

**TELSİZ DUYARGA AĞLARINDA ALINAN İŞARET GÜCÜ GÖSTERGESİ (RSSI) İLE KONUM
BELİRLEME VE HARİTALAMA**

**İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi**

Proje Sahipleri:

**Mutlu Ahmet AYNA
Elektronik Müh. Bölümü**

**Ferhat ALKAN
Telekomünikasyon Müh. Bölümü**

**Proje Yöneticisi:
Öğr. Gör. Dr. H. Bülent YAĞCI**

Giriş

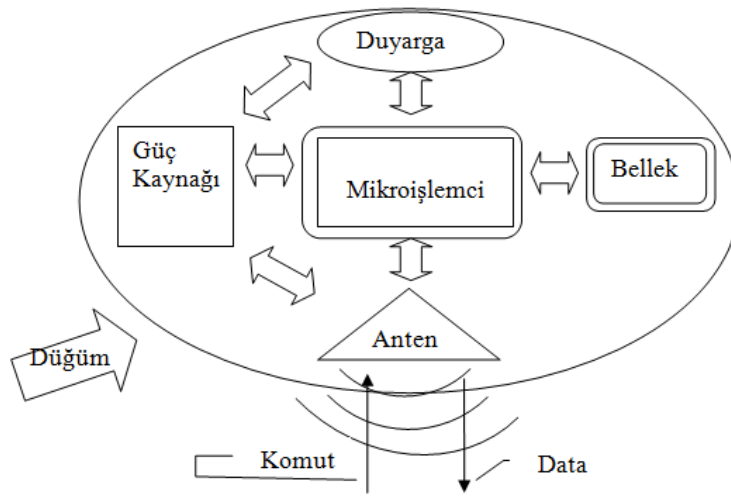
Telsiz duyurğa ağları, üzerinde çeşitli duyurgaların bulunduğu ve bu duyurgalarla farklı ortam koşullarının sezilebilmesine olanak sağlayan, birbirleriyle ve mevcut olması durumunda ana bir birimle haberleşebilen düğümlerin oluşturduğu duyurğa ağlarıdır. Telsiz duyurğa ağlarında düğümler üzerinde bulunan duyurgalar, yerine getirilmek istenen göre ve göre çeşitlilik göstermektedir. Son yıllarda duyurğa teknolojisinin gelişmesi ve elektronik alanındaki diğer gelişmelere paralel olarak telsiz duyurğa ağlarının maliyetinin düşürölmesi de mümkün olmuştur. Bu da telsiz duyurğa ağlarının kullanım alanının genişlemesini sağlamıştır. İlk olarak 1980’li yılların başında, askeri alandaki ihtiyaçlar için çözümler olarak kullanılmaya başlanan telsiz duyurğa ağları, günümüzde pek çok endüstriyel uygulamada da kullanılmaktadır. Askeri alanda bölge güvenliğinin sağlanması, konum belirleme gibi gereksinimleri karşılamak amacıyla kullanılan telsiz duyurğa ağlarının sivil alanda da pek çok uygulaması ile karşılaşılmaktadır. İnşaat alanında, yapıların farklı bölümlerinde oluşan titreşimlerin bir merkeze bildirilmesi, boru hatlarında sıcaklık ve basınç değerlerinin ölçölüp değerlendirilmesi, maden ocaklarının farklı bölümlerinde sıcaklık ve gaz yoğunluğu gibi verilerin incelenebilmesi gibi pek çok alanda telsiz duyurğa ağlarından faydalanılabilmektedir. Ayrıca depremlerde ve yangınlarda erken uyarı sistemi olarak kullanılabilen telsiz duyurğa ağlarından, su altında çeşitli ölçümlerin yapılabilmesinde de faydalanılabilmektedir. Sağlık alanında da çeşitli uygulamaları bulunan telsiz duyurğa ağlarının, yapılan akademik çalışmalar sayesinde endüstriyel alandaki kullanım yaygınlığı her geçen gün daha da artmaktadır.

Günümüzde konumlandırma için kullanılan sistemlerde genellikle GPS donanımları gibi maliyeti yüksek olan donanımlar kullanılmaktadır. Ayrıca GPS donanımlı konumlandırma sistemlerinin kapalı mekânlarda kullanımı söz konusu olamamaktadır. Telsiz duyurğa ağları hem maliyetlerinin daha düşük olması, hem de kapalı mekânlarda da konum belirleyebilme imkânı sunması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Telsiz duyurğa ağlarında konum belirlemede farklı mesafe ölçüm teknikleri kullanılabilirken, bu tekniklerden bazıları farklı donanımlar gerektirmekte ve konumlandırma yapılacak ağ içerisinde düğümler arasında cisimlerin bulunması durumunda mesafe ölçümünde başarısız olmaktadır. Alınan işaret gücüne dayalı mesafe ölçümünde ise düğümlerin arasında cisimlerin bulunması mesafe ölçümündeki başarıyı diğer yöntemlere göre daha az etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı projede alınan işaret gücü göstergesi (RSSI) verisine dayalı bir mesafe ölçüm tekniği benimsenmiştir.

Genel Bilgi

Son dönemlerde, kablosuz haberleşme ve duyurğa (sensör) teknolojilerinde görölen gelişmeler ve mikroelektronik teknolojisinde kaydedilen ilerlemeler sayesinde oldukça küçük duyurğa devrelerinden oluşan ve “telsiz duyurğa ağı” adı verilen yeni bir haberleşme ağı teknolojisi birçok alanda başarıyla uygulanmaya başlanmıştır. Telsiz duyurğa ağlarındaki en büyük amaç çevreden duyurgalar sayesinde çeşitli veriler toplamak ve bunları işlemek ya da gözlemek amacıyla güvenli bir şekilde ana merkeze ulaştırmaktır [1]. Bu nedenle telsiz duyurğa ağları en basit şekilde, çevresel değerlişimleri algılayabilen, birbirleri ve de ortak bir merkezle kablosuz bir bağlantı ile iletişim halinde olan ve “düğüm” adı verilen birçok küçük elektronik devrenin oluşturduğu bir bilgi toplama ağı olarak tanımlanabilir.

Tipik bir duyurğa ağında bulunan ve birbirlerinden bağımsız olarak çalışan herbir duyurğa düğümü duyurğa ölçümleri, sinyal işleme ve kablosuz haberleşme gibi görevlerini yönetmek ve gerçekteşirmek için bir mikroişlemciye ve bir belleğe sahiptir [2]. Ayrıca her bir duyurğa düğümü bulunduğu ortamdan bilgi toplamak amacıyla toplamak istediği bilgi tipine göre örneğin manyetik, sismik, sıcaklık, kızılötesi duyurgalarca ya da kamera ve akustik dizi mikrofonlar gibi ölçüm aletleriyle de donatılmıştır [2]. Duyurğa düğümünü oluşturan tüm bu bahsetmiş olduğumuz elemanlar güç ihtiyaçlarını ise düğüm içerisinde bulunan limitli bir kaynaktan sağlamaktadırlar. Farklı uygulamalarda kullanılmak üzere daha uzun ömürlü ve daha küçük duyurğa düğümleri geliştirilmeye çalışıldıkça da karşılaşılan en büyük problem bu noktada düğüm içerisindeki bu kısıtlı güç kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır [3]. şekil 1’de tipik bir duyurğa düğümünün yapısını görebiliriz.



Şekil 1: Duyarga Düğümünün Yapısı

Telsiz duyarga ağlarında duyarga düğümlerince elde edilen çevresel bilgilerin işlenmek veya gözlenmek üzere ana bir merkezde toplanması telsiz duyarga ağlarının kurulumu sırasında tercihe göre çeşitli şekillerde sağlanabilmektedir. Her bir duyarga düğümü topladığı veriyi tek bir merkeze ulaştırabildiği gibi birçok merkezden en yakınında bulunana da ulaştırmayı tercih edebilir. Merkez ile düğüm arasında bulunan bağlantı ise her zaman direkt olarak sağlanamaz, bu nedenle bazı düğümler ve merkez arasındaki iletişim diğer düğümler üzerinden de sağlanır. Aşağıdaki şekillerde tek bir bilgi toplama merkezi ya da birden çok merkez olması durumunda düğümler arasındaki bilgi akışının nasıl olabileceği görülmektedir.



