Kavramsal Radyolara Özel Tasarlanmış Telsiz Duyarga Ağlarında Kalıtımsal Algoritma ile Yayılım

Turgay Pamuklu
NETLAB, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
turgay.pamuklu@boun.edu.tr

Özet: Duyarga düğümlerinin yayılması telsiz duyarga ağlarında (TDA) önemli bir araştırma alanıdır. Bu bildiride kavramsal radyolara özgü TDA'ların yayılmasının kalıtımsal algoritmalar ile en iyileştirildiği bir çalışma anlatılmıştır. Kısıtlamalarımız sinyal kaçırma ve yanlış alarm olasılıkları olarak seçilmiştir. Bu değerler kavramsal radyo uygulamalarında belli bir eşiğin altında olmak zorundadır. Hedefimiz bu eşiğin altında en düşük maliyette duyarga düğümü yayılımı sağlamaktır. Ayrıca tasarımımıza kooperatif karar verme yapısı da eklenerek daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Benzetim sonuçlarına baktığımızda tasarladığımız algoritmanın aynı kavramsal radyo kısıtları için kaba kuvvet ve tek biçimli yayılmalara göre daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Telsiz Duyarga Ağları, Kavramsal Radyo, Kalıtımsal Algoritmalar, Yayılma

Deployment of Wireless Sensor Networks for Cognitive Radio with Genetic Algorithm

Abstract: An important research area in wireless sensor networks (WSNs) is deployment of sensor nodes. In this report, we propose a genetic algorithm for deployment of WSNs for cognitive radio. Our constraints are miss detection probability and false alarm probability bounds. These values should be smaller than a maximum bound for cognitive radio applications. Our objective is to minimize sensor cost which achieve these constraints. Also we add cooperative decision model to our algorithm to get better results. Simulation results show that our algorithm achieves much better solution than brute force and uniform deployment with the same cognitive radio constraints.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Cognitive Radio, Genetic Algorithm, Deployment.

1. Giriş

Kavramsal radyolarda önemli konulardan biri de spektrum sezme işlemidir. Bu işlem birincil kullanıcıyı rahatsız etmeden spektrum boşluklarına bulmak olarak belirtilebilir. Yeni bir yaklaşım olarak telsiz duyarga ağları (TDA) bu işlem için kullanılmaktadır [1]. Bu yaklaşımda duyarga ağı ana ağdan / ağlardan ayrı olmakta ve sadece spektrum sezme işlemi için kullanılmaktadır. Duyarga ağı sezme işlemi sonuçlarını yayılım ortamından toplamakta ve bu sonuçları toplayıcı duyarga düğümüne göndermektedir. Toplayıcı düğüm de sonuçları ana ağa / ağlara bildirmektedir [2]. Sonuç olarak bu yeni yaklaşımda birçok TDA kısıt problemlerinin yanında ek olarak spektrum sezme işlemi ve diğer kavramsal radyo problemleri de çözmemiz gereken problemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Kavramsal ağlara has düğümlerin yayılımı bu yeni önemli problemlerden bir tanesidir.

Kavramsal radyolarda, ikincil kullanıcılar iki amaçla spektrum sezme işlemi yaparlar. Bunlardan ilki birincil kullanıcının kullanmadığı spektrum bölgesini bir başka deyişle "spekt-

rum beyaz boşluklarını" sezmektir. Diğer sebebi ise bu bölgelerin başka ikincil kullanıcılar tarafından kullanılma durumunu algılamaktır. İlk durum için, sezme işleminin çok hassas olması saklı terminal problemini engellemek için oldukça önemlidir [2]. Bu yüzden ikincil kullanıcının çok gelişmiş bir spektrum sezme yapısına sahip olması ya da duyarga ağları gibi kooperatif sezme yapılabilecek bir yapıya sahip olmamız gerekmektedir. Mercier ve arkadaşları [1], ikinci yapının kavramsal radyolar için daha uygun olduğunu belirtmiştir. Tekil bir ikincil kullanıcının birincil göndericiden çok uzak olduğu durumlarda bile bu göndericinin sinyalini sezebilmesi gerekmektedir. Bu durum kooperatif yapıda bulunmamaktadır. Ayrıca kooperatif yapıda gölgelenme, zayıflama gibi kanala has işaret bozulmaların etkisi zayıflatılabilmektedir. Sonuç olarak ikinci yapıyı düşündüğümüzde karar vermemiz gereken önemli bir problemle karşı karşıya gelmekteyiz. Kooperatif biçimde spektrum sezme yapısında en iyileştirme için, belirli bir alana ne kadar ve ne türde duyargaları, hangi yapıda serpiştirmeliyiz?

