

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR KABLOSUZ ÖLÇÜM SİSTEMİNİN IEEE 802.15.4 (ZİGBEE) STANDARDI
KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Elektronik Müh. Altan SOMAY

**AĞUSTOS 2009
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR KABLOSUZ ÖLÇÜM SİSTEMİNİN IEEE 802.15.4 (ZİGBEE) STANDARDI
KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Elektronik Mühendisi Altan SOMAY

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Elektronik Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12.06.2009
Tezin Savunma Tarihi : 07.08.2009**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Temel KAYIKÇIOĞLU

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Cemal KÖSE

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır. “Bir Kablosuz Ölçüm Sisteminin IEEE 802.15.4 (ZigBee) Standardı Kullanılarak Gerçekleştirilmesi” konulu bu çalışmada ilk olarak Kablosuz Algılayıcı Ağları (WSN) ve bu ağların kurulum yöntemleri incelenmiş, daha sonra bir kablosuz algılayıcı ağı standardı olan ZigBee ile kurulan algılayıcı ağı üzerinden analog işaret taşınması test edilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Çalışmamda danışmanlığımı üstlenerek konu seçimimde ve çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA'ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Çalışmanın her aşamasında yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli dönem arkadaşım Cenk ALBAYRAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her aşamasında maddi manevi desteklerini hissettiğim sevgili babam, annem ve kız kardeşime çok teşekkür ederim.

Altan SOMAY
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SEMBOLLER DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Tasarımı ve Özellikleri	2
1.2.1. Kurulum	2
1.2.2. Hareketlilik	3
1.2.3. Maliyet, Boyutlar, Kaynaklar ve Enerji	3
1.2.4. Heterojenlik	3
1.2.5. İletişim Yöntemi	4
1.2.6. Altyapı	4
1.2.7. Ağ Topolojisi	5
1.2.8. Kapsama	5
1.2.9. Bağlanabilirlik	5
1.2.10. Ağ Boyutu	6
1.2.11. Sistem Ömrü	6
1.2.12. Diğer Servis Kalitesi Gereksinimleri	6
1.3. Kablosuz Algılayıcı Ağı Yöntemleri	7
1.3.1. ZigBee IEEE 802.15.4	7
1.3.1.1. ZigBee Ağı Birimleri	8
1.3.1.2. Ağ Topolojileri	8
1.3.1.3. ZigBee Mimarisi	10
1.3.1.4. ZigBee – Bluetooth Karşılaştırılması	10
1.3.2. WirelessHART	11

1.3.2.1.	WirelessHART – ZigBee Karşılaştırılması	13
1.3.3.	CyFi Low Power RF	14
1.4.	Bu Çalışmanın Önemi	17
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	19
2.1.	Bir Kablosuz Ölçüm Sisteminin IEEE 802.15.4 (ZigBee) Standardı Kullanılarak Gerçekleştirilmesi	19
2.1.1.	ADC	20
2.1.2.	İşlemci (MSP430F2274)	22
2.1.2.1.	MSP430F2274 Mimarisi	22
2.1.2.2.	Esnek Saat Sistemi	23
2.1.2.3.	Adres Uzayı	23
2.1.3.	ZigBee Alıcı-Vericisi (CC2480)	25
2.1.3.1.	ZigBee IEEE 802.15.4 Modülasyon Formatı	26
2.1.3.2.	Demodülatör, Sembol Senkronizasyonu ve Veri Kararı	27
2.1.3.3.	IEEE 802.15.4 MAC	28
2.1.3.3.1.	CSMA-CA Algoritması	28
2.1.3.3.2.	Veri Transfer Modeli	31
2.1.3.3.	Çerçeve Formatı	33
2.1.4	Bilgisayar	34
2.2.	EKG İşaretinin Kablosuz Ölçüm Sistemi ile Taşınması Uygulaması	36
3.	ELDE EDİLEN SONUÇLAR	38
3.1.	Doğruluk – Mesafe Testi	38
3.2.	Kapasite Testi	39
4.	SONUÇLAR	42
5.	ÖNERİLER	43
6.	KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Son 20 yılda kablosuz haberleşme sistemlerinde önemli gelişmeler olmuştur. Yüksek frekans yarı iletken devrelerindeki gelişmeler ve anten boyutlarının küçülmesinin radyo haberleşmelerine katkısı büyük olmuştur. Diğer bir önemli etken ise batarya teknolojisindeki gelişmeler ve radyo frekans katlarında çalışan yükselteçlerin verimli kullanılması olmuştur.

Algılayıcı ağlarının sayısal radyo ile kurulması ve geniş ölçekli ağ yapısının oluşturulması son birkaç yıla kadar sürekli gelişmekte ve olgunlaşmakta olan teknolojinin sadece bir uygulamaya yönelik biçimlendirilmesidir. Bu biçimlendirme IEEE 802.15.4 (ZigBee) gibi standartların ortaya çıkması ile olmaktadır.

Bu çalışma bir kablosuz bağlantı ile okunan, taşınabilir ve batarya ile çalışan bir ölçüm cihazını geliştirmekte olan sayısal radyo sistemleri ile kurmayı amaçlamıştır. İki ana hedef bu çalışmanın motivasyonu olmuştur. Bunlardan ilki batarya ile beslenen sistemlerin eğer yerel ağ ile galvanik bağlantısı yok ise şebekeden etkilenmeden daha doğru ölçüm yapmak, ikincisi ise ölçüm sisteminin elde ettiği veriyi genel amaçlı olarak geliştirilebilecek bir radyo sistemi ile bir ana sisteme aktarmaktır. Çalışmada öncelikle geliştirmekte olan algılayıcı ağ yapıları ve bu yapıların temel bileşenleri incelenmiş ve irdelenmiştir. Sonuç olarak sistem tasarımının iki büyü kuruluş olan IEEE ve ZigBee Alliance tarafından desteklenen ZigBee ağında gerçekleştirmenin daha geçerli ve daha geniş kullanımlı olacağı tespit edilmiştir.

Çalışmada MSP430Fxx işlemcilerde bulunan çok kanallı ADC ünitesi yardımıyla analog işaret ölçülmüş, IEEE 802.15.4 (ZigBee) radyo ağı kullanılarak bu bilgi bir USB uzantılı cihaza aktarılmış ve buradan da PC ye aktararak gözleme ve depolama yapılmıştır. Sonuç olarak uzaktan yapılan ölçümlerin sınırlamalarının belirlenmesine ilişkin deneysel veriler elde edilmiştir. Bu çalışmanın ZigBee ve benzeri ağların kurulmasını amaçlayan araştırmacılara ve bu teknolojinin sınırlamalarını öğrenmek isteyen akademik ve uygulama personeline yardımcı olacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağları, Düşük Güçlü Radyo, ZigBee (IEEE 802.15.4), Kablosuz Ölçüm Sistemi.

SUMMARY

Implementation of A Wireless Measurement Probe using IEEE 802.15.4 (ZigBee) Standard

Last two decades have been the time of very important progresses exhibited on digital radio communications. The developments on high frequency semiconductor device and the required smaller sizes for antennas at high frequencies have been effective on these developments. On the other hand the improvements on battery technology and efficiencies on high frequency power amplifiers were other contributors to digital radio systems.

Latest developments on this area, the use of digital radio for sensor networks and expanding its network topologies, are just a reformation of currently advanced wireless local area networks (WLAN) for a low cost, smaller size and lower power consumption solution. This reformation has led to establish new standards such as IEEE 802.15.4 (ZigBee).

In this work a measurement probe, which would be portable, battery powered and accessible by a wireless link, is proposed. There are two main reasons for this motivation. First, battery powered measurements are more accurate, since the mains power effects the systems noise profile, and secondly there is a significant interest on the transmission of the measured data to a system in order to draw and present in more complicated systems, i.e. a PC, other than a single line display, or store in a greater size memory. Therefore, the trends on the wireless sensor networks and their components were studied priory to implementation. In the end, the IEEE 802.15.4 (ZigBee) standards have been found more appropriate solution for the proposed study in order to work on a technology valid universally, since there are two major organizations, IEEE and ZigBee Alliance, supporting the standards.

In the implementation, the analog signal is sampled by the analog digital converter (ADC) embedded in the processor (MSP430Fxx) and transmitted by a ZigBee transceiver to another ZigBee device which has another MSP430Fxx processor with an attached universal serial bus (USB) port. A PC collects the measured data via USB port draws and stores. The study has been continued to obtain the main limitations and measure the error performance of the designed link. This study would be helpful to researchers and engineers working on wireless sensor networks and similar technologies in terms of understanding limitations as well as its implementation aspects.

Keywords: Wireless Sensor Network, Low Power RF, ZigBee (IEEE 802.15.4), Wireless Measurement System.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kablosuz algılayıcı ağı	2
Şekil 1.2.	Topoloji modelleri	8
Şekil 1.3.	ZigBee ile Bluetooth'un karşılaştırılması	11
Şekil 1.4.	Bir WirelessHART ağı	12
Şekil 1.5.	CyFi'da aktif link yönetimi	15
Şekil 1.6.	CyFi'da aktif güç yönetimi	16
Şekil 1.7.	ZigBee ile CyFi yöntemlerinin kod boyutu karşılaştırması	16
Şekil 2.1.	Kablosuz ölçüm sistemi akış diyagramı	19
Şekil 2.2.	ADC10 akış diyagramı	21
Şekil 2.3.	MSP430 mimarisi	22
Şekil 2.4.	Hafıza haritası	24
Şekil 2.5.	İşlemci ile alıcı-verici bağlantısı	25
Şekil 2.6.	Modülasyon ve yayılma işlevi	26
Şekil 2.7.	Sıfır-Sembol chip serisi iletilirken I/Q fazları	27
Şekil 2.8.	Demodülatör akış diyagramı	28
Şekil 2.9.	CSMA-CA algoritması akış diyagramı	30
Şekil 2.10.	Yol gösterici bulunan bir ağda aygıttan koordinatöre veri gönderimi	31
Şekil 2.11.	Yol gösterici bulunmayan bir ağda aygıttan koordinatöre veri gönderimi	32
Şekil 2.12.	Yol gösterici bulunan bir ağda koordinatörden aygıtı veri gönderimi	33
Şekil 2.13.	Yol gösterici bulunmayan bir ağda koordinatörden aygıtı veri gönderimi	33
Şekil 2.14.	IEEE 802.15.4 Çerçeve formatı	34
Şekil 2.15.	MSP430 programı ekran görüntüsü	34
Şekil 2.16.a.	MSP430 Programı "COM Port Seçin" sekmesi ekran görüntüsü	35
Şekil 2.16.b.	MSP430 Programı "Veri Okuma - Çizme" sekmesi ekran görüntüsü	35
Şekil 2.17.	Batarya ile beslenen kablosuz ölçüm sistemi ile bir EKG işaretinin taşınması	36
Şekil 2.18.	Şebeke ile beslenen kablosuz ölçüm sistemi ile bir EKG işaretinin taşınması	37
Şekil 3.1.a.	10kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü	40

Şekil 3.1.b.	12kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü	40
Şekil 3.1.c.	20kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü	41
Şekil 3.1.d.	25kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü	41

SEMBOLLER DİZİNİ

A/V	: Alıcı-Verici
ADC	: Analog-Sayısal Dönüştürücü
CCA	: Temiz Kanal Belirleme
CLH	: Salkım Yöneticisi
DCO	: Sayısal Kontrollü Osilatör
DSSS	: Direkt-Seri Yayılı Spektrum
DTC	: Veri İletim Kontrolörü
FFD	: Tam-Fonksiyonlu Aygıt
FHSS	: Frekans Atlamalı Yayılı Spektrum
GFSK	: Gaus Frekans Kaydırmalı Anahtarlama
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi
GSM	: Küresel Gezgin Haberleşme Sistemi
IF	: Ara Frekans
LSB	: En Düşük Değerli Bit
MAC	: Ortam Erişim Kontrolü
O-QPSK	: Ötelemeli-Çeyrek Faz Kaydırmalı Anahtarlama
PAN	: Kişisel Alan Ağı
PHY	: Fiziksel Katman
RF	: Radyo Frekans
RFD	: Azaltılmış-Fonksiyonlu Aygıt
RFID	: Radyo Frekans Kimliklendirme
RSSI	: Alınan İşaret Güç Göstergesi
SFR	: Özel Fonksiyon Kaydedicisi
SPI	: Seri Çevresel Arayüz
T _c	: Çeyrek Periyot Zamanı
TDMA	: Zaman Bölünmeli Çoklu Erişim
USB	: Evrensel Seri Veriyolu
WSN	: Kablosuz Algılayıcı Ağı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

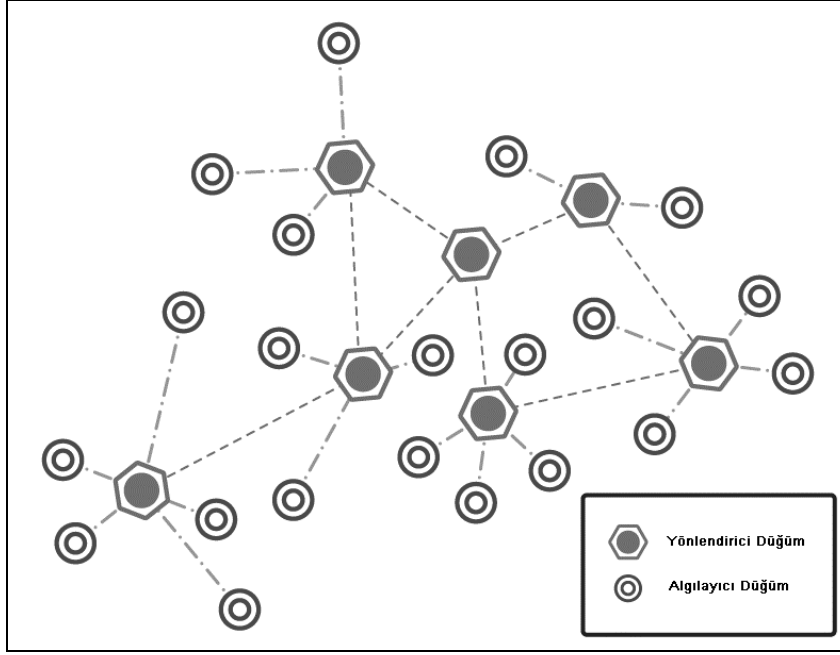
Donanımların ve kablosuz ağ teknolojilerinin gelişmesi sayesinde küçük kablosuz cihazların her zaman her yerde bilgiye ulaşabileceği ve aktif olarak akıllı ortamların yaratılmasına katkıda bulunabileceği yeni bir çağın eşiğine gelindi. Akıllı ortam uygulamalarından bir tanesi de özel amaçlı hazırlanan ve fiziksel olayları algılamak için algılayıcıların bağlanmasıyla kurulan algılayıcı ağlarıdır. Algılayıcı ağları güvenilirlik, esneklik, etkin-maliyet ve kurulum kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı geniş uygulama alanları bulacağı tahmin edilmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağı (wireless sensor network, WSN) temel olarak birbirinden bağımsız sınıflandırılmış cihazların algılayıcılar yardımıyla fiziksel ve çevresel koşulları (sıcaklık, titreşim, basınç v.b.) görüntülemeye yarayan kablosuz bir ağıdır [1][2]. Buna rağmen kablosuz algılayıcı ağları bu günlerde birçok sivil uygulama alanında kullanılmaktadır.

