



**KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDA YUMUŞAK
HESAPLAMA TEKNİKLERİ KULLANARAK
KONUM TAHMİNİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sevil TUNCER

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman Doç. Dr. Taner TUNCER

TEMMUZ-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDA YUMUŞAK HESAPLAMA TEKNİKLERİ
KULLANARAK KONUM TAHMİNİ

Yüksek Lisans Tezi

Sevil TUNCER

Danışman: Doç. Dr. Taner TUNCER

TEMMUZ-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDA YUMUŞAK HESAPLAMA TEKNİKLERİ
KULLANARAK KONUM TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Sevil TUNCER

Tezin Verildiği Tarih: 11 Temmuz 2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 24 Temmuz 2017

Tez Danışmanı :

Doç. Dr. Taner TUNCER (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Ali KARCI (İnönü Ü.)

Prof. Dr. Mehmet KAYA (F.Ü.)



Temmuz-2017

ÖNSÖZ

Bu tezde, kapalı bir ortamdaki dağıtılmış sensörlerin konumlarını Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları kullanarak 2 farklı uygulama şeklinde bulmayı amaçladık. Bulduğumuz konumları Centroid konum bulma yöntemi ile karşılaştırmış olup hata payının azalmış olması ile konumlarını doğruya yakın şekilde tahmin ettik. Yaptığım bu tez çalışmasının lisans ve lisan üstü öğrencilerinden bu konuda çalışmak isteyenlere rehber olacağını umuyorum.

Yüksek Lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Taner TUNCER' e teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem Nevin TUNCER' e teşekkürü bir borç bilirim.

Sevil TUNCER

ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	1
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	2
1. GİRİŞ	3
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLAR	7
2.1. Kablosuz Sensör Düğümlerinin Gelişimi.....	8
2.1.1. WINS (Wireless Integrated Network Sensors)	8
2.1.2. Motes Düğümleri	8
2.1.3. Medusa Düğümü	10
2.1.4. PicoBeacon Düğümü.....	11
2.1.5. μ AMPS Düğümü.....	11
2.2. Kablosuz Sensör Ağlarının Desteklediği Protokoller	12
2.2.1. IEEE 802.15.4/Zigbee Kablosuz Sensör Ağ İletişim Protokolü	12
2.2.1.1. IEEE 802.15.4/ZigBee Mimarisi	13
2.2.2. IEEE 802.15.1&2 / Bluetooth Kablosuz Sensör Ağ İletişim Protokolü.....	14
2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağları Mimarisi	15
2.3.1. Yıldız Ağ Topolojisi	15
2.3.2. Mesh Ağ Topolojisi.....	16
2.3.3. Yıldız – Mesh Hibrid Ağ Topolojisi	17
3. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARDA KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	18
3.1. Range-free Tabanlı Lokalizasyon (Hop Counting-Sekme Sayımlı).....	19
3.1.1. Single-Hop Lokalizasyon.....	19
3.1.2. Multi-Hop Lokalizasyon	20
3.1.3. Centroid Lokalizasyon	20

3.2	Range-based Tabanlı Lokalizasyon	22
3.2.1	İletim Zamanı (Time of Arrival, TOA)	22
3.2.2	İletim Zaman Farkı (Time Difference of Arrival, TDOA)	24
3.2.3	Geliş Açısı (Angle of Arrival, AOA)	25
3.2.4	Gelen Sinyalin Gücü (RSSI/LQI)	25
3.2.5.	Finger Printing Yöntemi.....	26
3.3.	Kablosuz Sensör Ağlardaki Lokalizasyon Probleminde Yer Bulma Yöntemleri	26
3.3.1	APIT (Approximatepoint-in-triangulation test)	26
3.3.2	MDS (Multi-dimensional Scaling).....	27
3.3.3	Iterative Multilateration (Tekrarlı Multilaterasyon).....	28
4.	BULANIK MANTIK VE YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK	
	KONUM BELİRLEME.....	29
4.1.	Bulanık Mantık.....	29
4.2.	Centroid Lokalizasyon Yöntemi ile Konum Tespiti	30
4.3.	Bulanık Mantıkla Konum Tespit Yöntemi.....	34
4.4.	Bulanık Mantık Kullanarak Konum Tespiti Uygulamamız	37
4.5.	Yapay Sinir Ağları	38
4.6.	Yapay Sinir Ağları Kullanarak Konum Tespiti Uygulamamız	39
5.	SONUÇLAR	43
	KAYNAKÇA	46
	ÖZGEÇMİŞ.....	47

ÖZET

Son yıllardaki teknolojik ilerlemelerin ve buna bağlı olarak açığa çıkan ihtiyaçların artması, kablosuz ortamı gerekli kılmıştır. Böylece kablosuz sensör ağlardaki konum bulma yöntemleri ise araştırmacılara yeni bir uğraş alanı sunmuştur.

Kablosuz sensör ağlar diğer stabil ağlara göre birkaç önemli noktada ayrılıklar içermektedir. En önemli farklılıklar arasında; diğer ağlara nazaran çift taraflı yani veriyi gönderebilme veya alabilme özelliğini sağlamaktadır. Ayrıca Kablosuz sensör ağlar Akıllı Ağ (Smart Network) sınıfına dahil edilmiştir. Veriyi gönderebilme ve alabilme yeteneğinin yanında yorumlama özelliğine de sahiptir. Bu sayede işe yarar yorumlar oluşturup eldeki verilerle çalışmalara ışık tutabilmektedir.

Kablosuz sensör ağların ilk ortaya çıkışı askeri alan olmuştur. Fakat teknolojinin hızla gelişmesi ve sensörlere daha kolay ve rahat ulaşabilme sebebiyle sağlık ve doğa gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Ardından artan ihtiyaçlara göre Tarım, Sanayi, Trafik, Eğitim gibi alanlarda da sıklıkla tercih edilmiştir. Kullanım rahatlığı sebebiyle kullanımı artarak yaygınlaşmaktadır.

Kablosuz sensör ağların çalışma alanlarından biride konum tespittir. Konum tespiti 2 ana başlık altında incelenebilir. Bunlar sırasıyla dış ortam ve iç ortamda konum tespittir. Dış ortamda konum tespiti için GPS kullanılmakta ve doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak GPS sistemleri iç ortam yani kapalı ortamlarda doğru sonuç vermemektedir. Bu yüzden kapalı ortamlarda doğru konum tespiti yapmak daha önemlidir. Ayrıca kapalı ortamlarda konum tespiti yapmak için geliştirilmiş Range Based ve Range Free tabanlı yöntemler mevcuttur. Bu tezde RSSI değeri kullanarak kapalı ortamda konumu bilinmeyen bir sensörün konumunu bulma problemi ele alınmıştır. Konum bulma problemini çözmek için yumuşak hesaplama yöntemlerinden Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları(YSA) kullanılarak konum tespitinin yapılabilmesi üzerine çalışılmıştır. Kapalı (indoor) bir ortamdaki gezici sensörlerin, konumu bilinen anchor sensörler yardımıyla konum tespitinin hata payını en aza indirerek yapılmaya çalışılması bizim için öncelikli amaçtır.

Tezde iki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki RSSI ve LQI değerlerini kullanan bulanık mantık tabanlı konum belirleme yöntemi diğeri ise yapay sinir ağları tabanlı konum belirleme yöntemidir. Elde ettiğimiz sonuçlar ise Centroid Localization (CL) yöntemi ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Sensör Ağlar, Kablosuz Sensör Ağların Avantajları, Sensör Donanımı, Kablosuz Sensör Ağlarda Konum Belirleme Yöntemleri, Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları.

ABSTRACT

In Wireless Sensor Networks Using Soft Computing Techniques Estimate of Location

Requirements and developments of communication technologies are tending on wireless environment. So, methods of location on networks become a new field for researchers.

Wireless Sensor Network is more different than other networks. The most significant specifications are; other wireless networks only have single side connection on data transferring/receiving but wireless sensor network has double side connection. Also wireless sensor network is classified as Smart Network rather than other networks. Even these networks are capable of data transferring/receiving and commenting.

Early on wireless sensor network was used especially on military services. Additionally, because of decreasing fees on technological developments and sensors that was used for healthy, environment and habitat observing. Then, it is started to use for as Agriculture, Industry, Traffic, Education and it spreads almost all sectors.

One of the Wireless Sensor Network's working area is location. Location estimation is inspected on two main subject. These subjects are outdoor and indoor. GPS is used on outdoor for location and it gives real results. However GPS systems don't give real results on indoor. So, real location on indoor is more important than outdoor. Also Range Based and Range Free Based methods will be used for indoor location. This thesis based on problem of finding location that unknown location sensor and it is made with using RSSI result. For solving this problem, worked on finding location with using Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks. Our primary purpose is minimizing margin of error on mobile sensors in indoor when finding location (It is made with anchor sensors-their locations' are known).

Two different applications are realized in this thesis. First of this applications is Fuzzy Logic Based Location with using RSSI and LQI results. The other one is location method the Artificial Neural Networks Based. Obtained results are compared with method of Centroid Localization.

Key Words: Wireless Sensor Networks, Advantage of Wireless Sensor Network, Hardware of Sensor, Methods of Location on Wireless Sensor Network, Fuzzy Logic, Artificial Neural Network.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Rockwell bilim Merkezi WINS düğümü.....	8
Şekil 2. 2. MOTES düğümleri	9
Şekil 2. 3. Medusa düğümü.....	10
Şekil 2. 4. PicoBeacon düğümü	11
Şekil 2. 5. μ AMPS-1 düğümü.....	12
Şekil 2. 6. ZigBee mimarisi	13
Şekil 2. 7. Yıldız ağ.....	16
Şekil 2. 8. Mesh ağı.....	16
Şekil 2. 9. Yıldız - Mesh hibrid ağı.....	17
Şekil 3. 1. Single-Hop yöntemi.....	19
Şekil 3. 2. Konum belirlemek için tek referans düğümü	20
Şekil 3. 3. Konum belirlemek için iki referans düğümü	21
Şekil 3. 4. Konum belirlemek için üç referans düğümü	21
Şekil 3. 5. A ve B düğümleri mesajlaşma.....	23
Şekil 3. 6. RSSI yöntemi.....	25
Şekil 3. 7. APIT yöntemi	26
Şekil 3. 8. Tekrarlı multilaterasyon.....	28
Şekil 4. 1. RSSI üyelik fonksiyonu.....	31
Şekil 4. 2. LQI üyelik fonksiyonu	31
Şekil 4. 3. Kural tablosu.....	32
Şekil 4. 4 . 5x5 Matris şeklindeki alanımız.....	32
Şekil 4. 5. RSSI üyelik fonksiyonu	34
Şekil 4. 6. LQI üyelik fonksiyonu.....	35
Şekil 4. 7. Ağırlık fonksiyonu.....	35
Şekil 4. 8. 10x10 Matris şeklindeki alanımız.....	37
Şekil 4. 9. MSP430 Kontrolör ve HC-06 Bluetooth Modül	40
Şekil 4. 10. Mobil telefon ile RSSI ölçümü	40
Şekil 4. 11.3 Katmanlı YSA modeli	41
Şekil 4. 12. Eğitim ve test ortamı.....	42
Şekil 5. 1 . d_{cl} ve d_{fuzzy} yöntemleri için verilen konum hataları grafiği	43

Şekil 5. 2. Eğitim verilerinin YSA ve Cl yöntemine göre konum hataları	44
Şekil 5. 3. Test verileri için elde edilen konum hatalarının CL ve ANN'ye göre değişimi.....	45



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. IEEE 802.15.4 Radyo Frekansları ve Veri Aktarım Hızları.....	13
Tablo 2. 2. Zigbee Ve Bluetooth Kişisel Alan Ağı Karşılaştırması.....	14
Tablo 2. 3. Bluetooth Fiziksel Özellikleri.....	15
Tablo 4. 1. Her düğümün hesaplanan RSSI ve LQI değerleri tablosu.....	38
Tablo 4. 2. Örnek YSA eğitim verileri	42
Tablo 5. 1. <i>dc</i> ve <i>dfuzzy</i> yöntemleri için verilen konum hataları tablosu	43

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

BWRC	: Berkeley Kablosuz Araştırma Merkezi- Berkeley Wireless Research Center
CENS	: Medusa MK-2 algılayıcı düğümü (Gömülü Ağ Algılama Merkezi- Center Of Embedded Networked Sensing)
CL	: Centroid Localization
DSN	: Dağıtılmış Algılayıcı Ağ (Distributed Sensor Nets)
GPS	: Global Positioning System
GPS	: Kişisel Konumlandırma Sistemi- Global Positioning System
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers- Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
LQI	: Link Quality Indicator- Bağlantı Kalite Göstergesi
LWIM	: Düşük Güçlü Entegre Kablosuz Mikro Algılayıcı
MAC	: Mantıksal Bağlantı Kontrol Katmanı
MIT	: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü- Massachusetts Institute Of Technology
RSSI	: Received Signal Strength Indicator- Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
SSP	: Serial Port Standart
WeC	: 1999’ da Berkeley’ de geliştirilen Smart Dust projesi ile üretilen ilk algılayıcı düğüm
WINS	: Entegre Kablosuz Ağ Algılayıcıları (Wireless Integrated Network Sensors)
WSN	: Wireless Sensor Network
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Kablosuz Sensör Ağlar belirli bir ortamdan bilgi alışverişi sağlamak ve bu bilgiyi kullanabilmek adına tasarlanmış birçok algılayıcılardan oluşmaktadır. Bu algılayıcılar kendi aralarında kablosuz haberleşerek etkili oldukları ağdan bilgi edinmekte ve gerçek ortamdaki elde ettiğimiz sonuçları elektronik çalışma alanına aktarmaktadırlar. Böylelikle bilgi iletişimi yapılmakta ve ortam hakkında hangi konuda bilgilenmek istiyorsak o konuda ayarlanmış sensörler yardımıyla ucuz, kolay, düşük güçle ve rahat bir şekilde bilgiye ulaşabilmekteyiz [1, 2].

Güvenli yer tespiti sensör ağlarda önemli uğraş alanlarından biridir. Sensör ağlarda konum tespit problemi, bu ağ içerisinde ki fiziki konumu farklı olan sensörlerin yerlerinin en doğru şekilde bulunmaya çalışılması şeklindedir.

Birçok uygulamada temel olarak konumlandırma sistemine ve bunlarla ilgili bilgiye ihtiyaç duyarız. Ulaşılamayan yerler veya her an başında bekleyemeyeceğimiz afet bölgeleri gibi yerlerdeki bilgileri almak için ortama attığımız sensörlerin konumunu bilmeye ihtiyaç duyarız. Bu gibi durumlarda sensörlerin konumunun doğruluğu bizim için önemlidir.

Kablosuz algılayıcı ağ sistemlerindeki sensörler taşınabilir olmalarından kaynaklı konumlarını sürekli değiştirmeye müsaittirler. Taşınabilir olmaları ağ sistemleri açısından esnek olmayı sağlarken, konumu doğru bulabilmemizi güçleştirmektedir. Bundan dolayı sensörlerin konumlarını doğruya yakın bulabilmek ise bize yeni bir uğraş alanı oluşturmuştur [3].