Iyengar ve arkadaşları [4] aynı tipteki duyarga düğümlerini üçgen ızgaralara yerleştirerek kapsama en iyileştirmesi yapmayı amaçlamıştır. Yine aynı yapının bir benzerini Fodor ve arkadaşları [3] öne sürmüşlerdir. Ek olarak bu duyarga düğümlerine VE ve VEYA karar verme mekanizmalarını [5] eklemişlerdir. Son olarak ise kavramsal ağlar için kritik olan "yanlış alarm olasılığı" ve "sezme kaçırma olasılığı" değerleri üzerinden performans değerlendirmesi yapmışlardır.

Nahvi ve arkadaşları [6] ise bölgesel bilgi toplama yöntemi ile spektrum sezme performansını arttırmaya çalışmışlardır. Bu makalede de aynı tip duyarga düğümleri üçgen ızgara alana yerleştirilmektedir. Fakat ek olarak ortam erişim kontrolü için TDMA tasarımı önermişlerdir. Bu amaçla yaptıkları çalışmada k-uzaklık kromatik problem ile karşılaşmışlar, [7]'de belirtilen optimal çözüm ile sonuca ulaşmışlardır.

Yayılım üç kritik parçaya bağlıdır. Bu parçalar operasyon bölgesi, kablosuz duyarga ağları seti ve bu ağlar ile nasıl bir uygulama yapılacağıdır [8]. Bu parçalar yayılım problemleri ile uğraşırken göz önüne alınması gerekmektedir. Bu projede kapsama problemi ve heterojen duyarga düğümlerinin yayılımı konu edinilmiştir. Kapsama metrikleri doğrudan doğruya uygulamaya bağlıdır [8]. Bu yüzden yayılım tasarımı sırasında spektrum sezme ve işaret yayılımı konuları değerlendirilmiştir.

Stojmenovic [9], homojen yaklaşımının topoloji kurulumu için uygun bir yöntem olmadığını belirtmiştir. Aynı tip duyarga düğümlerinin farklı gönderme güçleri olabileceğini belirtmiştir. Aynı zaman operasyon alanında yer alabilecek çeşitli engellerin sezme performansını çok kötü etkileyebileceğini belirtmiştir. Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak bu çalışmada heterojen bir yayılım üzerinden gidilmiştir.

Iyengar ve arkadaşları [10], heterojen duyarga düğümlerinin yayılımı üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada bu problemin sırt çantası problemine benzediğini yani NP-karmaşıklıkta bir problem olduğunu görmüşlerdir. Bu amaçla öncelikle problemin NP-karmaşıklıkta olduğunu ispatlamışlar, daha sonra da çözüm olarak bir kalıtımsal algoritma önermişlerdir. Sonuçlara baktığımızda da heterojen yayılımın kapsama oranının homojen yapıya göre daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmanın ana yapısı yukarıda bahsedilen çalışmalarda yer alan iki yapının birleştirilmesine dayanmaktadır. Bu yapılar kalıtımsal algoritma ile heterojen yayılım ve kooperatif karar verme mekanizması ile kavramsal radyo kısıtlamalarını en az maliyet ile sağlayabilmektir.

2. Tasarım Konusu ve Algoritma

Bu kısımda tasarım konuları ve önerdiğimiz kalıtımsal algoritma açıklanmaktadır.

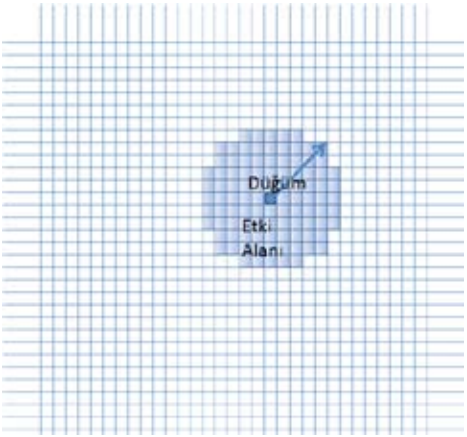
2.1 Yanlış Alarm ve Sezme Kaçırma Olasılıklarının Hesaplanması

Yanlış alarm olasılığı (P_{FA}) ve sezme kaçırma olasılığı (P_{MD}) çalışmamızda tasarım kısıtlamaları olarak yer almaktadır.Bu değerlerin kavramsal radyo isterlerine göre belli bir eşik değerlerinin (X_1 ve X_2) altında olması gerekmektedir. Sistemin sahip olduğu P_{FA} ve P_{MD} değerleri yüksek yoğunluklu şehir alanları için kullanılan Rayleigh flat-fading kanal modeli ile hesaplanmıştır. Formüller Fodor ve arkadaşlarından[3] alınmıştır.