Araştırmaların başlarında kablosuz algılayıcı ağlarının ana motivasyon noktası askeri uygulamalar olmuştur. Güvenlik üzerine yapılan ilk projeler uygulama şekillerine karar vermişler ve çok büyük ölçülerde algılayıcı ağlarının (binlerce düğümlü, geniş coğrafik alanları kapsayan) kurulumuna öncülük etmişlerdir.

Daha sonraları çevresel görüntüleme, tarımsal takip, üretim ve dağıtım işlemleri, sağlık sektörü gibi sivil konular da algılayıcı ağlarının uygulama alanları haline gelmişlerdir. [1][4]

Bir veya daha çok algılayıcılı sistemlerde, algılayıcı ağındaki her düğüm bir radyo alıcı-vericisi veya başka bir kablosuz iletişim cihazı, küçük bir mikroişlemci ve genellikle batarya olmak üzere bir enerji kaynağı içerir. Buna göre algılayıcı düğümü çok küçük ölçekli (birkaç cihazın bağlantıda olduğu) olabileceği gibi, büyük ölçekli (pek çok cihazın bağlantı halinde olduğu) de olabilir. Aynı şekilde algılayıcı düğümlerinin maliyetleri de çok değişkendir. Algılayıcı ağının büyüklüğüne ve karmaşıklığına bağlı olarak yüzlerce dolardan birkaç sente kadar değişiklik gösterebilir [3].



Şekil 1.1. Kablosuz algılayıcı ağı

Şekil 1.1’de basit bir kablosuz algılayıcı ağı şeması görülmektedir. Algılayıcı düğümler üzerlerinde algılayıcı birim barındıran ve algılayıcı vasıtasıyla edindiği bilgileri gözlemciye ulaşmak üzere yönlendiriciye ileten birimlerdir. Yönlendirici düğümler ise algılayıcılardan aldıkları bilgileri gerekli birimlere ulaştırır düğümlerdir.

1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Tasarımı ve Özellikleri

1.2.1. Kurulum

Fiziksel ortamda algılayıcı düğümleri ve dağıtım çeşitli şekillerde olabilir. Düğümler rastgele (örneğin, bir uçaktan bırakılarak) konuşlandırılmış veya kasıtlı olarak seçilen noktalara yerleştirilmiş olabilir. Kurulum tek seferlik bir işlem olup ağın kurulumu ve kullanımı tamamen birbirinden bağımsız aktivitelerdir. Bunun yanında kurulum işlemi ağın kullanımı süresince de devam eden, sürekli bir aktivite de olabilir. Problemler düğümlerin değişimi veya kapsama alanının geliştirilmesi çalışmaları buna örnektir. Kurulum işlemi düğüm yerleri ve düğüm yoğunluğunu birbir etkilediğinden sistem başarımı üzerinde oldukça etkili olur.

1.2.2. Hareketlilik

Algılayıcı düğümlerinin yerleri ilk kurulumdan sonra değiştirilebilir. Bu değişim rüzgâr, su gibi çevresel koşullardan olabileceği gibi gezgin bir birime bağlı bir düğüm de olabilir. Diğer bir deyişle hareketlilik arazi koşullarından olabileceği gibi sistemin bir özelliği de olabilir. Hareketlilik bütün birimlerde olabileceği gibi ağın alt kümeleri için de geçerli olabilir. Hareketlilik derecesi de geniş aralıklarla kısa hareketlilik süreleri olabileceği gibi devamlı bir seyahat söz konusu da olabilir. Hareketlilik unsurunun da ağ dinamiği, ağ protokolleri, ağın tasarımı gibi konularda oldukça fazla etkisi vardır.

1.2.3. Maliyet, Boyutlar, Kaynaklar ve Enerji

Uygulamanın gereklerine ve ihtiyaçlarına bağlı olarak bir düğümün boyutları ortalama bir ayakkabı kutusundan mikroskobik boyutlara kadar değişkenlik gösterebilir. Benzer şekilde tek bir cihaz başına düşen maliyet yüzlerce liradan (az, kuvvetli düğümlü yapılar) birkaç liraya kadar (çok geniş alana hitap eden basit çok düğümlü yapılar) değişkenlik gösterebilir. Algılayıcı düğümleri birbirlerinden bağımsız düşünüldükleri sürece enerjileri sarfiyatları boyutlarına ve maliyetlerine göre değişir. Aynı zamanda enerji kullanımları sistemden sisteme de çok büyük farklılıklara uğrar, örneğin batarya kullanılabilir veya çevre koşulları elverişli ise güneşten faydalanılabilir. Bu durumlar düğümün yazılımının karmaşıklığını belirleyen unsurlardır.

1.2.4. Heterojenlik

Algılayıcı ağlarının ilk zamanlarında birbiriyle yazılım ve donanım olarak çok benzeşen tek tip cihazlardan oluşabileceği fikri hâkimdi. Hatta bazı projelerde düğümlerin birbirinden ayırt edilemeyecek oluşlarını ve bu sebepten dolayı kimliğe de ihtiyaç duymadıkları söylenmiştir. Bu fikrin temelinde aksi halde ucuz maliyetli düğümler elde etmenin mümkün olamayacağı gözlemi vardı.

Ancak bu bugün mevcut prototip sistemlerin hepsi çok çeşitli cihazları içeren sistemlerdir. Düğümler tiplerinden içerdikleri algılayıcı sayılarına farklılıklar gösterebilirler. Bazı güçlü hesap düğümleri veri toplayıp, bu verileri işleme tabi tutup bu

verileri yönlendirebilir; bazı algılayıcı düğümleri GPS gibi özel donanımlarla kuvvetlendirilmiş ve olayların yerleşimleri hakkında bilgi veriyor olabilirler; bazı düğümler ağ geçidi gibi davranıp uzun mesafelerle iletişim kurmaya yardımcı olabilirler.

Bir algılayıcı ağındaki heterojenlik derecesi, düğümlerde işlenen yazılımın karmaşıklığını ve ağın yönetimini etkilediği için oldukça önemli bir faktördür.

1.2.5. İletişim Yöntemi

Algılayıcı düğümleri arasındaki kablosuz iletişimde birçok yöntem düşünülebilir. Bunlar radyo iletişimi, dağınık ışınma, lazer, endüktif ve kapasitif bağlaşım ve hatta ses iletişimi bile olabilir.

En yaygın yöntemse radyo dalgalarıdır. Çünkü temiz bir görüş hattına ihtiyaç duymaz ve orta mesafede iletişim oldukça düşük güçlerle ve küçük antenlerle (yaygın frekanslarda birkaç cm) sağlanabilir. Işık kullanımı ise temiz görüş hattı isteyen, gün ışığından veya çevredeki ışıklardan etkilenebilen, ama radyoya kıyasla çok küçük enerjilerle çalışabilecek alıcı-vericiler gerektirir. Endüktif ve kapasitif bağlaşım yöntemi ise algılayıcı düğüme güç sağlayabilmesine rağmen çok kısa mesafelerde kullanılabilir. Örneğin en pasif RFID sistemler bu yöntemi kullanırlar.

İletişim yöntemi açıkça ortam erişim yöntemlerini ve iletişim protokollerini etkiler.

1.2.6. Altyapı

Çeşitli iletişim yöntemleri ağ kurulumu için değişik şekillerde kullanılabilir. İki yaygın şekil de *altyapı tabanlı* ve *özel amaçlı* ağlardır. Altyapı tabanlı ağlarda algılayıcı düğümleri sadece baz istasyonu olarak tanımlanmış cihazlarla direkt olarak iletişim kurabilir. Düğümler arası iletişim baz istasyonu vasıtasıyla sağlanır. Eğer birden çok baz istasyonu varsa bunlar birbirleriyle iletişim kurabilirler. Baz istasyonu sayısı düğüm sayısına ve kapsaması istenen alanın büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Hücrel haberleşme sistemleri (örneğin GSM) bu tip iletişimin bir örneğidir.

Özel amaçlı ağlarda düğümler bir altyapıya ihtiyaç duymadan direkt olarak birbirleriyle iletişim kurabilirler. Düğümler, yönlendirici olarak çalışabilirler ve mesajları birbirleri üzerinden başka düğümlere ulaştırabilirler (örneğin taşıttan taşıta yapılan haberleşmeler [vehicular communication]).

Altyapı kurulumlarının fazla maliyetli oluşu ve yapılabilirliği çok yüksek olmayışı sebebiyle uygulamalarda özel amaçlı ağlar çoğunlukla tercih edilir. Ancak eğer kullanılabilir bir altyapı hazırda varsa bu da kullanılabilir.

Özel amaçlı ağlarla altyapı tabanlı ağların zaman zaman birlikte kullanılmaları da mümkün olabilir. Bir algılayıcı ağının iki kümesi bir altyapı üzerinden iletişim kurabilir.

1.2.7. Ağ Topolojisi

Bir algılayıcı ağının bir önemli özelliği de çapıdır. Bu iki düğüm arasında en fazla kaç bağlantı dizisi (hop) kurulabildiğini gösterir. En basit şekilde algılayıcı ağı tek bağlantı dizisinden oluşabilir. Burada bütün algılayıcı düğümleri direkt olarak bir başka düğümlerle iletişim kurarlar. Altyapı tabanlı ağlarda bir baz istasyonlu bir yapı yıldız ağ yapısında 2 çaplı bir sistemdir. Çok bağlantı dizili bir ağ keyfi bir şekilde çizilebilir.

Topoloji gecikme, sağlamlık ve kapasite gibi birçok karakteristiği etkiler. Ayrıca veri yönlendirmenin karmaşıklığı topolojiye bağlıdır.

1.2.8. Kapsama

Bir algılayıcı düğümünün etkili olduğu mesafe o düğümün kaplama alanını verir. Ağın kapsamı ilgili düğümler tarafından bölgenin kapsama düzeyinin ölçüsüdür. Seyrek kapsama ile ilgili alanın sadece bazı bölgeleri kapsanmış olur. Sıkışık kapsama ile ilgili alan tamamen veya neredeyse tamamen kapsanmış olur. Aşırı kapsama söz konusu ise aynı fiziksel alanı birden fazla algılayıcı kapsıyor olabilir. Gerçek kapsam düzeyi doğru gözlemler ve gerekli bolluk göz önüne alınarak tespit edilir.

Kapsama düzeyi bilgi işleme algoritmalarını etkiler. Yüksek kapsama sağlam sistemin anahtarıdır ve artık düğümleri bekleme konumuna geçirerek ağ ömrünü uzatabilir.

1.2.9. Bağlanabilirlik

İletişim mesafeleri ve her bir düğümün fiziksel yerleri ağın bağlanabilirliğini verir. Eğer iki düğüm arasında daima iletişim kurulabiliyorsa ağ bağlı denebilir. Eğer ağ aralıklı parçalara bölündüyse bağlantı süreksizdir. Eğer düğümler çoğu zaman yalıtılmışsa ve diğer düğümlerin menziline arada sırada giriyorsa iletişim seyrek olabilir. Bağlanabilirlik veri toplama metodlarını ve iletişim protokolü tasarımı etkiler.

1.2.10. Ağ Boyutu

Bir ağdaki düğüm sayısı ağ bağlanabilirliği, kapsama düzeyi ve kapsanması istenen alanın büyüklüğü gibi gerekliliklerle belirlenir. Ağ büyüklüğü birkaç düğümden binlerce düğüme kadar değişebilir.

1.2.11. Sistem Ömrü

Uygulamaya bağlı olarak bir algılayıcı ağının ömrü birkaç saat de sürebilir birkaç yıl da. Sistem ömrü istenen enerji verimliliği ve düğüm sağlamliğı konularında büyük etkiye sahiptir.

1.2.12. Diğer Servis Kalitesi Gereksinimleri

Uygulamalara bağlı olarak bir algılayıcı ağı, gerçek zamanlı çalışma, sağlamlık, müdahaleye dirençli, başkaları tarafından dinlenememe, gibi servis kalitesi özelliklerini de sağlamalıdır.

1.3. Kablosuz Algılayıcı Ağı Yöntemleri

1.3.1. ZigBee IEEE 802.15.4

ZigBee teknolojisi ile düşük hızlı, düşük güç gerektiren, düşük maliyetli, otomasyon ve uzaktan kumanda yöntemleri ile kablosuz ağ kurma protokolü hedeflenmiştir. IEEE 802.15.4 komitesi kısa bir zaman sonra düşük veri hızlı bir standart üzerinde çalışmaya başlamıştır. Bunun üzerine ZigBee Birliği ile IEEE teknolojinin ismini ZigBee koymaya karar vermişlerdir.[5]

ZigBee Bluetooth gibi teknolojilerde sağlanan veri hızlarını gerektirmeyen fakat uzun batarya ömrü gerektiren cihazlara düşük maliyetli düşük güçlü bağlanabilirlik sunmayı amaçlar. Ek olarak ZigBee Bluetooth'un aksine geniş ağlara adapte olabilmektedir. ZigBee, RF biriminin çıkış gücüne göre değişmek üzere 10-75 metre menzilde çalışmayı amaçlayan ve uluslar arası lisanssız bantlarda (2.4GHz uluslar arası, 915MHz Amerika, 868MHz Avrupa) çalışacak cihazlar için çok uygundur. Veri hızı 2.4GHz'de 250kbps, 915MHz'de 40kbps ve 868MHz'de 20kbps'dır.