Değişken veya sabit olan sensörlerin konum bulma yöntemleri için ise çeşitli yaklaşımlar sunulmuştur. Bu yöntemleri uygulamadan önce kablosuz sensör ağ sisteminin açık veya kapalı ortamda bulunup bulunmadığı bizim için önemli bir sorundur. Bunun için indoor veya outdoor sistem yaklaşımı sunulmuştur. Indoor (kapalı) sistemler; hava şartlarına bağlılığın daha az olduğu, alınan sinyallerin ortamdaki diğer materyallerden daha az etkilenecek elimize ulaştığı, uygulama alanının sınırlanarak sensörlerin ve maliyetlerin kısıtlandığı böylelikle daha rahat çalışma ortamı sunarken; outdoor (açık) sistemler tam tersine sinyalin kayıplara uğrayarak geldiği ve maliyetleri artırdığı bir yapı olarak

karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden bizde çalışmamızda indoor (kapalı) alan seçip uygulama alanının sınırlarını belirleyerek çalışmalarımıza başladık.

Tezin Amacı

Bu tezde; kablosuz sensör ağlardaki konum bulma probleminin yumuşak hesaplama yöntemlerinden Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak konum tespitinin yapılabilmesi üzerine çalışılmıştır. Kapalı (indoor) bir ortamdaki gezici sensörlerin, konumu bilinen anchor sensörler yardımıyla konum tespitinin hata payını en aza indirerek yapılmaya çalışılması bizim için öncelikli amaçtır.

Problemimizin çözümünde karşılaştığımız ilk sorun, elimizdeki sınırsız sayıda olan her sensörün algılayıcı alanını arttırmak amacıyla en doğru yere yerleştirilmesi problemidir. Çözümündeki ilk adımımız ise daha önceden belirlenen indoor (kapalı-sınırları belli) alan ile mekanı sınırlamak olmuştur. Böylece mekan sınırlandırılarak hem yapılacak ölçümde kullanılacak sensör sayıları azaltılmış olup maliyetler kısıtlanacak hem de sensörlerin ortamdaki diğer materyallerden etkilenmeden en doğru sonuca ulaşmaları sağlanacaktır. Ardından kapalı ortamda kullanılmak üzere lokalizasyon sistemi seçimi yapılmıştır. Kapalı ortamlarda GPS kullanılamamaktadır. Nedeni ise; GPS'in sadece açık alanlarda doğru ve iyi sonuç verdiği bilinmektedir. Bunun için kapalı alanda kullanılmak üzere lokalizasyon yöntemlerinden FM, WİFİ ve BLUETOOTH teknolojileri incelenmiş olup alıcı mesafelerine göre değerlendirildiği zaman bizim için en etkili olan kısa mesafeli teknoloji olarak adlandırdığımız Bluetooth olmasına karar verilmiştir.

Ardından problemin uygulama alanı olarak $10 \times 10 \text{ m}^2$ lik kapalı bir alan seçilmiştir. $10 \times 10 \text{ m}^2$ lik ortamın her bir köşesine olmak üzere 4 adet anchor düğümler yerleştirilmiştir. Bu düğümler MSP430 Controller olup, Bluetooth ile bilgiyi gönderen HC-06 modülüne sahiptir. Ayrıca bu sırada düğümlerden sıcaklık bilgisi ile gelen RSSI bilgisini de ölçmek için Android yazılımı kullanılmıştır. Bu Android yazılımı ile ölçülen RSSI değerleri bir cep telefonuna gönderilmiştir. Konum tespitinde Trilateration yönteminden hareketle en az 3 anchor düğüm kullanılacağı için gelen 4 adet RSSI değerinden en yüksek RSSI değerini veren 3 anchor düğüm dikkate alınmıştır. Ardından Trilateration yönteminde ki hesaplamalarımızı kullanarak Android telefonun konumu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu tezde çok fazla uygulamada karşımıza çıkan ve küçük birkaç ayarlama ile en doğru sonuca ulaşabileceğimiz yöntemlerden; Bulanık Mantık (Fuzzy) ile RSSI ve LQI

değerlerinin ölçümleri ve Yapay Sinir Ağları ile oluşturup elde ettiğimiz değerler soncunda rastgele ortama saçılan sensör düğümlerinin konum bilgilerine ulaşmak hedefimiz olacaktır.

Bu kapsamda geliştirilen sonuçlar dahilinde; Neural Network ve Fuzzy ile elde ettiğimiz sonuçlar Trilateration yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Böylece konum hata oranlarının azaldığı ve gerçek konumun geliştirdiğimiz yöntem dahilinde daha az hata payı ile tespit edildiği görülmüştür.

Tezin Yapısı

Bu tez çalışmasının bölümleri hakkındaki bilgiler ise sırasıyla şu şekildedir: Bölüm 2’ de Kablosuz Sensör Ağları hakkında geniş bilgilere yer verilmiştir. Kablosuz sensör düğümlerinin gelişim süreçleri ele alınmış ve WINS, Motes Ailesi, Medusa, PicoRadio ve μ AMPS düğümlerinin oluşumları hakkında bilgiler eklenmiştir. Ardından Kablosuz Sensör Ağların desteklediği protokollerden olan IEEE 802.15.4/Zigbee protokolü tanıtılmış ve mimarisi verilmiştir. Yine ağı desteklediği protokollerden IEEE 802.15.1&2 / Bluetooth incelenmiş olup Bluetooth ve Zigbee protokollerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Kablosuz algılayıcı ağ sistemlerindeki yapı diğerlerinden farklı olduğu için bu ağlarda kullanılan 3 adet mimariye yer verilmiştir. Bunlar sırasıyla; Yıldız, Mesh, Yıldız-Mesh (Hibrid) mimarilere değinilmiştir.

Bölüm 3’ de Kablosuz Sensör Ağlarda konum tespit yöntemleri anlatılmıştır. Ağdaki sensörlerin konum tespit yöntemlerinin 2 aşamada ele alındığı bu kısımda, Range Free (Sekme Sayımlı Yöntem) ve Range Based (Uzaklık Ölçmeye Dayalı Yöntem) lokalizasyon yöntemleri anlatılmıştır. Range Free yöntemler başlığı altındaki metodlarımız; Single Hop, Multi Hop ve Centroid Tespit yöntemi ile lokalizasyondur. Range Based yöntemler ise; İletim Zamanı, İletim Zamanı Farkı, Geliş Açısı, Gelen Sinyalin Gücü (RSSI/LQI) ve Parmak İzi yöntemidir.

Ayrıca alıcı mesafelerine göre değerlendirmiş olduğumuz FM, WİFİ ve BLUETOOTH teknolojileri karşılaştırılmış olup, seçtiğimiz Bluetooth teknolojisinin ne için seçildiği nedenlerle birlikte verilmiştir.

Bölüm 4’ de Yumuşak Hesaplama Teknikleri olan Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları’ndan bahsedilmiş, yapıları anlatılmıştır. Uygulamalarımızda kullandığımız Trilateration metodu hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ardından ilk uygulamamız olan

Bulanık Mantık kullanarak konum tespiti gerçekleştirilmiş olup ortam ve deney hakkında gerekli bilgiler verilmiştir ve sonuçlar elde edilmiştir. 2. çalışmamız olan Yapay Sinir Ağları kullanarak konum tespiti uygulamamız hakkında genel bilgiler verilmiş ve ortam anlatılmıştır. Sistem; şekil, tablo ve grafikler yardımıyla detaylandırılmış olup uygulamalarımız tamamlanmıştır.

Bölüm 5’ de ise sonuç kısmımız yer almaktadır. Her 2 uygulamada da elde ettiğimiz sonuçlar Centroid Localization (CL) yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Planlandığı haliyle konum bulma hata oranları düşürülmüş ve konum tespitimizin başarıyla sonuçlandığı görülmüştür.

Bölüm 6’ da kaynakça yer almıştır.



2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLAR

Kablosuz sensör ağ bileşenleri 1978’de bir çalıştay tarafından ortaya atılmıştır. Bu çalıştay “Proceedings of the Distributed Sensor Nets Workshop” adlı çalıştaydır. Kullanılan sensör düğümlerine yazılım, verileri işleme modülü ve haberleşme modülü eklenmiştir. Tam anlamıyla kablosuz olmamalarından kaynaklanan dezavantajla teknolojiadaki gelişmeler sayesinde kablosuz sensör ağ araştırmaları daha da artarak yeni araştırma dalgalarını başlatmış ve 1998 yılından itibaren yeni uluslararası araştırma akımına sebebiyet vermiştir. Bu gelişmeler öncülüğünde sensörlerde fiyat düşmesine ve her alanda aktif olarak kullanabilme adına boyutlarında küçülmeye gidilmiştir [1, 2].

DARPA’ya ait olan SENSIT adındaki proje ile kablosuz sensör ağlardaki gelişmelere bir yenisi daha eklenmiştir. IEEE’ nin durumu inceleyerek kablosuz sensör ağlar için IEEE 802.15.4 standardını tarif etmesi üzerine, ardından Alliance tarafından IEEE 802.15.4’i örnek alarak kullanıma sunulan ZigBee oluşmuştur. Günümüzde ise geliştirilebilirlik, kullanım kolaylığı ve daha birçok açıdan en önemli projelerden biri olarak görülen kablosuz sensör ağlar proje bakımından önemli bir sıraya oturtulmuştur [1,2].

1978 yılından sonra kablosuz sensörlerdeki teknolojik gelişmeler sayesinde ortamı gözlemleyen ve veri aktarımı yapan sensörlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerin kullanılmasındaki en önemli sebepler ise; maliyet ve güç tüketiminin düşük olması, veri işleme yeteneğine sahip olmaları, kablosuz iletişime imkan sağlamaları ile kapasitelerinin yetiyor olması, az ekipman kullanımı ve her yere sığabilecek şekilde küçük olmalarıdır. Kablosuz sensörler bunlar sayesinde her alanında önemli bir yere sahip olmuştur [2].

Bunun yanında kablolu sistemlerin sorunlarından olan kablo kırılmaları veya kopmaları, kablo maliyetlerinin yüksek olması ve sürekli değişim imkanının kısıtlı olması, güç tüketiminin fazla olması şeklinde sıralanabilir. Ayrıca sensörler çevre veya toplumla da uyumlu olarak çalışmaktadırlar [2].

2.1. Kablosuz Sensör Düğümlerinin Gelişimi

2.1.1. WINS (Wireless Integrated Network Sensors)

Rockwell ve UCLA Bilim Merkezi ortaklığıyla 1996'da LWIM (Düşük Güçlü Entegre Kablosuz Mikro Algılayıcı) ortaya çıkarılmasıyla, kablosuz sensörler her alanda kullanılmaya başlanmıştır. Elektronik arayüz, kontrol ve iletişimi sağlayan parçaları tek küçük bir cihazda toplayan maliyeti az CMOS ile çok sayıdaki sensör tek bir cihazda toplanmış ve hizmete sunulmuştur. LWIM 10 metrelik ortamdaki 100 Kbps kablosuz haberleşmeyi 1mW verici ile sağlamaktaydı [1,4].

1998'de yine UCLA ve Rockwell ikilisi, ikinci nesil algılayıcı olan WINS'i ortaya çıkardı. WINS öncelikle Rockwell tarafından kullanılıyor olup, ticari amaçla üretilmişti. İşlemcisi 32 bitlik Intel Strong ARM SA1100 iken, güç tüketiminin 1 ile 100mW arasında ayarlanabilmesi ile 100Kbps haberleşmeyi sağlayan radyo ve algılayıcı kartı içermektedir. Intel strong ARM işlemcisinin uyku halinde güç tüketimi 0.8mW civarındayken aktif halde güç tüketimi 200mW seviyesindeydi [1,4].



(a) WINS Ana Kartı



(b) WINS Radyo Kartı

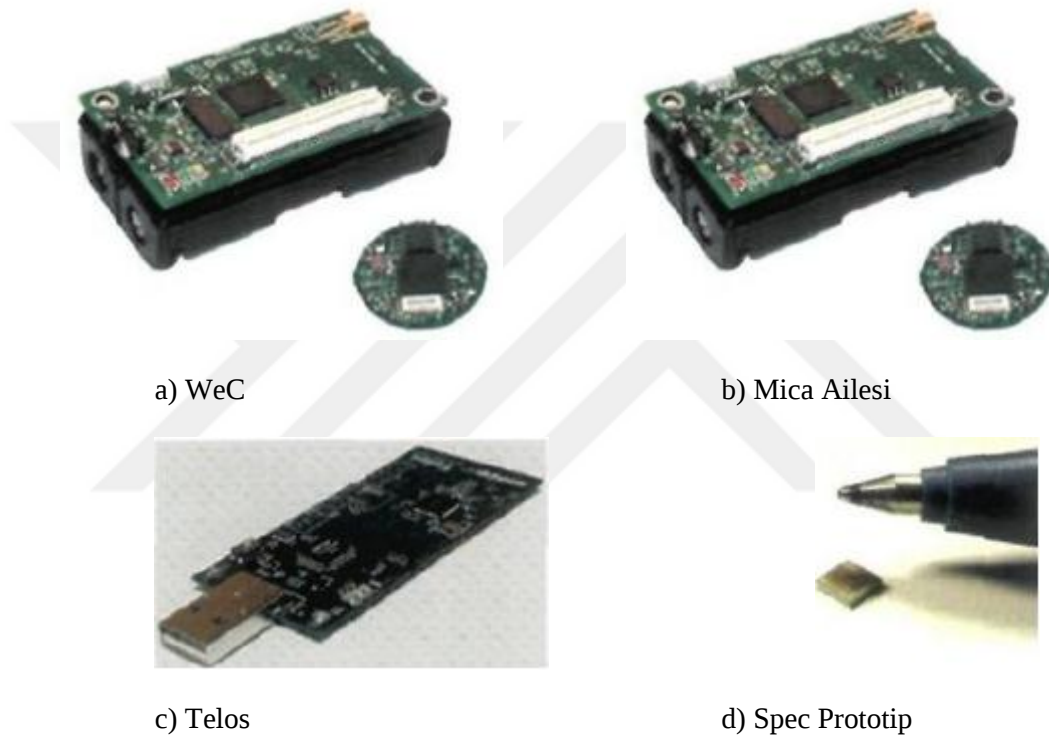
Şekil 2. 1. WINS düğümü anakart ve radyo kartı

2.1.2. Motes Düğümleri

Smart Dust projesi ile üretilen WeC adlı sensör 1999'da Berkeley'de geliştirilerek sunuldu. 8 bitlik 4 MHz hızda aktif güç tüketimi 15mW olan WeC, pasif güç tüketimi 45

μ W olan Atmel Mikro denetleyiciyi üstünde barındırıyordu. WeC aynı zamanda 10Kbs hızında kablosuz veri iletişimini 9mW alıcı ve 36mW verici seviyesindeki düşük güç tüketimi ile desteklemekteydi [1,4].

Mica ailesi, Mica, Mica2, Mica2Dot ve MicaZ'ye sahip olup 2001'de pazara sürmüştür. Mica 8 bit 4 Mhz hıza sahip olan ATmega103L işlemcisini kullanırken diğer sensörlere kıyasla daha üst düzey bir kapasiteye sahiptir. Mote mimarisi, birçok değişik türde sensör, veri erişim kartı veya ağ ara yüz kartı dahil edilmesine izin veriyordu [1,4].



