

TELSİZ SENSÖR AĞLARINDA KONUM BELİRLEME

Osman Ceylan (Proje Yöneticisi) İ.T.Ü. Elektronik Mühendisliği

Deniz Sümbüllü İ.T.Ü. Elektronik Mühendisliği

Danışman:

İTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Dr. H. Bülent Yağcı

GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi

Telsiz sensör ağları kavramı 1980lerde ortaya çıkmıştır. Mikroelektromekanik sistemlerdeki gelişmeler ve telsiz haberleşme sistemlerindeki ilerlemeler sonucunda 1990lı yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. İlk zamanlarda askeri alanda kullanılan telsiz sensör ağı yapıları maliyetlerin düşmesi, sensör kabiliyetlerinin artması ile sanayide de sıkça kullanılmaya başlamıştır.

Sensör ağlarının başlıca üstünlükleri şöyledir: Yerel olarak işlem yapabilmeleri, kendi kendilerine organize olabilmeleri, çevreye rastgele yerleştirilebilmeleri, birlikte çalışabilmeleri, fiziki boyutlarının küçüklüğü, kullanım oklaylığı ve esnekliği.

Sensör ağları sürekli veri toplamakta, olay belirleme ve tanımlamada, konum belirlemede ve yerel kontrolde sıklıkla kullanılmaktadır. Askeri kullanım alanları, dost kuvvetlerin durumlarının belirlenmesi, kimyasal-radyoaktif-biyolojik saldırıların erken tespiti ve izlenmesi, düşmanın yerinin tespiti ve izlenmesi, hasar tespiti ve izlenmesi, sivil uygulamalar: Trafik yönetimi, doğal hayatın izlenmesi, sel-yangın-deprem uyarı sistemleri, güvenlik uygulamaları, otomasyon sistemleri ve her türlü ölçüm (sıcaklık, nem, basınç...)

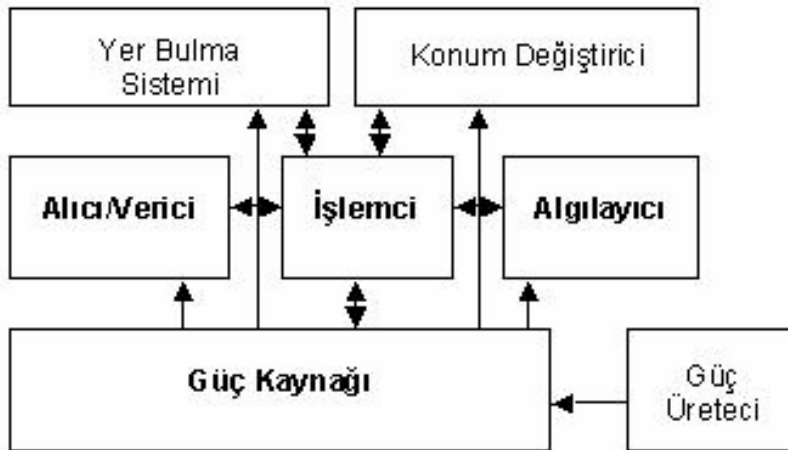
1.2. Araştırma Konumuz Hakkında Bilgi

Bitirme projemiz sensör ağlarında konum belirleme üzerine. Bu araştırma konusu ile rastgele yerleştirilen sensör düğümleri birbirlerine göre konumlarını belirleyebilecekler ve ilgili bölgenin haritalanmasını sağlayacaktır. Bölgenin haritalanması ile sensörlerden gelen verilerin hangi bölgeye ait olduğu net bir şekilde belirlenebilecektir. Örneğin, büyük bir depodaki sıcaklık dağılımını izlemek ve arşivlemek gereksin. Sensörlerden gelen sıcaklık bilgisinin deponun hangi bölümünde ölçüldüğünü de bilmek gerekir. Böyle bir durumda ya düğümler yerleştirilirken hesaplanarak yerleştirilir ve her düğüme has düğüm tanımlayıcı numara ile merkezi işlem birimine (örneğin bilgisayar) önceden bildirilir ya da düğümlerin kendi yerlerini kendilerini belirleyerek bunu merkezi sisteme aktarmaları sağlanabilir. ,

Düğümlerin kendi kendilerine konum belirleyebilmeleri sensör ağlarının kullanılabilirliğini belirgin bir şekilde arttırmaktadır. Kendi kendine konum belirleme ile bölgenin haritalanması sağlanır, izleme kolaylaşır. Özellikle çok büyük alanlarda çalışılırken (orman, geniş arazi) ve insanın giremeyeceği ya da girmesinin tehlikeli olduğu alanlarda çok gerekli bir yapıdır.

