

Algılayıcı Yerleşim Belirsizliğinin Çözümünde Graf-Kuramsal Algoritmasının Kullanılması

Graph-Theoretic Algorithm to Resolve Ambiguity of Localization of Sensors

Dogan Yildiz¹, Serap Karagol¹, Okan Ozgonenel¹, Satish Tadiparthi², Marwan Bikdash³

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
dogan.yildiz@omu.edu.tr,
serap.karagol@omu.edu.tr,
okanoz@omu.edu.tr,

³Computational Science and
Engineering
North Carolina A & T State
University
bikdash@ncat.edu

²Prolifics
satish.tadiparthi@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, graf kuramı temelli yeni bir algılayıcı yerleştirme algoritması önerilmiştir. Bu önerilen algoritma özellikle seyrek ağ yapılarında diğer algoritmaların yetersiz kaldığı durumlarda başarılı bir sonuç vermektedir. Algoritmanın algılayıcıyı başlangıç düğümüne yerleştirememesi durumunda bile, algılayıcının yerleştirilebileceği bölgenin çokgen tahminini üretebilmektedir. Monte Carlo benzeşimlerinden de görüleceği üzere, diğer algılayıcı yerleştirme algoritmalarından yaklaşık %200'lere varan bir doğrulukta en uygun sonuçları üretebilmektedir.

Abstract

This paper introduced a novel graph-theoretic self-localization algorithm which resolve ambiguities in the position candidates. The algorithm is especially effective in very sparse networks where other algorithms usually fail. Even when the algorithm cannot locate a given node, it produces a polygonal estimate of the region in which the node is located. Monte Carlo simulations show that this algorithm performs better than all existing ones, sometimes by a factor of 200 percent where the performance is measured by the number of nodes that are ultimately localized.

1. Giriş

Kablosuz sistemlerdeki teknolojik ilerlemeler ucuz, düşük güç tüketimine sahip ve birden çok işlevi yerine getirebilen algılayıcı düğümlerin ortaya çıkmasına olanak tanımıştır. Bu algılayıcı düğümlerinden belli bir sayıda ve belli bir bölgeye yayarak kablosuz bir ağ yapısı inşa edilebilmektedir. Algılayıcı ağlarının her bir algılayıcı düğümden gelen bilgileri biriktirmek ve bu bilgileri kullanılma amaçlarına göre işlemek gibi iki temel işlevi mevcuttur [1]. Algılayıcı ağlarının çıgda mahsur kalmış birisinin kurtarılması gibi arama-kurtarma çalışmalarında [2], hastaların hayatsal belirtileri gösterip göstermediğinin denetimi gibi sağlık alanında [3], sıcaklık değişiminin önemli olduğu uygulamalarda bu değişimin takibinde [4], askeri araçların izlerinin takibi gibi uygulamalarda [5] ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Algılayıcı ağların kullanıldığı bütün uygulamalarda, elemanlarının çalışmalarının doğru bir şekilde idare edilebilmesi için bu ağların yer belirleme yeteneğine sahip olmaları gerekmektedir. Bu durum ise algılayıcı ağlarda yer