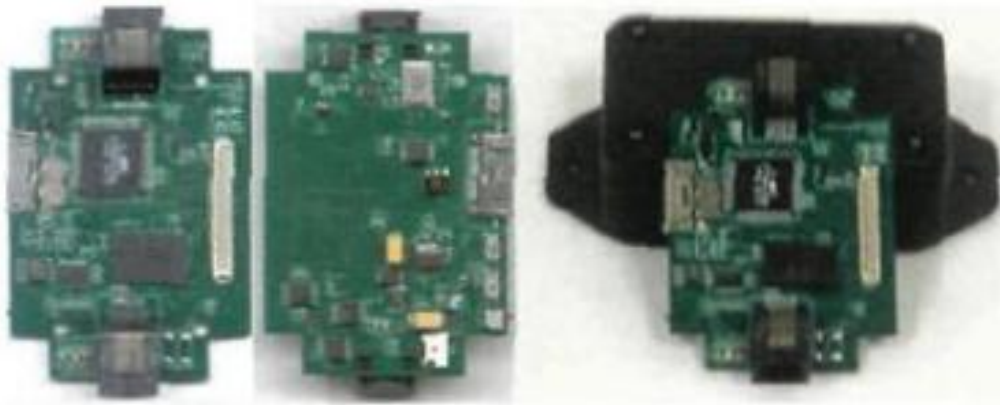
Şekil 2. 2. MOTES Düğümleri

Mica'nın devamında Mica2 ve Mica2Dot düğümleri, 33mW aktif ve 75 μ W pasif güç tüketimine sahip ATmega128L mikrodenetleyicisi ile 2002'de piyasaya sürüldü. Daha geniş frekans aralığı sunan Radyo modülünü ve FSK modülasyonunu kullanarak gürültü düzeyini düşüren Chipcon CC1000 modülü ile değiştirildi. Bu değişimin ardından MicaZ, 802.15.4/ZigBee protokolünü destekleyen [3] Chipcon CC2420 geniş band modülüyle piyasaya sürüldü. 250Kbs üzerindeki veri haberleşmesini desteklemekteydi. Bu modül bir bütün olarak kimlik doğrulamaya ve şifrelemeye de destek veriyordu [4].

Motes ailesine ait bir diğ er ürün ise olan Telos'dur. 2004'de piyasada yer edinmiştir [4]. Telos, Texas Instruments firmasının mikro denetleyicisini kullanmakta olup harcamış olduğu düşük güç sayesinde dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır. Telos ile sunulan yenilikler arasında; maliyeti düşüren PCB üzerinde tümleşik anten, bilgisayar ile iletişimde kolaylık sağlayan bir bütün halindeki USB bağlantı arayüzü, entegre durumda çalışan ışık, nem ve sıcaklık sensörü, sensör kimlik tanımlama için 64 bit MAC adresleme başlıca gelen özelliklerdendir [1,4].

2.1.3. Medusa Düğümü

WINS aslında yoğun işlemler ve büyük hafızaya ihtiyaç olan uygulamalar için geliştirilmiştir. Motes ise tasarımı ve kullanım alanı bakımından WINS'ten oldukça farklıdır. Motesin basit sinyal işleme uygulamalarında kullanılmak için tasarlanmış yapısı haberleşme ağındaki kapasite yetersizliği nedeniyle Medusa MK-2 sensör düğümü 2002'de CENS aracılığı ile ortaya çıkarılmıştır. UCLA'da geliştirilen Medusa düğümü WINS ve Motes arasındaki boşluğu doldurmaya çalışmıştır [2,4].



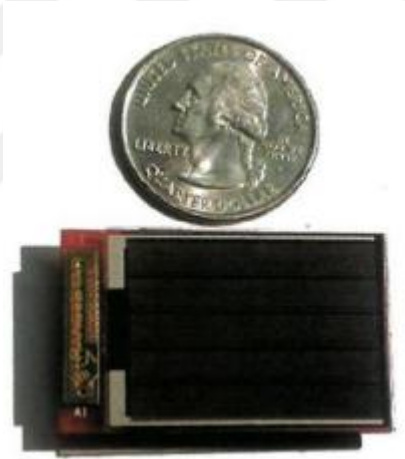
şekil 2. 3. Medusa düğümü

Medusa MK-2'nin diğ er düğümlerden farkı iki adet mikrodenetleyici içermesidir. Bu işlemcilerden ilki olan ATmega128 mikrodenetleyicisi düşük işlem kapasitesi gerektirmektedir, böylece radyo bandı işleme ve algılayıcı  rneklemeye işlemlerini bu denetleyici yapmaktadır. Diğ er işlemcisi olan AT91FR4081 mikrodenetleyicisi ise karmaşık işlemler için ayrılmış olup daha çok g   gerektirmektedir. Bu  zelliklerin

eklenmesiyle elde edilen bu sensör sayesinde hızlı ve uzun kullanım alanı gerektiren ortamlarda esneklik sağlanmıştır [4].

2.1.4. PicoBeacon Düğümü

Enerji tüketiminin önemli olduğu geniş alana sahip olan kablosuz sensör ağlarda geniş sahalarda ki denetimin zorunlu olması, sıklığının ayarlanmaya çalışılması ve yenileme ihtiyaçlarının doğması maliyet sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu duruma çözüm olarak 2003’de Berkeley Kablosuz Araştırma Merkezi PicoBeacon düğümünü geliştirmiştir. Bu düğüm gücünü güneşten ve titreşim sinyallerinden alan ilk kablosuz vericidir. Yoğun ışıklı bir ortamda %100 işlem kapasitesi ile çalışabilme özelliğine sahip olan düğüm, karanlıkta ise titreşimlere bağlı olarak %2,6 oranda çalışmaktadır [4].



Şekil 2. 4. PicoBeacon düğümü

2.1.5. μ AMPS Düğümü

Bir dijital ve bir analog RF ASIC, / zAMPS-II entegre şeklinde çalışan sensörden oluşan sistemin ilginç özelliği düğümlerin birkaç değişik modda çalıştırılıyor olmasıdır. Burada 3 farklı moddan bahsedebiliriz. Bunlardan ilki; düşük-uç olup tek başına koruma düğümü olarak adlandırılır. İkincisi orta-uç sensör ağlar için tamamen işlevsel bir düğüm olup genelde çalışan kısımdır. Son olarak ise güçlü-uç algılayıcı sistemleri bir eşlik bileşeni olarak çalıştırılabilmesi düşünülmüş olup karışık sensör düğümlerini bir araya getirerek daha verimli şekilde kaynakları kullanmayı amaçlayan bir ağ yapısı sunmaktadır.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) tarafından geliştirilen μ AMPS-1 Düğümü Şekil 2.5’ de gösterilmiştir [4].



Şekil 2. 5. μ AMPS-1 düğümü

2.2. Kablosuz Sensör Ağlarının Desteklediğı Protokoller

2.2.1. IEEE 802.15.4/Zigbee Kablosuz Sensör Ağ İletişim Protokolü

IEEE’nin standartlaştırdığı iletişim protokolü olan 802.15.4, Zigbee tarafından daha da geliştirilmiştir. Böylece sınırlı kapasitedeki ver aktarımını düşük güç ile yapabilmek amaçlanmıştır [5]

ZigBee’nin ayırt edici özelliklerine değinmek gerekirse [6];

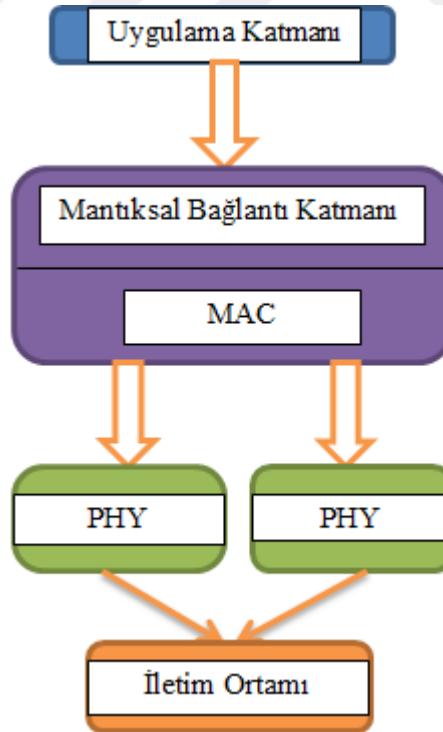
- 10 ile 115.2Kbps arasında düşük veri hızı ile işlem yapabilme kabiliyeti
- Standartlardaki bir batarya ile birkaç yılı geçirebilmesi ve düşük güç harcaması
- Ağ topolojisindeki izleme yapısının çoklu olması ile uygulamada kontrolün rahat sağlanması
- Kullanımının rahat ve ağ için harcanacak b   enin az olması
- Güvenliğinin fazla olması şeklinde sayılabilir.

Tablo 2. 1. IEEE 802.15.4 Radyo Frekansları ve Veri Aktarım Hızları

Band	Etki Sahası	Kanal	Veri Hızı
2.4 GHz	Dünya Geneli	250 Kanal	16 Kbps
915 MHz	Amerika	10 Kanal	40 Kbps
868 MHz	Avrupa	1 Kanal	20 Kbps

2.2.1.1. IEEE 802.15.4/ZigBee Mimarisi

ZigBee; diğer kablosuz standartlardan olan Bluetooth, Wi-Fi mimarilerine benzer yapıdadır [7]. Şekil 2.6’da ZigBee’nin mimarisi en basit haliyle şema olarak görülmektedir [8]. En altta iki adet fiziksel katman bulunmakta olup bunların ikisi aynı anda aynı cihazda bulunması beklenmez. RF alıcı-vericinin fonksiyon tanımlamasına göre bulunurlar. Bu fiziksel katmanın hemen üstündeki katman olan Veri bağlantı katmanı ise iki adet alt birimden oluşur. Bu alt katmanlardan ilki Mantıksal Bağlantı Katmanı, ikincisi ise MAC katmanıdır. Fiziksel katmanlar arasındaki yönetim ve idareden sorumlu olan katman MAC olup, mesajların ulaşp ulaşmadığı, hangi kanallara erişim olacağı ve hangi slot zamanlarının takibinden sorumludur [9]. Mantıksal Bağlantı Kontrol katmanı ise, katmanlar ve yazılım arasındaki ara yüzü oluşturan kısımdır [5].



Şekil 2. 6. ZigBee Mimarisi

Tablo 2.2’de Bluetooth modeli ile ZigBee’nin karşılaştırılması verilmiştir [5].

Tablo 2. 2. Zigbee Ve Bluetooth Kişisel Alan Ağı Karşılaştırması

	Bluetooth	ZigBee
İletim Programı	FHSS	DSSS
Modülasyon	GFSK	QPSK / BPSK
Frekans Bandı	2.4 GHZ	2.4GHZ / 915 MHZ / 868 MHZ
Ham Veri Bit Hızı	1 MBPS	250 / 40 / 20 KBPS
Güç Çıkışı	Max 100mw,2.5mw veya 1mw (Sınıfına bağlı)	Min 0.5mw Max Yerel Regülasyona Bağlı
Minimum Hassasiyet	%0.1 Bit Hata Oranı İçin-70dbm	%1den Küçük Paket Hata Oranı İçin- 85dbm(2.4Ghz) veya 92dbm (915/868Mhz)
Ağ Topolojisi	Master+Slave 8 Aktif Düğüm	Yıldız veya Noktadan Noktaya 255 Aktif Düğüm

Zigbee kişisel alan ağının özellikleri ise şu şekilde verilebilir [10];

- Ağı kullanıma hazır hale getirecek şekilde kurar.
- Beacon adındaki ağda hazır bulunan çerçeveleri iletmeyi sağlar.
- Ağdaki düğümleri bir düzen eşliğinde sıralar.
- Hangi düğümün hangi bilgiyi barındırması gerektiğini ve bu bilgileri saklamaya yarar.
- Düğümleri eşleştirip aradaki haberleşmenin yönetilmesini sağlar.
- Genelde alıcı durumunda işlem yapar.

2.2.2. IEEE 802.15.1&2 / Bluetooth Kablosuz Sensör Ağ İletişim Protokolü

Cep telefonu ve bilgisayar gibi cihazlar arasındaki kısa mesafe iletişimde bilgi gönderimi yapabilmek adına kullanıma açılmış, IEEE 802.11x’ den daha güçlü bir kişisel alan ağı standardıdır. 7 farklı düğümün yıldız topolojisinde merkezdeki istasyon ile iletişime geçmesini sağlar. Kablosuz sensör ağlardan Bluetooth teknolojisi ile çalışan firmalar olsa da Bluetooth’un kendi yapısı gereği kısıtlamaları sebebiyle herkes tarafından çok fazla benimsenmemiştir [5].

Kablosuz sensör ağlarda Bluetooth teknolojisi ile çalışılmasının eksi yanları ise şu şekilde sıralanabilir [5];

- Kısa mesafede iletişim kurabilmesi için çok fazla güç tüketiyor olması
- Uzun çalışamama esnasında girdiği bekleme modundan çıkıp sistem ile tekrar senkronize olmasının uzun sürmesiyle bu durumun sistemselsel olarak aşırı güç sarf edilmesine neden olması
- Ağdaki düğüm sayısını sınırlaması şeklindedir.

Tablo 2. 3. Bluetooth fiziksel özellikleri

Frekans Aralığı	2402-2480 Mhz
Veri Oranı	1 Mbps (fiziksel)
Kanal Bant Genişliği	1 Mhz
Kanal Sayısı	79
Mesafe	10-100 m
RF Atlama	1600 kez
Şifreleme	Cihaz ID ve 0/40/64 bit anahtar uzunluklar
Tx Çıkış Gücü	Azami 20dbm(0.1mw)

2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağları Mimarisi

Günümüzde hızla artan kablosuz sensör kullanımı, tercihlere bağlı olarak birçok ağ yapısını ve kurulan iletişim farklılığını da beraberinde getirmiştir. Burada uygulanan alana bağlı olarak birkaç ağ yapısından en çok tercih edilen üçü anlatılmaktadır. Bunlar; yıldız, mesh, yıldız-mesh hibrit ağ mimarileri en çok kullanılan topolojilerdir [1,11].

2.3.1.Yıldız Ağ Topolojisi

Bir adet merkez istasyona sahip olan ağda, merkezdeki düğüme farklı birçok noktadan düğüm bağlanabilmektedir. Tek bir merkezden yayınlanan mesajın anında ve eş zamanlarda tüm düğümlere iletebilmesini sağlayan ağ bağlantı türüdür. Mesaj gönderimi ile birlikte tüm düğümlerden aynı anda gönderilen farklı mesajları da yakalayabilme özelliğine sahiptir. Bu ağda, düğümler sadece merkezdeki düğüm ile iletişim kurabilmektedir. Kendi aralarında herhangi bir veri aktarımı yapılabilmesi söz konusu değildir . Ağ yapısı buna izin vermez [1,11].

Kablosuz sensör ağlarda yıldız ağ topolojisinin avantajı; her düğüme belirli bir oranda güç tüketimi için izin verilmesidir. Böylelikle tüketilen güçler kontrol altına alınabilmektedir. Yıldız ağda merkez ile düğümler arasında veri aktarımı esnasında arada herhangi başka değişkenler olmadığı için veri kaybı ve aktarım esnasındaki zaman

gecikmesi de az olmaktadır. Ancak yıldız ağ yapısında tüm düğümlerin merkez ile iletişim kurabilmesi için merkezdeki düğümün erişim sağlayabileceği kısımda bulunmaları yani kapsama alanına dahil olmaları gerekmektedir [1, 11].