Konum belirlemede kullandığımız yapı ile düğümün cisimlere uzaklığı da kısmen hesaplanabilmektedir.

2. Donanım Yapısı



Yukarıdaki yapı bir düğümün genel yapısını göstermektedir. Alt başlıklar ile hem bu yapıları inceleyeceğiz hem de kullandığımız donanım hakkında bilgi vereceğiz.

2.1. Güç Kaynağı

Güç kaynağı telsiz olarak çalışması istene sensör ağlarında en önemli yapılardan birisidir. Düğümün ömrünün uzun olması hem kullanışlılığı arttıran hem de maliyeti düşüren bir önemli bir etkidir. Ayrıca düğüm boyutlarının belirlenmesinde önemli rol oynar. Biz sistemimizde iki AA kalem pil kullanarak buna özgü bir tasarım yaptık. İki AA kalem pil ile hesaplarımıza göre 6 ay ile 18 ay arası çalışma öngörmekteyiz. Devremizin boyutları da iki AA pil boyutundadır.

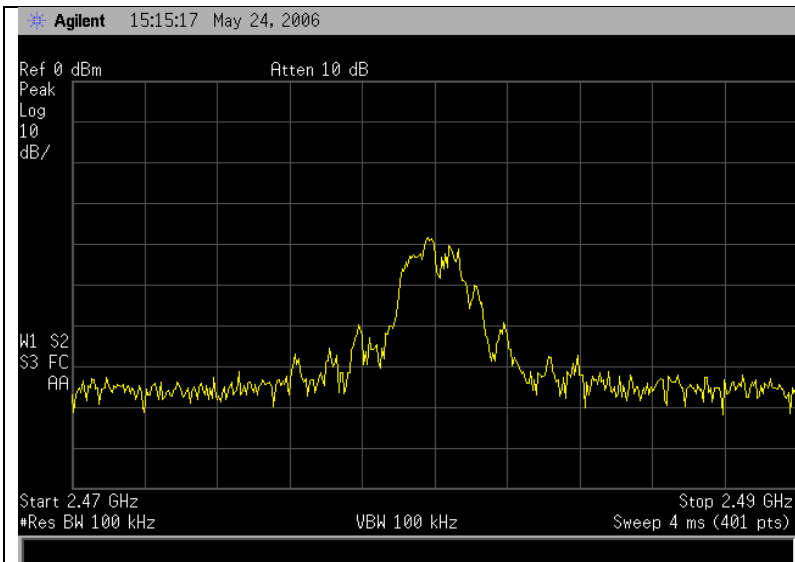


Pillerden toplan 2.4 volt gerilim almaktayız. Ancak devrelerimizin daha verimli çalışmalarını sağlamak için 3.3 volta ihtiyaç var. Bu nedenle DC-DC çevirici kullanarak mevcut gerilimi 3.3 volta çıkardık. Bunun için Texas firmasının TPS60210, düşük akımla çalışan tümdevresini kullandık. Çevirici devremiz 1.6 volt ile 3.5 volt arasındaki her gerilim seviyesinden 3.3 volt gerilim üretmekte. Böylece pil performansı zamanla düşse bile düğüm uzun süre çalışmaya devam etmekte.