belirleme problemini ortaya çıkarmıştır. Literatürde bu sorunun çözümü için çeşitli yaklaşımlar ortaya konmuştur. Pandey ve arkadaşları [6], algılayıcı düğümlerin enerjilerine göre yer belirleme çizelgesi oluşturmuşlardır. Komşu düğümler arası uzaklık tahminleri düğümlerin mevcut enerjilerine göre yapılmıştır. Bu yaklaşımla yay modelini ortaya koymuşlardır. Kai ve Chun [7] kablosuz algılayıcı ağlarda yer belirleme sorununun çözümü için mesafeden bağımsız, ölçeklenebilir ve komşu düğümlere gelen sinyal güçlerini karşılaştırarak bulan bir algoritma önermişlerdir. Eğer çapa düğümler ızgara şeklinde dizilirse yöntem en iyi sonucu vermekte ancak algılayıcı düğümler dağınık olarak yerleştirilirse beklenen sonuç alınamamaktadır. Bu algoritmanın mahsurlu yönlerinden bir diğeri ise, çapa düğümün bulunduğu alanın dışındaki bir alanda tahmin etmek oldukça zordur. Yer belirleme sorununun çözümü için geliştirilen bazı yöntemler Graf-Kuramı (GK) temellidir. Algılayıcı ağlarında GK temelli kavramların bu sorunun çözümü için kullanımı algoritmik ve analitik yönleriyle [8] ve [9] çalışmalarda ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Nussbaum ve arkadaşları [10] uygun mesafe korumalı alt graflar ve basit bir grafin kümeleme amacıyla rasgele sayıda mesafe-korumalı alt graflara nasıl ayrılabilirliği hususunda önerilerde bulunmuşlardır. Vahidnia ve arkadaşları [11] GK ve Genetik Algoritma tabanlı uygulamaya yönelik bir yöntemi optimum bölmeli anahtar yerleştirme problemini çözümü için önermişlerdir. Zheng ve arkadaşları [12] zaman tanım bölgesinde GT tabanlı algılayıcı işaret dizilerine dayanan, hareketli nesneleri izleyen bir örnek sunmuşlardır. Bu örnek bir üçgen ızgara ile küçük bir alanda hareketli bir nesnenin sınırlı hata ile izlenebileceğini kanıtlamıştır. Liu ve arkadaşları [9] düğüm bilgilerini kaydetmek için B-N ağaç yöntemini önermişlerdir. Bu yöntem, konum belirlemenin yanı sıra yöntem boyunca biriken hataların ağ boyunca dağılımını kontrol eder. Düğüm çeşitliliği kullanılarak düğüm sağlamlığının artırılması algoritması Zhu ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada düğüm sağlamlığı sorunu GK tabanlı bir yaklaşımla çözülmeye çalışılmıştır [13]. Nakayama ve arkadaşları bağlantı kümeli (tie-sets) GK'ni, akıllı şebekelerle ilişkisini ve bu kümelerle dayanan özerk yapıları incelemişlerdir [14].

Bu çalışmada ise, konum tahminindeki belirsizlikleri düğümler arasındaki yolların uzunluklarını kullanarak çözüme kavuşturan GK tabanlı konum tahmincisi algoritması önerilmiştir. Önerilen bu algoritma, özellikle diğer

algoritmaların genellikle başarısız olduğu seyrek ağlarda oldukça etkilidir.

2. Önerilen mN/2 Algoritması

mN/2 algoritması, herhangi bir amaçla bir alana yayılmış algılayıcı düğümlerinden konumları belli olmayan düğümlerin konumlarının belirlenmesi işlevinin yerine getirilmesi için çoklu-sekmeli, Graf-Kuramı (GK) yaklaşımını benimseyen bir algoritmadır. Bu algoritmanın ilk aşamasında Barbeau ve arkadaşlarının kullandıkları yöntem izlenmiştir [15]. Onlar, bu yöntemde hedef düğümün olma ihtimalinin bulunduğu iki aday konum belirlemek için öncelikle iki çapa düğüm seçmişler ve sonrasında belirsizliği ortadan kaldırmak için ise diğer çapa düğümlerin yerleri ve çok-sekmeli uzaklıklarını kullanarak yanlış konumu elemişlerdir. Bu algoritmada kullandığımız düğümler belirli bir bölgede konumları belirlenmemiş düğümlerdir ve çapa düğümler bu düğümlere birkaç/birçok sekme uzaktır. Algoritmamız aşağıdaki aşamaları izlemektedir:

- Her bir hedef düğüm ile önceden bilinen çapa düğümler arasındaki en kısa yol uzunluğunu hesaplamak,
- Her bir çapa düğümü merkez alan çemberler oluşturmak. Burada örnek olarak herhangi bir çapa düğümünden herhangi bir hedef düğüme K sekme olduğunu varsayılmıştır. R ise incelenmekte olan hedef düğüm ile çapa düğüm ikilisi arasındaki en kısa uzaklık olsun. Bu durumda bahse konu çapa düğüm merkezli çemberin yarıçapı KR olur,
- Oluşturulan çokgenleri sonuç çokgenini oluşturmak için kesiştirmek,
- Hedef düğüm olabilecek iki düğümün sonuç çokgeni içerisinde olup olmadığına bakarak belirsizliği ortadan kaldırmak.