IEEE ve ZigBee Birliği bütün protokol yığını belirlemek için birlikte çalışmaktadırlar. IEEE 802.15.4 daha alt katmanlar olan fiziksel katman ve veri bağlantı katmanı özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Diğer taraftan ZigBee Birliği ise ağlar arası çalışabilme, güvenlik servisleri, kablosuz ev ve iş yeri kontrol çözümleri gibi alanlar için protokolün üst katmanlarını (ağ – uygulama arası) geliştirmek üzere ve standardın pazarlanması, gelişmesi yönündeki mühendislik çalışmaları üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun tüketicilere farklı markalardan satın alınan malların birlikte çalışabileceğine ilişkin güvence vereceği düşünülmektedir.

IEEE 802.15.4 “yıldız, ağ, salkım” isimleriyle bilinen değişik ağ şekilleri oluşturarak PHY ve MAC özelliklerini detaylandırmaktadır. Bu şemalarla geliştirilen ağlar, güç korumasını ve öngörülen zamanlar içinde düşük gecikme zamanlarını garanti eder. ZigBee ağının kendine has bir özelliği de ağlarda “tek noktalı hataları” ortadan kaldıran artık iletişim yollarıdır. Fiziksel katman (PHY), enerji ve iletim yolu kalite kontrolü, temiz kanal değerlendirmesi gibi özellikleri ile diğer ağlarla bir arada çalışabilmeyi sağlamaktadır.

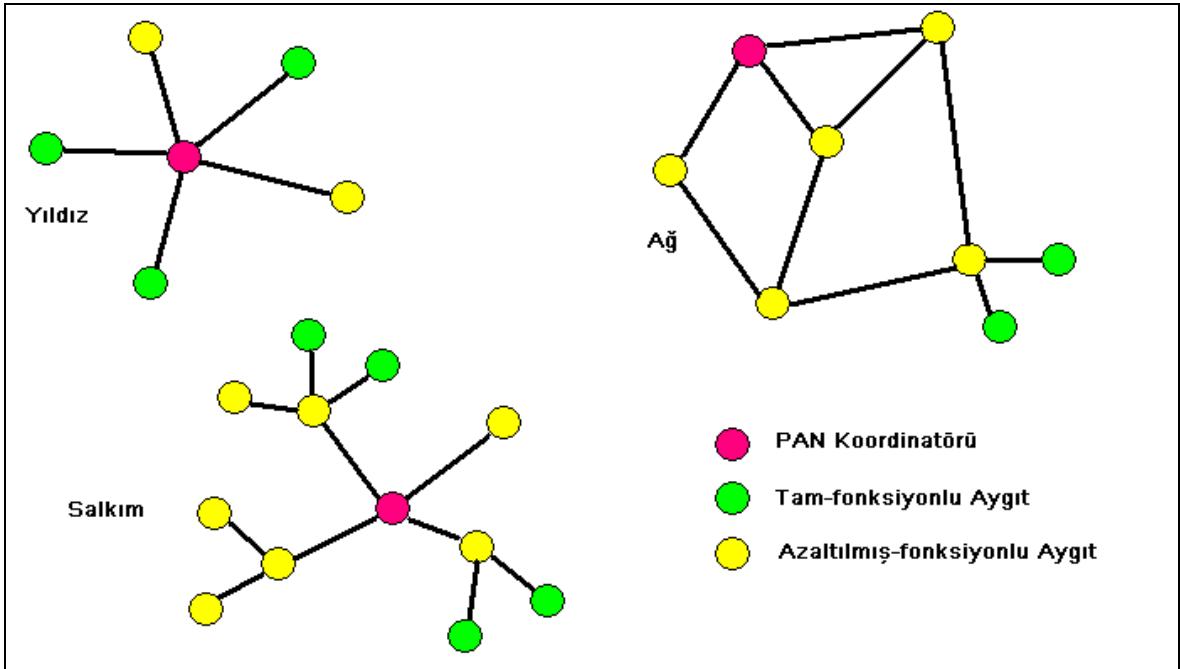
1.3.1.1. ZigBee Ağı Birimleri

Bir ZigBee sistemi birkaç çeşit birim içerir. En basit olanı aygıttır. Aygıt tam-fonksiyonlu aygıt (fully functioned device, FFD) olabileceği gibi azaltılmış-fonksiyonlu aygıt da (reduced functioned device, RFD) olabilir. Bir ağ, kişisel alan ağı (personal area network, PAN) olarak çalışabilmek için en azından bir adet tam-fonksiyonlu aygıtı ihtiyaç duyar.

FFD üç moda çalışabilir: PAN koordinatörü, koordinatör veya aygıt. RFD tamamen basit uygulamalar için tasarlanmıştır ve büyük boyutlarda veriler göndermez. Bir FFD herhangi bir RFD ile veya FFD ile iletişim kurabilir, RFD ise sadece bir FFD ile iletişim kurabilir.

1.3.1.2. Ağ Topolojileri

Şekil 1.2. ZigBee'nin desteklediği 3 ağ şeklini göstermektedir: yıldız topoloji, uçtan-uca topoloji ve salkım.



Şekil 1.2. Topoloji modelleri

Yıldız Topoloji

Yıldız topolojide iletişim aygıtlar ve PAN adındaki bir merkezi kontrolör birimi arasında sağlanır. PAN koordinatörü temel olarak elektrikle beslenirken diğer aygıtlar çoğunlukla batarya ile çalışmaktadırlar. Bu topolojiden yararlanan uygulamalar ev otomasyonları, kişisel bilgisayar birimleri, oyuncaklar ve oyunlar olabilir.

Bir FFD'nin ilk olarak aktif edilmesinin ardından kendi ağını kurabilme ve ağın koordinatörü olabilme özelliği vardır. Her yıldız ağı bir PAN kimliği belirler ve bu kimlik diğer hiçbir ağ tarafından kullanılmıyor olmak zorundadır. Bu durum her ağın bağımsız olarak çalışabilmesine olanak tanır.

Uçtan-Uca Topoloji

Uçtan-uca topolojide de bir PAN koordinatörü vardır. Yıldız topolojiyle farklı olarak burada her aygıtın menzili altındaki diğer bütün aygıtlarla iletişim kurabilmesi söz konusudur. Uçtan-uca bir ağ rastgele bir ağ olabilir. Endüstriyel kontrol ve görüntüleme, kablosuz algılayıcı ağları, mal ve envanter takibi gibi uygulamalar bu topolojiyle kurulan ağlar kullanılabilirler. Ayrıca bir de çok yönlü iletişim destekler ve böylelikle mesajlar ağ içerisinde bir aygıttan başka aygıtlara iletilebilir. Bu da güvenliği ve çok yönlü iletişimi sağlar.

Salkım Topoloji

Salkım ağ şekli uçtan-uca ağ şeklinin özel bir formudur. Burada cihazların çoğunluğu FFD'dir ve istendiğinde RFD sonlandırıcı birim olarak salkıma bağlanabilir. Bütün FFD'ler koordinatör olarak çalışabilirler ve diğer cihazlarla senkronizasyonu sağlayabilirler. İçlerinden sadece bir tanesi PAN koordinatörü olmak zorundadır.

PAN koordinatörü kendini salkım yöneticisi (cluster header, CLH) ilan eder salkımın nasıl olacağına karar verir. CLH ağ kimliği olarak sıfır alır, kullanılmayan bir PAN kimliği seçer ve komşu aygıtlara işaret çerçeveleri yayar. İşareti alan aygıt salkım ağına katılmak isteyebilir. Eğer PAN koordinatörü aygıtın katılmasına izin verirse aygıtı komşuluklarına yavru aygıt olarak ekleyecektir. Yeni katılan aygıt da CLH'yi ana aygıt olarak komşuluklarına ekleyecektir ve diğer aygıtların ağına katılması için periyodik işaret

çerçeveleri göndermeye başlayacaktır. Uygulama veya ağ gereksinimleri karşılandığında PAN koordinatörü bir aygıtta ilk salkıma bitişik olarak yeni bir salkım kurmasını ve CLH olmasını emredebilir. Bu salkımlı yapının avantajı yüksek mesaj gecikmeleriyle ağ kapsama alanının artırılabilmesidir.

1.3.1.3. ZigBee Mimarisi

Şekil 1.2’de de görülebildiği gibi ZigBee teknolojisinde üç çeşit düğüm vardır. Bunlar koordinatör (coordinator), yönlendirici (router) ve sonlandırıcı (end device) olarak sıralanabilir.

ZigBee Koordinatörü (ZBC – 802.15.4) her ağda yalnızca bir tanedir. Ağı başlatır, ağ ile ilgili bilgileri depolar. Bütün aygıtlar ZBC ile iletişim halindedir. Yönlendirme (routing) yapabilir, diğer ağlarla köprü işlevi görür.

ZigBee Yönlendiricisi (ZBR – 802.15.4 FFD) isteğe bağlı bir bileşenlerdir. Düğümler arasında yönlendirme yapar. Ağ kapsamını artırır. Adresleme yapılıp yapılmaması işlevini yönetir.

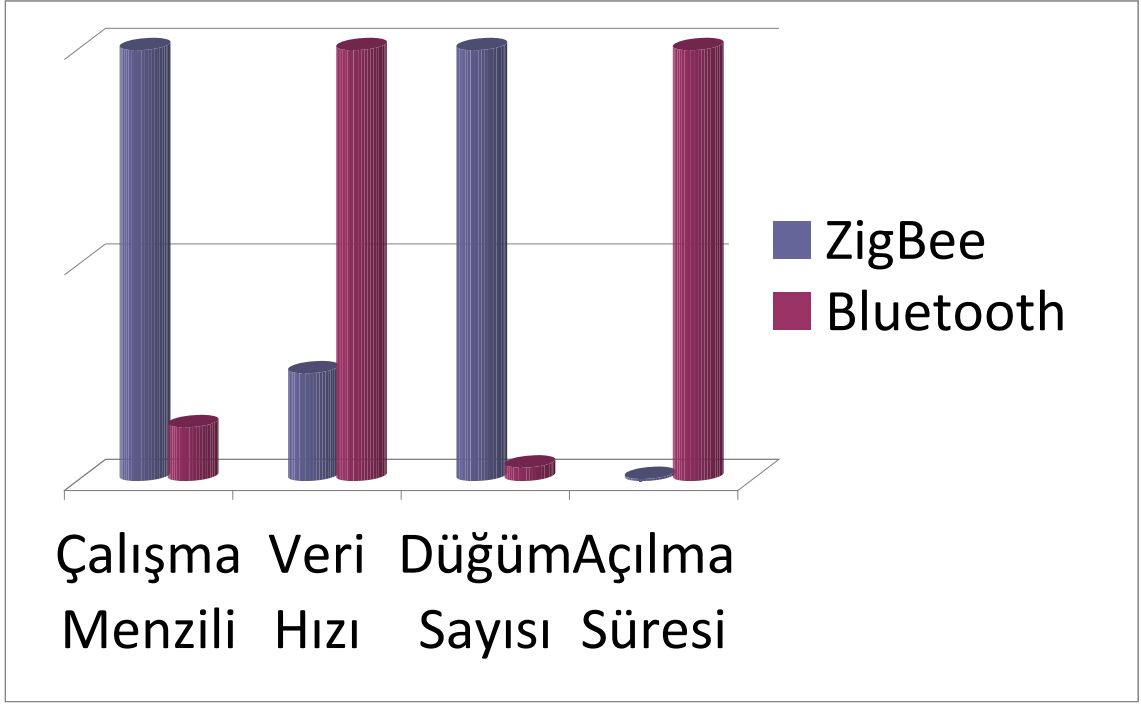
ZigBee Sonlandırıcısı (ZBE – 802.15.4 RFD) düşük güç tüketimini optimize eder. En ucuz aygıt tipidir. Sadece koordinatör ile haberleşir. Algılayıcı (sensör) bu bölümde bulunur [6].

1.3.1.4. ZigBee – Bluetooth Karşılaştırması

ZigBee Bluetooth gibi görünür ama daha basittir, daha düşük bir veri hızına sahiptir ve vaktinin çoğunluğunu uykuda geçirir. Bu da ZigBee ağındaki bir düğümün iki adet AA pil ile 6 aydan 2 yıla kadar çalışabileceği anlamına gelir.

ZigBee’nin operasyon menzili herhangi bir güç yükseltici olmadan 10m sağlayan Bluetooth’a karşılık 10-75m ile çok daha üstündür.

ZigBee 2,4GHz’de 250kbps, 915MHz’de 40kbps ve 868MHz’de 20kbps’lık veri hızlarına sahiptir, buna karşın Bluetooth 1Mbps gibi yüksek bir hızla çalışabilir.



Şekil 1.3. ZigBee ile Bluetooth'un karşılaştırılması

ZigBee küçük veri paketleriyle konuşan seyrek yerleşmiş cihazlara göre ayarlanmış basit bir master-slave yapılandırması kullanır. Bu durum 254 düğüme kadar çıkılmasına olanak verir. Bluetooth protokolü ise ses iletimi ve özel uygulamaya yönelik ağlarda dosya transferi yaptığından daha karmaşıktır. Bu sebeple sadece 8 düğüme kadar izin verir.