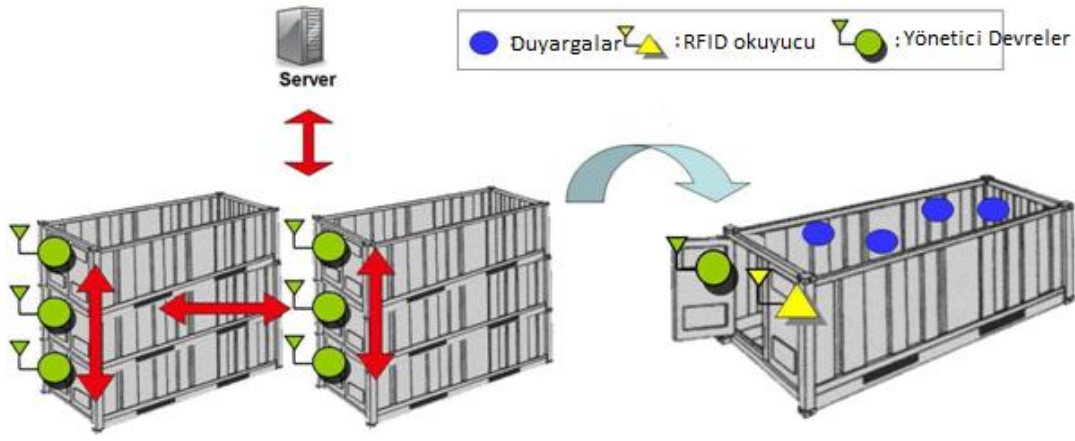
Şekil 2: Telsiz Duyarga Ağlarında Bilgi Akışı [4]

Şekilde “yönetici” ya da “koordinatör” olarak adlandırılan yapı toplanılan tüm bilgilerin kullanıcıya ulaştığı ve telsiz duyarga ağının kontrolünün sağlandığı noktadır.

Telsiz Duyarga Ağlarının Uygulama Alanları

Telsiz duyarga ağları son dönemlerde birçok alanda kolayca ve başarıyla uygulanabilmesi nedeniyle birçok değişik problemin çözülmesinde büyük bir önem ve ün kazanmıştır. Şu ana kadar ziraat, askeriye, üretim, toplu taşıma, çevre gözlem ve çeşitli mühendislik alanlarında başarıyla uygulanmış ve halen de uygulanmaya devam etmektedir. Örneğin ziraat alanında toprağın nem değişiminin gözlenmesinde, askeriye alanında sınır bölgelerinin izlenmesinde, üretim alanında zehirli gaz çıkışlarının farkına varılmasında, toplu taşıma alanında gerçek zamanlı trafik yoğunluğu tespiti ve uyarılarında, çevre gözlem alanında sıcaklık tespitinde ve mühendislik alanında köprülerin gerçek zamanlı iç yapı durum kontrollerinde çeşitli uygulamalar yapılmıştır[5].

Ürün takip, tanıma ve kontrolü alanında da telsiz duyarga ağları uygulamaları başarıyla uygulanmaktadır. Bunlara örnek olarak, bir konteynır limanında konteynırların yerlerinin bulunması ve konteynırın fiziksel durumunun telsiz duyarga ağınca gözlenmesi uygulamasını verebiliriz. Şekil3'te bu limandaki duyarga düğümlerinin konumunu görebiliriz.



Şekil3: Konteyner Limanı için Telsiz Duyurga Ağı Konumları [6]

Bu uygulamada her bir konteynır için bir yönetici devre kullanılmış ve konteynır içerisindeki duyurga düğümlerinden gelen bilgilerin buralarda toplandıktan sonra merkeze iletilmesi istenmiştir. Ayrıca konteynır kapaklarında bulunan RFID okuyucular ile konteynırlar kimliklendirilmiş ve yönetici devreleriyle bir server'a bağlanarak konteynırların gözlenmesi sağlanmıştır.

Telsiz Duyurga Ağlarının Uygulama Avantajları

Telsiz duyurga ağlarını diğer duyurga ağlarından ayıran en büyük özellik duyurga düğümlerinin birbirleriyle ya da herhangi bir merkezle kablosuz olarak iletişim halinde olmasıdır. Kablosuz iletişimin sağlanması kısıtlı güç kaynağı gibi bir problemi ortaya çıkarsa da, duyurga ağı uygulamaları için birçok açıdan çok önemli avantajları da beraberinde getirmiştir. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

-Telsiz duyurga düğümlerinin gözlenmek istenen bir bölge içerisine yerleşimi, bir ön hazırlığa gerek duyulmadan, çok küçük bir maliyet ile kısa bir zaman aralığında daha kolay olarak gerçekleştirilebilmektedir[7].

-Uygulama menzili telsiz duyurga ağları uygulamalarında çok uzun mesafelere kadar çıkabilmektedir. Duyurga düğümlerinin maliyetlerinin düşük olması çok sayıda düğümün kullanılmasına olanak sağlamakta ve bu sayede çok uzun mesafelere ulaşmak kolaylaşmaktadır.

-Telsiz duyurga ağı uygulamalarında çok sayıda düğümün düşük maliyet ile kullanılabilmesi, ayrıca, kontrol edilmek istenen bölgenin çok detaylı bir şekilde gözlenmesini de sağlamaktadır. Bu nedenle düğümler içerisinden herhangi birinin arıza yapması durumunda o bölge için tamamen bilgisiz kalınmamakta ve yakınında bulunan diğer düğümler aracılığıyla bilgi tahminleri kolayca yapılabilmektedir[7].

-Düğümlerin konumlarının değişebilir olması da diğer bir büyük avantajdır. Bölge içerisindeki düğümlerin dağıtımı istenilen durumlara göre değiştirilebilmekte ve hatta hareketli nesnelere üzerine düğümleri yerleştirilerek duyurgalar için sürekli bir hareket hali sağlanabilmektedir.

Proje Tanımı

Projede belirli bir alan içerisinde hareket eden bir cismin konumunun belirlenmesi sorununa çözüm aranmaktadır ve bu soruna çözüm olarak telsiz duyurga ağlarında alınan işaret gücü göstergesi (RSSI) kullanılarak konumlandırma yapılması amaçlanmaktadır. Telsiz duyurga ağlarında konumlandırma, son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yürütüldüğü bir alandır. Telsiz duyurga ağlarında konumlandırma mantığı temelde yeri bilinen bazı düğümlerin konum bilgilerinin kullanılarak yeri bilinmeyen düğümlerin konumlarının tespit edilmesine dayanır. Genel olarak konumu bilinen düğümler "referans düğüm" olarak adlandırılırken, konum bilgisi mevcut olmayan düğümler "kör düğüm" olarak adlandırılır. Referans düğüm sayısının kör düğüm sayısına oranı arttıkça konumlandırmadaki doğruluğun da artması beklenebilir. Fakat düğümlerin konumu bilinenlerinin sayısını arttırmak da ek maliyet getirmektedir. Örneğin konum belirlemede GPS gibi ek donanımlar kullanılması maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

Projenin Aşamaları

Projede ilk olarak telsiz duyurğa ağlarında konumlandırma için kullanılan yöntemler araştırılmıştır. Bu çalışmalar mesafeye bağımlı ve mesafeden bağımsız konumlandırma tekniklerinin incelenmesini kapsamış ve konumlandırma tekniklerinin birbirlerine olan üstünlüklerinin ortaya konması için yapılmıştır. Ardından telsiz duyurğa ağlarında mesafeye bağımlı konumlandırma teknikleri hakkında geniş bir literatür taraması yapılmıştır. Duyurğa ağı olarak kullanılacak Texas Instruments firmasına ait CC2430/31 ZDK kitinin kullanımının tam olarak sağlanabilmesi için küçük çaplı uygulamalar yapılmış ve mikrodenetleyicinin daha kolay kullanılabilir bir hale getirilmesi için kütüphaneler oluşturulmuştur. Mikrodenetleyicinin tüm çevresel birimleri kullanılabilir hale getirildikten sonra düğümler ve koordinatör arasında RF haberleşmesi için çalışmalar yapılmıştır. RF haberleşme ile düğümler arasında istenilen verilerin gönderilmesi sağlandıktan sonra da konumlandırma üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Koordinatör ile haritalama programı arasındaki iletişim de kurulmuş ve düğümlerden alınan verilerin bilgisayarda görüntülenmesi de sağlanmıştır. Proje kapsamında kapalı ortamda ve açık ortamda üç farklı frekansta ve iki farklı çıkış gücü seviyesinde RSSI ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerdeki çıkış gücü seviyeleri -0.4dBm ve -10.8dBm olarak belirlenmiştir. Haberleşmenin yapıldığı frekanslar da 2405, 2440 ve 2480MHz olarak belirlenmiştir. Çıkış gücü seviyesinin RSSI verileri üzerinde frekansa göre daha fazla etkili olduğu görülmüştür. Yüksek güç seviyesi olan -0.4dBm'de RSSI verisi alınabilen uzaklık daha fazla olmuştur. Ölçümler 1 metre aralıklarla 50 metrelik bir mesafeye kadar ve her metrede bilgisayarda okunan 20 RSSI değeri kaydedilerek yapılmıştır. Belli bir mesafedeki RSSI değerinin tayini de o mesafede alınan yirmi adet RSSI değerlerinin ortalaması alınarak yapılmıştır. Bu ölçümlerle, konumlandırmada elde edilen RSSI verilerinden mesafeye geçişteki başarımın artırılabilceği düşünülmektedir. Yapılan haritalama uygulaması ile çeşitli değişik telsiz duyurğa ağı uygulamalarında kolayca kullanılabilcek, ihtiyaçlar dâhilinde geliştirilmeye ve değiştirilmeye müsait ve yukarıda bahsetmiş olduğumuz filtreleme ve hata düzeltme algoritmalarıyla desteklenebilecek temel bir haritalama uygulaması geliştirilmek istenmiştir. Geliştirilecek olan haritalama uygulaması bu nedenle katmanlı yazılım mimarisine uygun olarak ve nesneye dayalı programlama ilkeleri göz önünde bulundurularak MS Visual Studio© ortamında C# programlama dili ile yazılmıştır.