Yanlış alarm, birincil veya başka bir ikincil kullanıcı olmamasına rağmen var olduğu kararının alınmasıdır. Bu değer ölçüm yapılan alan ile duyarga düğümü arasındaki uzaklıktan bağımsız olarak doğrudan gauss gürültüsüne ve karar eşiğine bağlıdır. Bu da duyarga düğümünün kalitesinin ölçüm sonucunu belirlediğini ve sabit bir eşiğe göre sabit bir yanlış alarm olasılığına sahip olduğunu gösterir. Bu yüzden tasarımımızda her tip duyarga düğümü için sabit bir yanlış alarm olasılığı seçtik ve kooperatif karar verme mekanizması ile bu değeri aşağıya çekmeye çalıştık.

Sezme kaçırma ise ortamda birincil veya başka bir ikincil kullanıcı varken, olmadığı kararının verilmesi anlamına gelmektedir.Bu değer ölçüm yapılan alan ile duyarga düğümü arasındaki uzaklık ile doğrudan ilintilidir. Ayrıca düğümün kalitesine ve karar eşiğine de bağlıdır. Bu sonuçlardan yola çıkarak çalışmamızda bu olasılık değerini sabit bir değer ile düğüm ile ölçüm yapılan alan arasındaki uzaklığın çarpımı olarak aldık. Öncelikle, her tip düğüm için çevresindeki hücreler ile uzaklık değerlerini hesapladık. Eğer bu değer maksimum sezme eşiğinden yüksek ise bu hücrenin sezilemediğini, aksi halde daha önceden hesaplanan sabit değerin (referans uzaklığa göre), uzaklığın karesine bölümü kadar sezilebildiğine karar verilmektedir. (Şekil 1).

Daha sonra bu olasılık değerleri büyükten küçüğe sıralanarak, bu değerlere sezme seviyeleri verilmiştir. Son olarak karşılaştırma tablosu yardımıyla tüm P_{MD} değerleri hızlı bir biçimde hesaplanabilmiş, algoritma hızı arttırılmıştır.



Şekil 1. Duyarga Düğümü ve Sezinleyebildiği Alan

Kattepur ve arkadaşları [5], kooperatif karar verme mekanizmasının P_{FA} ve P_{MD} değerlerinin arttırdığını göstermişlerdir. Aynı sebepten biz de bu yapıyı kendi algoritmamıza ekledik. Bu değerlerin hesaplanması beş farklı duruma göre değişebilmektedir. İlk durumda, hücrenin herhangi bir duyarga düğümü tarafından sezinlenememesidir. Bu durumda iki değer de sıfır olacaktır. İkinci durum, hücrenin sadece bir düğüm tarafından sezinlenmesidir.Bu durumda kooperatif karar verme mekanizmasını kullanmamız mümkün değildir. P_{FA} ve P_{MD} değerleri sezme işlemi yapan düğümün değerlerine eşittir. Üçüncü durumda ise hücre iki tane düğüm tarafından kapsanmaktadır. Bu durumda yapı olarak VE fonksiyonunu kullandık. Sonuç olarak P_{MD} değeri artmakta fakat P_{FA} değeri ciddi oranda azalmaktadır. Dördüncü durum, 3 düğüm tarafından sezinlenme durumudur. Bu durumda 2VE1VEYA fonksiyonu (formül 1) kullanıldı.

$$\text{Değer} = x_1*x_2+x_2*x_3+x_1*x_3-2*x_1*x_2*x_3 \quad (1)$$

Böylece, P_{FA} değeri bir miktar artmış oldu fakat P_{MD} değeri ciddi oranda azalmış oldu. Son durumda ise hücrenin üç düğümden fazla düğüm tarafından sezinlenebilmesi durumudur.

Bu durumda en yüksek sezme seviyesine sahip 3 düğüm alınarak 2VE1VEYA fonksiyonu uygulandı. Böylece P_{FA} değeri sabit P_{MD} değerinin iyileştirilmesi sağlandı.