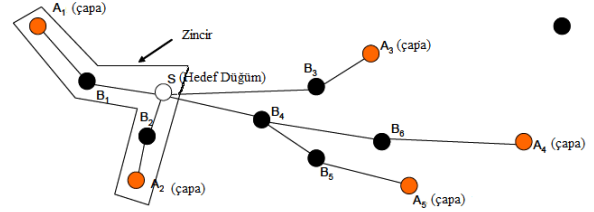
2.1. Dijkstra Yöntemi Kullanarak En Kısa Yol İncelemesi

GT tabanlı bu algoritmanın en önemli özelliği belirli bir sisteme dayanmasıdır. Bir graf sonlu ise, bu algoritma bütün düğümlerden geçecektir ve geçtiği düğümlerin hiçbirinin izini kaybetmeyecektir. Dijkstra graf tabanlı algoritma tek kaynaklı en kısa yol bulma problemini ağırlıklı, yönlendirilmiş graflar üzerinden çözer. Burada hiçbir kenarın ağırlığı negatif değildir [8]. Bu algoritma yer bulma algoritmalarında en kısa yol probleminin çözümü için oldukça faydalıdır. Kablosuz algılayıcı ağlarında en kısa yol bulma problemi şu şekilde açıklanabilir: Verilen düğümler arası uzaklıklar ve başlangıç noktası (hedef düğüm) için bir düğümden diğer düğümlere giden en kısa yol bulunmalıdır. Burada en önemli düğümler çapa düğümler ve ona bağlı olan düğümlerdir. Başka bir deyişle, bir yolun uzunluğu ardışık düğümler arasındaki bütün uzaklıkların toplamıdır.

2.2. Zincirler

Bu bölümde çoklu-sekmeli yollar için yeni bir kavram olarak zincirler tanımlanacaktır. Zincirler, sonuç çokgensel bölgenin eldesi için oluşturulan çokgenlerin eldesi aşamasında önemli bir yer tutar. Dijkstra algoritması hedef düğümler içeren grafa hedef düğümler ile en kısa düğümler arasındaki en kısa yolların bulunmasını sağlayan bir algoritmadır. Bu düğümlerden bazıları çapa düğüm olabilir. Eğer A_1 ve A_2 gibi

iki çapa düğüm varsa ve bu çapa düğümler arasında ve çoklu sekmeli en kısa yollarla bağlı hedef düğüm varsa $A_1 - S - A_2$ Şekil 1 de gösterildiği gibi zincir olarak isimlendirilir. Bu zincir için $A_1 - S$ ve $A_2 - S$ arasında çoklu-sekmelerin bulunduğu varsayılmaktadır. A_1 ve A_2 çapa düğümlerini merkez alan sırasıyla R_1 ve R_2 yarıçaplı çemberler oluşturulmaktadır. Burada R_1 , hedef düğümden A_1 çapa düğüme olan uzaklık; R_2 ise hedef düğümden A_2 çapa düğüme olan uzaklıktır.



Şekil 1: Zincirler

Şekil 1 de $A_1, \dots, A_5$ gibi 5 tane çapa düğüm, S gibi bir tane hedef düğüm, $B_1, \dots, B_6$ gibi 6 tane ara düğüm bulunmaktadır. Buna göre 10 tane zincir bulunmaktadır: Genelde N_A tane çapa düğüm varsa

$$\frac{(N_A - 1)}{A_1 \text{ den } A_j \text{ ye } j > 1} + \frac{(N_A - 2)}{A_2 \text{ den } A_j \text{ ye } j > 2} + \dots + \frac{1}{A_{N_A-1} \text{ den } A_{N_A} \text{ ya}} \quad (1)$$