Gelen İşaret Gücü (RSS)

RF işaretleri ile haberleşmekte olan düğümler arasında işaretlerin güçleri, işaretler yol aldıkça azalmaktadır. Alıcı düğüm gelen işaretin vericiden çıkış gücünü biliyorsa, gelen işaret alıcı düğüme vardığı anda bu sinyalin gücüne bakarak işaretin aldığı yolu tahmin edebilmektedir[8]. Gelen işaret gücü göstergesi (RSSI) günümüzde pek çok donanımda standart bir özellik olarak sunulmaktadır ve harici bir donanım gerektirmiyor olması, enerji tasarrufu sağlaması, düğüm boyutlarının küçük tutulabilmesi ve düşük maliyet gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir[9]. RSSI verisi ile mesafe arasındaki genel bağıntı aşağıdaki gibidir:

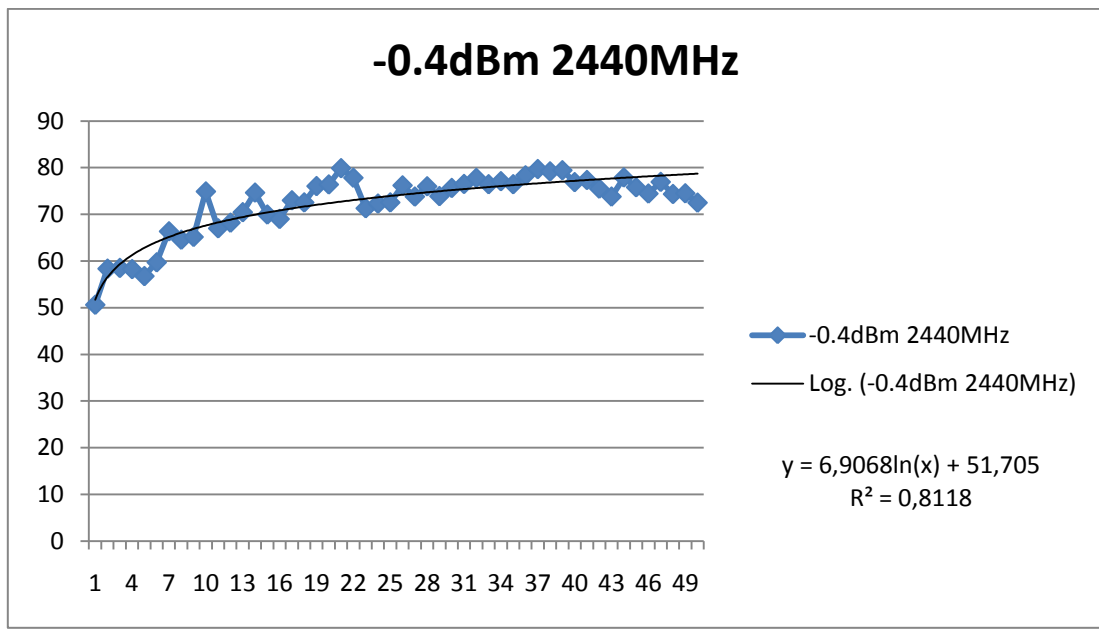
$$RSSI = -K_0 - K_1 \log_{10} d \quad (1)$$

$$d = 10^{(RSSI + K_0) / K_1} \quad (2)$$

Alınan işaret gücüne göre mesafe tahmini yapılırken alıcı, alınan işarettteki işaret propagasyon kaybına bakarak bu işaret propagasyon kaybını teorik ve deneysel bulgular ışığında mesafe verisine dönüştürerek mesafe tahmini yapar. RSSI aşağıda verilen denklemlerle hesaplanabilmektedir:

$$P = RSSI_VAL + RSSI_OFFSET \quad (3)$$

Burada RSSI_OFFSET değeri yaklaşık olarak -45dBm alınmaktadır[10]. Yapılan deneysel ölçümlerde elde edilen veriler ışığında eğri uydurularak RSSI verisi ile uzaklık arasındaki geçiş sağlamak mümkündür. Yapılan RSSI verisi ölçümlerinde elde edilen bir grafik için uzaklık-RSSI verisi grafiği ve bu grafik için elde edilen eğri Şekil4'teki gibi olmuştur.



Şekil4:Uzaklık-RSSI Verisi İlişkisi

Bu grafik için elde edilen denklemden aşağıdaki şekilde RSSI-uzaklık bağıntısı yapılabilmektedir:

$$d = e^{(RSSI-51,705)/6,9068} \quad (4)$$

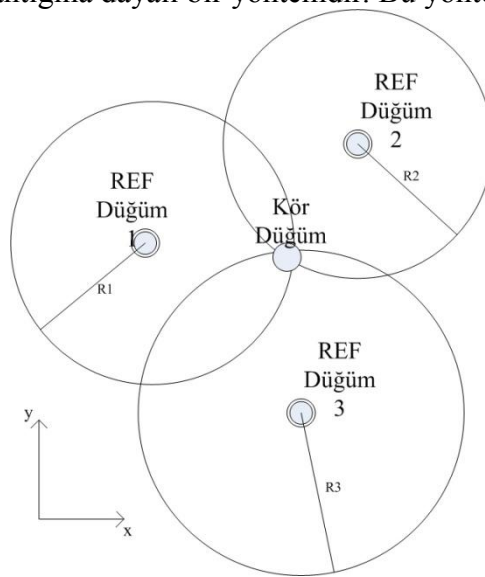
Açık ortamda -0,4dBm çıkış gücünde 2440MHz frekansta elde edilen RSSI verileri için uydurulan logaritmik eğrinin denklemi yukarıdaki gibi olmuştur. Farklı frekanslarda ve farklı çıkış gücü seviyelerinde elde edilen verilerle genel bir ifade elde etmek mümkündür. Yapılan deneysel çalışmalarla 500'ün üzerinde yapılan ölçümlerle elde edilen bir mesafe-RSSI denklemi de aşağıdaki şekilde olmuştur[11]:

$$d = 0,4425 * RSSI^2 + 10,2174 * RSSI + 78,6547 \quad (5)$$

RSSI verisinin karakteristiği açık ve kapalı ortamlarda değişmektedir. Mesafe ölçümü yapılacak düğümler arasına cisimlerin girmesi de RSSI ölçümünü zorlaştırmaktadır ve elde edilen veriler genel karakteristiğin dışına çıkmaktadır.

DÜĞÜMLER ARASI HABERLEŞME VE ALGORİTMA

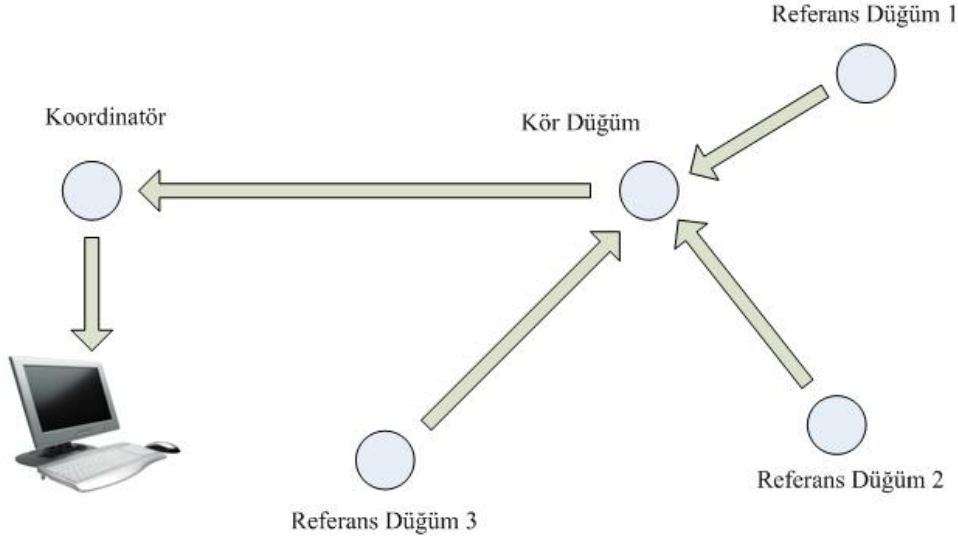
Telsiz duyurga ağlarında günümüze kadar pek çok konumlandırma algoritması önerilmiştir. Projede kullanılan konumlandırma algoritması trilaterasyon olarak bilinen ve üç adet çember denkleminin ortak çözümünü elde edilen noktanın konum olarak belirlenmesi mantığına dayalı bir yöntemdir. Bu yöntem Şekil5'de görülmektedir.



