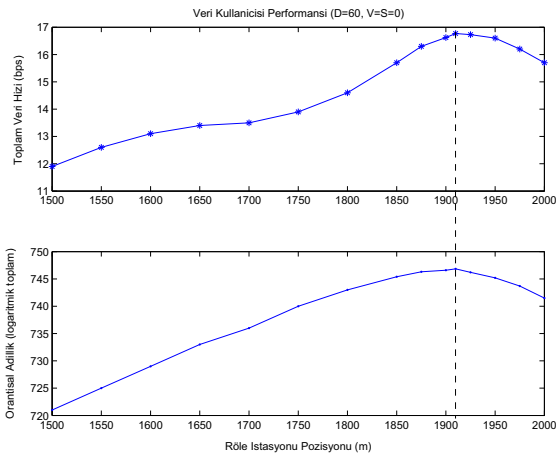
Kaynak aktarımı şekil 4'deki gibi ilerlemektedir. Kullanıcılara çerçevenin sağ alt köşesinden başlayarak kaynaklar tahsis edilmektedir. Her kaynak tahsisinde B-R linkinden veri akışı sağlamak için sol üst köşeden başlayarak (B-R ve R-M linklerindeki veri hızları eşit olacak şekilde) kaynak tahsis edilir. Sonuç olarak ortadan bir çizgi çekilecek şekilde Baz ve Röle alt çerçevelerinde kaynak tahsis yapılmaktadır.

Benzetim çalışması Tablo 2'deki değerler için yapılmıştır. Şekil 5 sadece Tablo 1'deki 60 elastik veri kullanıcılarını içeren bir sistem için yapılmıştır. Görüldüğü üzere belli bir röle uzaklığı hem toplam veri hızını hem de orantısız adillik eniyilemektedir. Bu aynı zamanda 2. Bölüm'de önerilen yöntemle bulunan değerlerin aynısıdır. Sonuç olarak önerdiğimiz yöntemin başarılı olduğunu anlıyoruz. Şekil 6 ise Tablo 1'de gösterilen bütün kullanıcıları içermektedir. Yine toplam veri hızı ve orantısız adillik eniyileyen röle uzaklığı önerilen yöntemle elde edilenle aynıdır. Şekil 7'te ise ses ve video trafiklerinin ortalama gecikmeleri verilmiştir. Önerdiğimiz röle uzaklığının gecikme başarımları da iyidir ama en iyi değildir. Zaten veri hızı ve gecikmenin beraber eniyilenmesi beklenemez, aralarında ödünleşim vardır. Burada yapabileceğimiz şey gerçek zaman veri hızlarını 1'den büyük bir katsayı ile çarpıp eniyileme işlemi o şekilde yapmaktır.

¹Burada ayrıntılar yer kısıtı nedeniyle anlatılamamıştır.

Tablo 2: Benzetim Parametreleri

Parametre	Değer
Hücre uzunluğu (yarıçapı)	2000 metre
Güç (Baz, Röle)	(20 Watt, 5 Watt)
Bant genişliği (W)	20 MHz
Alt kanal sayısı (K)	30 adet
Baz Röle Yol Kaybı (d mt)	$42.5 + 23.5 \times d$ dB
Röle-Kullanıcı Yol Kaybı	$38.4 + 35 \times d$ dB
Gürültü : N_0	-174 dBm
log-normal gölgeleme	Baz-Röle $N(0, 3.4)$ dB
log-normal gölgeleme	Röle-Kull. $N(0, 8)$ dB
Veri hızı (Ses, Video)	(32, 128) Mbps