2.2 Kalıtımsal Algoritma Operasyonları

Bu çalışmada, Iyengar ve arkadaşlarında[4] olduğu gibi çözüm alanı ızgaralara bölünmüş ve ızgaradaki her bir hücre x ve y koordinatları ile belirtilmiştir. Her bir birey (çözümlerden biri) bu ızgara ve bu ızgaranın performans değerleri olacak şekilde tasarlanmıştır. Başlangıçta rastgele birçok birey yaratılarak bu bireyler popülasyon kümesi içerisine toplanmıştır.

Başlangıç popülasyonunu oluşturduktan sonra bu bireyleri doğal seleksiyona sokarak eleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu operasyonda öncelikle tüm bireylere uygunluk fonksiyonu uygulanmaktadır. Uygunluk fonksiyonu kalıtımsal algoritma tasarımlarının en önemli kısmıdır. Bizim tasarımızda iki adet kısıtlamamız (P_{FA} ve P_{MD} değerlerinin belli bir eşikten düşük olması) yer almaktadır. Amaç fonksiyonumuz ise maliyeti azaltmaktır. Dolayısıyla seçtiğimiz uygunluk fonksiyonu:

F = Toplam Düğüm Maliyeti + Yanlış Alarm Cezası + Sezme Kaçırma Cezası (2)

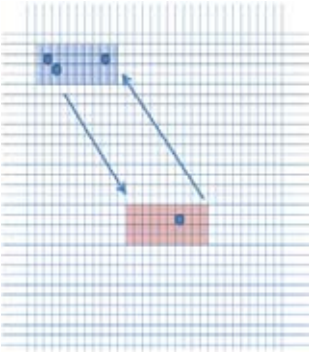
Yanlış alarm cezası her bir hücre için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Eğer hücrenin P_{FA} değeri yanlış alarm eşik değerinden küçükse bu değer sıfır alınmakta, aksi halde hücrenin yanlış alarm değeri ile eşik arasındaki fark alınmaktadır. Daha sonra bu değer yanlış alarm cezası sabiti ile çarpılarak yanlış alarm cezası bulunmaktadır. Aynı işlemler sezme kaçırma cezasının hesaplanması için de gerçekleştirilmektedir.

Son olarak orantısal uygunluk modeli (3) uygulanarak hangi bireylerin eleneceğine, hangilerinin bir sonraki nesle aktarılacaklarına karar verilmektedir.

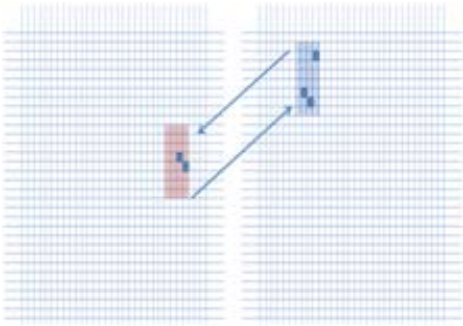
Elenme Olasılığı = Uygunluk Fonksiyonu / Ortalama Uygunluk Fonksiyonu (3)

Eleme sonrası popülasyona yeni bireylerin (yeni nesil) eklenmesi iki tür operasyon ile yapılmaktadır. Birinci operasyon yer değiştirmede öncelikle aynı birey içinde rastgele boyutta bir adet alan rastgele koordinatlarda seçilir. Bir sonraki aşamada aynı boyutlarda ikinci bir alan rastgele koordinatlarda seçilir. Son aşamada ise bu iki alanın yeri değiştirilerek üretilen yeni birey popülasyona eklenir. Diğer işlem ise çaprazlama geçiş işlemidir. Bu işlem yer değiştirmede ile benzerdir fakat bu sefer alanlar iki farklı bireyden seçilerek yer değiştirilir ve üretilen iki yeni birey popülasyona eklenir.Bu iki operasyon şekil 2'de gösterilmektedir.