Şekil5:Trilaterasyon Yöntemi

Düğümler arasındaki haberleşme konumlandırmanın doğruluğu açısından önemlidir. Düğümler arasında ne tür bir veri akışı olacağına karar verilirken düğümlerin ağ içerisindeki görevlerinin düşünülmesi gerekmektedir. Koordinatör olarak adlandırılan düğüm bilgisayarlar ve öteki birimlerle haberleşmeyi sağlayacak olan düğümdür.

Konulandırma verilerinin burada toplanması gerekmektedir ve kör düğümlerin veri göndereceği düğüm burasıdır. Referans düğümler konumları belli olan ve gerektiği zaman kör düğümlere RSSI verisi içeren veri paketleri gönderecek olan düğümlerdir. Kör düğümler ise referans düğümlerden aldıkları verileri koordinatöre aktaracak olan düğümlerdir. Trilaterasyon yönteminde konulandırmanın sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için bir kör düğümün en az 3 adet referans düğümden, referans düğümlerine ait konum bilgilerini ve RSSI verilerini alması gerekmektedir. Düzlemde konulandırma yapabilmek için üç adet düğüm yeterli olmaktadır. Üç adet çemberin kesişimi bir nokta olabilmektedir. Uzayda konulandırma yapılacak iken dört adet referansa ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sebebi ise en az dört adet kürenin kesişiminin bir nokta olabiliyor olmasıdır. Örneğin GPS vericilerinin konulandırılmasında en az dört adet GPS uydusu ile haberleşme yapılabiliyor olması gerekmektedir. Şekil6'de üç adet referans düğümden, bir adet kör düğümden ve koordinatörden oluşan bir telsiz duyurga ağında veri akışının nasıl olabileceği gösterilmektedir.



Şekil6: Veri Akışı

Düğümler tarafından gönderilen paketlerde bulunan verileri ayrı ayrı ele almak gerekmektedir. Referans düğümler konumları belli olan ve bu konum bilgilerinin kör düğümler tarafından kullanılmasını sağlayan düğümlerdir. Referans düğümlere konum bilgileri koordinatör tarafından da gönderilebilmektedir. Referans düğümler belirli aralıklarla kör düğümler tarafından alınmaları için paket yayını yapmaktadırlar. Referans düğümlerin gönderdikleri pakette bu düğümlere ait konum bilgileri bulunmaktadır. Kör düğüm aldığı konum bilgilerine ve elde ettiği RSSI değerlerine göre ya kendisi konulandırma yapmakta ya da aldığı verileri koordinatöre göndermektedir. Koordinatör de alınan verileri kendisi işleyebilmekte veya işlenmek üzere bilgisayara aktarabilmektedir. Sistemde 2 farklı veri paketi kablosuz olarak aktarılmaktadır ve bir veri paketi de koordinatörden bilgisayara aktarılmaktadır. Gönderilen veri paketlerini ayrı ayrı inceleyelim.

İlk olarak referans düğümden gönderilen paketten başlayacak olursak, referans düğümlerin gönderdikleri paketlerin kör düğümler tarafından alınması gerekmektedir. Bir başka deyişle referans düğümlerin gönderdikleri paketlerin koordinatör tarafından alınmaması istenmektedir. Referans düğümlerin koordinatörünün denetlemesi amacıyla koordinatöre de bu amaç için hazırlanmış bir veri paketi gönderilebilir ama paket trafiğindeki karmaşıklıkla önlemek amacıyla bu denetim yapılmamaktadır. Referans düğümden yayınlanacak paketlerin kör düğüm tarafından tanınması amacıyla her referans düğümü için ortak bir kimlik numarası bulunmaktadır. Bu kimlik numarasına sahip paketler için koordinatörde işlem yapılmamaktadır. Bunun yanında her referans düğümün kendine özgü bir kimlik numarası daha bulunmaktadır. Her referans düğüme kimlik numarası verilmesinin sebebi, referans düğümlerinin konumlarının merkezden de girilebilmesine olanak sağlamaktır. Bu kimlik numaraları birer baytlık verilerdir. Paketlerde kimlik numaralarının ardından referans düğümlere ait konum verileri bulunmaktadır. Referans düğümlerin koordinat düzlemindeki konumları iki baytlık veri olarak paket içerisinde bulunmaktadır. Sonrasında ise yine bir baytlık RSSI verisi gönderilmektedir. Gönderilecek paketleri çeşitli şekillerde tasarlamak mümkündür. Referans düğümlerde sadece veri gönderimi yapılmaktadır. Paket gönderimi ile düğüm üzerindeki ledin durumu değiştirilmektedir.

Kör düğümlerde hem veri alımı hem de veri gönderimi yapılmaktadır. Kör düğümler, veri alabildikleri referans düğümlerden aldıkları verileri koordinatöre göndermektedirler. Bunun için kör düğümlerde hem veri alımı hem de veri gönderimi yapılmaktadır. Yine kördüğümler için de genel bir kimlik numarası bulunmakta ve her kördüğümün kendine özgü bir kimlik numarası da bulunmaktadır. Kör düğümün gönderdiği paketler sadece koordinatörde işlem göreceğinden kördüğümlere genel bir kimlik numarası verilmiştir. Tasarlanan sistemde bir kör düğüm üç adet referans düğümden veri almadan koordinatöre paket göndermemektedir. Referans düğümlerden alınan

veriler kördüğümün veri paketini oluşturmaktadır. Alınan verilerle birlikte RSS değerleri koordinatöre gönderilmektedir. Kör düğümde de üç adet referans düğümünden veri alınması durumunda ledin durumu değiştirilmektedir.

Şekil8 ve Şekil9’da veri gönderimi uygulaması görülmektedir. Yayının yapıldığı frekans 2440MHz ve çıkış gücü seviyesi -0,4dBm olarak yukarıda görülmektedir. Aşağıda görülen 4 baytlık paketler referans düğümlerden gönderilmektedir. Dört baytlık paketlerin ilk baytı referans düğümlerin genel kimlik numaralarını içermektedir ve “0x00”dır. Sonraki bayt, her referans düğüme özgü olan kimlik numarasını içermektedir ve paket gönderilen referans düğümlerden biri için “0x01”, diğeri içinse “0x02”dir. Aşağıda Şekil7’te yazılan kodun bir kısmı görülmektedir. Kodda bu referans düğümlere ait konumlar sırasıyla düzlemde (5,10) ve (15,20) olarak girilmiştir. Referans düğümlerden gönderilen paketlerin son iki baytını da bu veriler oluşturmaktadır.

```
SPI_rflab.h | UART_rflab.h | ADC_rflab.h | hal_rflab.h | rf_rflab.h | ZMain.c * | mac_low_level.h | mac_radio.c | mac_radio.h
veri.x_koor=5;
veri.y_koor=10;

veri.Data[0]=0x01;
veri.Data[1]=veri.x_koor;
veri.Data[2]=veri.y_koor;
//veri.Data[3]=veri.rssi;
veri.uzunluk = 5;
while(TRUE)
{
    halWait(BEKLEME);
    RFTXpacket(&veri);
    Ledl_toggle;
}
}

void referans2(void){
    PAKET veri;

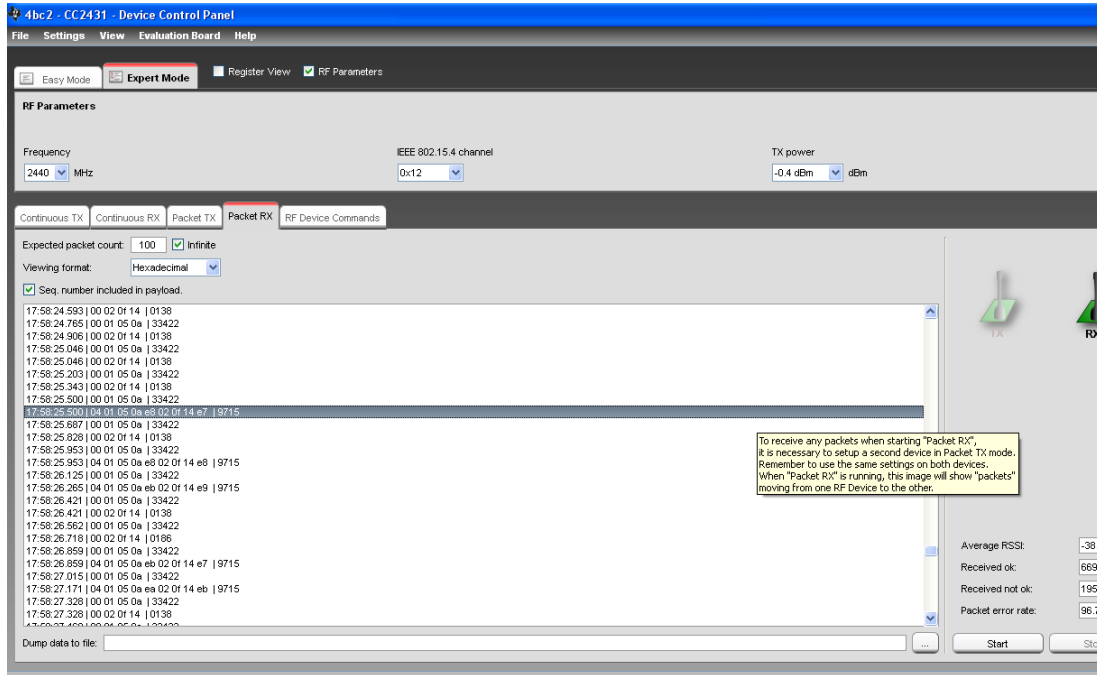
    veri.frekans = frekans;
    RF_init(veri.frekans);

    Ledl_init;
    veri.ID = REFERANS_ID;

    veri.x_koor=15;
    veri.y_koor=20;

    veri.Data[0]=0x02;
    veri.Data[1]=veri.x_koor;
    veri.Data[2]=veri.y_koor;
```