$$N_H = \sum_{j=1}^{N_A-1} j = \frac{1}{2} N_A (N_A - 1) \quad (2)$$

olur. Örneğin belirli bir alanda 100 çapa düğüm varsa $(100 \times 99)/2 = 4950$ tane zincir mevcuttur. Burada tekrar eden kesişmelerin hesaplama karmaşıklığını azalttığı söylenebilir. C_j^1 ve C_j^2 , j zinciri ile oluşturulmuş birer çember olsunlar. Bu noktada C_{j1}^x ve C_{j2}^x gibi herhangi iki çember aynı A_k gibi bir çapa düğümü merkez almışlarsa bu iki çemberin aynı çemberler olacağını söylenebilir. Şu halde hedef düğümün aşağıda tanımlanan bölgede konumlandığı sonucuna varılır:

$$U = \bigcap_{j=1}^{N_H} (C_j^1 \cap C_j^2) \quad (3)$$

$$= (C_1^1 \cap C_1^2) \cap (C_2^1 \cap C_2^2) \dots$$

$$= \bigcap_{j=1}^{N_A} \text{Circle}(A_j, d_j)$$

Burada $d_j = \sum_{k=1}^{L_j} ||b_k - b_{k-1}||$ ye eşittir. $b_0^j - b_1^j - \dots - b_k^j$ ifadesi, çapa düğüm $A_j = b_0^j$ den hedef düğüm $S = b_{L_j}^j$ olan en kısa yolu ifade eder. Kısaca ifade etmek gerekirse, eğer N_A tane GT bazlı çoklu-sekmeli çapa düğüm S hedef düğüme bağlıysa; hedef düğüm, N_A tane çemberin kesişimine konumlandırılabilir.

Algoritma her bir çember birer düzgün P_j çokgenine benzetilerek düzenlenir.

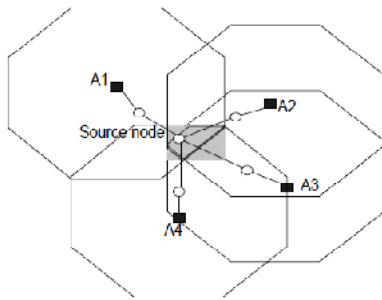
- 1) Başlat $U^{(1)} = \text{Polygon}(A_1, d_1)$
- 2) $j = 2$ den N_A ya kadar
 - a) $U^{(j)} = U^{(j-1)} \cap \text{Polygon}(A_j, d_j)$

Çizelge 1: Şekil 1 de gösterilen düğümler için oluşturulan zincirler

no	Zincir	1. Çember	2. Çember
1	$A_1 - B_1 - S - B_2 - A_2$	$\left(A_1, A_1 - B_1 \right) + B_1 - S $	$(A_2, A_2 - B_2 + B_2 - S)$
2	$A_1 - B_1 - S - B_3 - A_3$	$\left(A_1, A_1 - B_1 \right) + B_1 - S $	$(A_3, A_3 - B_3 + B_3 - S)$
3	$A_1 - B_1 - S - B_4 - B_6 - A_4$	$\left(A_1, A_1 - B_1 \right) + B_1 - S $	$(A_4, A_4 - B_6 + B_6 - B_4 + B_4 - S)$
4	$A_1 - B_1 - S - B_4 - B_5 - A_4$	$\left(A_1, A_1 - B_1 \right) + B_1 - S $	$(A_5, A_5 - B_5 + B_5 - B_4 + B_4 - S)$
5	$A_2 - B_2 - S - B_3 - A_3$	$\left(A_2, A_2 - B_2 \right) + B_2 - S $	$(A_3, A_3 - B_3 + B_3 - S)$
6	$A_2 - B_2 - S - B_4 - B_6 - A_4$	$\left(A_2, A_2 - B_2 \right) + B_2 - S $	$(A_4, A_4 - B_6 + B_6 - B_4 + B_4 - S)$
7	$A_2 - B_2 - S - B_4 - B_5 - A_5$	$\left(A_2, A_2 - B_2 \right) + B_2 - S $	$(A_5, A_5 - B_5 + B_5 - B_4 + B_4 - S)$
8	$A_3 - B_3 - S - B_4 - B_6 - A_4$	$\left(A_3, A_3 - B_3 \right) + B_3 - S $	$(A_4, A_4 - B_6 + B_6 - B_4 + B_4 - S)$
9	$A_3 - B_3 - S - B_4 - B_5 - A_5$	$\left(A_3, A_3 - B_3 \right) + B_3 - S $	$(A_5, A_5 - B_5 + B_5 - B_4 + B_4 - S)$
10	$A_4 - B_4 - B_6 - S - B_4 - B_5 - A_5$	$\left(A_4, A_4 - B_6 \right) + B_6 - B_4 + B_4 - S $	$(A_5, A_5 - B_5 + B_5 - B_4 + B_4 - S)$