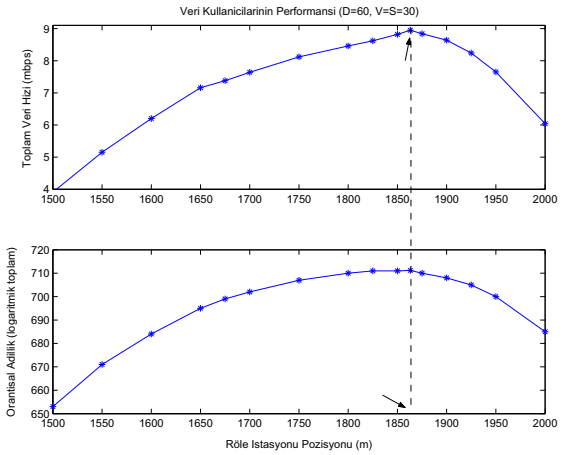
Şekil 5: Röle uzaklığı ve veri hızı/orantısal adillik arasındaki ilişki ($D = 60, S = V = 0$)

4. Sonuç

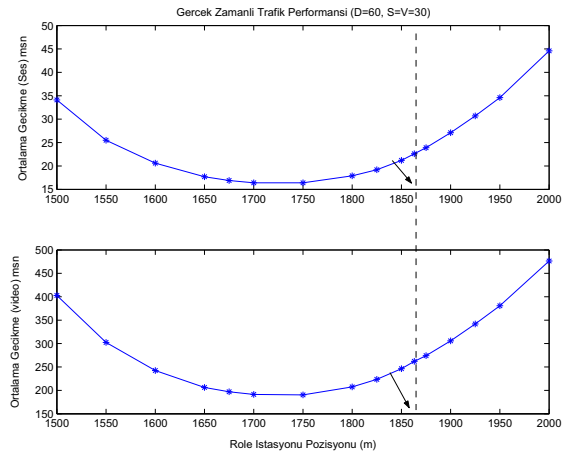
Bu bildiriye IEEE 802.16j standardına dayalı MMR sistemlerinde en iyi röle yerleşimi problemini inceledik. Problemin amacı gerçek zamanlı trafik talep eden kullanıcıların taleplerini karşılarken esnek veri kullanıcılarına en iyi orantısal adillikte veri sağlayan röle konumlarını bulmaktır. Problemin çözümünde yol kaybı gözönüne alınmış ve kurulan kısıtlı eniyileme problemi çözülmüştür. Benzetim sonuçları elde edilen röle konumunun normal sistem işleyişinde de en iyi orantısal adillik sağladığını göstermiştir. Gelecek çalışmalarda iki boyutlu ve çok röleli sistemlerde röle yerleşimi işlenecektir. Bunun yanında kullanıcının bağlandığı röle de (veya direkt olarak baz istasyonuna bağlanabilir) sistem başarımını önemli ölçüde etkilemektedir ve bu da gelecek çalışmaların konusudur.

5. Kaynakça

- [1] IEEE, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Multihop Relay Specification", IEEE Baseline document v4 for draft standard, May. 2007
- [2] Lin, B.; Lin, B., Ho, P.H., Xie, L.L. and Shen, X., "Opti-



Şekil 6: Röle uzaklığı ve veri hızı/orantısal adillik arasındaki ilişki



Şekil 7: Röle uzaklığı ve gecikme arasındaki ilişki

mal relay station placement in IEEE 802.16j networks", IWCMC '07, pp. 27-30, 12-16 Aug. 2007

- [3] Yu, Y., Murphy, S. and Murphy, L., "Planning Base Station and Relay Station Locations in IEEE 802.16j Multi-Hop Relay Networks", CCNC 2008, pp.922-926, 10-12 Jan. 2008
- [4] So, A. and Liang, B., "Optimal placement of relay infrastructure in heterogeneous wireless mesh networks by Bender's decomposition", QShine '06, Waterloo, Ontario, 2006
- [5] Kim, H. and Han, Y., "A Proportional Fair Scheduling for Multicarrier Transmission Systems", IEEE Communications Letters, 210-212, Mar. 2005.
- [6] Andrews, M., Kumaran, K., Ramanan, K., Stolyar, A., Vijayakumar, R. and Whiting, P., "Providing Quality of Service over a Shared Wireless Link", IEEE Communications Magazine, 150-154, Feb. 2001.