Şekil 2. 7. Yıldız ağ

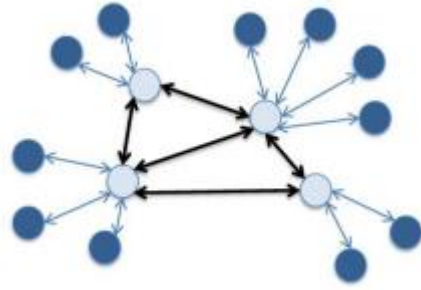
Mesh ağ topolojisinde düğümler arasında iletişim kurulabilmesi birbirlerinin kapsama alanında olup olmamalarına bağlıdır. Böylece birbirleriyle iletişim kurabilmektedirler. Genellikle büyük ağ yapılarında tercih edilmiştir. Kablosuz sensör ağlar kendine bağlı olmayan diğer düğümler ile iletişim kurmak istiyorsa en yakın komşu sensörlerden yardım alarak uzak algılayıcılarla bağlantı kurabilmektedir. Bu şekilde kendi radyo dalgalarının kapsama alanı dışında kalan algılayıcı düğümü ile iletişim kurar. Bu yöntem ile oldukça geniş mesafelerde düşük güç harcayarak iletişim kurmak mümkün olmaktadır [1, 11].

Şekil 2. 8. Mesh ağı

topolojisinde sistem rahatlıkla genişletilebilir buda düğüm eklenebilmesini sağlar ve 255 düğüm noktasına kadar bağlanmayı destekler. Mesh ağ yapısının negatif özelliği ise düğümler kendi verilerini gönderip almasının yanında birbirleriyle iletişim kurmaya çalışan diğer düğümler arasında da veri aktarımı yaptıkları için yıldız ağ topolojisindeki ağ yapısından çok daha fazla güç tüketirler [1, 12].

2.3.3.Yıldız – Mesh Hibrid Ağ Topolojisi

Yıldız ağı ile Mesh ağının karmasından oluşan bu çoklu yapıda kapsama alanı maksimum; enerji tüketimi ise minimum seviyede olması amaçlanmıştır [1,13].



Şekil 2. 9. Yıldız - Mesh hibrid ağı

Bu ağ topolojisinde sadece mesh ağdaki gibi düğümlerin kendi üzerinden diğer düğümlere veri aktarımı yapması veya iletişim kurabilmesine izin verilmemektedir. Çünkü bazı düğümlerin güçleri düşüktür. Fakat yüksek güçlü diğer bir düğüm üzerinden doğrudan erişmek istedikleri düğüm ile bağlantı kurabilmektedirler. Böylece geniş alandaki kurulmuş olan ağın fazla güç tüketimi engellenmektedir. Bu ağ topolojisi ZigBee topolojisi olarak da bilinmektedir [1,14].

3. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARDA KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Sensör ağlarda konum bulma problemi, ağ içerisindeki değişik yerlerde konumlandırılmış olan sensörlerin konumunun en doğru şekilde bulunması problemidir. Sensörlerin lokalizasyonu iki aşamada yapılır:

1.Uzaklık Tahmini ile Konum Bulma: Sensörler arasındaki iletişim esnasında yayılan sinyaller kullanılarak birbirlerinden ne kadar uzakta oldukları tahmin edilmeye çalışılır.

2.Yer Tahmini ile Konum Bulma: Uzaklık tahmini tamamlandıktan sonra, elde edilen uzaklık tahminine bağlı olarak üçgen oluşturma, çoklu düzlem kullanma gibi yöntemlerle konumlar tahmin edilmeye çalışılır.

Konum bulma yöntemlerinde sistemleri GPS kullanan ve GPS kullanmayan şeklinde 2'ye ayırabiliriz. GPS kullanımı daha çok açık alanlarda RF sinyalleri yayılımı sorunu olmayan alanlarda kullanılırken, GPS kullanmayan sistemler kapalı alanlarda işe yarar niteliktedir. GPS kullanmadan konum belirlemede ise iki yöntem kullanılmaktadır. Sensör ağdaki düğümlerin aralarındaki uzaklıkların tespit yöntemleri ise aşağıda sıralanmaktadır [15]:

1. Range-free Tabanlı Lokalizasyon (Hop Counting-Sekme Sayımlı Yöntem)

1. Single-Hop Lokalizasyon
2. Multi-Hop Lokalizasyon
3. Centroid Lokalizasyon

2. Range-based Tabanlı Lokalizasyon (Uzaklık Ölçmeye Dayalı)

1. İletim Zamanı (Time of Arrival, **TOA**)
2. İletim Zaman Farkı (Time Difference of Arrival, **TDOA**)
3. Geliş Açısı (Angle of Arrival, **AOA**)
4. Gelen Sinyalin Gücü (**RSSI/LQI**) (Received Signal Strength and Link Quality Indicator)
5. Parmak İzi Yöntemi (Finger Printing)

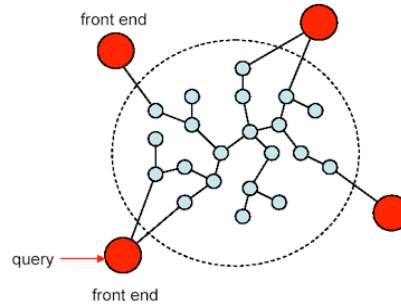
3.1 Range-free Tabanlı Lokalizasyon (Hop Counting-Sekme Sayımlı)

RF vericinin belli bir mesafe arasındaki düğümler arasında iletişim kurabilmesi ilkesine dayanan lokalizasyon yöntemidir. İki sensör birbirlerinin kapsama alanları içerisine dahil ise bir vericiden diğer bir vericiye sinyal gidiyor demektir [15].

3.1.1 Single-Hop Lokalizasyon

Single-Hop Lokalizasyon hesaplamada sensörler ilk önce çevrelerinde kendilerine birebir bağlı komşularını hesaplayarak yerini bulmaya çalışır. Her sensör aynı şekilde komşularına bakarak kendi yerini bir sonrakine sorulduğunda söyleyerek ağda ilerleme kaydeder. Multi-Hop yönteme göre kolay, hafif ve hızlıdır. Ancak daha çok hata içermesi olumsuz bir yöndür. Ayrıca sensörlerin konum hesaplamasına başlarken en az bir tane komşu sensörünün konumunu bilmeye ihtiyaç duyar. Bu sensör anchor-çapa düğüm olarak adlandırılır [15].

Beni Duyuyor musun? yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntemde düğüm komşularının haritası çıkarılarak rahatlıkla konum bulabilme amaçlanmıştır. Her düğüm kendi komşu düğümlerinin harita bilgisini kendinde tutar ve sorulduğunda haritayı açıklar. Her seferinde komşuların konumu tekrar tekrar sorulmadığı için iletişim trafiğini azaltır. Ayrıca bu lokalizasyon yöntemi konumu belli olmayan düğümlerin kendi yayını ile sesini duyurmaya çalışması mantığına dayanır. Diğer taraftan fazla miktarda düğüm gerektirir çünkü amaç ağın haritasını çıkarmaktır. Düğümlere komşuları aracılığıyla ulaşmak temel amaç olup konumu bilinmeyen düğümler önce yayınla sesini duyurmaya çalışır ve komşularından aldığı bilgileri de saklayarak düğüm komşuluklarından konum tespiti tamamlanır [3,16].



Şekil 3. 1. Single-Hop yöntemi

3.1.2 Multi-Hop Lokalizasyon

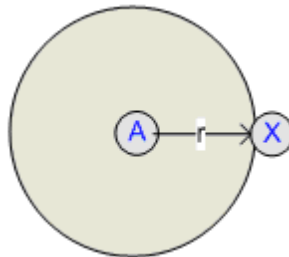
Eğer iki sensör birbirlerinin kapsama alanı içerisinde değilse, bu iki sensörün iletişimi komşu sensörler aracılığı ile gerçekleştirilir. Bu çok sekmeli olarak adlandırılan lokalizasyonda birçok düğümde hesaplamalar yapılarak konum bulunur [15].

Beni duyuyor musun? yöntemindekine benzer şekilde amacımız; ağın haritasını çıkartmaktır. Fakat burada sadece kendi komşusu olmayıp ağdaki tüm düğümlerin birebir iletişim kurup kuramadığı her komşu düğümle karşılaştırılarak ağın yapısı daha az hata payı ile haritalanır [3,16].

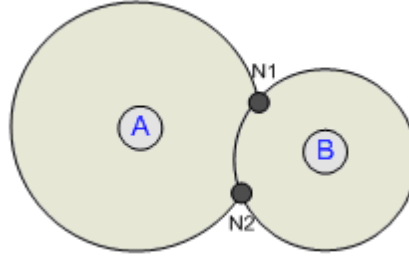
3.1.3. Centroid Lokalizasyon

Konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin konumunu yerleri bilinen sensörler aracılığı ile tespit edebilmeye dayanır. En az üç düğümden gelen verilere göre konum değerlendirilir. Diğer yöntemlerden farkı, ölçümü gerçekleştirecek düğümlerin nirengi-çapa düğüm yani konumu önceden bilinen sabit düğümler olmasıdır. Böylece gezici düğümün en doğru şekilde konum tespiti gerçekleştirilmeye çalışılır. Kendi projelerimizde de kullanılacak olan bu yöntemde gezici düğüm her konum değiştirdiğinde göndereceği bilgiler ile konumu sabit düğümlere olan mesafeleri belirlenir. Yöntemin yapısı gereği gezici düğümün alıcı olma durumu da mümkündür. Böylece sabit düğümlerden gönderilecek bilgiler ile gezici düğümün konumunu kendisinin tespiti de mümkündür [3,16].

Şekil 3.2'deki gibi konumu belli olan A merkez düğümü ile X gezici düğümü arasındaki uzaklığın hesaplamalarla bulunması halinde sadece düğümün sabit olan düğümlerle arasındaki mesafe kadar çizilen çember alanındaki herhangi bir yerde olduğu bulunabilir [17,18].

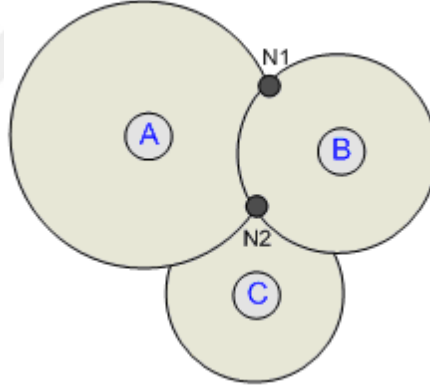


Şekil 3. 2. Konum belirlemek için tek referans düğümü



Şekil 3. 3. Konum belirlemek için iki referans düğümü

Ağımıza bir tane daha referans düğümü eklemiş olursak, 2 adet referans düğümü ile iki adet uzaklık bilgisi($r(a)$ ve $r(b)$) elde etmiş oluruz. Burada X düğümümüz A referans düğümüne göre $r(a)$ yarıçaplı çemberin üzerinde, B referans düğümüne göre ise $r(b)$ yarıçaplı çember üzerinde bulunmalıdır. X düğümümüz iki şartı da sağlayan bir noktada olmak zorunda olduğu için ya Nokta 1(N1) in ya da Nokta 2(N2)'nin üzerinde bulunmalıdır. Bu durum Şekil 3.3'de gösterilmiştir [17].



Şekil 3. 4. Konum belirlemek için üç referans düğümü

Şekil 3.4'de gördüğümüz gibi 1 numaralı düğümümüzün N1 ya da N2 den hangisinin üzerinde olduğunu anlayabilmek için bir referans düğümüne daha ihtiyacımız var. C referans düğümü ile yerini tespit 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 [17].

3.2 Range-Based Tabanlı Lokalizasyon

Range-based tabanlı lokalizasyon yöntemleri, Radio Frekans sinyallerinin uzaklıkla olan orantılarını (Sinyal Gücü / İletim Zamanı) kullanarak yer tahmini yapmaya çalışır [15].

3.2.1 İletim Zamanı (Time of Arrival, TOA)

Birbiri ile iletişime geçmeye çalışan 2 adet sensör arasındaki sinyallerin iletiminde geçen sürenin, uzaklık ile doğru orantı kurularak mesafe artıyorsa sinyal fazla, az ise sinyal düşük şekilde bağlantıya dayanır. Uzun aralıklarda fakat sürekli olacak şekilde bir sensörden diğerine sinyal gider ve bu sinyalin gelme zamanı ile bir önceki sinyalin gelme zamanı karşılaştırılarak uzaklık tahmini yapılır. Senkron halinde çalışan iki devrede, gönderilen sinyale gönderilme zamanının da eklenmesi ile alıcı sensör işareti kabul ettiği zaman bilgisinden gelen sinyaldeki zaman bilgisini çıkararak uzaklığı tahmin etmiş olur [15].

Ultrasonik sesler, transmitter(verici) çıktısında kullanılacak sinyallerde kısa mesafelerde tercih edilir. Hava şartlarından bağımsız olarak sinyal ölçekbilme kabiliyetine sahip olan ultrasonik sesler bu yayılım için yeterli ölçüm hassasiyetine sahiptir. WSN'ler ile kurulmuş ağlarda ise radyo sinyalleri kullanılır. Bunun nedeni ise yayılım hızının ışık hızına eşit olmasıdır. Yakın mesafe ölçümü için WSN sistemlerine eklenen ultrasonik alıcı ve vericiler ile ölçüm hassasiyeti geliştirilmiştir. Çalışma mantığı olarak da gezici düğüm sabit düğüm zaman sayacını aktif etmek için önce radyo frekans sinyali ardından da mesafe ölçümü için kullanılacak ultrasonik sinyali gönderir.

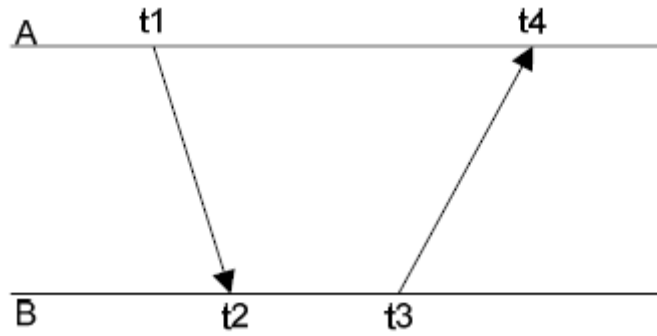
Günümüzde kullanılan küresel konumlama sistemi (GPS) de radyo sinyal hızının ölçümüne dayanan time of arrival yöntemi ile çalışırlar. Derinlik gibi fazladan bir değere sahip olan küresel konumlama sisteminde konum tespiti için gerekli düğüm sayısı dörde (4) çıkmaktadır. Çalışma yapısında da eş güdümlü olarak gönderilen sinyaller alıcıya farklı zamanlarda ulaşır. Bu zaman farklarına göre alıcı düğüm kendi konumunu hassas bir şekilde tespit edebilmektedir

Pair-Wise Algoritması:

Zaman eşleşmesi yapılabilmesi için gerekli iki düğümden birincisi, ikinciye zaman bilgisini gönderen bir mesaj gönderir ve mesaj sonucu karşı tarafın mesaj bilgisi şeklinde

ona geri döner. Döner bu veriden alınan mesajın havada ve işlenmesi sırasında geçen gecikme süresi hesaplanır ve iki düğüm arasındaki saat offseti bulunmuş olur. Tüm ağın zaman eşleme işlemi tek bir ana düğüm tarafından yapılmalı veya ağda zaman bilgisini periyodik olarak güncelleyen bir sunucu bulunmalıdır [17].