2.3. Çokgenler ve Kesişimleri

(A_i, d_i) çemberlerinin kesişimleri, A_i çapa düğümün tam olarak konumu ve d_i ise çemberlerin yarıçapını ifade eden çoklu-sekmeli uzaklık olmak üzere herhangi bir çokgene benzetilebilir. Burada P hedef düğümü mevcut olması gerekir. (hedef düğüm, $A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, \dots, A_{in}$). Burada n , hedef düğüme bağlı çapa düğümlerin sayısını ifade eder. Hedef düğümlerin yerlerinin belirlenmesi aşamasında önerilen algoritma, çokgenlerin kesişimini hesaplar ve aday konumların birinin veya her ikisinin de sonuç çokgensel bölge içerisinde olup olmadığına karar verir. Bu durum Şekil 2 de gösterilmiştir.



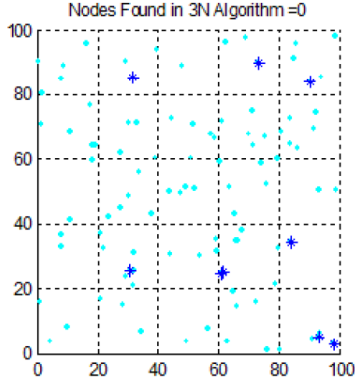
Şekil 2: Hedef düğümün elde edilmesi için çokgenlerin kesişimi sonucu oluşan sonuç çokgensel bölge

Eğer bu iki adaydan bir tanesi çokgensel bölgenin içinde yer alırsa bu adayın hedef düğümün gerçek yeri olduğu sonucuna varılabilir. Ancak, eğer iki adayın ikisi de sonuç çokgensel bölgenin içerisinde bulunursa belirsizlik hali devam edecektir. Bütün çokgenler ya çemberler veya çemberlerin kesişimleri

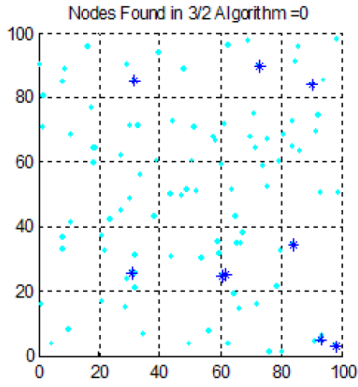
tarafından kapsanır. Bu yüzden bütün çokgenler dış bükeydir. Çokgenlerin kenarlarının iki noktadan fazla kesişmemesi durumu kesişimlerin hesaplanmasını kolaylaştırır. Burada basit bir algoritma şu şekilde açıklanabilir: Algoritma herhangi ikinci bir çokgenin içinde veya dışında olan birinci çokgenin bir köşesinden başlar ve birinci çokgenin diğer komşu köşelerinden ilerlemeye ikinci çokgenin sınırları iki kez geçilene kadar devam eder. Eğer bu ilerleme sonucunda bu çokgenin sınırları geçilmeden tekrardan başlangıç düğümüne dönlürse bu iki çokgenin kesişmeyeceği anlaşılabılır.