Şekil7:Referans Düğümlerin Konumları



Şekil8:Veri Paketleri


```

Viewing format: Hexadecimal
 Seq. number included in payload.

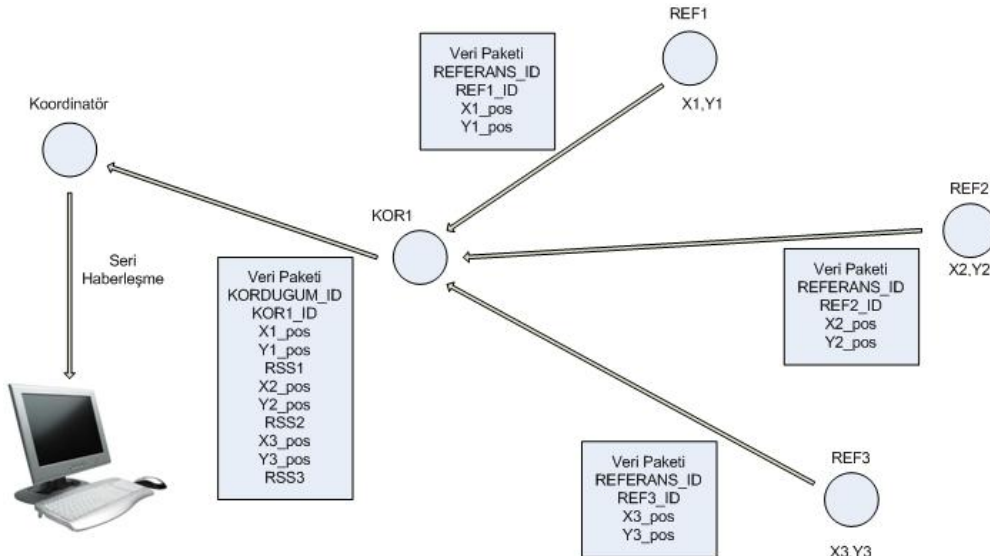
17:58:24.593 | 00 02 0f 14 | 0138
17:58:24.765 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:24.906 | 00 02 0f 14 | 0138
17:58:25.046 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:25.046 | 00 02 0f 14 | 0138
17:58:25.203 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:25.343 | 00 02 0f 14 | 0138
17:58:25.500 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:25.500 | 04 01 05 0a e8 02 0f 14 e7 | 9715
17:58:25.687 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:25.828 | 00 02 0f 14 | 0138
17:58:25.953 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:25.953 | 04 01 05 0a e8 02 0f 14 e8 | 9715
17:58:26.125 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:26.265 | 04 01 05 0a eb 02 0f 14 e9 | 9715
17:58:26.421 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:26.421 | 00 02 0f 14 | 0138
17:58:26.562 | 00 01 05 0a | 33422
17:58:26.718 | 00 02 0f 14 | 0186
17:58:26.859 | 00 01 05 0a | 33422

```

Şekil9:Veri Paketlerinin İçeriği

Alınan paketlere de bakılacak olursa “00” ile başlayan paketlerde “01” ve “02” referans düğüm kimlik numaraları bulunmaktadır. Ardından bir düğümde 16 sayı tabanında “05” ve “0a” değerleri, diğerinde ise “0f” ve “14” değerleri görülmektedir. Bu değerler onluk sayı tabanında (5,10) ve (15,20) sayılarına karşılık gelmektedir. Alınan paketlerden “04” ile başlayanı ise kör düğümünden gelmektedir. Kör düğümün gönderdiği paketin ilk baytı genel kördüğüm kimlik numarasını içermektedir. Bu değer, ağda “0x04” olarak belirlenmiştir. Paketin ikinci baytı ise veri alınan referans düğümüne ait olan kimlik numarasıdır ve “0x01” kimlik numaralı referansı temsil etmektedir. Sonraki iki bayt bu referans düğümünün konum bilgilerini içermektedir. Sonraki baytta ise bu referans düğümünden alınan RSSI verisi gösterilmektedir. İlk referans düğüm için “05 0a e8” değerleri görülmektedir. Sonraki baytlar ise yine aynı sıra ile ikinci referans düğümüne ait verileri içermektedir.

Koordinatörde sadece veri alımı yapılmaktadır. Koordinatör, kördüğümünden aldığı veri paketini UART seri haberleşmesi ile bilgisayara aktarmaktadır. Kullanılan geliştirme kitinde SPI ve UART seri haberleşmeleri yapılabilmektedir. USART kontrol ayarları UxCSR, UxUCR ve UxGCR saklayıcıları ile yapılmaktadır. UART ayarlarında Baud Rate değeri 9600 olarak ayarlanmıştır. Veri paketi başlangıç biti “0”, sonlanma biti olarak da “1” seçilmiştir. Bununla birlikte okumaya en az değerli bitten başlanacak şekilde ayar yapılmıştır değer eşitliği (parite) kontrolü yapılmamaktadır. Şekil7’de ağ içerisindeki veri akışı basit olarak gösterilmiştir. Bu ağda bir adet koordinatör, bir adet kör düğüm ve üç adet de referans düğüm bulunmaktadır. Kör düğüm üçten fazla referans düğümünden veri alması halinde daha iyi bir konumlandırma yapılabileceğinden aldığı verilerin tamamını göndermesi gerekmektedir.



Şekil10:Veri Akışı

Duyarga ağındaki düğüm sayısının artması ile birlikte veri akış trafiği de daha karmaşık hale gelecektir. Referans düğümlerde ve kör düğümlerde paket gönderim hızı pil ömrünü doğrudan etkileyecektir. Burada konumlandırılmadığı doğruluk yüzdesi ile pil ömrü arasında bir seçim yapılması gerekmektedir.

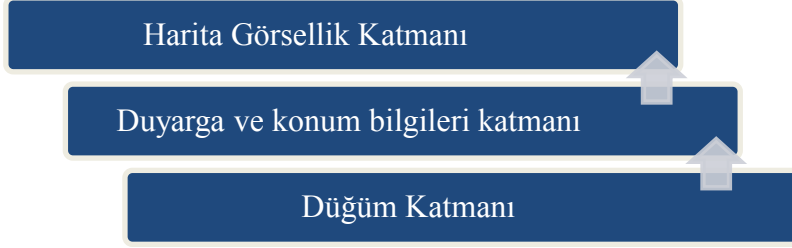
HARİTALAMA UYGULAMASI

Telsiz duyarga ağlarında, duyargalar ile toplanan çevresel bilgilerin analizinde ve anlamlandırılmasında, duyarga düğümlerinin konum bilgilerinin ne kadar büyük bir önem taşıdığından daha önce bahsetmiştik. Doğru olarak yapılacak bir konum belirlemeden sonra elde edilen bu bilgilerin, duyargalarca belirlenmekte olan çevresel veriler ile birleştirilmesi ve bir ara yüz ile kullanıcıya sunulması da en az konum belirleme kadar büyük bir önem taşımaktadır. Kullanıcıya sunulacak olan ara yüzün verimli olabilmesi için, telsiz duyarga ağındaki her bir düğümün konumunun duyarga bilgileri ile birlikte görüntülenmesi ve sürekli olarak değişen konum ve duyarga bilgilerinin sistem içerisinde hızlı bir şekilde güncellenerek kullanıcıya sunulması gerekmektedir.

Bazı durumlarda, düğümler için gelen güncelleme bilgileri, hatalı haberleşme, hatalı ölçüm ya da çeşitli diğer nedenlerden dolayı eksik ya da hatalı olarak gelebilmektedir. Bu hatalı veya eksik duyarga ya da konum verileri kullanıcıya gösterilmeden haritalama uygulaması içerisinde filtrelenmeli ya da hata büyüklüklerine göre çeşitli hata düzeltme algoritmalarıyla hataları minimum düzeye indirilmelidir.