Ağda düğümlerin zaman eşleme işlemi ile yükümlü düğüm A, zaman eşleme işlemine tabi tutulan düğüm B olarak varsayarsak;



Şekil 3. 5. A ve B düğümleri mesajlaşma

Zaman eşitleme isteğinde bulunan A düğümü B düğümüne istekte bulunur. B düğümü $t1$ zaman bilgisini ekleyerek ilk paketi gönderir. A düğümü paketi aldığı anda $t2$ zamanını kaydeder.

$$t2 = t1 + D + d$$

$$D = t2 - t1 \quad (3.1.)$$

burada, A ile B düğümleri arasındaki saat farkı d olarak gösterilmiştir. Yine A düğümü kendi zaman bilgisi $t3$ 'ü ve kaydetmiş olduğu $t2$ 'yi mesaj olarak B düğümüne gönderir. B düğümü mesajı aldığı anda $t4$ zamanını kaydeder.

$$t4 = t3 + D - d \quad (3.2.)$$

$t4 = t3 + t2 - t1 = 2d$ bağlantısından zaman farkı hesaplanmış olur. B düğümü sistem saatini kendi sistem saatine ayarlayarak zaman eşleme işlemi tamamlar.

$$d = \frac{(t_2 - t_1) - (t_4 - t_3)}{2}$$

$$D = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)}{2} \quad (3.3.)$$

burada ise Saat darbesi kayma oranı olarak d verilmiştir. Ortam erişim ve yayılım gecikmesi ise D şeklinde belirtilmiştir.

3.2.2 İletim Zaman Farkı (Time Difference of Arrival, TDOA)

Yine iki sensör arası sinyal iletim zamanının, uzaklık ile doğru orantılı olarak artması ilkesine dayanır. Ancak bu sefer ölçüm yöntemi şu şekildedir: Bir sensör komşu sensörlere bir sinyal gönderir ve onların anında cevap vermesini bekler, cevap geldikten sonra arada geçen zamanı hesaplayarak uzaklık tahmininde bulunur. Şöyle ki; hızları farklı iki işaret aynı anda vericiden alıcıya gönderilir. Alıcı ilk işareti aldığı zaman ile ikinci işareti aldığı zamanı kullanarak da mesafeyi belirleyebilir [15].

Mesafe denklemde $V_{RF} \gg V_{ses}$ olduğu için $x = V_{ses} \times t$ şeklini alır.

$$x = \frac{t}{\frac{1}{V_{ses}} - \frac{1}{V_{RF}}} \quad (3.4)$$

Uzaklık hesaplamasında kullanılacak olan ses işareti ve RF işaretini verici devre alıcı devreye gönderir. RF işareti çok daha hızlı olduğundan ilgili alıcıya daha önce ulaşmış olur. Radio frekansı alıcıya ulaştığı zaman bir zaman sayacı başlatmış olur. Alıcıya ses işareti ulaştığı anda ise sayacı durdurur ve uzaklığı hesaplamaya koyulur. Uzaklığı hesaplayabilmek için;

Radio frekanslarının ve ses işaretlerinin yönsüz olduğu ve bu şekilde yayıldığı varsayılırsa her düğümün konumu diğer düğümden referans aldığı bir çemberin yarıçapına eşit olduğu söylenebilir. Uzaklık bilgisi elde edildikten sonra sıra düğümlerin yerinin bulunması işlemine gelir. Düğümlerden birinden diğerine olan mesafe bize o düğümün yeri hakkında bilgi vermeyeceği gibi konumunun sadece o düğümü çevreleyen bir çember üzerindeki herhangi bir yerde olmasını gösterir. Konumu doğru bulabilmek için bazı düğümler konumları bilinen belirli yerlere yerleştirilip ardından bu düğümler referans olarak kabul edilir. Böylece elimizdeki problemin çözümünde konumu belli olan

düğümlere olan uzaklıklardan referans alınarak konumu bilinmeyenin yeri tahmin edilmiş olunur.

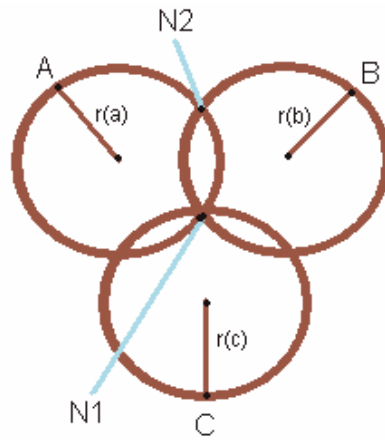
3.2.3 Geliş Açısı (Angle of Arrival, AOA)

Sinyalin geliş açısını veren özel antenler kullanılır. Bu yöntem pahalı özel tip antenler gerektirdiği için diğer yöntemlere göre daha pahalıdır.

3.2.4 Gelen Sinyalin Gücü (RSSI/LQI) (Received Signal Strength and Link Quality Indicator)

Çıkış işaret gücünü istediğimiz seviyeye ayarladıktan sonra alıcı yapı aldığı işaretin gücünü ölçerek gelen işaretin zayıflama oranından uzaklığı bulmaya çalışır. Gelen Sinyalin Gücü ölçümü ile lokalizasyon yöntemi bir sensörden gelen sinyalin gücünün aradaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olması ilkesine dayanır.

Sinyal gücü ölçümüne dayanan bu yöntemde amaç; gücü belli verici yayınının, alıcı üstündeki şiddetine göre mesafe ölçmektir. Alıcı üstünde alınan sinyal gücü, sinyalin ne kadar mesafede ne kadarlık bir zayıflama gösterdiği bilgisi ile mesafe bilgisine dönüştürülür. Belirlenen ölçüm/mesafe şablonuna göre konum bilgisi belirli hata sınırları dahilinde saptanabilir. Konum saptamak için gerekli en az üç (3) alıcı düğümü gereklidir. Kullanılacak geometrik şekle göre her bir düğümün merkez düğüme olan uzaklığı hesaplanıp, kesişim noktalarının taradığı alan bulunur. Bu taralı alan aynı zamanda hata değerini de içeren konum bilgisini vermektedir [16].



Şekil 3. 6. RSSI yöntemi

Yöntemin iki (2) düğüm ile gerçekleştirilmesi durumunda N1 ve N2 noktaları kesişim sonucu çıkacak ve konum tespiti olasılığı bırakılacaktır. Bu sebeple eklenen üçüncü düğüm ile kesişim noktalarından hatalı olan (N2 kesişim noktası) elenmiş olur. Düğüm sayısının dört (4) ve üzerine taşınması durumunda N1 taralı alanı küçülür ve hata toleransı azalır. Olumsuz olarak da matematik hesaplama gücü enerji gereksinimi nedeni ile kısıtlanmış olan düğümlere fazladan hesap yükü getirilmektedir.

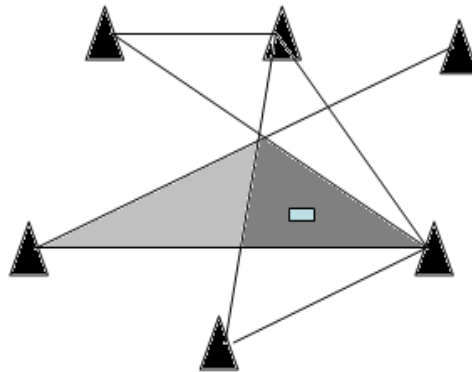
3.2.5. Finger Printing Yöntemi

Parmak izi yöntemi olarak bilinen bu yöntemde yapılacak ilk iş değişik uzaklık ve yerler için RSSI ölçümleri yapılması ve ölçülen RSSI değerlerinin tutulduğu bir veritabanı oluşturulmasıdır. Her yeni gelen sensörün konumunu doğru tahmin edebilmek amacıyla, elde ettiğimiz yeni RSSI değeri önceden veri tabanına kaydettiğimiz her RSSI değeri ile karşılaştırılır.

3.3. Kablosuz Sensör Ağlardaki Lokalizasyon Probleminde Yer Bulma Yöntemleri

Ağda bulunan sensörler arasındaki mesafeler bulunduktan sonra birkaç farklı yöntemle bu sensörlerin konumlarını tahmin etmeye çalışacağız. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir [15].

3.3.1 APIT (Approximate point-in-triangulation test)



Şekil 3. 7. APIT yöntemi

Bu algoritmaya göre, çapa-anchor sensörlerin yardımıyla bölge üçgenlere bölünür ve bölgeler içinde duran yerleri bilinmeyen sensörlerin konumu bulunmaya çalışılır.

Aşağıda yazmış olduğumuz algoritma sırasıyla sensörlerde çalıştırılır:

1. N adet anchor sensörden konum bilgisi alınır.
2. Oluşturulan üçgenlerden hepsinin içerisine teker teker bakılır ve buraya dahil olup olmadığı test edilir.
3. Eğer üçgenlerden birinin içerisine dahilse, “DahilKume”ye (InsideSet) bu üçgen eklenerek devam edilir ve her üçgen için tekrarlandıkça DahilKume içeriği artırılır.
4. Algoritma DahilKume nin yeterli kesinlik derecesine ulaşmış olmasıyla sonlandırılır.
5. Bu üçgenleri dahil ettiğimiz küme içerisindekilerin ağırlık merkezleri bulunarak noktanın kendi yerini tahmin etmesi sağlanır.

Fakat aşağıda da belirtildiği gibi birden fazla sensöre sahip olmasından dolayı aynı üçgen içinde bulunması durumu söz konusu olduğunda APIT algoritması hatalara sebebiyet vermektedir.

3.3.2 MDS (Multi-dimensional Scaling)

Sistem bir graf ağı (Connectivity Graph) olarak modellenmiştir. Eğer node'lar (sensörler) arası uzaklıklar biliniyorsa, grafta node'lar arası bağların ağırlıkları, iki node'un arasındaki uzaklığa eşit olmaktadır. Bilinmiyorsa 1 değeri verilmektedir. Bu bize simetrik bir uzaklık matrisi verir. Bu matrisi en kısa yol algoritmasında kullanarak en kısa yolları bulduktan sonra klasik MDS algoritması ile her node'u nerede olduğunu gösteren görece bir harita verir. Bu matris üzerinde doğrusal dönüşümler (Linear transformations) (ölçekleme, döndürme, yansıtma, iletme) (scaling, rotations, reflections, translations) kullanılarak bu matrisin, nirengi node'ları (beacon) üzerine oturması sağlanır.

MDS yönteminin pek çok çeşidi bulunmaktadır:

1. Metrik/Metrik Olmayan (metric/nonmetric),
2. Klasik/Tekrarlı (classical/replicated),
3. Ağırlıklı/Ağırlıksız (weighted/non-weighted),
4. Kesin / Olasılıklı (deterministic/probabilistic).

Büyük bir sensör ağında, Çok Boyutlu Ölçekleme (Multi Dimensional Scaling (MDS)) yöntemi sadece hangi sensörün hangi sensöre bağlı olduğu bilgisini merak eder.

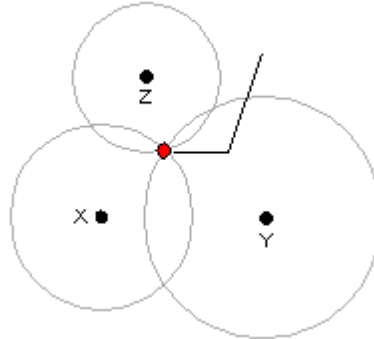
3 adımdan oluşur:

1. Sensör çiftleri arasındaki uzaklıkların ortalama bir tahmini yapılır.
2. MDS optimizasyon algoritması sensörlerin yerlerini, daha önce tahmin edilen uzaklıklara göre bulmaya çalışır.
3. Optimizasyon yaparken, bilinen sensör yerleri hesaba katılır. (Bu sensörlerin yeri kesindir, tahmine gerek yoktur)

3.3.3 Iterative Multilateration (Tekrarlı Multilaterasyon)

Tekrarlı multilaterasyon algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir.

1. Bilinen sensörleri (beacon) işaretle.
2. En az 3 nirengi sensöre komşu olan sensorun yerini üçgenleme ile tespit et ve bu sensörü de bilinen(nirengi) sensörler arasına al.
3. Bütün sensörlerin yeri bulununcaya kadar ilerle.



Şekil 3. 8. Tekrarlı multilaterasyon

4. BULANIK MANTIK VE YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK KONUM BELİRLEME

4.1.Bulanık Mantık

Bulanık mantığın temeli, bulanık küme ve alt kümeye dayanmış olup, 1960'lı yıllardan bu yana kendini göstermiştir. Lotfi Zadeh tarafından ortaya konulan bulanık kümeler teorisinden geliştirilen bulanık mantık, klasik mantıktaki doğru ve yanlış şeklindeki iki sınıflı önermelerin yerine, ikiden daha fazla sınıfı ve öğelerin bu sınıflara farklı üyelik dereceleriyle atanmasını ifade eder. Bulanık kümeler teorisinde klasik küme teorisindeki gibi kesin sınırlar yoktur. Bir öğe(nesne) belirli derecelerde kümenin içerisinde yer alır. Aynı anda farklı kümelerde farklı derecelerde yer alabilir.

Bulanık mantık; basit, küçük, gömülü mikro denetleyicilerden büyük ağ halindeki çok kanallı mikro denetleyicilere kadar geniş bir yelpazede kullanılabilen problem çözme kontrol yöntemidir. Bulanık mantık karmaşık problemleri matematiksel olarak modellemek yerine oldukça basit kurallar yardımıyla çözmeyi amaçlar. Bulanık mantık, sistemin derinlemesine anlaşılmasından ziyade deneysel bir yöntemdir.

Bulanık mantıkta bir varlık, bir kümenin ya elemanıdır ya değildir. Eğer varlık-küme ilişkilerine matematiksel anlamda bakılacak olursa, varlığın kümeye dahil olması "1", olmaması ise "0" ile ifade edilir. Bulanık varlık kümesinde ise her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Bu üyelik derecesi, (0,1) aralığında sonsuz sayıda değişip, herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu $M(x)$ şeklinde gösterilir. Bulanık mantık hızlı- yavaş veya soğuk-sıcak gibi kesişim noktalarını bulanıklaştırarak daha yumuşak hale getirip, biraz soğuk veya biraz sıcak şeklinde gerçek dünyaya benzetir [10].

Bulanık mantığın temelindeki kişilerden Azerbaycan asıllı bilim adamı Lotfi Zadeh, bulanık mantığın genel özelliklerini vermiştir [11].

- Kesin değerler yerine yaklaşık değerler kullanılmalıdır.
- Bulanık mantık matematiksel ifadelerin zor elde edildiği alanlarda kullanılmalıdır.
- Bilgi ara değerler olarak (biraz, ılık, çok) işlenmelidir.
- Mantıksal sistemlerin birçoğu bulanık sistem olarak ifade edilebilir.

-Her şey 0-1 arasındaki değerler ile gösterilmelidir.

Bulanık mantığın dikkate değer özellikleri şöyledir:

Bulanık mantık, güvenli olmayan ve belirgin olmayan sensörlerin okumalarına karşı toleranslıdır. Bulanık mantık, doğruluk tablosu tabanlı matematiksel olan net mantıktan daha çok insan mantığına yakındır. Bulanık mantık, daha geniş bir kapsama alanına sahip olduğundan, olasılık teorisine dayalı diğer sınıflandırma algoritmalarından daha iyi uygulama alanı bulmuştur [9].

Bulanık mantık, sistemdeki öğeleri uygun sınıflara atayabilmek için bazı sayısal parametrelere, basit sınıflandırma kurallarına ihtiyaç duyar. Bu tezde bulanık mantık, RSSI (Alınan Sinyal Gücü Göstergesi) ve LQI (Bağlantı Kalite Göstergesi) değerlerinin ölçümlerinde kullanılmış olup kablosuz sensör düğümlerimizin konumları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Burada sensör düğümlerin tahmini konumu bir dizi formüle dayalı olarak hesaplanmaktadır. Bulanık mantık sistemi herhangi bir donanıma gereksinim duymadan WSN' ler için konum bağımlı uygulamalarda kullanılabilir.