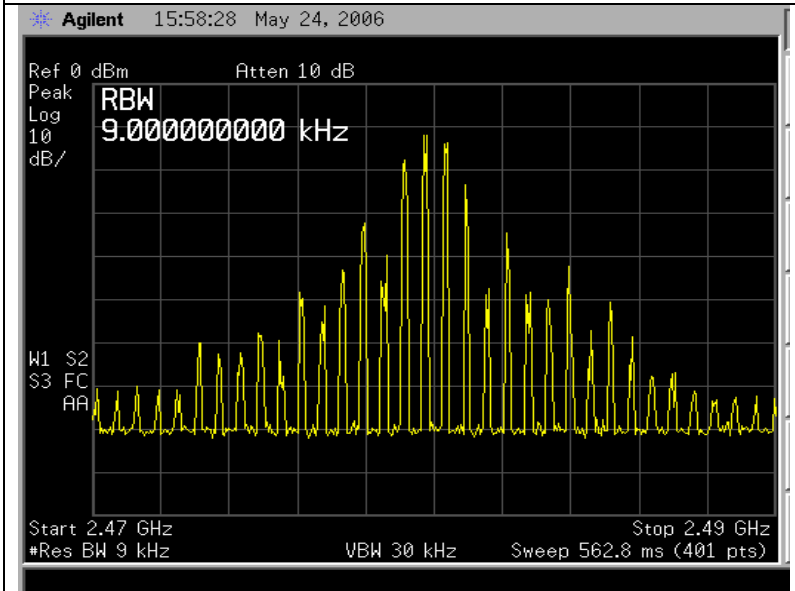


2.2. Alıcı - Verici

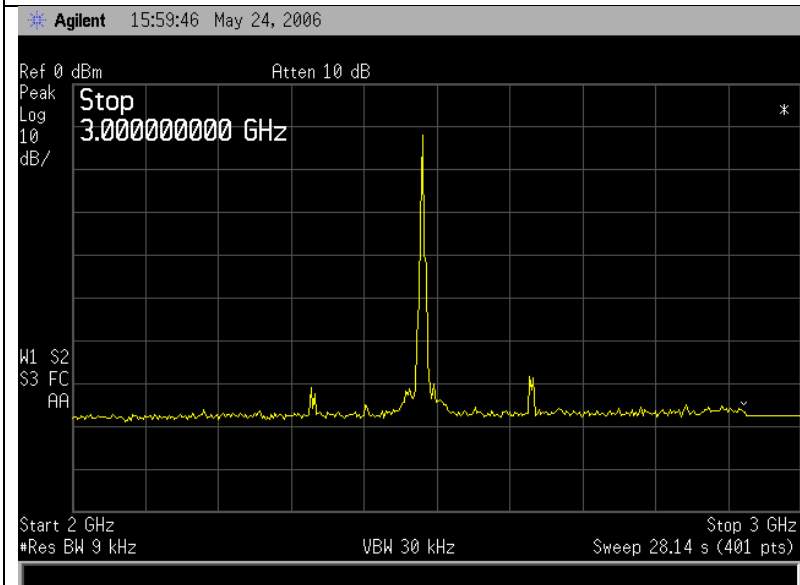
Alıcı ve verici yapısı haberleşme için kullanılmaktadır. Sensör ağlarında birçok haberleşme yapısı kullanılmaktadır (GPRS, UHF, kızılötesi). Biz düğümlerimizde 2.4 GHzlik frekansta (serbest bölge) haberleşmeyi uygun gördük. Bunu için Chipcon firmasının CC2420 tümdevresini kullandık. Bu tümdevre alıcı ve verici yapısını içermekte. 100 metre kadar mesafeden haberleşme mümkün. Az güç tüketmesi de bu tümdevrenin seçiminde önemli rol oynamıştır. IEEE 802.15.4 standartını kullanmakta. 5 MHz bant genişliği vardır. Alıcı verici devremizin spektrum analizlerinde istenilen bant genişliğinde ortama gürültü yaymadan çalıştığını gördük.



Dar bant analizi



RBW



2.3. Mikrodenetleyici

Mikrodenetleyici düğümdeki haberleşme biriminin (ağ trafiğinin izlenmesi, veri gönderimi, veri alımı) ve sensörlerin kontrolünü yapar. Sensör bilgisini duruma göre işleyip kendisi karar alabilir (örnek: aşırı sıcak olduğunda alarm vermesi). Güç yönetiminden de sorumludur (o an ihtiyaç duyulan sistemin beslenmesini sağlamak gibi).

Biz projemizde Texas firmasının çok düşük güç tüketen MSP430F1611 mikrodenetleyicisini kullandık. 16 bitlik RISC mimarili bu mikrodenetleyici seçmemizdeki en büyük etkenler şunlardır: Düşük güç tüketimi, güçlü ve çok sayıdaki haberleşme birimine sahip olması (I2C, SPI, UART), güçlü bir ADC, DAC ve zamanlayıcı (timer) yapısının olması. Mikrodenetleyici 5 farklı güç tüketim yapısına sahiptir ve bu da ciddi anlamda enerji tasarrufu sağlamaktadır.