Haritalama Uygulaması Yazılım Katmanları

Telsiz duyarga ağları için haritalama uygulaması üç ana katmandan oluşmaktadır ve bu katmanlar sırasıyla düğüm, duyarga bilgileri ve haritalama katmanlarıdır.



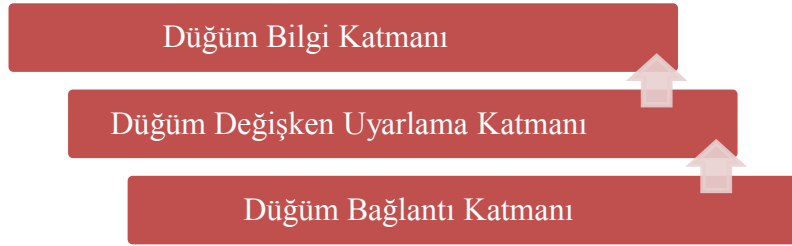
Şekil11: Haritalama Uygulaması Temel Katmanları ve Bilgi Akışı

Düğüm Katmanı

Düğüm katmanı haritalama uygulamasının en altında bulunur ve telsiz duyarga ağını oluşturan tüm düğümlerin kendilerine ait bilgileri ulaştırdığı, koordinatör (yönetici devre) ile iletişim halinde bulunan, elde ettiği bilgileri bilgi tiplerine göre bir nevi etiketlendiren ve bunları depolayan katmandır.

Bu katman içerisindeki değişken tipleri duyargalardan alınan sıcaklık, nem, basınç gibi direkt ölçüm bilgilerinin yanı sıra duyarga düğümlerini haritalamak için kullanılacak olan konum belirleme bilgileridir. Şu an yazılmış olan uygulamamızda konum belirlemek için kullanılan bilgi tipi RSSI yöntemince belirlendiği üzere, bir düğümün diğer referans düğümlere olan uzaklıklarını belirleyen RSSI değerleri olarak tanımlanmıştır.

Düğüm katmanı da kendi içerisinde üç alt katmana ayrılmaktadır. Şekil12'de de görüldüğü üzere bunlar bağlantı, değişken uyarılma ve bilgi katmanlarıdır.



Şekil12: Düğüm Katmanı Alt Katmanları ve Bilgi Akışı

Düğüm Bağlantı Katmanı

Düğüm bağlantı katmanının temel görevi, tüm düğümlerin bilgilerini ulaştırdığı yönetici devre ya da devreler ile bağlantıyı sağlamaktır. Bu projede bağlantımız koordinatör ile seri port haberleşmesi yardımıyla gerçekleştirilmiş ve bilgisayara bilgi akışı sağlanmıştır. Seri port bağlantı ayarları ve koordinatör ile bilgisayar arasında olan haberleşme protokolü bu katman içerisinde şu şekilde tanımlanmıştır.

Düğüm Değişken Uyarlama Katmanı

Düğüm bağlantı katmanını izlemekte olan bu değişken uyarlama katmanı, bağlantı katmanının koordinatörden alıp bir üst katmana iletmek istediği duyarga güncelleme bilgilerini etiketleme görevini üstlenir. Burada bahsedilen etiketleme işi katman içerisinde şu şekilde yapılmaktadır. İlk olarak güncelleme bilgileri incelenerek bu bilgilerin ne tür bir bilgi olduğu saptanır. Daha sonra ise bu bilgiler konum belirleme bilgisi ya da duyarga çevresel özellik belirleme (direkt ölçüm ya da hesaplamalı ölçüm) bilgisi gibi değişken tiplerine dönüştürülür. Düğümlerden gelen bilgiler böylece artık gruplandırılmış, ayırt edilmiş ve etiketlenmiş olur. Daha sonra ise bu bilgiler haritalama süreci içerisinde bu katmanı izlemekte olan bir üst katmana aktarılır. Ayrıca, buradaki duyarga ölçüm ve düğüm konum belirleme bilgilerinin hangi düğüme ait oldukları ise sahip oldukları ayırt edici düğüm kimlikleri ile belirlenir.

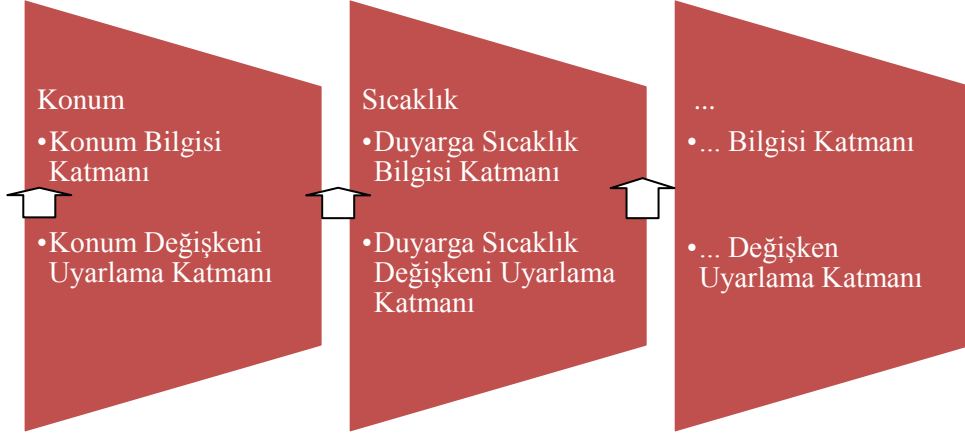
Düğüm Bilgisi Katmanı

Düğüm değişken uyarlama katmanından gelen bilgiler bu katman içerisinde işlenilmek üzere ilk önce bilgi tiplerine göre ayrılır ve farklı yerlerde depolanırlar. Uygulamamız içerisinde her bilgi tipi için kendisine ait filtrelerin ve hata düzeltme algoritmalarının tanımlandığı ayrı bir ortam yaratılmış ve bu ortamdaki tüm işlemler alt katmandan bilgi akışı sağlandığı sürece bu veriler üzerinde işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Bu katmanın diğer bir görevi de filtrelenmiş ve hata düzeltimleri yapılmış olan bu bilgileri daha sonra ilgili bir üst katmana iletmektir. .

Duyarga Bilgi Katmanları

Birbirlerinden tamamen bağımsız ve paralel olarak çalışan duyarga bilgi katmanları, uygulama içerisinde orta düzeyde bulunmaktadır. Bu katmanlar içerisinde en önemli olan ve her zaman var olacak olan katman, konumlandırma katmanıdır. Diğer duyarga bilgi katmanları ise duyarga düğümlerince yapılan ölçüm çeşitlerine göre belirlenmektedir. Daha değişik ölçümler yapabilmek için duyarga düğüm devrelerine farklı duyargalar eklendikçe, bu duyarga bilgileri için uygulamamıza bu bilgilerin kontrolünü sağlayan katmanlar eklenmesi gerekir. Örnek olarak, telsiz duyarga ağı aracılığıyla yapılacak sıcaklık ölçümlerini haritalamak için bir sıcaklık bilgisi katmanı uygulamaya eklenmiştir.

Duyarga bilgi katmanlarının her biri temelde aynı yapıya sahiptir ve iki alt katmandan oluşmaktadır. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere bu alt katmanlar değişken uyarlama ve bilgi katmanlarıdır.



Şekil13: Duyarga Bilgi Katmanları Alt Katmanları ve Bilgi Akışı

Konum ve Duyarga Değişkenleri Uyarlama Katmanları

Burada bulunan değişken uyarlama katmanlarının her biri düğüm bilgisi katmanını izlemekte ve kendileriyle ilgili gelebilecek güncelleme bilgilerini beklemektedirler. Bir alt katmandan gelen güncelleme bilgileri burada katman içerisinde kullanılacak değişken tiplerine dönüştürülür ve bir üst katmana iletilirler. Bu dönüşüm işlemi örneğin sıcaklık, nem ve basınç gibi duyarga bilgileri için bir hesaplama yapmadan gerçekleşirken, konum belirleme bilgileri için bir hesaplama süreci içerir. Projemizde bu konum belirleme bilgilerinin konumlandırma katmanına girebilmesi için ölçülen RSSI değerlerimiz açıklamış olduğumuz metodlarla uzaklık bilgilerine dönüştürülmekte ve trilaterasyon yöntemi ile konum belirleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, bu hesaplamalar hata düzeltme algoritmalarıyla da desteklenebilmektedir. Konumlandırma katmanı bu nedenle, diğer duyarga bilgi katmanlarının içerisinde bir farklılık göstermektedir.

Konum ve Duyarga Bilgisi Katmanları

Konum ve duyarga bilgisi katmanlarının her biri, bir alt katmanında bulunan değişken uyarlama katmanını izlemekte ve buradan gelen bilgileri filtreleme ve hata düzeltme işlemlerine sokmaktadır. Bu işlemlerden sonra elde edilen bilgiler depolandıktan sonra bir üst katmana iletilmektedirler. Bu katmanlar içerisinde kullanılan değişken tipleri, konum bilgisi ve duyargalarca ölçülmesi istenilen çevresel değişkenlere bağlı oluşturulan değişken tipleridir. Bu değişkenler içerisinde konum bilgisi değişkeni önceden tanımlı belirli bir bölge için x ve y koordinatlarına sahiptir. Ayrıca, bu katmandaki tüm değişken tipleri de diğer katmanlarda olduğu gibi belirli bir duyarga kimliğine sahiptirler.