4.2. Centroid Lokalizasyon Yöntemi ile Konum Tespiti

Gerçekte lokalizasyon 3 düğüm kullanılarak belirlenir. Bu yöntemlerden biri Centroid lokalizasyon yöntemidir. Çapa düğüm pozisyonu olarak (x_i, y_i) ' yi kullanan serbest lokalizasyon algoritması geliştirilmiştir. Her sensör düğüm kendisine bağlı bütün çapa düğümlerin konumlarının aritmetik ortalamasından hesaplanır. Burada x_{est} ve y_{est} sensör düğümlerin tahmin edilmek istenen konumlarıdır ve N ise sensör düğüme bağlı bağlantılı düğümlerin sayısıdır.

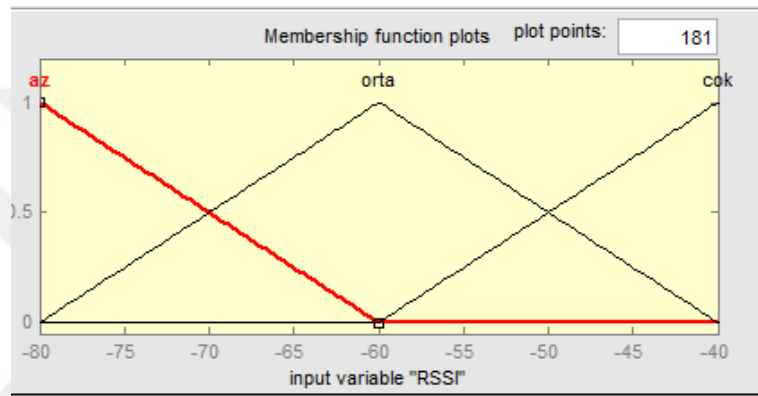
$$(x_{est}, y_{est}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{N} \right) \quad (4.1.)$$

Düzen basittir fakat büyük lokalizasyon hataları verir. Bu yüzden geliştirilmiş versiyonda bir sensör düğümün konumu bu algılayıcı düğümlere bağlanan çapa düğümlerin kenar ağırlıkları kullanılarak hesaplanır. Burada ise w_i sensör düğüme bağlanmış her bir çapa düğümün kenar ağırlıklarıdır.

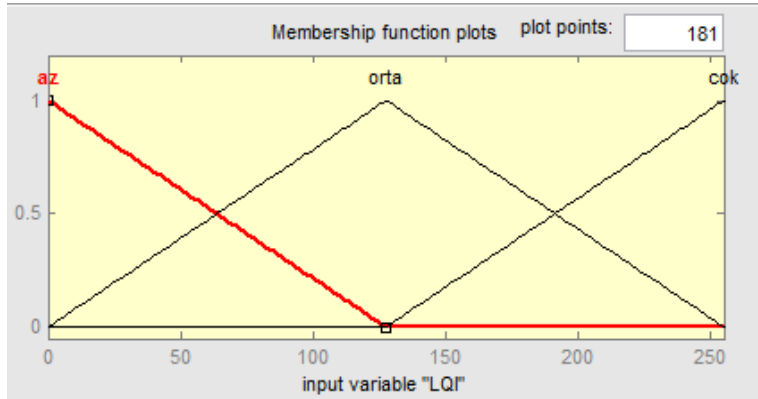
$$(x_{est}, y_{est}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (4.2.)$$

Burada, kenar ağırlıklı ortalama formül kullanılarak Bağlantı Kalite Göstergesi(LQI) ve Alınan Sinyal Gücü Göstergesi(RSSI) değerlerini kullanan Bulanık sistem simülasyonu Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bulunan RSSI ve LQI değerlerini bulanıklaştırma işlemi ilk işlemimizdir. Aşağıda her iki parametre için kullanılan üyelik fonksiyonları verilmiştir.



Şekil 4. 1. RSSI üyelik fonksiyonu



Şekil 4. 2. LQI üyelik fonksiyonu

Konumu bilinmek istenen düğüm önce hangi 3 çapa düğüme daha yakınsa o üçgensel bölge içerisinde kabul edilip formüllerde yerine konulur. Daha sonra elde edilen değerlere göre Matlab ortamında hazırlanmış olan bu üyelik fonksiyonlarına elde etmiş olduğumuz bu değerlerimizi vererek tahmini konumu bulmaya çalışırız. Sonrasında ise;

RSSI ve LQI üyelik fonksiyonlarına ait kural çıkarımları yapılır. Buradaki amaç Bulanık mantığı uygulamaktır.

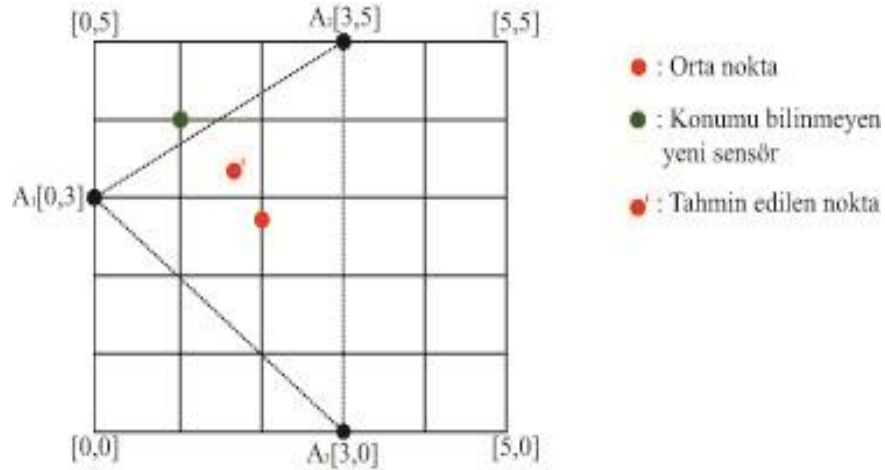
Bu iki parametre olan RSSI ve LQI için kural tablosu belirlenmiş olup Şekil 4.3'te verilmiştir.

1. If (RSSI is az) and (LQI is az) then (Ağırlık is mf1) (1)
2. If (RSSI is az) and (LQI is orta) then (Ağırlık is mf1) (1)
3. If (RSSI is az) and (LQI is çok) then (Ağırlık is mf2) (1)
4. If (RSSI is orta) and (LQI is az) then (Ağırlık is mf1) (1)
5. If (RSSI is orta) and (LQI is orta) then (Ağırlık is mf2) (1)
6. If (RSSI is orta) and (LQI is çok) then (Ağırlık is mf3) (1)
7. If (RSSI is çok) and (LQI is az) then (Ağırlık is mf2) (1)
8. If (RSSI is çok) and (LQI is orta) then (Ağırlık is mf3) (1)
9. If (RSSI is çok) and (LQI is çok) then (Ağırlık is mf3) (1)

Şekil 4. 3. Kural tablosu

En doğru konumu bulabilmek için ardından aşağıdaki örnek süreç gerçekleştirilmiştir.

5x5 lik bir ortama 3 adet sensör düğümün yerleştirildiğini düşünelim. Bu sensör düğümlerden birincisi (0,3) konumunda, ikincisi (3,5) konumunda, üçüncü düğüm ise (3,0) konumunda olsun. Aşağıdaki şekilde alanımız ve yerleştirdiğimiz sensör düğümler yer almaktadır.



Şekil 4. 4 . 5x5 Matris şeklindeki alanımız

Denklem (4.1)den hareketle 3 adet çapa düğümün merkez noktası hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
 (x_{est}, y_{est}) &= \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \\
 (x_0, y_0) &= \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \right) \\
 (x_0, y_0) &= \left(\frac{0+3+3}{3}, \frac{3+5+0}{3} \right) \\
 (x_0, y_0) &= \left(\frac{6}{3}, \frac{8}{3} \right) \\
 (x_0, y_0) &= (2, 2.66)
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

şekilde görülen ızgarada 3 adet sensörün merkez noktası olan (2, 2.66) kırmızı renk ile gösterilmiştir. Yeşil ile işaretli (1,4) noktasında konumu en az hata ile bulunmaya çalışılacak olan yeni bir sensör olduğunu düşünelim ve konumundan önce merkez noktasına olan uzaklığına bakalım.

$$d = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2} \tag{4.4}$$

Gösterilen d formülü ile (1,4) noktası ile merkez nokta arasındaki uzaklık hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 d &= \sqrt{(1 - 2)^2 + (4 - 2.66)^2} \\
 d &= \sqrt{1 + 1.8496} = 1.6880 \sim 1.69
 \end{aligned}$$

diyebiliriz.

Bu şekilde elde etmiş olduğumuz 1.69 değeri bizim konumunu bulmaya çalıştığımız sensör ile 3 adet çapa düğüm kullanarak hesaplanmış merkez nokta arasındaki uzaklıktır.

Yeni verilen (1,4) konumundaki düğümün 1,2 ve 3 nolu sensörlere olan uzaklığı hesaplanır. Bu sensörlere olan uzaklıklar d formülü ile hesaplanmış olup şu şekildedir.

$$\begin{aligned}
 \text{1 nolu düğüme olan uzaklık} &= \sqrt{2} \\
 \text{2 nolu düğüme olan uzaklık} &= \sqrt{5} \\
 \text{3 nolu düğüme olan uzaklık} &= \sqrt{20}
 \end{aligned}$$

bulunan bu uzaklık değerleri bir sonraki adımda kullanılmak üzere saklanır.

4.3. Bulanık Mantıkla Konum Tespit Yöntemi

RSSI ve LQI değerlerini bulabilmek ve uygulayabilmek için aşağıda verilen RSSI formülü ile değerler bulunur.

$$RSSI = -(10 \cdot n \cdot \log d) + \alpha$$

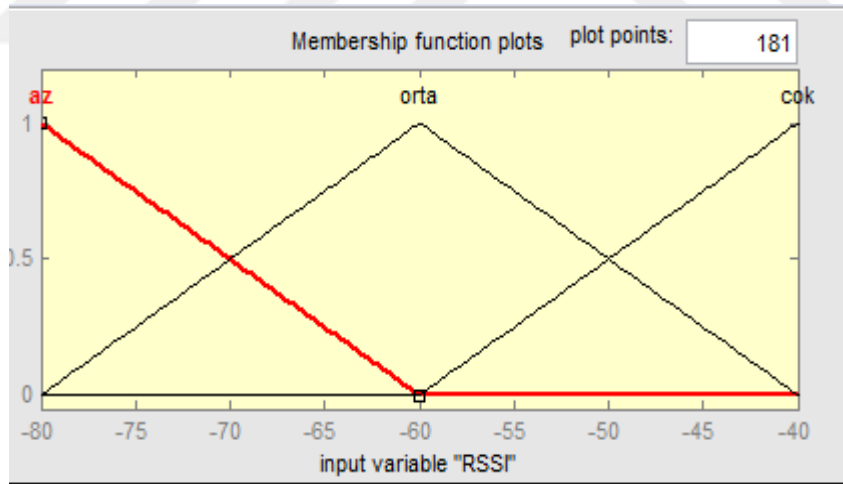
Verilen formülde 1,2 ve 3.sensörler için RSSI değerleri hesaplanır.

$$1.\text{sensör için : } RSSI = -(10 \times 3.5 \times \log \sqrt{2}) - 60 = -65.2680$$

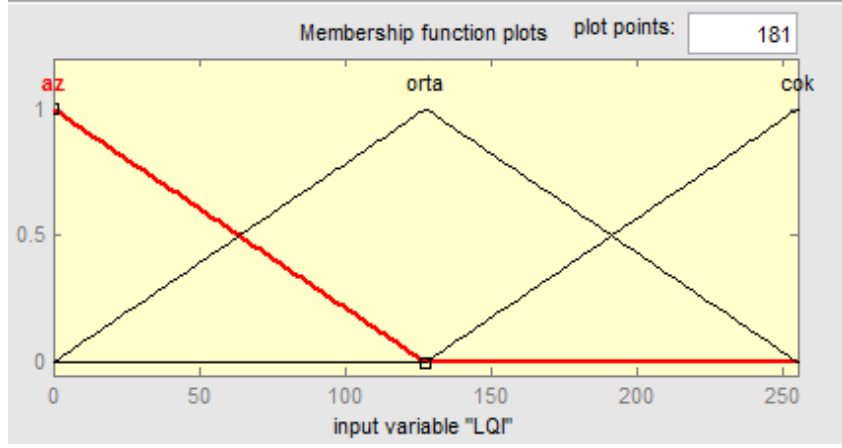
$$2.\text{sensör için : } RSSI = -(10 \times 3.5 \times \log \sqrt{5}) - 60 = -72.2319$$

$$3.\text{sensör için : } RSSI = -(10 \times 3.5 \times \log \sqrt{20}) - 60 = -82.7680$$

Hesaplanan RSSI değerleri ve çıkan sonuçlara göre verdiğimiz LQI değerleri MATLAB ortamına girilir.



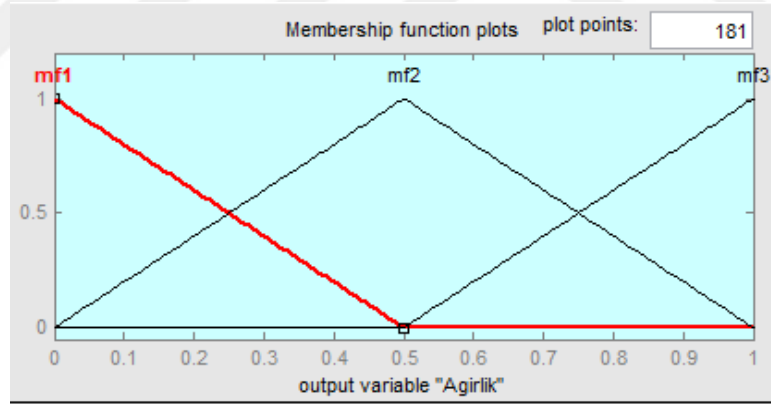
Şekil 4. 5. RSSI üyelik fonksiyonu



Şekil 4. 6. LQI üyelik fonksiyonu

Şekil 4.5 ve 4.6 da verilen resimler MATLAB ortamındaki RSSI ve LQI tablomuzu göstermektedir.

Bu RSSI ve LQI değerleri bulanık mantık yardımıyla bize sensörlerin ağırlık değerlerini verecektir.



Şekil 4. 7. Ağırlık fonksiyonu

Şekil 4.7' de verilen ağırlık tablosu girilen RSSI ve LQI değerlerine göre çıkan ağırlık derecesini gösteren grafikdir.

Elde edilen ağırlık değerlerine göre yeni tahmin edilecek olan noktanın x ve y eksenleri ağırlık değerleriyle çarpılarak bulunur.

$$x_{yeni}, y_{yeni} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_n \cdot w_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_n \cdot w_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \right) \quad (4.5.)$$

Yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanan yeni koordinatlar aşağıdaki gibidir:

$$x_{yeni}, y_{yeni} = \left(\frac{\sum_{i=1}^3 x_n \cdot w_n}{w_1 + w_2 + w_3}, \frac{\sum_{i=1}^3 y_n \cdot w_n}{w_1 + w_2 + w_3} \right)$$

$$x_{yeni}, y_{yeni} = \left(\frac{x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + x_3 \cdot w_3}{w_1 + w_2 + w_3}, \frac{y_1 \cdot w_1 + y_2 \cdot w_2 + y_3 \cdot w_3}{w_1 + w_2 + w_3} \right)$$

$$x_{yeni}, y_{yeni} = \left(\frac{0 \times 0.5 + 3 \times 0.5 + 3 \times 0.214}{0.5 + 0.5 + 0.214}, \frac{3 \times 0.5 + 5 \times 0.5 + 0 \times 0.214}{0.5 + 0.5 + 0.214} \right)$$

$$x_{yeni}, y_{yeni} = \left(\frac{2.142}{1.214}, \frac{4}{1.214} \right)$$

$$x_{yeni}, y_{yeni} = (1.7644, 3.2948)$$

Yeni tahmin edilen merkez noktamızın koordinatları (1.76,3.29) dur. Bu nokta tablo üzerinde kırmızı renkte olup ‘ $\cdot$ ’ işareti ile gösterilmiştir. Böylelikle bu yeni merkez noktanın gerçek noktaya olan uzaklığı azalmış olup doğruluğun arttığını görmekteyiz.

$$d = \sqrt{(1 - 1.76)^2 + (4 - 3.29)^2}$$

$$d = \sqrt{0.5776 + 0.5041}$$

$$d = 1.04$$

Önceki uzaklık değeri aşağıdaki gibi 1.69 olarak bulunmuşken şimdiki uzaklık değeri 1.04 olduğu ispatlanmıştır.