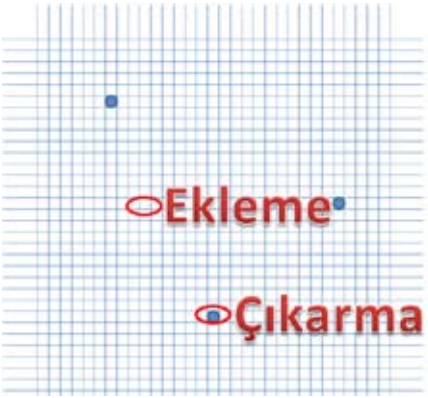
Tasarıma ayrıca mutasyon işlemi eklenmiştir. Bu işlemde rastgele bir bireyden rastgele koordinatta bir hücre seçilip bu hücrenin yapısı değiştirilmektedir. Eğer hücrede bir düğüm varsa düğüm çıkartılmakta, aksi halde düğüm eklenmektedir.Böylece popülasyon çeşitliliği arttırılmış olmaktadır. Ayrıca tasarıma çoklu kullanım yapı da eklenerek çeşitlilik daha çok arttırılmıştır. Bu yapıda iki bağımsız popülasyon iki farklı kalıtımsal algoritmaya yollanmakta, belirli aralıklarla popülasyonların yerleri değiştirilmektedir. Bu yapılar da şekil 3'te görülmektedir.



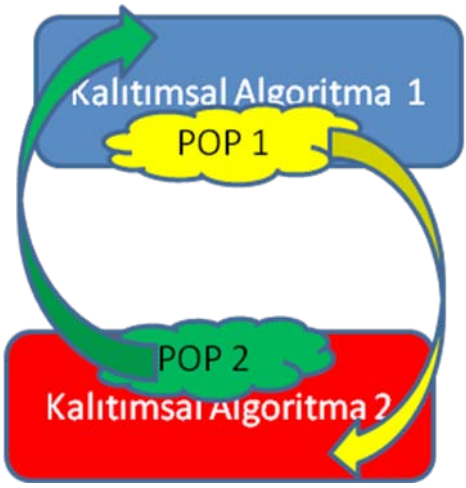
Şekil 2.a Yer Değiştirme



Şekil 2.b Çaprazlama Geçiş



Şekil 3.a Mutasyon



Şekil 3.b Çoklu Kullanım

3. Benzetim Sonuçları

Öncelikle algoritmamızla karşılaştırmak için 30000 adet kaba kuvvet rastgele yayılım gerçekleştirdik. Sonuçlar tablo 1'de yer almaktadır.

Maliyet Değeri	$P_{MD} > P_{MD-MIN}$ & $P_{FA} > P_{FA-MIN}$
15000	450
13000	6
12000	0
11000	0
9000	0

Tablo 1. Kaba Kuvvet Benzetim Sonuçları

Sonuçlara baktığımızda 12000 ve altı maliyetlerde gerekli kısıtlamaları sağlayan bir sonuç elde edilememiştir.

Karşılaştırma için ayrıca aynı tipte duyarga düğümleri ile tekdüze yayılım gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu tipteki duyarga düğümü ile kısıtlamaları sağlayan en düşük maliyetler bulunmuştur.Sonuçlar tablo 2'de yer almaktadır. Son olarak kendi algoritmamızı farklı başlangıç değerleriyle birçok kez koşturarak istenen kısıtlamaları sağlayan en düşük maliyet bulunmuştur. Bu sonuçlar da tablo 3'de yer almaktadır.

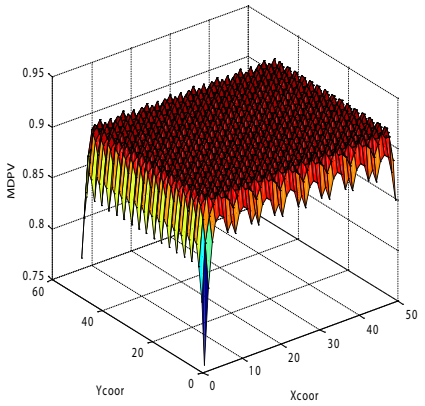
Duyarga Düğümü Tipi	Minimum maliyet
S1	12480
S2	15600

Tablo 2. Tekdüze Yayılım Benzetim Sonuçları

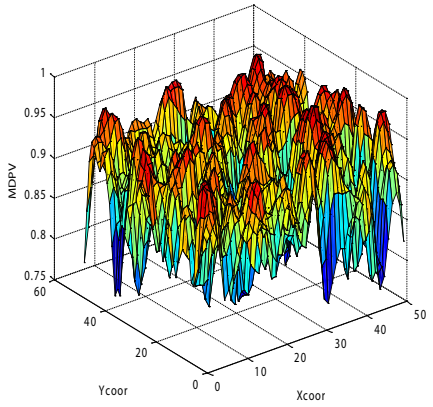
Koşma Sırası	Benzetim Zamanı	Minimum maliyet
1	30 dakika	11920
2	30 dakika	12040
3	30 dakika	11950
4	30 dakika	11660
5	30 dakika	12240
6	240 dakika	10380
7	240 dakika	10800