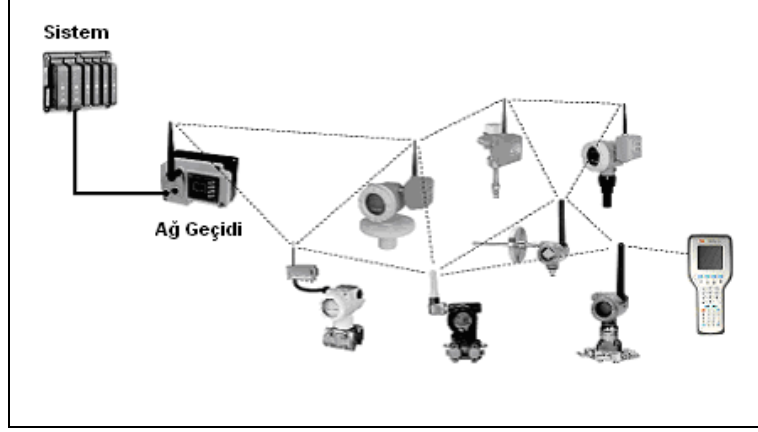
Bir ZigBee düğümünün enerjisi kesildiğinde yeniden açılıp faaliyete geçmesi 15msn civarında iken Bluetooth aygıtında bu durum 3 saniye gerektirir [5].

1.3.2. WirelessHART

WirelessHART da yine standarda adını ZigBee gibi 802.15.4 standardı üzerine geliştirilmiş bir kablosuz algılayıcı ağı sistemidir. Daha çok endüstriyel alanlarda etkili olabilmeyi hedeflemiştir [7].

WirelessHART bazı temel gereksinimler baz alınarak geliştirilmiştir. Bu gereksinimler şunlardır: kolay olmalı, kendini organize edebilmeli, kendini iyileştirebilmeli, esnek olmalı, farklı ölçeklerde kurulabilmeli, güvenilir olmalı, güvenli

olmalı ve mevcut HART teknolojisini (HART komutları, ayarları, araçları) desteklemelidir [8].



Şekil 1.4. Bir WirelessHART ağı

WirelessHART zaman bölünmeli çoklu erişim (time division multiple access, TDMA) tabanlı bir ağıdır. Bütün aygıtlar zamana göre senkronize edilmiştir ve sabit boyutlu belirlenmiş zaman aralıklarında iletişim kurarlar. TDMA, aygıtların çakışmasını ve güç kaybını en aza indirir.

WirelessHART paylaşımlı 2.4GHz bandında başarılı bir şekilde aynı anda var olabilmek için birçok yol kullanır. Frekans Atlamalı Yayılı Spektrum (frequency hop spread spectrum, FHSS) WirelessHART'ın girişimden kurtulması için 802.15.4 standardında tanımlı 16 kanal arasında atlama yapabilmesine olanak sağlar. Temiz Kanal Belirleme (clear channel assignment, CCA) seçilebilen bir özelliktir ve istendiği takdirde mesaj gönderiminden önce koşturulabilir, gönderme gücü ayarlanabilir. Bu sistemde kanallardan birini tamamen kullanım dışı bırakabilen kara liste işlevi vardır. Bütün bu özellikler WirelessHART'ın diğer kablosuz sistemlerin hiçbiri tarafından girişime uğramamasını garanti altına alır.

Bütün WirelessHART aygıtları yönlendirme özelliği barındırmalıdır. ZigBee'deki gibi azaltılmış-fonksiyonlu aygıt burada yoktur. Bütün aygıtların ağ yetenekleri, kurulum, şekillenme ve WirelessHART ağının gelişimi açısından eşit ele alınmaları ağın kendini organize edebilecek kadar basit olmasını sağlar.

WirelessHART ağ tipi yapıyı kullanır (yıldız tipi de mümkündür fakat önerilmez), fiziksel engellerin, kırık veri yollarının ve girişimin etkilerinden kurtulmasını sağlayan artık yollar oluşturur. Ağ yönlendirmesinde iki farklı mekanizma sunulur. Bunlar Grafik

Yönlendirme ve Kaynak Yönlendirmedir. Grafik yönlendirme kaynak aygıttan aldığı bilgiyi hedef aygıtı ulaştırmak için önceden belirlenmiş yolları kullanır. Artık yollardan yararlanabilmek için grafik yönlendirme kaynak aygıtla hedef aygıt arasında birçok farklı yoldan oluşur. Bu iki yön için de geçerli olan mesaj iletiminde tercih edilen yoldur. Kaynak yönlendirme mesaj için yol çeşitliliği olmayan rastgele oluşturulmuş yönlendirme şeklidir. Bu yüzden kaynak yönlendirme mesaj işlemlerinden ziyade ağ tanımlamalarında kullanılır.

WirelessHART ağındaki aygıtların çoğunluğu saha aygıtlarıdır. Bunlar işlemci, algılayıcı, çalıştırıcı gibi donanımlarla karakterize edilmiş aygıtlardır.

Yönlendirici aygıtlar işleme bağlı değildirler. Sadece iletişim fonksiyonlarını barındırırlar. Standart yönlendirici aygıtlara ihtiyaç duymaz ama iletişim ve bağlantılabilirlik geliştirilmek istendiğinde oldukça işe yarayacaklardır.

Adaptör aygıtlar kablolu HART aygıtlarını WirelessHART ağına bağlar. Bir adaptör aygıt birden çok kablolu aygıtın ağ erişimini sağlayabilir.

El aygıtları bütün WirelessHART aygıtlarının tamamının kurulumu, ayarlanması, görüntülenmesi ve onarılması işlemlerinde kullanılır. El aygıtları şu şekillerde olabilir:

1. Bir otomasyon sistemine bağlı ve WirelessHART aygıtlarıyla bu otomasyon üzerinden iletişim kuran bir aygıt.
2. Direkt olarak WirelessHART ağına bir WirelessHART aygıtı olarak bağlı

Ağ geçidi aygıtları WirelessHART ağını otomasyon sistemine bağlar. Otomasyon sisteminin WirelessHART aygıtlarına erişmesini sağlar ve gerekiyorsa iki protokol arasında tercüman görevi görür.

Ağ yöneticisi WirelessHART ağının beynidir. Görevi kablosuz ağa ilişkin her şeyi yönetmektir. Her WirelessHART ağında bir tane bulunur.

1.3.2.1. WirelessHART – ZigBee Karşılaştırması

ZigBee endüstriyel uygulamalar için yeteri kadar uygun değildir, bu da WirelessHART standardının geliştirilmesinin çıkış noktası olmuştur. WirelessHART ZigBee'nin zayıf noktaları üzerine geliştirilip çözümler üretmiştir, bu da bu standardı endüstriyel uygulamalar için daha uygun hale getirmiştir. WirelessHART iletişim istifi WirelessHART ağına ait değişken cihazların sorumluluklarına ve arabirimlerine bağlı

olarak belirler. Bu sorumlulukların nasıl yerine getireceğini bildirmese de en uygun şekilde yerine getirilebilmesi için ortam sunar. Ağ yöneticisi görevi kablosuz ağda çalışan diğer aygıtları yönetmek olan bir başka aygıt gibi çalışır [8].

Tablo 1.1. WirelessHART – ZigBee Karşılaştırması

	ZigBee	WirelessHART
Sağlamlık	Düşük	Yüksek
Tümleşik Çalışma	Düşük	Yüksek
Enerji Tüketimi	Yüksek (iyi)	Düşük (kötü)
Güvenlik	Düşük	Yüksek

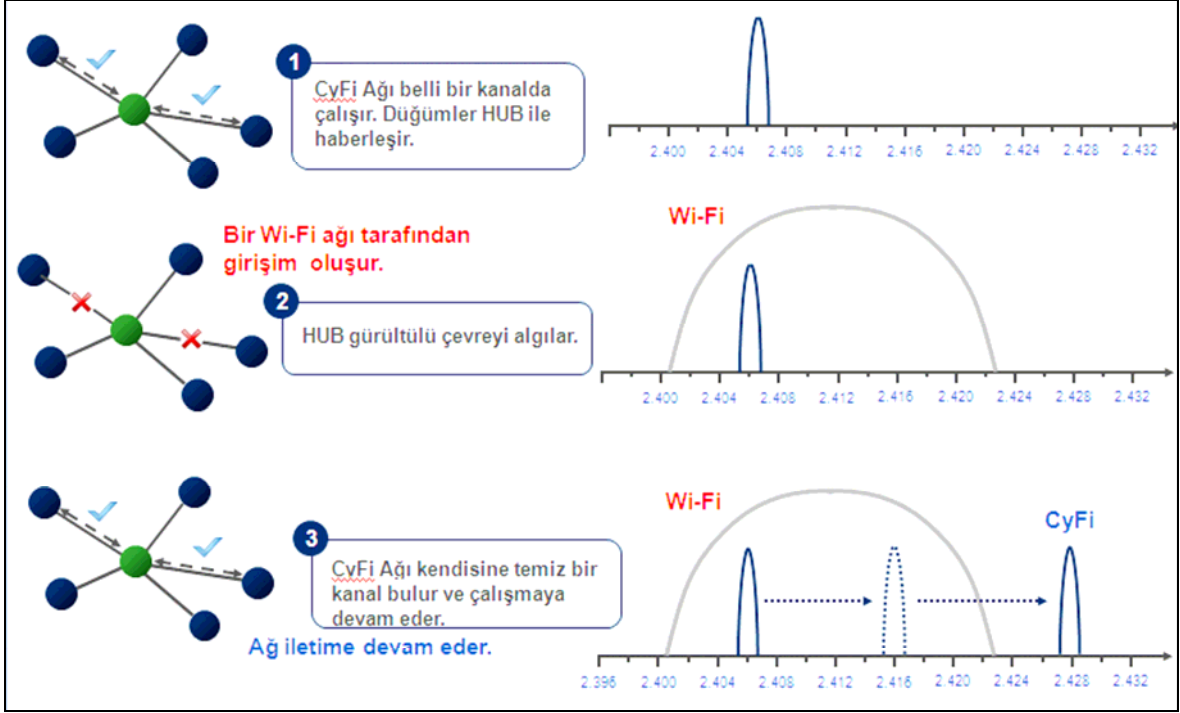
1.3.3. CyFi Low Power RF

Cypress CyFi düşük güçlü RF çözümü, yüksek güvenilirlikli, kullanımı kolay, 2.4GHz'de çalışan bir kablosuz algılayıcı ağ yöntemidir [9].

CyFi 2.4GHz'den 2.483GHz'e kadar olan bandı verimli bir şekilde kullanabilir, bu da girişim olduğu durumlarda bant içinde hareket kabiliyeti sağlar. Gauss Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK) modülasyonla direkt-seri yayılı spektrum (Direct-Sequence Spread Spectrum, DSSS) kullanarak üstün veri yolu güvenilirliği sağlamayı hedefler.

Çıkış gücü -5dBm 'den $+4\text{dBm}$ 'e kadar değişebilmektedir. Bu şekilde en düşük güç sarfiyatı sağlanırken, aynı zamanda veri yolu koşullarına adapte olabilmeyi sağlamaktadır. Kısaca GFSK ile elde edilen yüksek güvenilirlik, düşük hızlı veri yolu gibi özelliklere DSSS ile 9-13 dBm kod kazancı sağlanmaktadır. -97dBm 'lik alışı hassasiyeti Alınan İşaret Güç Göstergesi (Received Signal Strength Indicator RSSI) içermektedir.

2.4GHz bandı hali hazırda oldukça kalabalık bir banttır. Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, telsiz telefonlar, mikrodalga fırınlar gibi cihazlar bu bantta çalışmaktadır. DSSS bir ölçüde girişimden korunmaya yardım etse de CyFi ayrıca gerektiği durumlarda bandı kontrol ederek kendisine çalışmaya uygun bir kanal arar. Şekil 1.5'de bu özelliğin nasıl çalıştığı görülebilir.

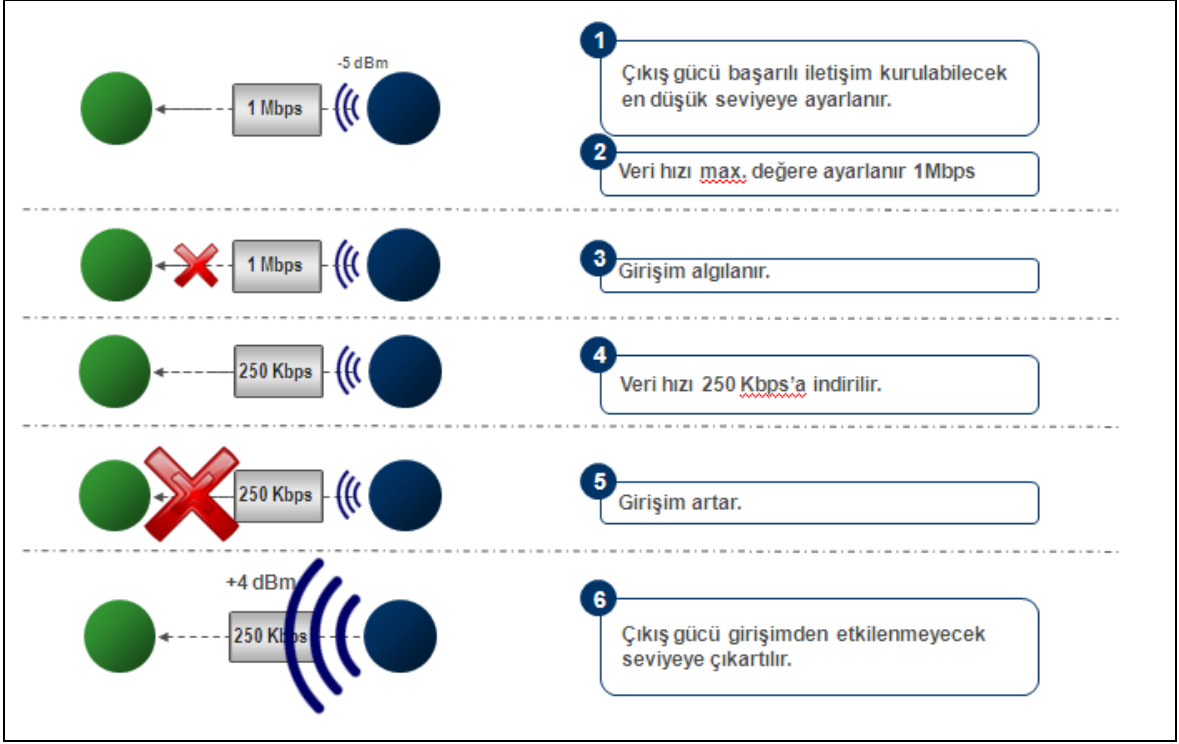


Şekil 1.5. CyFi'da aktif link yönetimi

Ayrıca CyFi da diğer yöntemler gibi güç verimliliği konusunda oldukça başarılı bir yöntemdir. Düşük bir ortalama güç tüketimi vardır, otomatik olarak çıkış gücünü ayarlayabilir. Bunun yanında bir de aktif güç kontrol sistemi vardır ve bununla birlikte girişim anlarında çıkış gücü ve veri iletim hızı kontrolleriyle girişimden kurtulmak mümkün olmaktadır. Bu sistemin çalışma şekli de Şekil 1.6'da görülebilir.