2.4. Yer Bulma Sistemi

Telsiz sensör ağlarında yer bulma sistemi GPS kullananlar ve kullanmayanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Küçük boyutlu ve az güç tüketen bir sistem tasarladığımız için GPS kullanmayan yöntemi tercih ettik. GPS kullanmadan konum belirlemede dört yöntem kullanılmaktadır:

- Alınan işaret gücünün ölçümü: Çıkış işaret gücünü istediğimiz seviyeye ayarladıktan sonra alıcı yapı aldığı işaretin gücünü ölçerek gelen işaretin zayıflama oranından uzaklığı bulmaya çalışır.
- Erişim zamanı ölçümü: Eşzamanlı (senkron) çalışan iki devrede, gönderilen işarete gönderilme zamanı da eklenir. Alıcı işareti kabul ettiği zamandan gelen işarettaki zamanı çıkararak uzaklığı bulur.
- Erişim zamanı farkı ile uzaklık belirleme: Hızları farklı iki işaret aynı anda vericiden alıcıya gönderilir. Alıcı ilk işareti aldığı zaman ile ikinci işareti aldığı zamanı kullanarak mesafeyi belirler. Projemizde bu yöntemi kullandık.
- İşaretin kabul açısı ile mesafe belirleme: Özel antenler kullanılarak işaretin geliş açısından mesafe tespiti yapılır.

Erişim Zamanı Farkı Ölçümü ile Uzaklık Belirleme

Hızları farklı iki işaret olarak RF işareti ve ultrasonik ses kullanmayı uygun gördük. Ultrasonik ses 304 m/s hızla yayılır. RF işareti ise 300.000 km/s hızla yayılır. İki düğüm arasındaki uzaklık hesaplanırken verici devre ultrasonik işareti ve RF işareti aynı anda ilgili alıcıya gönderir. RF işareti çok daha hızlı olduğundan alıcıya önce ulaşır. Alıcı RF işareti aldığı anda bir sayaç başlatır. Ultrasonik işaret alındığında alıcı yapısı sayacı durdurur ve uzaklığı hesaplar.

RF alıcı verici yapısı 2.2 başlığında incelendi. Ultrasonik alıcı ve verici devreleri her düğümde bulunmaktadır. Verici devresi yüksek akım çıkışlı bir işlemsel kuvvetlendirici ile tasarlanmış karşılaştırıcıdır. 40 kHzlik işaret mikrodenetleyiciden alınmıştır. Ultrasonik sesin yayılma mesafesi sesin gücü ile orantılı olduğu için mikrodenetleyici çıkışındaki 40 kHzlik kare dalga işaret bir karşılaştırıcı yapısı ile daha yüksek gerilime çıkarılmıştır.

Ultrasonik ses alıcı devresi dar bantlı, yüksek kuvvetlendirme katsayılı bir yapıdır ve düşük akımla çalışan işlemsel kuvvetlendiriciler ile tasarlanmıştır.

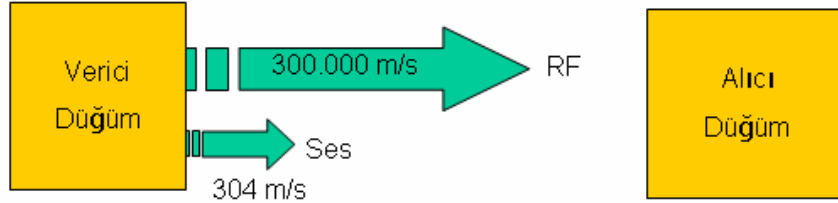
Ultrasonik alıcı ve verici devreleri mikrodenetleyici ile kontrol edilmekte olup boşa çalışmalarını engellemek için MOS anahtar ile gerektiğinde açılıp kapatılabilmektedir.

•(TDOA, time difference of arrival)

• $V_{rf} \gg V_U$

$$x = V_U \cdot t$$

$$x = \frac{t}{\frac{1}{V_U} - \frac{1}{V_{rf}}}$$



3. Yazılım Yapısı

3.1. Mikrodenetleyici Yazılımları

Mikrodenetleyici yazılımı IAR Embedded Workbench programı kullanılarak C dili ile yazılmıştır.