Haritalama Katmanı

Haritalama katmanı uygulamamızın en üst kısmında bulunan ve telsiz duyarga ağı tarafından elde edilen bilgileri görsel olarak kullanıcıya sunan katmandır. Bu nedenle haritalama katmanı yalnızca telsiz duyarga ağı tarafından gelen bilgilerle değil, kullanıcı tarafından yapılan veya eklenen değişikliklerle de kendini güncelleyen bir durumdadır. Haritalama katmanı da aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere üç alt katmana ayrılmaktadır.



Şekil14: Haritalama Katmanı Alt Katmanları ve Bilgi Akışı

Bu katmanlar, içerisinde kullanılacak olan değişken tipleri haritalama elemanları olarak da adlandırılabilirler. Bu uygulama içerisinde temel olarak dört adet haritalama elemanı kullanılmaktadır. Bunlar nokta, yol, şekil ve harita katmanı adlı değişken tipleridir.

Nokta elemanı harita üzerinde belirli bir koordinattaki noktayı temsil eder ve o noktanın konum bilgisinin yanı sıra o noktanın sahip olduğu özellikleri de içerir. Uygulama içerisinde telsiz duyarga ağını oluşturan düğümler bu noktalarca betimlenir ve o düğüme ait duyarga bilgileri de bu eleman içerisinde bulunur.

Yol elemanı birden fazla nokta elemanı tarafından oluşur ve bir noktalar grubu niteliğindedir. Örneğin, uygulama içerisinde gezgin bir duyarga düğümünün geçmişte izlediği yol ve belirli duyarga düğümleri arasındaki kuş uçuşu mesafe bir yol elemanı olarak tanımlanır.

Şekil elemanı haritamız içerisinde bulunacak kapalı şekilleri nitelemektedir. Şekil elemanları da yol elemanları gibi noktalar tarafından oluşturulur fakat bir yolun aksine kapalı bir şekli temsil eder. Telsiz duyarga ağı düğümlerinin bilgi topladığı çevre harita içerisinde görsel olarak bu şekiller sayesinde betimlenir.

Harita katmanı elemanı diğer elemanlarca oluşturulan bir gruptur ve bu elemanların görselliklerini değiştirmek için kullanılır. Bir harita katmanı harita içerisinde görünmez yapılırsa bu katman içerisindeki diğer harita elemanları da görünmez olacaktır.

Bahsettiğimiz bütün haritalama değişken tipleri de diğer katmanlardaki değişken tipleri gibi bir kimlik bilgisine sahiptir. Bu kimlik bilgileri duyarga düğümlerini betimleyen düğüm kimliğine sahip nokta değişkenleri haricinde kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

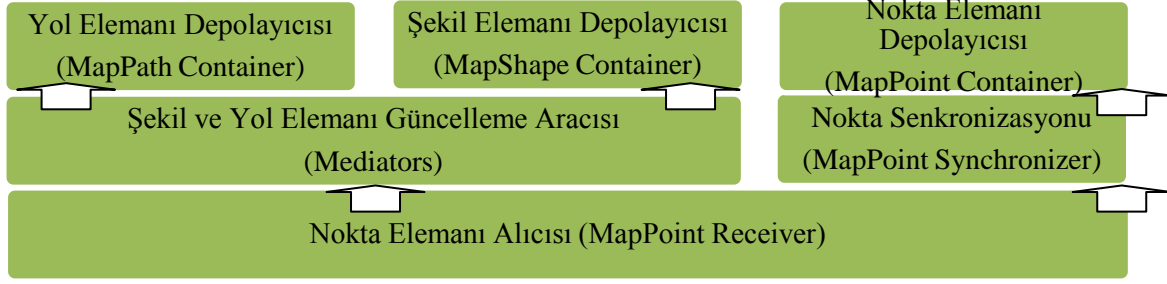
Haritalama Değişken Uyarlama Katmanı

Haritalama değişken uyarlama katmanı bir alt katmanda bulunan konum bilgisi ve duyarga bilgileri katmanlarını gözlemektedir. Bu katmanlar tarafından gönderilen bilgiler değişken uyarlama katmanı içerisinde nokta değişkenine dönüştürülmekte ya da aktarılmaktadır. Duyarga ve konum bilgileriyle güncellenen bu nokta elemanı, daha sonra haritalama işlemine devam edilmek üzere bir üst katmana iletilir.

Haritalama Bilgi Katmanı

Haritalama bilgi katmanı haritalama değişken uyarlama katmanının üzerinde bulunmakta ve bu katmandan gelecek olan güncellenmiş nokta elemanlarını gözlemektedir. Katmanın temel görevi bu nokta elemanlarını ve kullanıcı tarafından yaratılması istenen yol, şekil ve harita katmanı elemanlarını bu katman içerisinde depolamak, güncellemek ve bir üst katmana iletmektir. Katman içerisindeki şekil ve yol elemanları nokta elemanlarının konumları doğrultusunda değiştirdiği için nokta elemanlarının güncellenmesi durumunda bu değişiklikler, bir aracı

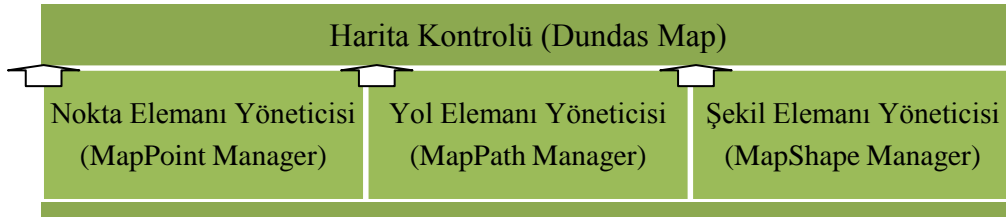
sayesinde şekil ve yol değişkenlerine de aktarılmaktadır. Daha sonra güncellenen bu harita elemanları, nokta elemanları gibi bir üst katmana iletilmekte ve görsel olarak kullanıcıya sunulmaları beklenmektedir. Şekil 15'te katmanın iç yapısını daha detaylı görebiliriz.



Şekil15:Haritalama Bilgi Katmanı Yapısı ve Bilgi Akışı

Haritalama Arayüz Katmanı

Uygulamamızın en üstünde bulunan ve haritalama bilgi katmanını gözlemekte olan bu katman, kullanıcıya görsel olarak telsiz duyurğa ağıncı toplanan tüm bilgilerin bir kullanıcı arayüzü ile sunulduğu katmandır. Bu kullanıcı arayüzünü görsel olarak güçlü kılmak, haritalama uygulamamızın verimli çalışması açısından büyük bir önem taşıdığı için bu katman içerisinde Dundas Map© isimli görsel bir haritalama aracı kullanılmaktadır. Bu nedenle bu katmanın en önemli görevi bir alt katmanımızdan gelen nokta, yol ve şekil değişkenlerimizi Dundas Map içine eklemek ve sürekli olarak kontrollerini sağlamaktır. Aşağıdaki şekilde katmanın iç yapısını daha detaylı olarak görebiliriz.

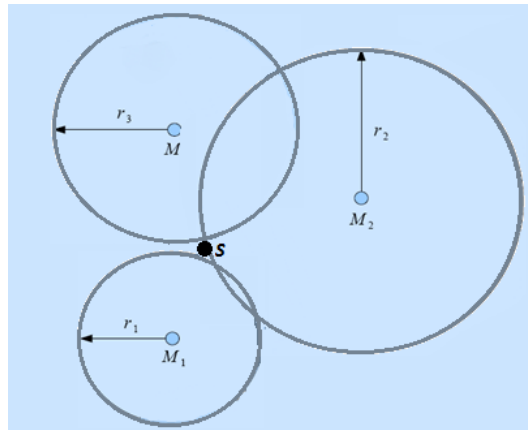


Şekil16: Haritalama Arayüz Katmanı Yapısı ve Bilgi Akışı

HARİTALAMA UYGULAMASINDA KULLANILAN ÖRNEK BİR HATA DÜZELTME ALGORİTMASI

Kesişmeyen Çemberler Hata Düzeltme Algoritması

RSSI gibi kör düğüm noktalarının referans noktalara olan uzaklıklarının bulunması tekniğine dayanan konum belirleme uygulamalarında konum bilgisine ulaşmak için trilaterasyon yönteminin kullanıldığından daha önce bahsetmiştik. Bu yöntem, yüksek doğrulukta elde edilen referans noktalara olan uzaklık bilgileri ile mükemmel bir şekilde çalışmakta, fakat bu uzaklık değerlerinin elde edilmesinde yapılacak hatalar dâhilinde bazı özel durumlarda, yetersiz kalabilmektedir. Bu özel durumlar referans noktaya olan uzaklığın gerçek değerinden daha kısa ölçüldüğü bazı durumlarda, referans düğümlerin diğer düğümlere göre konumuna bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumlar ortaya çıktığında, her bir referans düğüm için çizilen konum belirleme daireleri birbirleriyle kesişmemekte ve konum belirlenmemektedir. Örneğin Şekil'de görüldüğü üzere S düğümü için çizilen daireler kesişmemekte ve konumu belirlenmemektedir.