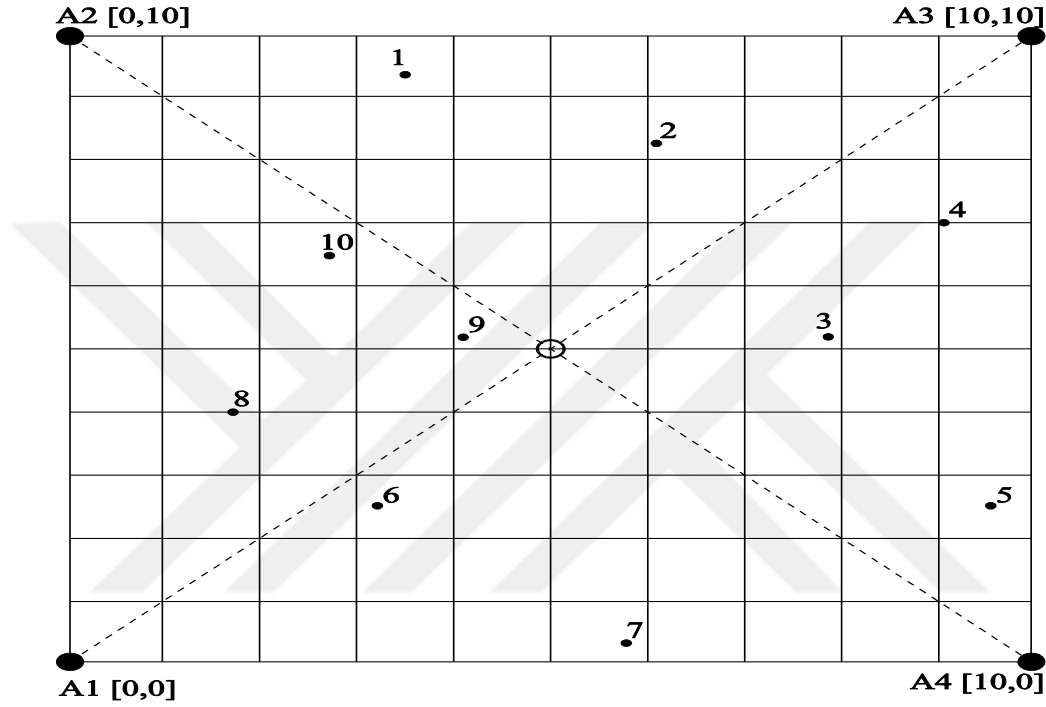
$$d = \sqrt{(1 - 2)^2 + (4 - 2.66)^2}$$

$$d = \sqrt{1 + 1.8496} = 1.6880 \sim 1.69$$

Eski d uzaklığı olan 1.688 den daha doğru sonuç elde edilmiştir. Böylece sonuca 0.648 kadar yaklaşmış bulunmaktayız.

4.4. Bulanık Mantık Kullanarak Konum Tespiti Uygulamamız

Şekil 5'te görüldüğü üzere [0,0], [0,10], [10,0] ve [10,10] noktalarında 4 adet çapa düğümümüz mevcuttur. Bu çapa düğümler bizim konumu belli düğümlerimizdir. Diğer rastgele dağıtılmış olan 10 düğüm ise bu çapa düğümlerden en yakın 3 tanesi baz alınarak konumları bulunmaya çalışılacak olan düğümlerimizdir.



Şekil 4. 8. 10x10 Matris şeklindeki alanımız

Her bir düğümün CL algoritmasına göre konum hataları Denklem (4.6.)' e göre belirlenmiştir.

Yer Hatası:
$$\sqrt{(x_{est} - x_a)^2 + (y_{est} - y_a)^2} \quad (4.6.)$$

Konum hatasını minimuma indirmek için bulanık mantık temelli oluşturulan sistemde her bir düğümün RSSI ve LQI değerleri elde edilmiştir. Her biri formüle konularak elde edilmiş değerlerin, RSSI ve LQI fonksiyonları sonuçları tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1. Her düğümün hesaplanan RSSI ve LQI değerleri tablosu

Düğüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Konum	(3.5,9.4)	(6.1,8.3)	(7.9,5.2)	(9.1,7)	(9.6,2.5)	(3,2)	(5.8,0.3)	(1.7,4)	(0.4,6.3)	(4.7,8.5)
RSSI ₁ / LQI ₁	-75.04 50	-	-	-	-74.87 50	-59.49 162	-66.74 106	-62.33 141	-68.0 99	-74.56 57
RSSI ₂ / LQI ₂	-59.26 162	-68.05 99	-73.80 57	-74.35 57	-	-72.61 64	-	-67.82 99	-59.98 155	-64.26 127
RSSI ₃ / LQI ₃	-68.51 92	-62 141	-65.17 120	-57.35 176	-70.64 78	-	-75.84 50	-	-75.43 50	-65.94 113
RSSI ₄ / LQI ₄	-	-73.68 57	-66.20 113	-69.70 85	-54.12 197	-70.17 85	-61.85 141	-73.75 57	-	-

Ortalama Konum Hatası:

$$\frac{\sum \sqrt{(x_{est}-x_a)^2+(y_{est}-y_a)^2}}{\text{sensör düğümlerin sayısı}} \quad (4.7.)$$

elde edilen ağırlıklar kullanılarak Denklem (4.7) yardımıyla konum hataları belirlenmiştir. Sonuçlar Bölüm 5’ de Centroid yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Planlandığı haliyle konum bulma hata oranları düşürülmüş ve konum tespitimizin başarıyla sonuçlandığı görülmüştür.

4.5. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) insan beynine benzer şekilde yeni bilgiler türetebilme, oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yeteneklerin otomatik makinalara öğretilerek gerçekleştirilebilmesini sağlayan bilgisayar sistemleridir. YSA, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ilk olarak beyni oluşturan nöronlar üzerinde modellemelere başlanmıştır ve daha sonra bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

YSA’lar birçok karmaşık işlemi, yapılarındaki çoklu hücreler sayesinde eş zamanlı olarak hızlı şekilde gerçekleştirebilirler. Öğrenme sırasında giriş çıkış bilgileri tanımlanarak kurallar belirlenir ve böylece sistem uygulamalarımızda kullanılacak hale getirilirler. YSA’ların bazı eksik bilgiler ve sorunlu hücrelerle dahi çalışabilmesi hata

toleranslarının var olduğunu göstermektedir. Buda herhangi bir performans kaybı yaşatmayacağı için tercih edilme sebeplerinden sadece bir tanesidir.

Yazılım yardımıyla daha kolay kurulabilen yapay sinir ağları, yine yazılımsal olarak çalıştırılabilmesi de rahat olabilecek modellerdir. Ancak elektronik devrelerle kurulan yapay sinir ağı modelleri doğal olarak yazılım ile kurulan modellere kıyasla daha hızlı sonuca ulaşabilecektir. Bu sebepten dolayı, yapay sinir ağları günümüzde yazılımsal olarak kurulup, çalıştırılıp, test edilmekte ve gerekli tüm değişiklikler ve dinamik güncellemeler yapılmakta, ardından sonuçlara göre karar verilmektedir. Eğer elde edilen sonuçların başarısı %99'lar ifade edilebiliyorsa, o zaman gerekli görüldüğü takdirde model elektronik devreler üzerine aktarılmaya çalışmaktadır. Böylece yapay sinir ağı modelleri, gerçek yaşama uygulanmak üzere fiziksel bir platform üzerinde hazır hale getirilmiş olmaktadır.

4.6. Yapay Sinir Ağları Kullanarak Konum Tespiti Uygulamamız

Bu tezde gerçekleştirilen ikinci uygulama yapay sinir ağları kullanılarak konum tespitinin gerçekleştirilmesidir. Kapalı ortamda konum tespiti yapabilmek için 10x10 m²'lik bir alan seçilmiştir. Bu ortamın her bir köşesine sıcaklık ölçebilen bir sensör yerleştirilmiştir. Bu sensör MSP430 kontrolördür. Ölçülen sıcaklık bilgisi Bluetooth HC-06 modülü ile ortamda bulunan mobil bir telefona iletilmektedir. Kurulan bu deneysel ortamda mobil telefon konumu tahmin edilecek sensör veya düğümdür. MSP430 kontrolör 10 pin GPIO, dahili sıcaklık sensörü, 8 kanal 10 bit ADC, 2KB flash ve 128 Bayt RAM'e sahiptir. HC06 Bluetooth-Serial Modül Kartı, Bluetooth SSP(Serial Port Standart) kullanımı ve kablosuz seri haberleşme uygulamaları için tasarlanmıştır. Bluetooth 2.0'ı destekleyen bu kart, 2.4GHz frekansında haberleşme yapılmasına imkan sağlayıp açık alanda yaklaşık 10 metrelik etkili haberleşme mesafesine sahiptir.

Şekil 4.9, kullanılan MSP430 kontrolör ve HC-06 Bluetooth modüllerini göstermektedir.



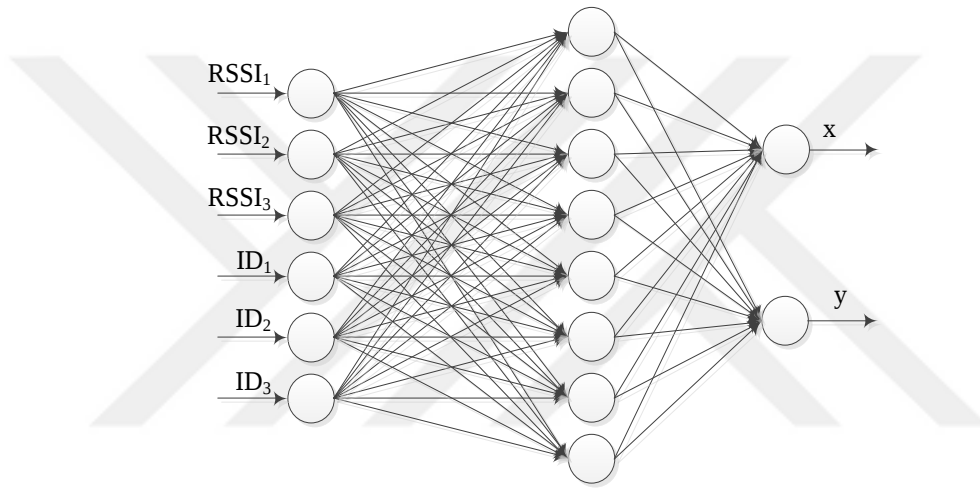
Şekil 4. 9. MSP430 kontrolör ve HC-06 bluetooth modül

Android tabanlı bir yazılım ile Mobil telefon, anchor sensörlerden Bluetooth aracılığı ile iletilen hem sıcaklık hem de gelen sinyalin RSSI değerini ölçebilmektedir. Mobil telefonun konumunun belirlenebilmesi için ortamdaki 4 farklı sensörden elde edilen RSSI değerlerinden en yüksek 3 değer konum tahmini için kullanılmaktadır. Şekil 4.10 Sensörden elde edilen RSSI değerinin mobil telefon ile ölçümünü göstermektedir.



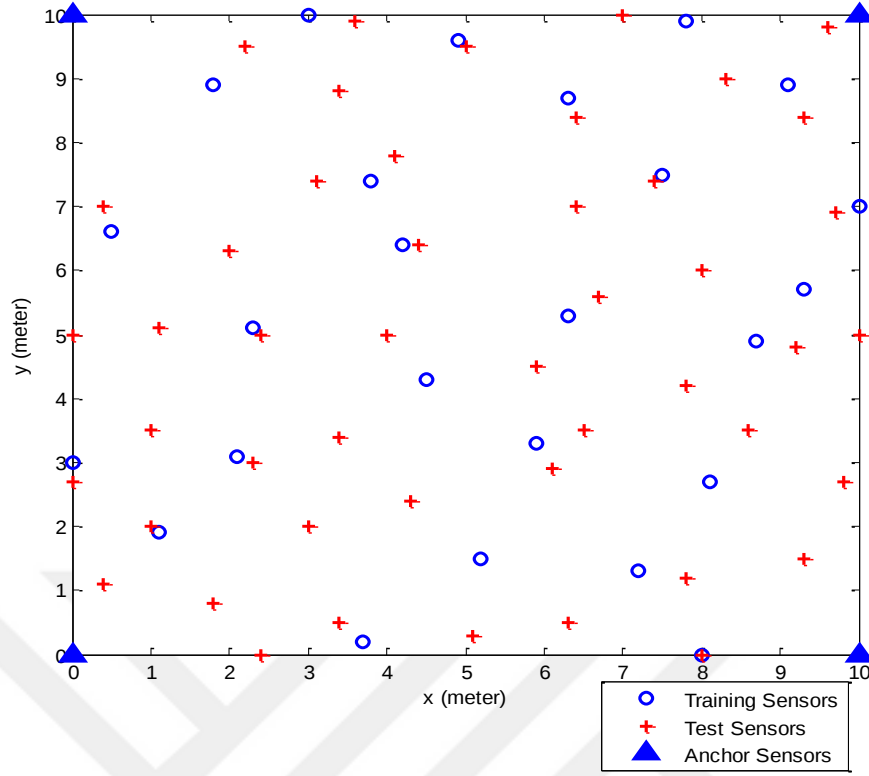
Şekil 4. 10. Mobil telefon ile RSSI ölçümü

Konum tahmini için RSSI ölçümlerinin yanı sıra RSSI ölçümlerinin hangi anchor sensörlerden elde edildiği de önemlidir. Çünkü YSA'nın ortamı öğrenebilmesi için ölçülen RSSI ve anchor sensör konumlarına ihtiyaç vardır. Bu amaçla şekil 4.11'deki 3 katmanlı YSA modeli kullanılmıştır. YSA toplam 6 giriş ve 2 çıkışa sahiptir. Girişler RSSI ve anchor sensör numaralarıdır. Çıkışlar ise konumu tahmin edilecek mobil telefonun konumudur. Ağın eğitilmesi için Hiperbolik Tanjant Sigmoid ve Lineer Transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Ağın eğitilmesinde geriye yayılım algoritması kullanılarak ağırlıklar güncellenmiştir. Ağın eğitimi için hata değeri olarak 0,01 ve öğrenme oranı olarak ta 0,005 değerleri alınmıştır.



Şekil 4. 11. 3 Katmanlı YSA modeli

YSA modelinin eğitimi için şekil 4.12'de gösterilen sensör konumları kullanılmıştır. Toplam 25 eğitim verisi kullanılmıştır. Ortamın (0,0) (0,10) (10,0) (10,10) koordinatlarına ID numaraları sırasıyla 1,2,3,4 olan anchor sensörler yerleştirilmiştir. YSA modeline giriş olarak verilen eğitim verisinin bir bölümü Tablo 4.2'deki gibidir.