3.1.1. Haberleşme Yazılımı

Haberleşme yazılımı alıcı verici arasındaki uyumdan (alıcı ve verici aynı anda çalışmamakta, tek haberleşme tümdevresi kullandığımız için), ağ trafiğini takipten sorumludur. Bunun dışında yaptığımız çalışmalar ile düğümler kendi kendilerine organize olabilmektedir. Düğümler rastgele atıldığında her düğüm kendi komşusunu öğrenebilmekte ve bunu hafızasına yazarak kullanabilmektedir.

Haberleşme yazılımı genel olarak işletim sistemi gibi çalışmaktadır. Yapılan tüm işlemler haberleşme yazılımı üzerinde yer aldığı için kabaca işletim sistemi olarak tanımlanabilir.

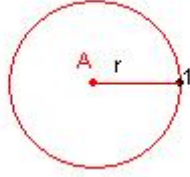
3.1.2. Mesafe Hesaplama Yazılımı

İki ana yazılımdan oluşmaktadır: Verici yazılımı ultrasonik verici için 40kHzlik işaret üretir ve ultrasonik verici devresini kontrol eder. RF işaret için de içerisinde düğüm numarası, yapılacak işlem gibi gerekli bilgileri içeren bir paket oluşturur. RF işaret geldiğinde içerdiği paket okunur. Pakette mesafe hesaplanacak bilgisi var ise alıcı yazılımı çalışmaya başlar. Alıcı yazılımı çalıştığında, ultrasonik işaret gelinceye kadar sayacı çalıştırır. Ultrasonik işaret geldiğinde mesafeyi hesaplar ve haberleşme birimine ilgili düğüme iletilmesi için gönderir.

İki işaretin erişim zamanı farkından faydalanarak çalışan yazılımda sayaç 8MHz te çalışmaktadır. Böylece hassasiyet ciddi ölçüde artırılmıştır. Çok büyük sayıları çarpma ve bölme gerektiğinden uygun işlemser seçilerek ve donanım çarpıcısı da kullanılarak mesafe hesabının işlemciyi yormaması ve gecikme olmadan hesaplanması sağlanmıştır.

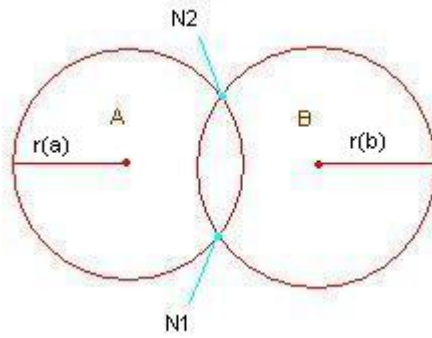
3.2. Görsel Yazılım

Uzaklık bilgisi elde edildikten sonra sıra düğümlerin yerinin bulunması işlemine gelir. Bu işlem için bazı düğümler konumları bilinen yerlere yerleştirilirler ve bu düğümler referans olarak kabul edilir. Bu andan itibaren problem, ağdaki düğümlerin yerlerinin referans düğümlerine olan uzaklıkları baz alınarak hesaplanması olarak karşımıza çıkar.



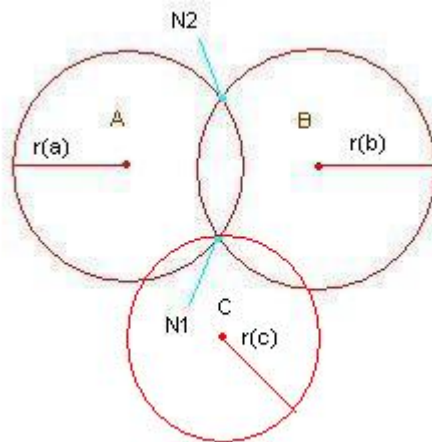
Şekil - 1

Yeri bilinen bir referans düğümü(A) ile normal düğüm(1) arasındaki uzaklık bilgisinin bulunması ile o düğümün yeri bulunamaz, sadece düğümün, referans düğümüne olan uzaklığına eşit yarıçapa sahip bir çember üzerinde herhangi bir noktada olabileceği bulunmuş olur. (Bkz: Şekil 1)