Şekil17: Kesişmeyen Daireler Sorunu

Bu durum dâhilinde tekrar tekrar yapılan ölçümler sonucu, referanslara olan uzaklık olduğundan küçük ölçüldükçe sorun kendini tekrarlayacaktır. Bunu engellemek ve bu hatayı düzeltmek amacıyla böyle durumlarda bu dairelerin yarıçapları belirli sınırlar dâhilinde küçük oranlarda büyütülerek, küçük hatalı sonuçlar üretilebilir ve sorun konumu belirleyememe durumundan ufak bir hataya indirgenmiş olur.

Bu proje kapsamında yaratmış olduğumuz haritalama uygulaması içerisine bu hata düzeltme algoritmamız eklenmiş ve bahsetmiş olduğumuz durumları sağlayan çeşitli değerler ile denenmiştir. Aşağıdaki tabloda bazı referans noktalara göre ölçülen uzaklıklar ve belirlenen konumlar hata yüzdeleriyle birlikte gösterilmiştir.

Referans 1			Referans 2			Referans 3		
X	Y	Uzaklık	X	Y	Uzaklık	X	Y	Uzaklık
0	0	4,9	0	10	4,8	5	5	5
0	0	4,9	0	10	4,8	5	10	7
0	0	4,9	0	10	4,8	5	8	5,6
0	0	14,9	0	10	4,8	5	5	11,2
0	0	14,9	0	10	4,8	5	10	7

Gerçek Konum		Hesaplanan Konum		Ort. Hata
X	Y	X	Y	%
0	5	-0,05	5	2,5
0	5	-0,04	4,98	3
0	5	-0,04	4,99	2,5
0	15	-0,03	4,99	2
0	15	-0,04	4,98	3

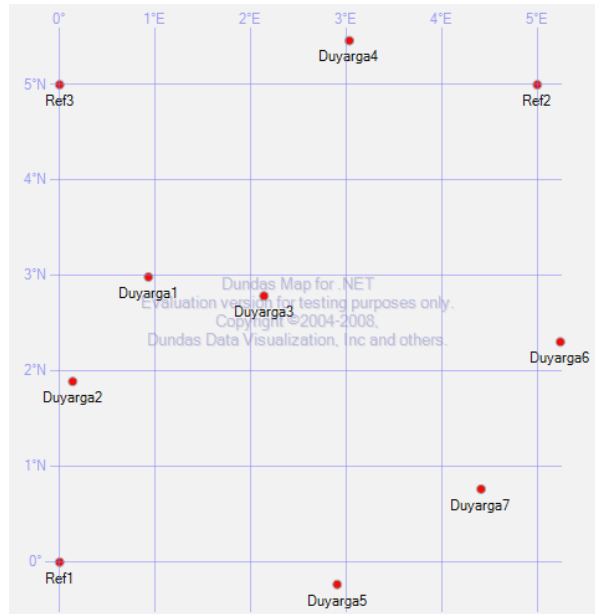
Tablo1: Kesişmeyen Daireler Hata Düzeltme Algoritması Uygulama Sonuçları

Bu tablo dâhilinde elde edilen sonuçlar dairelerin sürekli olarak %1 oranında büyütülmesiyle elde edilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

HARİTALAMA UYGULAMASI GÖRSEL SONUÇLARI

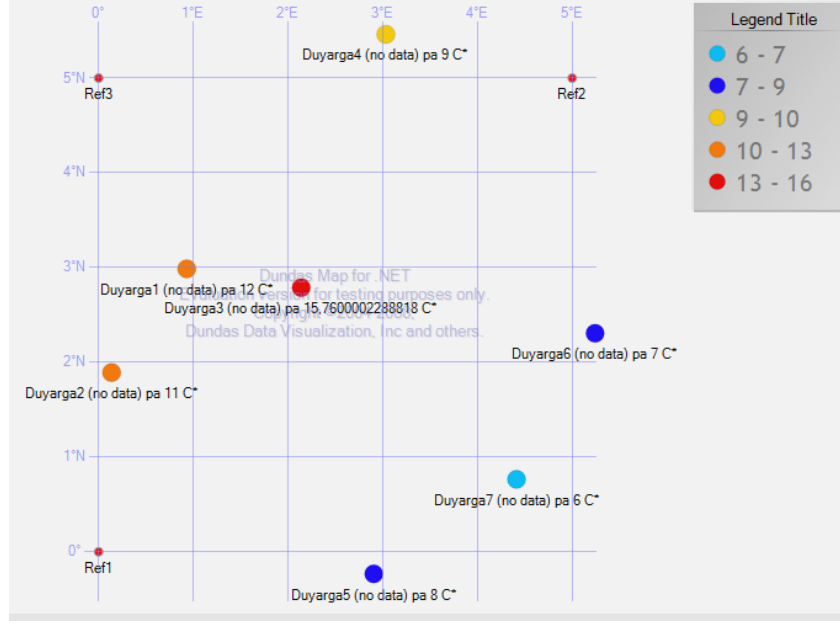
Referans noktalarımızın Ref1(0,0), Ref2(5,5), Ref3(0,5) olarak belirlendiği bir uygulamada telsiz duyurga ağımızın bir bölgede sıcaklık ölçümü yapmasını ve gezici olan duyurga düğümlerimizin değişen konumlarıyla birlikte izledikleri yolu çizdirmek istedik. Duyurga1'i (1,3), Duyurga2'yi (0,2), Duyurga3'ü (2,3), Duyurga4'ü (3,5), Duyurga 5'i (3,0), Duyurga6'yı (5,2) ve Duyurga 7'yi (4,1) noktasına yerleştirdik ve bize buldukları konum için bilgi göndermelerini ve sıcaklık ölçümlerini yapmalarını istedik. Bu noktada görsel çeşitlilik sağlamak için sıcaklık bilgilerini şu şekilde manipüle ettik. Sıcaklık = Sıcaklık – Duyurga numarası. Burada (no data) olarak adlandırılan değerler ise duyurgalarca ölçülmesi planlanan basınç bilgileridir.

Konum bilgileri geldikten sonra:



Şekil18:Konumlandırma

Sıcaklık bilgilerinden sonra:



Şekil19:Sıcaklık Ölçümü

Sonuç olarak elde edilen RSSI verilerinin daha güvenilir hale getirilmesi için yapılacak çalışmalarla yüksek maliyetli donanımlar kullanılmaksızın duyurğa ağı ile konumlandırma yapmak mümkündür. Konumlandırma uygulamasının yanında aynı duyurğa ağı içerisinde farklı uygulamalar da yapılabilir olması ve telsiz duyurğa ağının farklı teknolojilerle birleştirilebilir olması da telsiz duyurğa ağlarının gelecekte daha da geniş bir kullanım alanına sahip olacağına bir göstergesidir.

REFERANSLAR

- [1] **Sohraby, K., Minoli, D. ve Znati, T.**, 2007. *Wireless sensor networks*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [2] **Zhao, F. ve Guibas, L.**, 2004. *Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach*, Kaufmann Publishers & Elsevier, San Francisco.
- [3] **Hac, A.**, 2003. *Wireless Sensor Network Designs*, John Wiley & Sons, Chichester.
- [4] **Verdone, R., Dardari, D., Mazzini, G. ve Conti, A.**, 2008. *Wireless Sensor and Actuator Networks*, Academic Press & Elsevier, London.
- [5] **Callaway, E. H.**, 2004. *Wireless Sensor Networks : Architectures and Protocols*, CRC Press.
- [6] **Labrador, M. ve Wightman, P.**, 2009. *Topology Control in Wireless Sensor Networks*, Springer Science + Business Media B.V..
- [7] **Cordeiro, C. M. ve Agrawal, D. P.**, 2006. *Ad hoc and Sensor Networks: Theory and Applications*, World Scientific Publishing, Singapore.
- [8] **Charaibi Y.**, 2005. *Localization in Wireless Sensor Networks*, *Yüksek Lisans Tezi*, Stockholm, İsveç.
- [9] **Anderson B.D.O., Fidan B., Mao G.**, 1999. *Wireless Sensor Networks Localization Techniques*, *Computer Networks*, vol.51.
- [10] www.ti.com CC2430/31 Datasheet
- [11] **Fang Z., Hu W., Li R., Zhang Y.**, 2009. *The Design and Implementation of a RSSI-Based Localization System*, *IEEE*, 4.