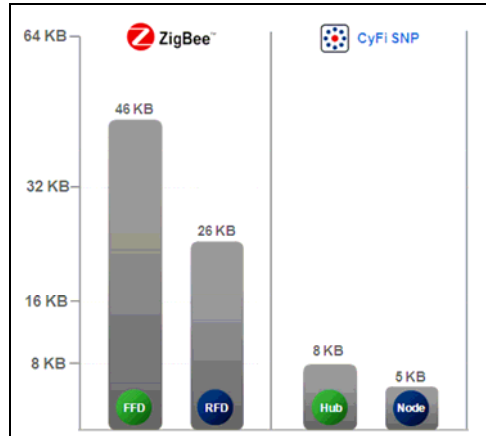
-5dBm'lik çıkış ile 20.8mA çıkış akımı sağlanırken 0dBm'lik çıkış ile 26.2dBm çıkış akımı sağlanır. En yüksek çıkış gücü olan +4dBm'de 34.1mA çıkış akımı sağlanır. Alma gücü ise 21.2mA'dır. Aygıt uyku konumundayken yalnızca 0.8µA akım çeker. Diğer sistemlerde de olduğu gibi batarya ömrü 4 yıla kadar çıkabilmektedir.

CyFi ağında iki çeşit aygıt vardır. Dağıtıcı (HUB) adı verilen aygıt tam fonksiyonlu aygıttır ve ağı organize eder. Düğüm (NODE) ise azaltılmış fonksiyonlu ve algılama işlemini yapan aygıttır, ağda bol sayıda olabilir.



Şekil 1.6. CyFi'da aktif güç yönetimi

CyFi oldukça kullanım kolaylığı yüksek ve basit bir sistemdir. Yıldız topoloji kullanan bir CyFi ağında protokol yığını oldukça basittir. Mümkün olan en küçük kablosuz ağ protokollerinden biridir. Tam fonksiyonlu birimlerine 8 kbyte'lık hafıza yeterken azaltılmış fonksiyonlu birimleri 5kbyte'lık hafıza ile çalışabilmektedir. ZigBee gibi sistemler çok daha kompleks yapılarla daha yüksek hafızalara gereksinim duyarlar. Şekil 1.7'de bu karşılaştırma görülebilir.



Şekil 1.7. ZigBee ile CyFi yöntemlerinin kod boyutu karşılaştırması

1.4. Bu Çalışmanın Önemi

Kablosuz algılayıcı ağları son dönemde teknolojik olarak önemli ilerlemeler kaydetmiş ve akademik projelere konu olmuştur. Bu çalışma teorik optimizasyon ve verici/alıcı tasarımından daha çok bir kablosuz ölçüm sisteminin kurulması, kapasite ve güvenilirliğinin araştırılması üzerine yoğunlaştırılmıştır. Bunun için mevcut sistemler ve bu sistemlerin kurulmasına ilişkin gerekli donanımsal bileşenler araştırılmıştır. Nihayetinde bu çalışma hali hazırda teknolojik olarak mevcut sistemlerle yeterince uyumlu olmayan, çalışma ilkeleri henüz yerleşmemiş ve uygulaması sorunlar içeren bir kablosuz ölçüm sistemi üzerine yapılmıştır.

Yapılan araştırmalarda gözlenen üç temel teknolojik gelişme (ZigBee, WirelessHART ve CyFi) diğer muhtelif noktadan noktaya bağlantı oluşturan, kablosuz USB veya RS232 uzantılarından, teknolojilerden daha etkin olabilecekleri ortaya çıkmıştır. Öyle ki, bahsedilen bu üç teknoloji ve onların henüz gelişmekte olan standartları çoklu ağ yapısı oluşturma, kanal kayıtlama ve güç tüketimi gibi kablosuz algılayıcı ağlarının temel problemlerine endüstriyel olarak en uygun ve uluslar arası geçerlilikte çözümler sunmayı hedeflemektedir. Bunlardan ZigBee yapısı, akademik ve endüstriyel iki organizasyondan dolayı (IEEE ve ZigBee Alliance), diğer iki teknolojiye göre daha detaylı protokol içeriğine ve evrensel tanımlamalara sahiptir. Dolayısı ile Bluetooth benzeri veya daha iyi bir endüstriyel yapılanmanın beklendiği ZigBee kablosuz alan ağları için alternatifsiz bir seçim gibi ortaya çıkmış ve bu çalışmanın uygulanmasına konu edinilmiştir.

Radyo frekans bantlarından ISM 2400-2483 MHz bandını kullanan ZigBee verici/alıcı (transceiver) üniteleri tek bir yarı iletken yonga olarak üretilmişlerdir. Dolayısı ile bu çalışma öncelikle mevcut verici/alıcı ünitelerin kurulması ve uygulama başarımlarının araştırılması şeklinde değerlendirilmelidir. Bu çalışmadan beklenen gelişmekte olan bu teknolojiye ilişkin uygulama özelliklerini, problemlerini ve sunduğu servisin sınırlarını belirleyerek kablosuz alan ağlarının kullanımını yaygınlaştırmaktır.

Yapılan çalışmalarda genel amaçlı bir kablosuz ölçüm sisteminde kullanılmak üzere IEEE 802.15.4 (ZigBee) yapısı kullanılarak gerçekleştirilen haberleşme sistemi konu edinilmiştir. Saniyede 200k örnekleme yapabilen MSP430F2274 ile yapılan denemelerde ölçüm sisteminin yaklaşık 20kHz bant genişliği gerekliliğine cevap verebildiği görülmüştür. Dolayısı ile bu ZigBee'nin haberleşme sınırı olan 250 kbits/s'lik veri hızına ulaşıldığını göstermektedir. Böyle bir ölçüm sistemi ile gerçek zamanlı ses işareti

taşınabilmektedir. Yine de düşük veri hızına sahip, senkron haberleşmeye uygun olmayan bu gibi sistemler gerçek zamanlı ses ve görüntü taşıma uygulamaları için çok uygun değildirler. IEEE 802.15.4 standardı çok düşük güçlerle çalışan bir standart olduğundan kullanılan saha birimleri pil blokları ile beslenebilirler. Böylece elektrik şebekesinden bağımsız yapılan ölçümler çok daha yüksek hassasiyette olabilmektedir.

Kurulan bu genel amaçlı ölçüm sisteminin karakteristikleri göz önüne alındığında böyle bir sistemle biyomedikal işaretlerin taşınabileceği görülmektedir. Biyomedikal algılayıcılarla kablosuz algılayıcı ağlarının birleşimi medikal uygulamalarda çok yüksek bir potansiyele sahip olabilir. Yapılan çalışmalarda IEEE 802.15.4 tabanlı biyomedikal ölçüm sistemlerinin performans analizlerinin iletim gecikmesi, uçtan uca gecikme ve paket teslim oranı ile değerlendirilebileceği tespit edilmiştir [11].

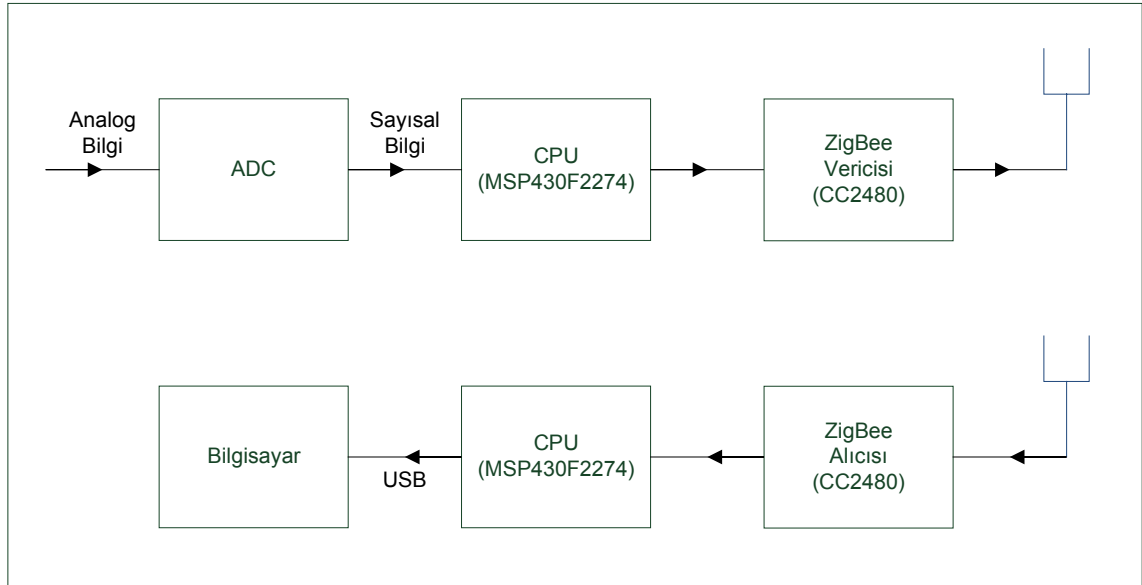
Bu alanda giyilebilir EKG ölçüm sistem tasarımları ve gerçek zamanlı sağlık kontrolü yapabilen ve risk durumlarında yardım isteyebilen akıllı ev uygulamaları gibi çalışmalar yapılmaktadır [12][13].

Bu çalışma genel amaçlı bir algılayıcı ağının, yüksek veri hızlı veya hassas ölçüm gerektiren, bir kablosuz ünite ile gerçekleştirilmesini amaçlamıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Bir Kablosuz Ölçüm Sisteminin IEEE 802.15.4 (ZigBee) Standardı Kullanılarak Gerçekleştirilmesi

Herhangi bir analog işaret 10 bitlik bir analog sayısal dönüştürücü (analog to digital converter, ADC) ile sayısala dönüştürülüp, elde edilen sayısal bilgi MSP430F2274 serisi işlemciyle işlenmekte ve CC2480 alıcı/verici yonga ile RF (radio frequency) de atanmış olan kanaldan gönderilmektedir. RF kanalındaki işaret, bir başka algılayıcı ağ birimi üzerindeki CC2480 serisi yonga ile algılanıp, demodulasyon ve dekodlama işlemleri yapılarak, bağlı olduğu MSP430F2274 serisi işlemciye ulaştırılmaktadır. İşlemci aldığı bilgi dizisini USB (universal serial bus) üzerinden bağlı olduğu bilgisayara ulaştırmaktadır. Bilgisayarda çalışan program USB yoluyla aldığı bilgi dizisini ekrana çizdirerek işaretin görüntülenmesini sağlamaktadır. Kablosuz ölçüm sisteminin akış diyagramı Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Kablosuz ölçüm sistemi akış diyagramı

2.1.1. ADC

Analog bilgiyi sayısal bilgiye dönüştürmek için MSP430F2274 işlemcinin içinde bulunan ADC10 10 bitlik ADC bloğu kullanıldı.

ADC10 modülü 10 bitlik analog-sayısal dönüşümü destekler. Saniyede 200 örneği aşkın dönüştürme oranına sahiptir. Modül, 10 bitlik ardışık yaklaşım kaydedici çekirdeği, örnek seçme kontrolü, referans üretici ve veri transfer kontrolöründen (data transfer controller, DTC) oluşur. İstendiği takdirde yazılımla veya Timer_A zamanlayıcısıyla dönüşüm başlatılabilir. DTC, ADC10 örneklerinin hafızada herhangi bir yere işlemci müdahalesi gerekmeden kaydedilebilmesini sağlar. Modül, uygulamalara göre kullanıcı tarafından ayarlanabilir.