3. Benzetim Sonuçları

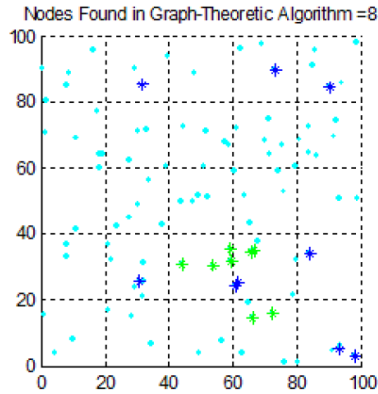
Önerilen graf-kuramsal algoritması, çapa düğümlerin seyrek olduğu ortamlarda etkili bir şekilde çalışmaktadır. Bu benzetim için 100x100 birimlik, hesaplama alanı %15 ve ortalama çapa düğüm yoğunluğu toplam düğüm sayısının %9 olacak şekilde bir çalışma ortamı hazırlanmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4 de görüldüğü gibi 3-komşu ve 3/2 komşu algoritmaları hedef düğümleri konumlandıramamıştır. Önerilen graf-kuramsal algoritma ise bulunan hedef düğümleri bir sonraki hedef düğümlerin bulunması için kullandığından toplam 8 tane düğümü konumlandırabilmiştir. Şekil 5 de yeşil renkli düğümler başarıyla konumlandırılan düğümleri göstermektedir.



Şekil 3: 3-Komşu algoritması ile bulunan düğüm sayısı = 0



Şekil 4: 3/2-Komşu algoritması ile bulunan düğüm sayısı = 0



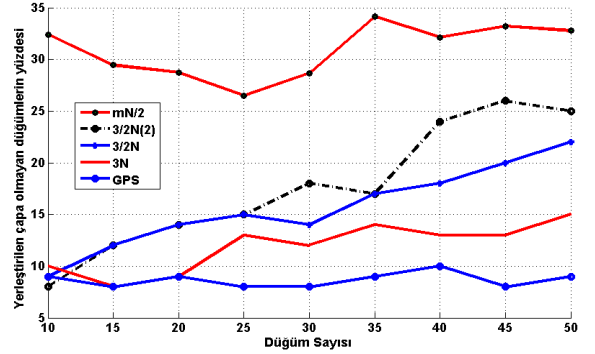
Şekil 5: Önerilen graf-tabanlı algoritma ile bulunan düğüm sayısı = 8

Barbeau [15] nin oluşturduğu ortama benzer bir ortam oluşturularak kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır. Algılayıcılar düzgün dağılım kullanılarak birim karelik bir alana dağıtılmıştır. Ulaşılabilirlik mesafesi Denklem 4 ile ifade edilmektedir [15].

$$r = \sqrt{\frac{\log n + k \log \log n + \log(k!) + c}{n\pi}} \quad (4)$$

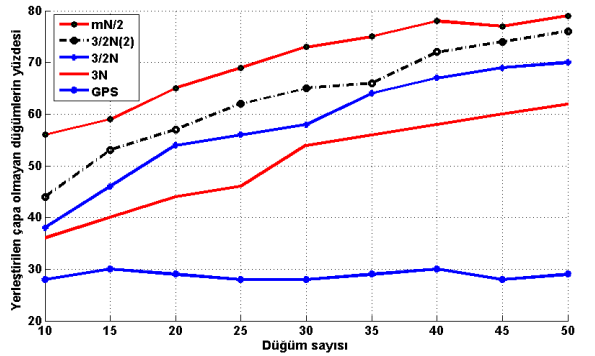
burada n kullanılan düğüm sayısı, $k \geq 0$ olan bir tamsayısı ve c de gerçek sayı olan bir sabiti göstermektedir. Bu benzetim

çalışmasında c ve k değerleri 1 olarak seçilmiştir. Monte-Carlo simülasyonları her bir senaryo için 200 kez tekrar edilmiş ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Benzetim toplam düğümlerin sayısının %9'unun çapa düğüm olduğu seyrek bir çalışma ortamında yapılmıştır. Şekil 6 dan da görüleceği gibi ağ büyüklüğü (düğüm sayısı) 10 dan 50 ye kadar çıkartılmış ve her bir ağ için 200 kez tekrar edilmiştir. Şekil 6 dan da anlaşılacağı gibi önerilen mN/2 algoritması, bulunan hedef düğümleri bir sonraki hedef düğümlerin bulunması için kullandığından dolayı diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında %200'e varan bir iyileştirme sağlamıştır.