Şekil - 2

Eğer ağ topolojimize bir tane referans düğümü daha katarsak, 2 adet referans düğümü(A ve B) ile iki adet uzaklık bilgisi($r(a)$ ve $r(b)$) elde edilir. Bu durumda 1 numaralı düğümümüz A referans düğümüne göre $r(a)$ yarıçaplı çemberin üzerinde, B referans düğümüne göre ise $r(b)$ yarıçaplı çember üzerinde bulunmalıdır. 1 Numaralı düğümümüz iki şartı da sağlayan bir noktada olmak zorunda olduğu için ya Nokta 1(N1) in ya da Nokta 2(N2) nin üzerinde bulunmalıdır. (Bkz: Şekil 2)



Şekil - 3

1 Numaralı düğümümüzün N1 ya da N2 den hangisinin üzerinde olduğunu anlayabilmek için bir referans düğümüne daha ihtiyacımız var. Şekil 3 te de görüldüğü gibi C referans düğümü ile yerini tesbit etmeye çalıştığımız, 1 numaralı, düğüm arasındaki uzaklık $r(c)$ olduğuna göre 1 numaralı düğümün, C merkezli, yarıçapı $r(c)$ olan bir çember üzerinde olma koşulunu da sağlaması gerekir. Bu koşulun daha önceden belirlediğimiz koşullara (A ve B merkezli çemberler için) eklenmesi ile 1 numaralı düğümün N1 noktasında olduğu kesinlik kazanmış olur.

Dairelerin kesişim noktalarının hesaplanması için aşağıdaki yöntem izlenir:

İki dairenin geometrik ifadeleri:

$(X1, Y1)$: 1. dairenin merkezinin koordinat düzlemindeki yeri

$(X2, Y2)$: 2. dairenin merkezinin koordinat düzlemindeki yeri

R1 ve R2: dairelerin yarıçap uzunlukları

Olmak üzere:

$$1. (x-X1)^2 + (y-Y1)^2 = R1^2$$

$$2. (x-X2)^2 + (y-Y2)^2 = R2^2$$

Şeklinde verilir.

Burada bizim aradığımız noktalar x ve y noktalarıdır. İki dairenin denklemlerini birbirine eşitlediğimizde x ve y noktalarını bulabiliriz.

1. denklemde:

$$x-X1 = \sqrt{(R1^2) - (y-Y1)^2}$$

oradan da:

$$x = \sqrt{(R1^2) - (y-Y1)^2} + X1$$

elde edilir.

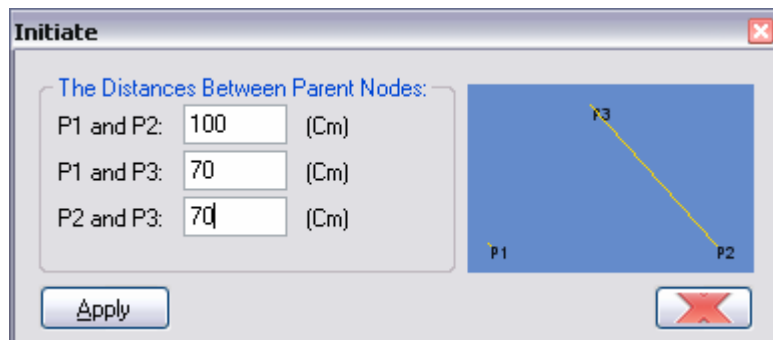
Son olarak da 1. denklemde bulunan x, 2. denklemde yerine konularak y değeri de bulunur:

$$((\sqrt{(R1^2) - (y-Y1)^2} + X1) - X2)^2 + (y-Y2)^2 = R2^2$$

Sunucu Tarafında Çalışan Program

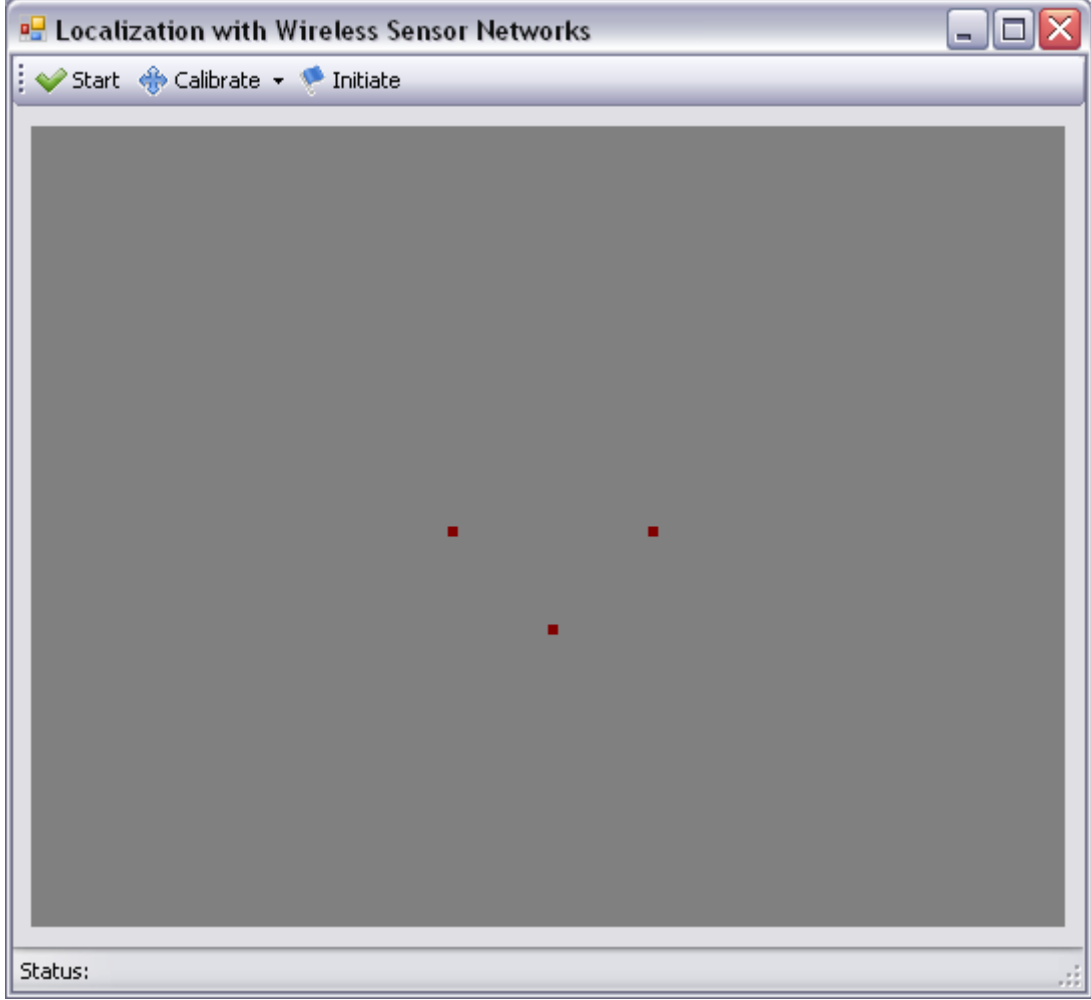
Bu program düğümlerin arasındaki uzaklık bilgilerini, yukarıda anlatılan konum belirleme mantığı dahilinde işleyerek düğümlerin konumlarını belirler.

Programı çalıştırmaya başlamadan önce referans düğümlerinin birbirine olan uzaklıkları belirtilir (Bkz: Şekil 4).