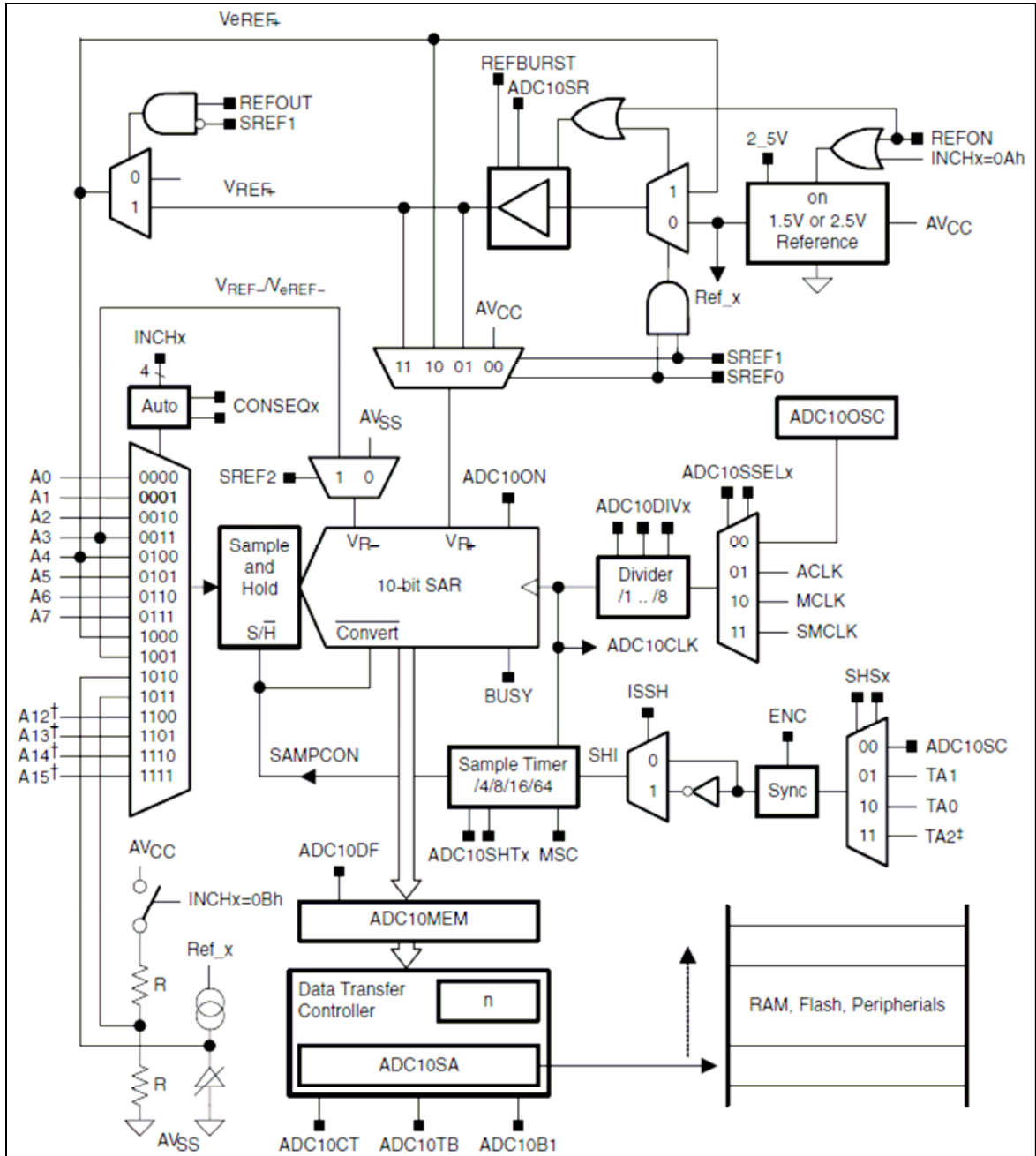
ADC çekirdeği çevirdiği 10 bitlik sayısal bilgiyi ADC10MEM kaydedicisinde depolar. Çekirdek iki çeşit ayarlanabilir gerilim değeri kullanır (V_{R+} ve V_{R-}) ve bu şekilde dönüşümün alt ve üst limitlerini belirler. Sayısal çıkış (N_{ADC}), giriş sinyali V_{R+} değerine eşit veya ondan yüksekse en yüksek değeri (03FFh), V_{R-} değerine eşitse veya ondan düşükse sıfır değerini alır. Giriş kanalı ve referans gerilim değerleri dönüşüm kontrol hafızasında tanımlanır. ADC sonuçları için dönüşüm formülü aşağıdaki gibidir.

$$N_{ADC} = 1023 \times \frac{V_{in} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}} \quad (2.1)$$

ADC10 iki farklı kontrol kaydedicisi tarafından kontrol edilir. Bunlar ADC10CTL0 ve ADC10CTL1'dir. Modül ADC10ON bitiyle aktif edilir.

ADC10CLK dönüşüm saati olarak da örnekleme aralığını ayarlamak için de kullanılabilir. ADC10 kaynak saati ADC10SSELx bitleri kullanılarak seçilir ve ADC10DIVx ile 1'den 8'e kadar bölünebilir. Olası ADC10CLK kaynakları SMCLK, MCLK, ACLK ve dâhili osilatör olan ADC10OSC'dir.

ADC10 bloğunun akış diyagramı Şekil 2.2'de görülebilmektedir.



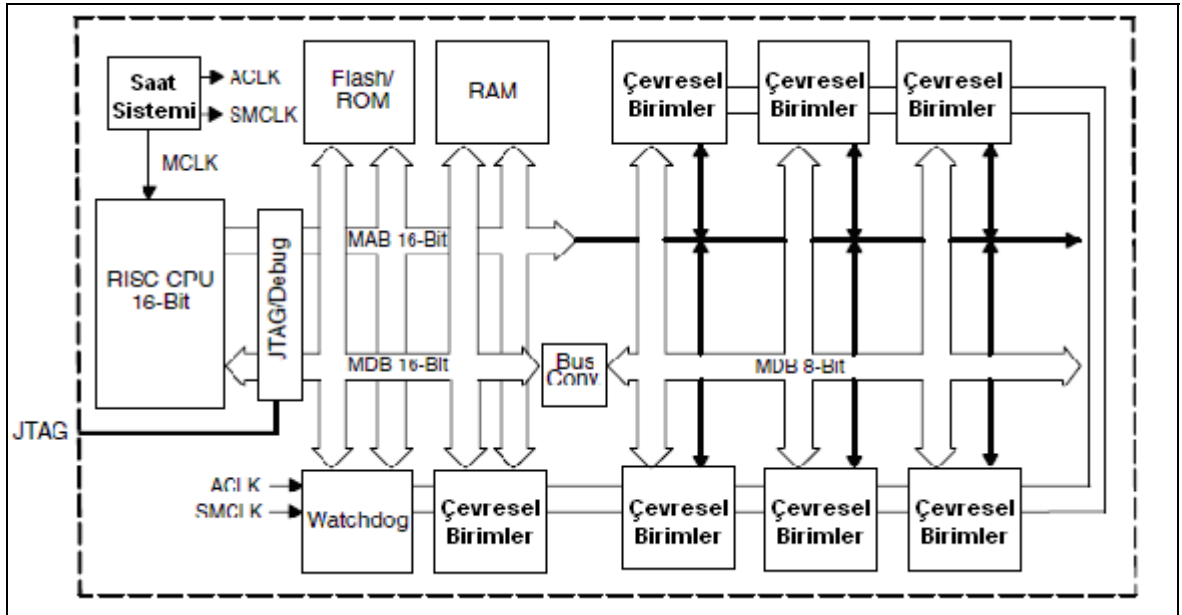
Şekil 2.2. ADC10 akış diyagramı

2.1.2. İşlemci (MSP430F2274)

İşlemci iki düğüm arasındaki haberleşmeyi ve düğümlerin uygulamalarla olan haberleşmesini organize eden birimdir. ADC10 modülünü içerir. ADC10 modülünden aldığı sayısal bilgileri işler ve ZigBee protokolü doğrultusunda bir başka düğüme ulaştırılması için CC2480 alıcı/verici yongasına ulaştırır. CC2480'in kullanımı, programlanması işlemci üzerinden gerçekleştirilir ve gerekli komutları işlemciden alır.

2.1.2.1. MSP430F2274 Mimarisi

MSP430, 16 bitlik bir işlemci ile çevre birimleri ve ayarlanabilir sistem saatini von-Neumann mimarisi ile bir araya getirir. Bir modem işlemciye modüler hafıza haritalamalı analog ve sayısal çevre birimleri eşlik etmektedir. Şekil 2.3'te işlemci mimarisi görülebilmektedir.



Şekil 2.3. MSP430 mimarisi

MSP430x2xx işlemci ailesinin bazı önemli özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Çok düşük güç harcayan mimarisi ile batarya ömrü oldukça geniştir.
 - RAM'de veri tutma için gerekli akım 0.1- μ A'dır.
 - Gerçek zamanlı saat modu için gerekli akım 0.8- μ A'dır.

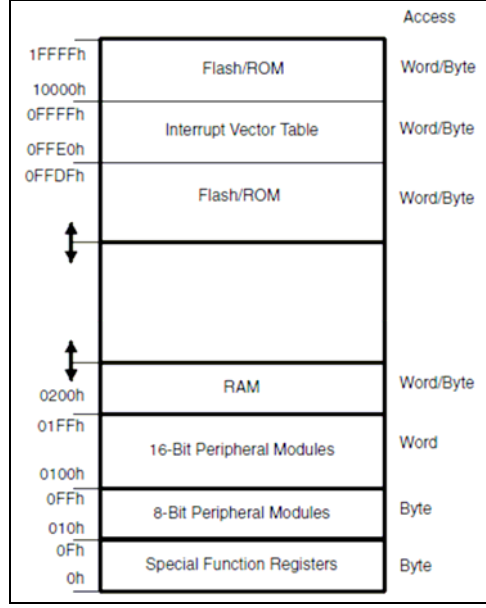
- Çalışma anında tüketim 250- μ A / MIPS'dir.
- Yüksek performanslı analog çalışma ile tam doğru ölçüm olanağı sağlar.
 - Dirençli eleman ölçümleri için karşılaştırmalı zamanlayıcılar vardır.
- 16-bit RISC (reduce instruction set computer) işlemci küçük kod boyutlarıyla yeni uygulamalara imkân verir.
 - Büyük kayıt dosyaları çalışma dosyaları dar boğazından kurtulmayı sağlar.
 - Küçük çekirdek tasarımı sayesinde enerji sarfiyatı ve maliyeti düşüktür.
 - Yüksek mertebeli modern programlama için optimize edilmiştir.
 - 27 çekirdek talimatı ve 7 adresleme modu vardır.
 - Geniş kesme vektörü kapasitesi vardır.
- Sistem içi programlanabilen flash sayesinde esnek kod değişiklikleri, alan güncellemeleri ve veri kayıtları yapılabilir.

2.1.2.2. Esnek Saat Sistemi

Saat sistemi özellikle batarya ile beslenmiş uygulamalar için tasarlanmıştır. Düşük frekanslı bir yardımcı saat (auxiliary clock, ACLK) genel kullanımlı bir 32kHz izleme kristaliyle direkt olarak sürülmüştür. ACLK, kendinden uyanma fonksiyonu için gerçek zamanlı bir arka plan saati olarak da kullanılabilir. Entegre edilmiş yüksek hızlı sayısal kontrollü osilatör (digital controlled oscillator, DCO), işlemci ve yüksek hızlı çevre birimlerince kullanılan ana saate (main clock, MCLK) kaynak olabilir. Tasarım olarak DCO 1MHz'de 2 μ s'nin altında aktif ve kararlıdır.

2.1.2.3. Adres Uzayı

MSP430 von-Neumann mimarisi bir adet adres uzayına sahiptir. Bu uzay özel fonksiyon kaydediciler (special function register, SFR), çevre birimleri, RAM ve Flash/ROM tarafından da kullanılır. Şekil 2.4'te hafıza haritası görülebilmektedir.



Şekil 2.4. Hafıza haritası

Flash/ROM'un adres başlangıcı büyüklüğüne bağlı olarak değişebilir. Fakat bitiş adresi 0x1FFFF'tir. Flash/ROM adres kod için de veri için de kullanılabilir. Word ve byte tabloları RAM'e kopyalamaya ihtiyaç duymaksızın Flash/ROM'da saklanabilir. Kesme vektör tablosu Flash/ROM'un yukarıdaki 16 wordlük kısmıdır. En yüksekteki kesme vektörü en yüksek önceliğe sahiptir.

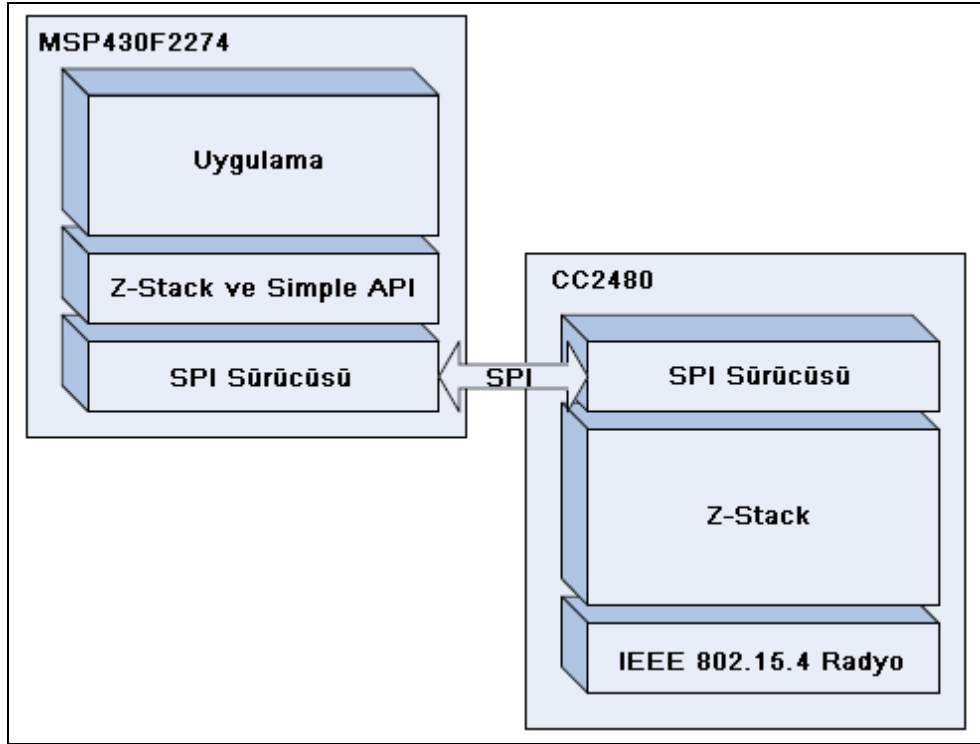
RAM 0200h adresinde başlar. Bitiş adresi ise RAM'in büyüklüğüne bağlı olarak değişir. RAM, tıpkı Flash/ROM gibi kod için de veri için de kullanılabilir.

Çevresel birimler adres uzayında haritalandırılmışlardır. 0100h adresinden 01FFh adresine kadar olan kısım 16 bitlik çevresel birimlere ayrılmıştır. Bu modüllere erişim word talimatlarla sağlanabilir. Byte talimatlar kullanılırsa sonucun yüksek byte kısmı her zaman sıfır olur. 010h adresinden 0FFh adresine kadar olan kısım 8 bitlik çevresel birimlere ayrılmıştır ve bu bölümlere byte talimatlara ulaşılabilir. Byte modüllere word talimatlarla erişilmeye çalışıldığında yüksek byte kısmındaki sonuç belirsiz, anlamsızdır. Word veri byte modüle yazılmaya çalışılırsa verinin yüksek byte kısmı görmezden gelinir ve sadece düşük byte kısmı yazılır.