Şekil 6: Ortamdaki düğümlerin ortalama %9'u çapa düğüm

Çapa düğümlerin fazla olduğu ortamda mN/2 algoritması diğer algoritmalarla göre %25-%30 luk bir iyileştirme ile sonuç vermiştir. Şekil 7 de gösterildiği gibi bu senaryoda toplam düğümlerin ortalama %28'i çapa düğüm olarak seçilmiştir.



Şekil 7: Ortamdaki düğümlerin ortalama %28'i çapa düğüm

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, algılayıcı konum tahmininde karşılaşılan belirsizliği ortadan kaldırmak için mN/2 algoritması önerilmiştir. Oluşturulan bir algılayıcı ağda 3-Komşu ve 3/2 Komşu algoritmalarının konumlandığı düğüm sayısı 0 iken önerilen algoritma ile konumlandırılan düğüm sayısı 8'dir. Önerilen bu algoritma çapa düğümlerin seyrek ve yoğun olduğu iki ağa uygulanmış ve sırasıyla %200 ve %25-%30'luk bir iyileştirme elde edilmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Kalaycı, T.E., "Kablosuz Algılayıcı Ağlar ve Uygulamaları", Akademik Bilişim 2009.
- [2] Michahelles, F., Matter, P., Schmidt, A., Schiele, B., "Applying wearable sensors to avalanche rescue", *Computers & Graphics*, vol. 27, issue 6 pp. 839-847, December 2003.
- [3] Baldus, H., Klabunde, K., and Muesch, G., "Reliable Set-Up of Medical Body-Sensor Networks", *In Proc. European workshop on wireless sensor networks EWSN 2004*, vol. 2920, 2004, pp. 353 - 363.
- [4] Sung, M., Hubaux, Pentland, A., "LiveNet: Health and Lifestyle Networking Through Distributed Mobile Devices", *Proc. Mobisys 2004 Workshop on Applications of Mobile Embedded Systems*, 2004, pp. 15-17.
- [5] 29 Palms Fixed/Mobile Experiment, Tracking vehicles with a UAV-delivered sensor network, <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/29Palms0103/>.
- [6] Pandey, S., Prasad, P., Sinha, P., Agrawal, P., "Localization of sensor networks considering energy accuracy tradeoffs", *Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, 2005 International Conference on*, 19-21 December 2005, pp.10???
- [7] Kai, W., Chun C., "Using RSS with difference method in localization algorithm for sensor networks", *Information Science and Engineering (ICISE), 2010 2nd International Conference on*, 4-6 December 2010, pp. 2500-2502.
- [8] E. W. Dijkstra, "A Note on Two Problems Connexion with Graphs", *Numerische Mathematik*, vol. 1, pp. 269 - 271, 1959.
- [9] Liu, K., Wang, S., Zhang F., Hu, F., Xu, C., "Efficient Localized Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks", *Computer and Information Technology, 2005. CIT 2005. The Fifth International Conference on*, 21-23 September 2005, pp.517-523.
- [10] Nussbaum, R., Esfahanian, A-H, Tan P.-N., "Clustering Social Networks Using Distance-Preserving Subgraphs," *Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM), 2010 International Conference on*, 9-11 August 2010, pp. 380-385.
- [11] Vahidnia, A, Ledwich, G., Ghosh, A., Palmer, E., "An improved genetic algorithm and graph theory based method for optimal sectionalizer switch placement in distribution networks with DG", *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2011 21st Australasian*, 25-28 September 2011, pp.1-7.
- [12] Agarwal, P. K., Brady, D. J., "Localization Using Boundary Sensors: An Analysis Based on Graph Theory", *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 3, issue 4, Article 21, October 2007, pp. 21:1- 21:19.
- [13] Zhu, Y., Fu, J., "A node robust enhancing algorithm based on graph theory," *Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2010 3rd International Conference on*, vol.7, 16-18 October 2010, pp.2820-2823.
- [14] Nakvayama, K., Shinomiya, N., "Distributed control based on tie-set graph theory for smart grid networks," *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2010 International Congress on*, 18-20 October 2010, pp. 957- 964.
- [15] Barbeau, M., Kranakis, E., Krizanc D., Morin P., "Improving Distance Based Geographic Location Techniques in Sensor Networks", *3rd International Conference on AD-HOC Networks & Wireless*, July 22-24 2004.