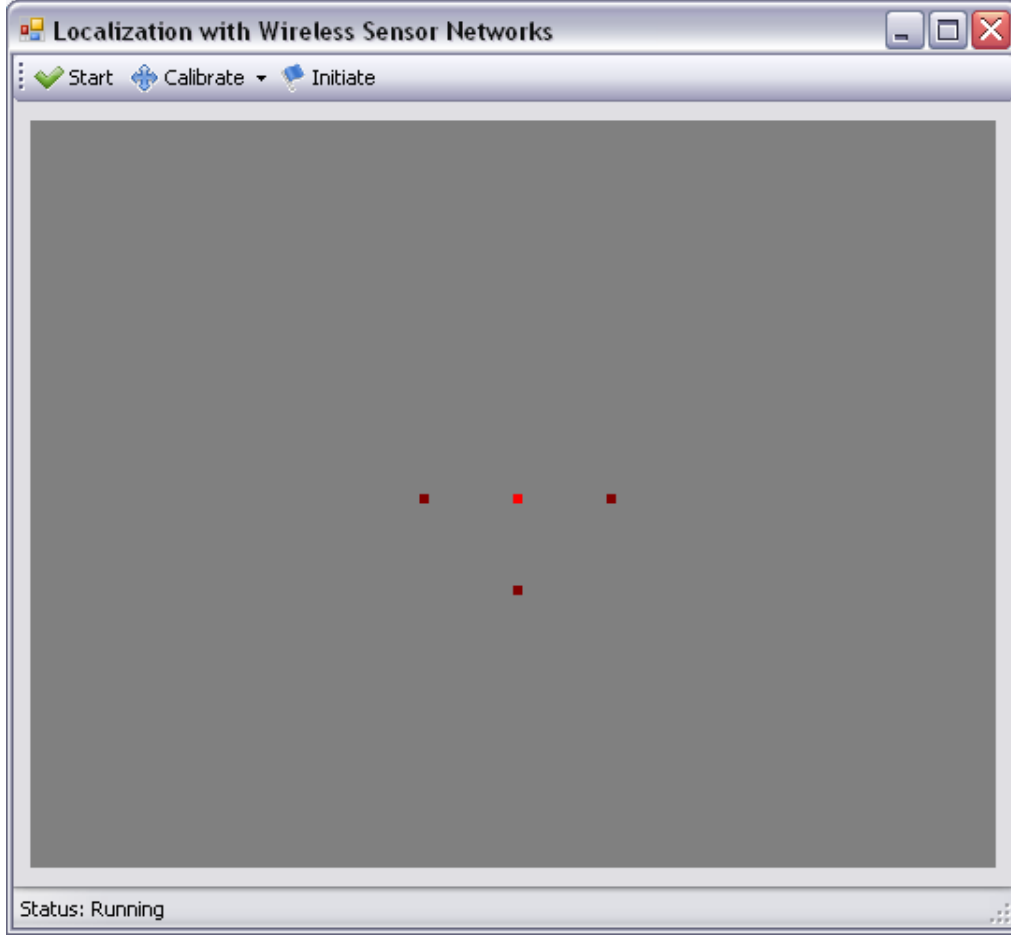
Şekil – 4

Referans düğümlerinin birbirine göre otomatik olarak konumlandırılması için “Calibrate” butonu kullanılır ve ardından Şekil 5 te görülen konumlar elde edilir.



Şekil – 5

Kalibrasyonun ardından “Start” butonu kullanılarak gezici düğümlerden gelen uzaklık bilgileri yardımı ile konum belirleme ve konumun kullanıcı arabiriminde gösterilmesi işlemleri başlatılır (Bkz: Şekil 6).



Şekil – 6

4. Sonuçlar

Projemiz ile telsiz sensör ağlarında konum belirleme işlemini gerçekledik. Böylece kendi kendilerine organize olan düğümler birbirlerine olan uzaklıkları hesaplayarak dağıldıkları ortamın haritalanmasına yardımcı olmaktadır. Haritalama ile hangi bilginin nerden geldiği de kolaylıkla merkezi bir sistemden incelenebilmektedir.

İki düğüm arası en büyük uzaklık 32 metre olabilir. Yani otomatik olarak hesaplanabilen en büyük uzaklık 32 metredir. En düşük uzaklık ise 20 cm dir. En büyük uzaklığı belirleyen etken ultrasonik vericinin çıkış gücüdür. Daha güçlü vericiler tasarlandığında daha uzaktan da algılama yapılabileceğini öngörmekteyiz. En düşük uzaklığı belirleyen etken ise RF işaret geldiğinde ultrasonik alıcıyı harekete geçirinceye kadar ultrasonik işaretin gelmesi. Daha hızlı mikrodenetleyici kullanarak bu mesafe de daha aşağı çekilebilir.

22 metreye kadar iki düğüm arasındaki uzaklığı 1-2 cm lik hatalı ölçüm ile belirleyebilmekteyiz.

Devrelerimizin pil ömrünü doğrudan test edemedik, ancak en çok akım çekilen durumda bile (yaklaşık 40 mA) iki AA pil ile altı aydan daha uzun ömürlü olacağı hesaplanmaktadır.

Konum belirleme ile haritalamanın yapılmasını ardından ilgili sensörler eklenerek her türlü ölçümün yeri bilinebilir, hareket sensörleri ile hareket takibi ve hareket yörüngesi belirlenebilir. Ayrıca yazılımda ilgili değişiklikler yapılarak tek düğüm uzaklık belirlenmesinde kullanılabilir. (Ultrasonik işaret cisme gönderilir, yansıyan sesin algılanma zamanından uzaklık belirlenebilir. Bu işlem de 20 metre içerisinde 1-2 cm hata ile yapılabilmektedir)