Şekil 4. 12. Eğitim ve test ortamı

Tablo 4. 2 . Örnek YSA eğitim verileri

$RSSI_1$	$RSSI_2$	$RSSI_3$	ID_1	ID_2	ID_3
-76.8	-66.28	-72.19	1	2	3
-72.51	-75.93	-69.25	1	3	4
-78.66	-53.57	-76.83	1	2	3
-77.83	-61.93	-76.56	2	3	4

Tablo 5, mobil telefonun ortamdaki anchor sensörlerden gelen sinyaller içerisinde en yüksek 3 RSSI değerini ve bu değerlerinin hangi anchor sensörlerden elde edildiğini göstermektedir. Eğitim verileri YSA girişlerine verilerek eğitim süreci tamamlanmıştır. Eğitim sonucunda YSA modeli ile tahmin edilen konumların CL algoritmasına göre konum hatalarının değişimi bölüm 5’deki sonuçlar kısmında karşılaştırılarak verilmiştir.

5. SONUÇLAR

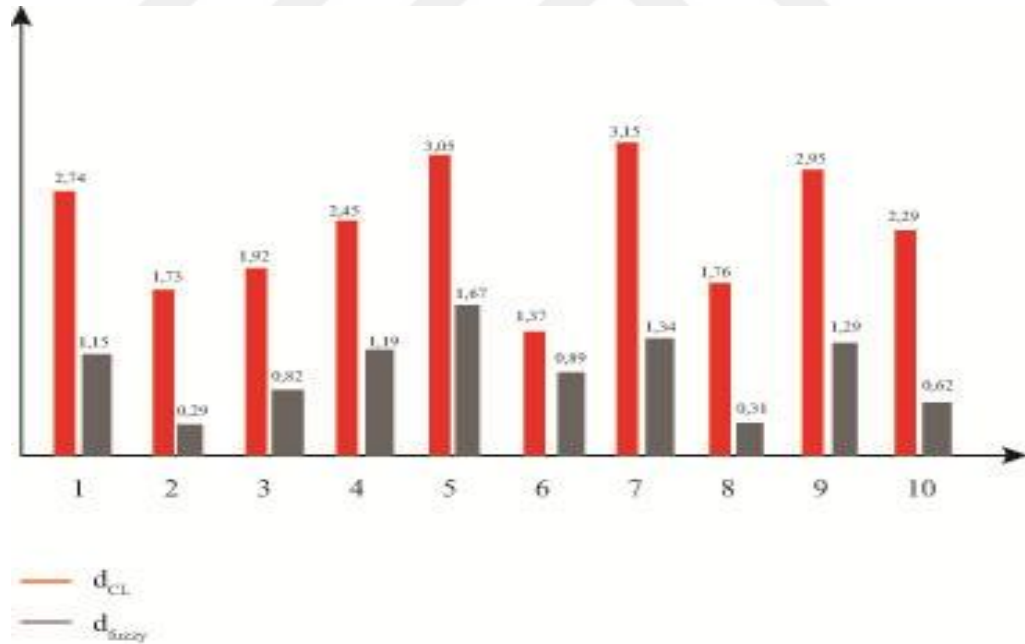
Bulanık mantıkla gerçekleştirdiğimiz uygulamamızda her iki yöntem için elde edilen konum hataları Tablo 5.1’ de verilmiştir.

Tablo 5. 1. d_{cl} ve d_{fuzzy} yöntemleri için verilen konum hataları tablosu

Düğüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_{cl}	2.74	1.73	1.92	2.45	3.05	1.37	3.15	1.76	2.95	2.29
d_{fuzzy}	1.15	0.29	0.82	1.19	1.67	0.89	1.34	0.31	1.29	0.62

CL yöntemine göre toplam konum hatası 2.313 metredir. Bulanık mantık temelli sistemde ise toplam konum hatası 1.351 metredir.

Bölüm 4.3’ deki denklem (4.5) ve (4.6) yardımıyla hesaplanan ortalama konum hatası 2.313 metreden 1.351 metreye indirgenmiş olduğu görülmektedir.

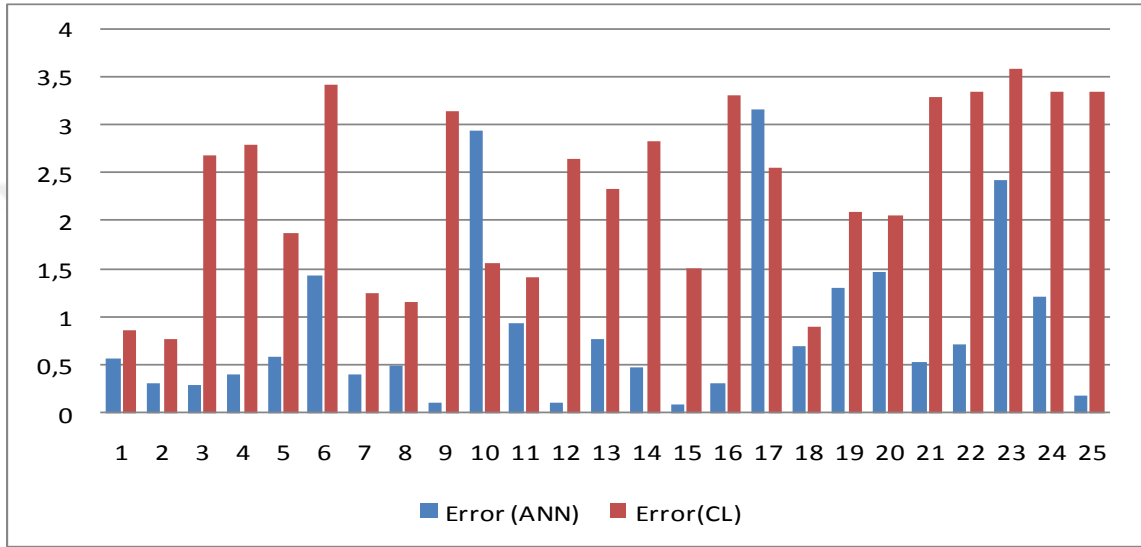


Şekil 5. 1 . d_{cl} ve d_{fuzzy} yöntemleri için verilen konum hataları grafiği

Şekil 5.1’ deki grafikte ise d_{cl} d_{fuzzy} hatalarının oransal gösterimi yapılmıştır. Bu grafik sayesinde hata oranlarının bulanık mantık ile ne kadar azaldığı görülmektedir.

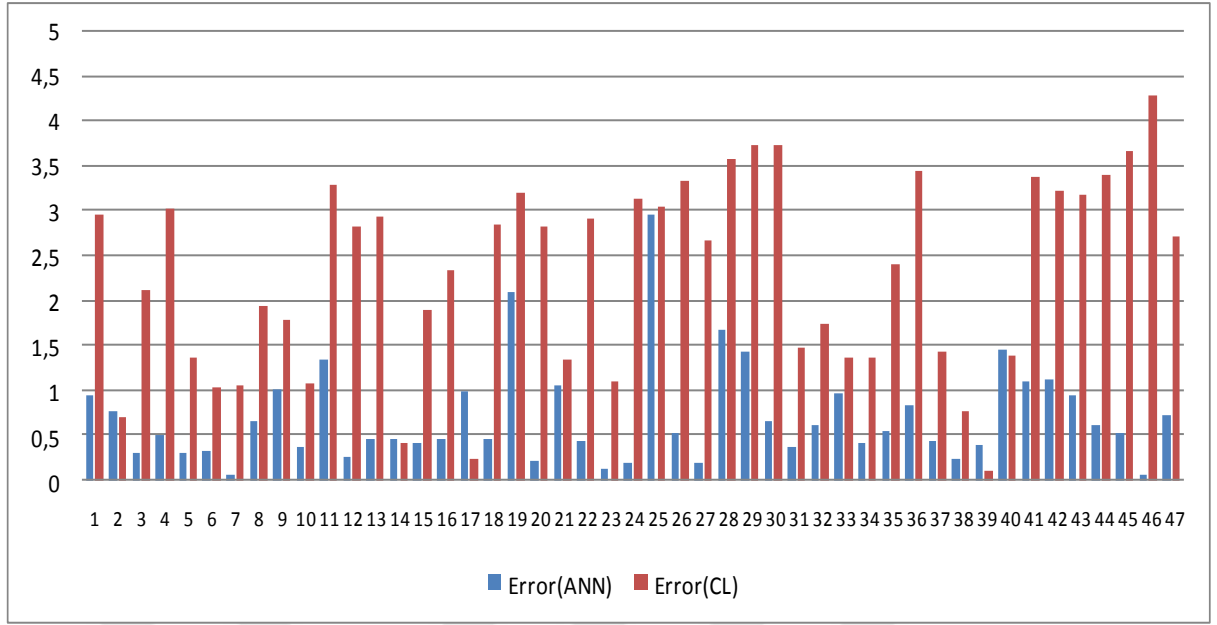
Yapay Sinir Ağlarıyla gerçekleştirdiğimiz uygulamamızda her iki yöntem için elde edilen konum hataları Şekil 5.2’ deki grafikte oransal olarak verilmiştir.

10 ve 17 numaralı sensörlerde hata CL algoritmasına göre daha yüksektir. Bir başka ifade ile bu sensörlerin konumları doğru tespit edilememiştir. Bunun yanı sıra diğer 23 sensör için konumlar daha doğru tespit edilmiştir. Toplam hata CL algoritmasında 58.24 metre iken YSA ile elde edilen sonuçlara göre toplam hata 22 metreye indirgenmiştir.



Şekil 5. 2. Eğitim verilerinin YSA ve CL yöntemine göre konum hataları

YSA eğitimi tamamlandıktan sonra 47 sensör konumu kullanılarak YSA test edilmiştir. 2, 17, 39 ve 40 nolu sensörler için hata CL algoritmasına göre azda olsa yüksek ölçülmüştür. Şekil 5.3 her bir sensör için YSA ve CL algoritması ile elde edilen konum hatalarını vermektedir. CL algoritmasında toplam hata 108.15m iken YSA tabanlı konum belirleme için toplam hata 33.26 m’dir. YSA sisteminde girişleri RSSI ve RSSI değerlerinin ölçüldüğü anchor sensör ID numarasıdır. RSSI değerleri ise android programlama ile bir mobil telefon tarafından ölçülmüştür.



Şekil 5. 3. Test verileri için elde edilen konum hatalarının CL ve ANN'ye göre değişimi

Sensör konum tahmini kablosuz sensör ağlarda önemli bir problemdir. Bu tezde sensör konumlarının tahmin edilmesi için Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları tabanlı bir sistem sunulmuştur. Bulanık Mantıkla yaptığımız uygulamayı Centroid lokalizasyon ile karşılaştırdığımızda hatanın % 41.59 oranında azaltıldığı görülmektedir. Yapay Sinir Ağları ise Centroid lokalizasyon tabanlı konum belirleme ile karşılaştırıldığında konum hatası %30 civarlarına kadar azaltılmıştır. Konum hatasının minimum seviyelere indirgenmesi için ortamda daha fazla anchor sensör kullanılabilir. Bunun yanı sıra YSA modelinde katman sayıları nöron sayıları arttırılması ile de hata minimum seviyelere indirgenebilir.

KAYNAKÇA

- [1]. **Soylu T.** (2012) Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları ve Bir Algılayıcı Düğüm Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2012.
- [2]. **Tuncer S., Tuncer T.** (2015), RSSI ve LQI Kullanarak Bulanık Mantık Tabanlı Konum Belirleme, 978-1-4673-7386-9/15/\$31.00 ©2015 IEEE.
- [3]. **Bekçibaşı U., Tenruh M.** (2010) Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Saptama Teknikleri ve Mesafe Bağımlı Tekniklerde Dördüncü Çapa Yaklaşımı.
- [4]. **Merret, D. G., Tan, D.Y.**, (2010), "Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design", India: InTech, ISBN 978-953-307-321-7.
- [5]. **Polastre, J.,Szewczyk, R., Culler, D.**, (2005), "Telos Enabling Ultra-Low Power Research", Information Processing in Sensor Networks/SPOTS, Berkeley.
- [6]. **Karasulu, B., Toker, L., Korukoğlu, S.**, (2009), "ZigBee - IEEE 802.15.4 Standartı Temelli Kablosuz Algılayıcı Ağları", XIV. Türkiye'de İnternet Konferansı - Inettr'09, Bilgi Üniversitesi, Bildiri No: 9, İstanbul, Türkiye.
- [7]. **Chandra, P.,Dobkin, D. M., Bensky, A., Olexa, R., Lide, D., &A.Dowla, F.**, (2008), "Wireless Networking", USA, Elsevier Newnes, ISBN-10: 0750685824.
- [8]. **Rackley, S.**, (2007), "Wireless Networking Technology", Oxford UK, Newnes, ISBN 9780750667883.
- [9]. **Ma, Y.,Chen, J., Huang, Y., Lee, M.**, (2010), "An Efficient Management System for Wireless Sensor Networks", Sensors 2010, 10(12), 11400-11413.
- [10]. **Agha, K., Bertin, M. H., Dang, T., Guitton, A., Minet, P., Val, T., &Viollet, J.** (2009), "Which Wireless Technology for Industrial Wireless Sensor Networks", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 56, Issue 10, Page 4266 – 4278.
- [11]. **Özçekiç, E.**, (2005), "Akıllı Ev Sistemleri", İstanbul, Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi.
- [12]. **Raludi, R.**, (2011), "Building Wireless Sensor Networks", USA, O'Reilly, ISBN 0596807732.
- [13]. **Okdem, S.,Karaboga, D.**, (2009), "Routing in Wireless Sensor Networks Using an Ant Colony Optimization (ACO) Router Chip", Sensors 2009, 9, 909-921.
- [14]. **Figueiredo, C. M.,Nakamura, E. F.**, (2009), "A Hybrid Adaptive Routing Algorithm for Event Driven Wireless Sensor Networks", Sensors 2009, 9, 7287- 7307.
- [15]. **Pekmezci M.** (2010) Kablosuz Sensor Ağlarında Lokalizasyon Problemi, Kasım 2010.
- [16]. **Bekçibaşı U., Tenruh Mahmut,** Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Saptama Teknikleri ve Mesafe Bağımlı Tekniklerde Dördüncü Çapa Yaklaşımı.
- [17]. **Kadioğlu T, Dinçer H, Kuzlu M.** (2011) Kablosuz Duyarga Ağlarında Konum Belirleme.
- [18]. **Sümbüllü D., Ceylan O,** (2010) Telsiz Sensör Ağlarında Konum Belirleme.

ÖZGEÇMİŞ

Sevil TUNCER, 27 Haziran 1992 yılında Elazığ ili Merkez’de doğdu. İlk ve orta eğitimini 1998-2006 yılları arasında Mehmetçik İlk Öğretim Okulu’nda, Liseyi 2006-2010 yılları arasında Çubuk Bey Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Ardından 2010 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümünü kazandı. Üniversiteden 2014 yılında mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisansa başladı. Aynı süreçte 10 aylık zaman dilimi kadar Fırat Teknokent bünyesindeki ALYAZ Yazılım ve Bilgi Teknolojileri’nde iş tecrübesi edindi. 2017 yılında merkezi atama ile İçişleri Bakanlığı Göç İdaresi Genel Müdürlüğü’ne atandı. Halen görevine devam etmektedir.