Bazı çevresel fonksiyonlar SFR'de ayarlanır. SFR'ler adres uzayının aşağısındaki 16 bytelık kısma yerleştirilmişlerdir. SFR'lere byte talimatlar kullanılarak erişilebilir.

2.1.3 ZigBee Alıcı-Vericisi (CC2480)

İşlemcide işlenmiş verilerin algılayıcı ağına dâhil bir başka düğüme ulaştırılması amacıyla RF kanalından gönderilmesi işlemi ve karşı tarafta algılanıp işlemciye ulaştırılması işlemi yapan birimdir. Alıcı-verici devre olarak CC2480 yongası kullanılmaktadır. İşlemci ile alıcı-verici yongası arasındaki bağlantı Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. İşlemci ile alıcı-verici bağlantısı

CC2480'de alınan işaret düşük güçlü bir yükseltici tarafından yükseltilir ve ara frekansa indirgenir. Ara frekansta (2MHz) karmaşık I/Q işareti filtrelenip yükseltilir ve RF alıcı ADC modülü tarafından sayısallaştırılır.

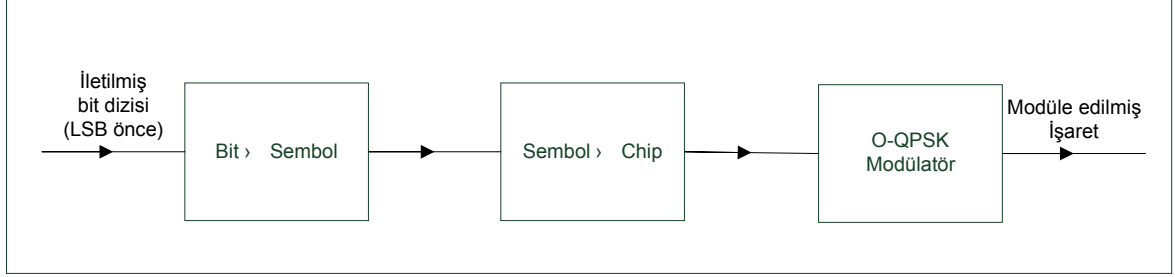
CC2480 göndericisinin girişi, çerçeve başlangıcı sınırlayıcısı donanım tarafından üretilir. Her sembol (4 bit) IEEE 802.15.4 standardı kullanılarak iletilir.

Analog bir alçak geçiren filtre işareti çeyreğe çevirir. RF işareti bir güç yükseltecinde yükseltilir ve antene gönderilir.

Dâhili A/V anahtar devresi anten arayüzünü kolaylaştırır. RF bağlantıları fark yükselteç girişlidir. Tek uçlu antenler için balun kullanılabilir.

2.1.3.1. ZigBee IEEE 802.15.4 Modülasyon Formatı

Modülasyon ve yayılma işlevleri akış diyagramı Şekil 2.6'da görüldüğü gibidir. Her byte iki sembole bölünmüştür. En düşük değerli sembol ilk olarak iletilir. Çoklu byte bölgeleri için en düşük değerli byte önce iletilir.



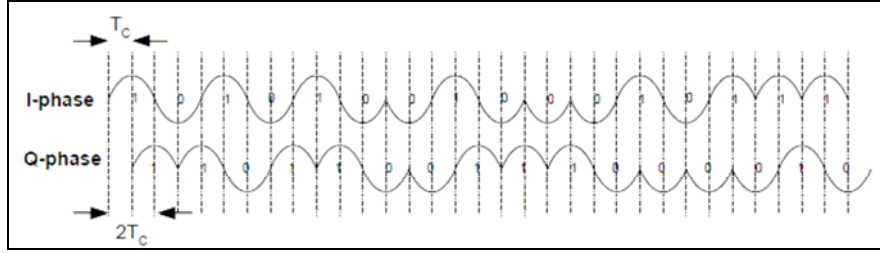
Şekil 2.6. Modülasyon ve yayılma işlevi

Tablo 2.1. Sembol-Chip Haritalaması

Sembol	Chip Dizisi ($C_0, C_1, C_2, \dots, C_{31}$)
0	1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0
1	1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0
2	0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0
3	0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1
4	0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1
5	0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0
6	1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1
7	1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1
8	1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1
9	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1
10	0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1
11	0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0
12	0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0
13	0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1
14	1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0
15	1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0

Her sembol 16 yalancı-karışık seride bir yere haritalanır. Sembol-chip haritalama Tablo 2.1’de görüldüğü gibidir. Chip serisi 2Mchips/s hızında iletilir. Her sembolde ilk iletilen chip en düşük değerli chiptir.

Modülasyon tekniği O-QPSK’dir (Offset – Quadrature Phase Shift Keying). Her chip yarım sinüs şeklindedir ve değişimli olarak I ve Q kanallarında bir yarım chip periyodu ötelemeye iletilir. Bu durum Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Sıfır-Sembol chip serisi iletilirken I/Q Fazları, $T_C = 0.5 \mu s$

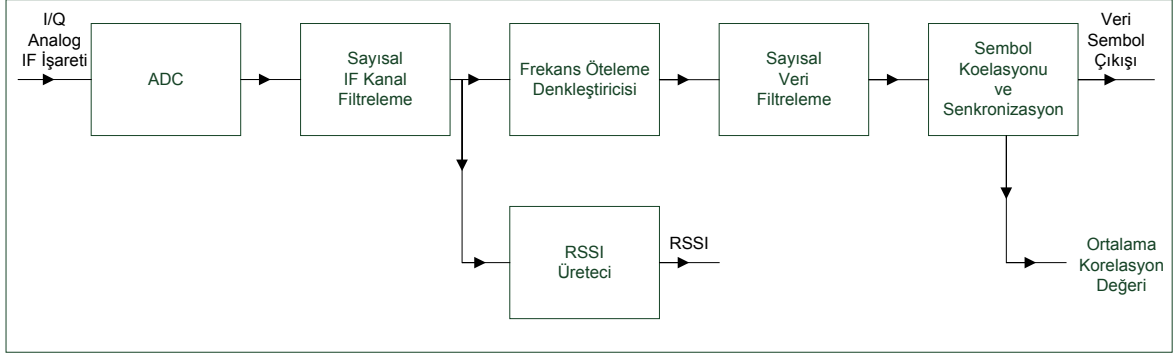
2.1.3.2. Demodülatör, Sembol Senkronizasyonu ve Veri Kararı

CC2480 için demodülatör akış diyagramı Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Kanal filtreleme ve frekans öteleme dengesi sayısal olarak gerçekleştirilir. Kanal içerisindeki işaret seviyesi RSSI seviyesini üretmek için kestirilir. Geliştirilmiş performans için ayrıca veri filtreleme de yapılır.

± 40 ppm frekans doğruluğu gereksinimi ile alıcı 80ppm veya 200kHz’i karşılayabilecek yeterlilikte olmalıdır. CC2480 demodülatörü 300kHz’e kadar ötelemeye alıcı performansında önemli bir kayıp olmadan tolerans gösterebilir.

Chip seviyesinde yazılım tabanlı karar verme kullanılır. Demodülatör her chip için karar vermez, her sembol için verir. Yayın toplama aşırı örneklenmiş sembol korelatörleri kullanılarak yapılır. Sembol senkronizasyonu devamlı bir çerçeve başlangıcı sınır belirleyici ile yapılır.

CC2480 ayrıca 120ppm’e kadar performans kaybı olmaksızın sembol hatalarıyla başa çıkabilir. Yeniden senkronizasyon işlemi devamlı olarak gelen semboldeki hatalar için ayarlanır.



Şekil 2.8. Demodülatör akış diyagramı

2.1.3.3. IEEE 802.15.4 MAC

MAC alt katmanı iki servis sağlar: MAC veri servisi ve MAC alt katman yönetimi tarafına servis erişim noktası arabirimi sağlayan MAC yönetim servisi. MAC veri servisi PHY veri servisi doğrultusunda MAC protokol birimlerinin alma ve gönderme işlerine olanak tanır.

MAC alt katmanının özellikleri arasında işaretçi yönetimi, kanal erişimi, GTS yönetimi, çerçeve doğrulama, onaylı çerçeve dağıtımı, bir araya getirme ve dağıtma vardır.

2.1.3.3.1. CSMA-CA Algoritması

Eğer PAN'da superframe yapısı kullanıldıysa dilimli CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance; Çarpışma Önleyicili Taşıyıcı Sezgili Çoklu Erişim) kullanılmak zorundadır. Eğer ağda işaretçiler kullanılmıyorsa böyle durumlarda dilimsiz CSMA-CA kullanılır.

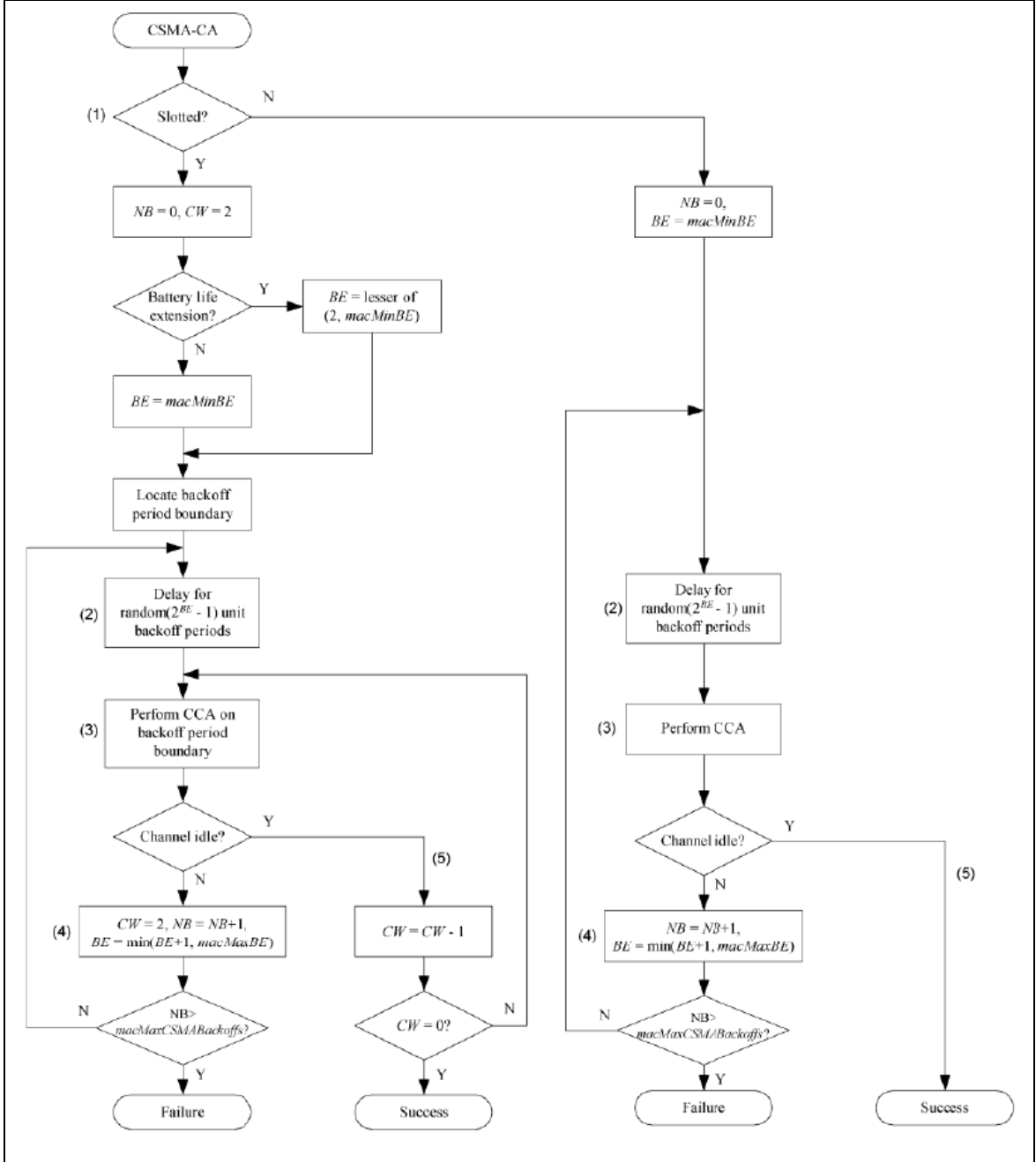
Dilimli CSMA-CA kanal erişim mekanizmasında her aygıtın backoff periyot sınırları PAN koordinatörünün süper çerçeve dilim sınırlarıyla hizalanır. Dilimli CSMA-CA algoritmasında, aygıtlar her zaman veri çerçevelerini CAP (contention access period; çekişme erişim süresi) içerisinde iletmek isterler, bu bir sonraki backoff periyotunun sınırına yerleşmelidir. Dilimsiz CSMA-CA algoritmasında, bir aygıtın backoff periyotları bir başka aygıtın bacoff periyotlarıyla senkronize olmak zoruna değildir.

Her aygıt 3 değişkene sahiptir: NB, CW ve BE. NB, CSMA-CA algoritmasının sıradaki iletimi denerken gereksinim duyduğu backoff sayısıdır. CW çakişma penceresi

uzunluğudur, bu, iletim başlamadan önce ihtiyaç duyulan backoff periyotları sayısını tanımlar. Başlangıç değeri her iletim denemesinden önce 2 olarak ayarlanır ve kanalın her meşgul olarak değerlendirilişinde 2 olarak yeniden ayarlanır. CW sadece dilimli CSMA-CA algoritmasında kullanılır. BE backoff üssüdür, aygıtın kanalı değerlendirme denemesinden önce ne kadar backoff periyodu bekleyeceğiyle ilgilidir. Her ne kadar algoritmanın kanal değerlendirme bölümünde aygıtın alıcısı aktif olsa da, aygıt bu süre zarfında alınan çerçeveleri görmezden gelmek durumundadır.