Tablo 3. Kalıtımsal Algoritma Benzetim Sonuçları

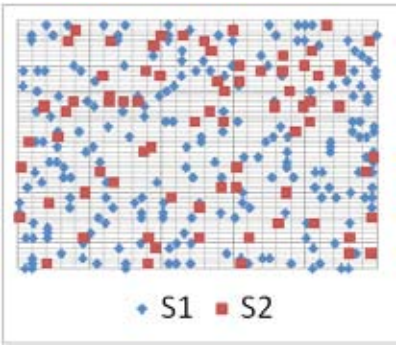
Sonuç bizim algoritmamızın kaba kuvvet ve tekdüze yayılımlara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 4'te tekdüze ve bizim kalıtımsal algoritmanın yayılım biçimi görülmektedir.



Şekil 4.a Tekdüze Yayılım



Şekil 4.b Kalıtımsal Yayılım



Şekil 5 Izgara üzerinde düğümlerin heterojen yapıdaki KA yayılımı

Son olarak ızgara üzerinde düğümlerin heterojen yapıdaki KA yayılımı şekil 5'te görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu bildiride, heterojen yapıdaki kavramsal radyolara has duyarga ağlarının yayılımını gerçekleştiren bir kalıtımsal algoritma sunuldu. Benzetim sonuçlarına baktığımızda bu algoritmanın kaba kuvvet ve tekdüze yayılımlara göre daha iyi olduğu görülmektedir.Gelecek çalışma olarak algoritmanın optimizasyonun gerçekleştirilerek daha hızlı çözüme ulaşması sağlanacaktır. Ayrıca gerçek düğüm değerleri ve kanal model değerleri gerçek değerlerle değiştirilerek çözümün gerçek dünya probleminin çözümü haline gelmesi sağlanacaktır. Bir başka yapılacak çalışma da farklı kooperatif karar verme mekanizmalarının test edilerek hangi mekanizmanın P_{MD} ve P_{FA} değerlerini minimize ettiği bulunacaktır. Son olarak olasılık tabanlı sezme yöntemi ile performansın artıp artmadığı izlenecektir. Bu yöntemde duyarga düğümleri işaretin olup olmamasının ötesinde aldığı işaretin seviyesini (RSSI) toplayıcı düğüme göndererek daha fazla bilginin edinmesini sağlamaktadır.

5. Kaynaklar

[1] B. Mercier, V. Fodor, R. Thobaben et al., "Sensor networks for cognitive radio: Theory and system design," in ICT Mobile Summit, Stockholm, Sweden, Jun. 2008.

[2] S. Shankar, C. Cordeiro, and K. Challapali, "Spectrum Agile Radios: Utilization and Sensing Architectures," Proc. IEEE Int'l Symp. Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN '05), pp. 160-169, Nov. 2005.

[3] Viktoria Fodor, Ioannis Glaropoulos and Loreto Pescosolido, "Detecting low-power primary signals via distributed sensing to support opportunistic spectrum access," ICC 2009 - IEEE International Conference on Communications, vol. 32, no. 1, June 2009, pp. 2929-2934.

[4] Iyengar S. S., Tandon A., Wu Q., Cho E., Rao N. S. V. and Vaishnavi V. K. (2004) "Deployment of Sensors: An Overview.", In: Iyengar S. S. and Brooks R. R. (eds) Distributed Sensor Networks. Boca Raton, pp 483-504.

[5] A.K. Kattepur, Ann Tuan Hoang, Ying-Chang Liang, and Meng Joo Er, "Data and decision fusion for distributed spectrum sensing in cognitive radio networks", In 6th International Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2007.

[6] A Nahvi, V Fodor, "Performance of deterministic local sensing aggregation under interference", in CROWNCOM, June 2010.

[7] Sen, A., Roxborough, T. and Medidi, S. (1998), "Upper and lower bounds of a class of channel assignment problems in cellular networks", In Proc. IEEE INFOCOM 1998, San Francisco CA, 29 March 2 April, 3, pp. 1273–1283. IEEE Computer Society Press.

[8] Bhaskar Krishnamachari, "Networking Wireless Sensors", In *Cambridge University Press*, 2005.

[9] I. Stojmenovic, "Handbook of sensor networks, algorithms and architechtrues", Wiley series on parallel and distributed computing, 2005.

[10] Iyengar, S. and Brooks, R.R., "Distributed Sensor Networks", Chapman & Hall / CRC Computer And Information Science Series, 2005.