Dilimli CSMA-CA algoritmasında NB, CW ve BE ön koşullandırılmışlardır ve sıradaki backoff periyotunun sınırı yerleştirilmiştir. Dilimsiz CSMA-CA algoritmasında NB ve BE ön koşullandırılmıştır (adım 1). MAC katmanı $0 - 2^{BE} - 1$ aralığı içerisinde bütün backoff periyotları için rastgele bir değer beklemelidir (adım 2), daha sonra PHY katmanına CCA (clear channel assessment) için istek göndermelidir (adım 3). MAC alt katmanı daha sonra varsa eğer kalan CSMA-CA adımlarına devam etmelidir, çerçeve iletimleri ve her türlü onay bilgileri CAP sonundan önce tamamlanabilmektedir. Eğer MAC alt katmanı devam edemiyorsa bir sonraki süper çerçeve içerisindeki CAP'in başlangıcını beklemek zorunda ve değerlendirmeyi tekrarlamak zorundadır.

Eğer kanal meşgul olarak değerlendirilmişse (adım 4), MAC alt katmanı NB ve BE'nin her ikisini de birer birer arttırmalıdır, BE'nin $aMaxBE$ değerinden fazla olmaması sağlanmalıdır. Dilimli CSMA-CA algoritmasında CW ayrıca 2 olarak da yeniden ayarlanabilir. Eğer NB değeri $macMaxCSMABackoffs$ değerinden daha az veya ona eşitse, CSMA-CA adım 2'ye geri dönmeli, değilse CSMA-CA bir Kanal Erişim Hatası durumu ile sonlandırılmalıdır.



Şekil 2.9. CSMA-CA algoritması akış diyagramı

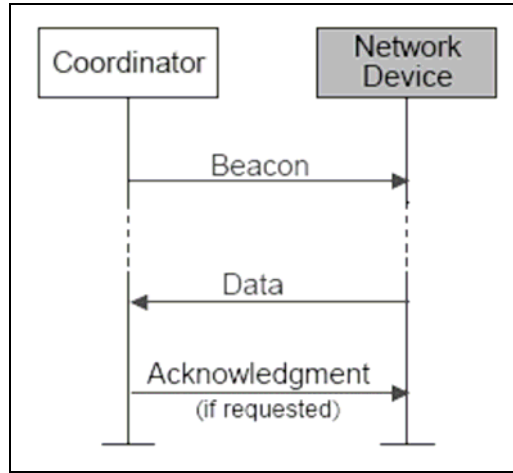
Eğer kanal boş olarak değerlendirilmişse (adım 5), dilimli CSMA-CA algoritmasında, MAC katmanı iletim başlangıcından önce çakışma penceresinin süresinin dolmuş olduğunu sağlamalıdır. Bunun için MAC alt katmanı tarafından öncelikle CW birer birer azaltılır. Eğer CW 0'a eşit değilse adım 3'e gidilir, eşitse iletim bir sonraki backoff periyotun sınırında başlar. Dilimsiz CSMA-CA algoritmasında kanalın boş olduğu

değerlendirildiği taktirde MAC alt katmanı iletme derhal başlar. Bütün CSMA-CA algoritması Şekil 2.9’da örneklendirilmiştir.

2.1.3.3.2. Veri Transfer Modeli

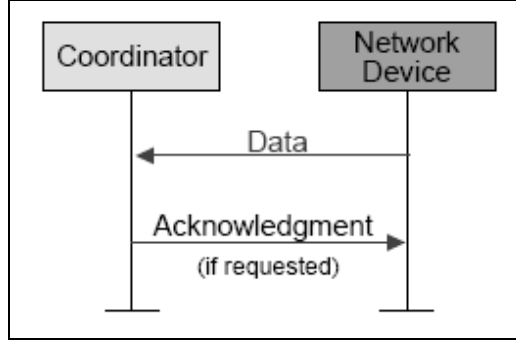
Üç farklı veri transfer hareketi mevcuttur: koordinatörden ağıta, ağıttan koordinatöre ve iki aygıt arasındaki transfer. Bu üç durumda da transfer, ağın yol gösterici destekleyip desteklemediğine bağlıdır.

Bir aygıt yol gösterici olmayan bir ağda veri transferi yapmak istediğinde basitçe veri çerçevesini dilimsiz CSMA-CA kullanarak koordinatöre gönderir. İstendiği taktirde bir de onay mekanizması vardır. İletişim Şekil 2.10’da görüldüğü gibidir.



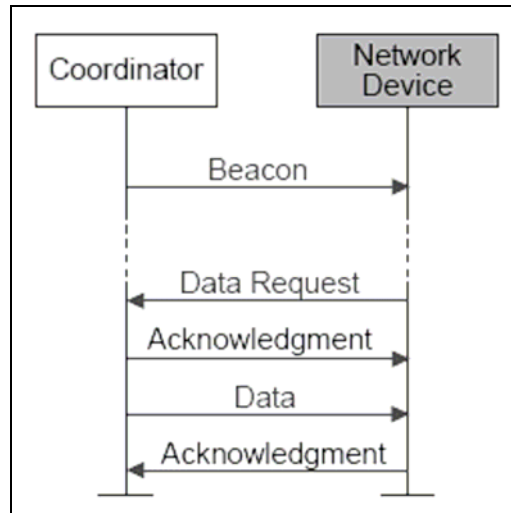
Şekil 2.10. Yol gösterici bulunan bir ağda ağıttan koordinatöre veri gönderimi

Bir aygıt yol gösterici olan bir ağda veri transferi yapmak istediğinde öncelikle ağın yol gösterici bilgisini dinler. Yol gösterici bulunduğu süper çerçeve yapısıyla senkronize olur. Doğru zamanda veri çerçevesini dilimli CSMA-CA kullanarak koordinatöre gönderir. İstendiği taktirde bir de onay mekanizması vardır. İletişim Şekil 2.11’de görüldüğü gibidir.



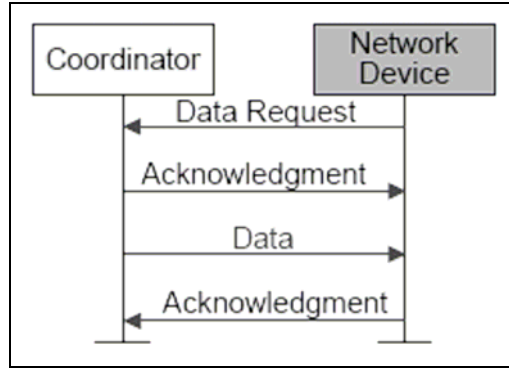
Şekil 2.11. Yol gösterici bulunmayan bir ağda aygıttan koordinatöre veri gönderimi

Uygulamaların transferleri koordinatör yerine tamamen PAN üzerindeki aygıtlar tarafından kontrol edilir. Bu durum ZigBee ağının enerji tasarrufunu sağlamaktadır. Koordinatör yol gösterici olan bir ağda bir aygıtta veri transferi yapmak istiyorsa mesajın beklemede olduğu bilgisi yol gösterici ile aygıtta bildirilir. Aygıt periyodik olarak yol göstericileri dinler ve eğer bekleyen bir mesaj varsa dilimli CSMA-CA kullanarak veriyi istediğine dair bir MAC komutu gönderir. Koordinatör isteğe bağlı olarak bu paketin başarılı iletilmiş olduğunu onaylar. Beklemedeki veri çerçevesi dilimli CSMA-CA kullanılarak gönderilir. Aygıt onay bilgisi göndererek verinin başarılı olarak alındığını onaylar. Yol gösterici bulunan ağlarda onay alımı sırasında bekleme mesajı silinir. İletişim Şekil 2.12’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.12. Yol gösterici bulunan bir ağda koordinatörden aygıtta veri gönderimi

Koordinatör yol gösterici bulunmayan bir ağda bir aygıtta veri göndermek isterse uygun aygıtın iletişim kurup veri isteğinde bulunması için veriyi saklar. Aygıt iletişimi, dilimsiz CSMA-CA kullanarak veri isteği için bir MAC komutu göndererek sağlayabilir. Koordinatör bu paketi onaylar. Eğer veri bekliyorsa koordinatör dilimsiz CSMA-CA kullanarak veri çerçevesini gönderir. Eğer veri beklemiyorsa koordinatör sıfır uzunluk yüklü bir veri çerçevesi göndererek bilgi beklemediğini belirtir. Aygıt bu bilgiyi onaylar. Bu iletişim Şekil 2.13'te gösterildiği gibidir.

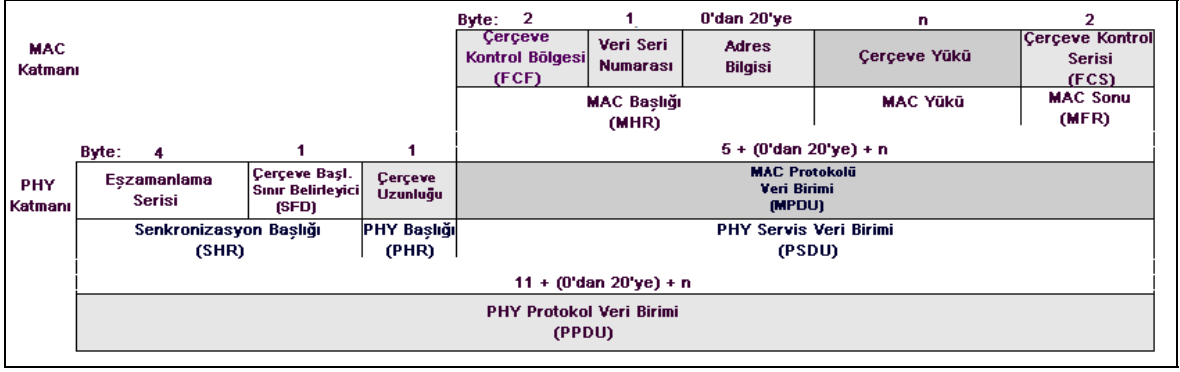


Şekil 2.13. Yol gösterici bulunmayan bir ağda koordinatörden aygıtta veri gönderimi

Uçtan uca ağlarda her aygıt menzili içerisindeki diğer aygıtlarla iletişim kurabilir. Bunun için iki seçenek vardır. İlk seçenekte düğüm sürekli dinleme durumundadır ve dilimsiz CSMA-CA kullanarak veri gönderir. İkinci seçenekte düğüm diğer düğümlerle senkronize olabilir ve bu enerji tasarrufu sağlar.

2.1.3.4. Çerçeve Formatı

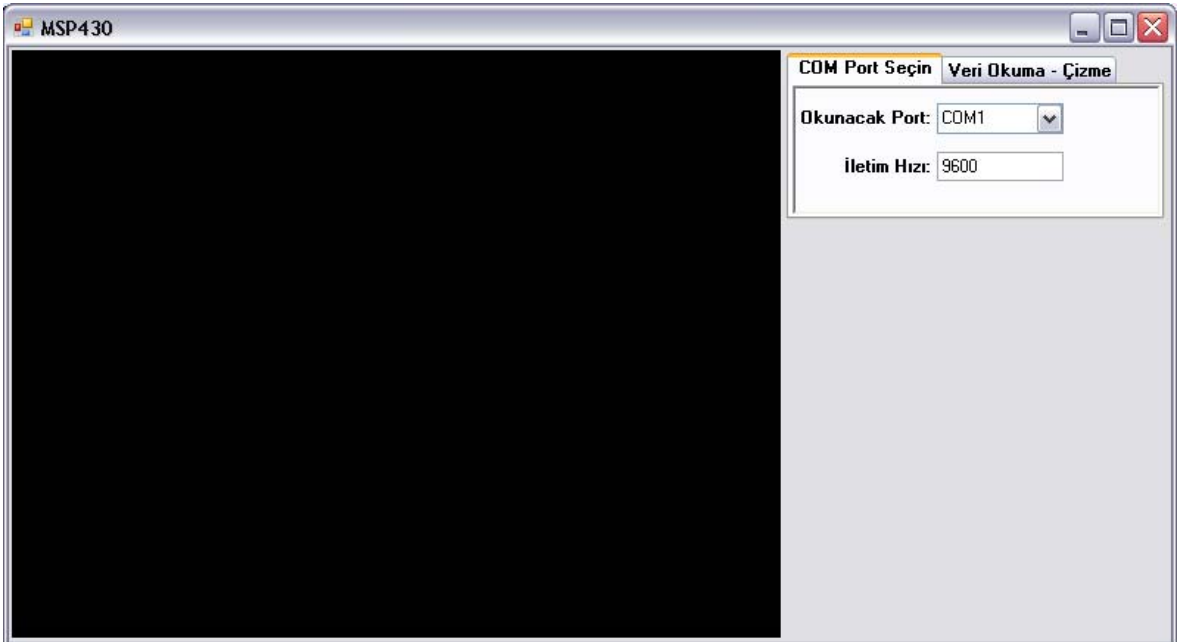
CC2480 IEEE 802.15.4 çerçeve formatı için donanım desteğine sahiptir. Şekil 2.14 IEEE 802.15.4 çerçeve formatının şematik bir görüntüsünü içerir.



Şekil 2.14. IEEE 802.15.4 çerçeve formatı

2.1.4. Bilgisayar

Akış diyagramının alıcı tarafındaki kablosuz algılayıcı ağı düğümü, USB üzerinden bir bilgisayara bağlıdır. Böylelikle CC2480 alıcı-vericisi ile alınan sayısal veri MSP430F2274 işlemci ve USB üzerinden bilgisayarın COM Portlarından birisine iletilir. Bilgisayarda koşturulan çizim programı aldığı veri dizisini ölçekleyerek ekrana çizdirir. Programın açılış ekranı Şekil 2.15'da görüldüğü gibidir.



Şekil 2.15. MSP430 programı ekran görüntüsü

MSP430 isimli program C# programlama diliyle nesnel olarak programlanmış bir programdır. Program bir görüntüleme ekranı ve birisi ayar yapmak için, diğeri işlemi başlatmak için bulunan iki sekmeden oluşmaktadır.

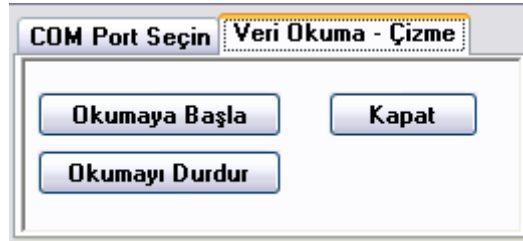
Açılışta “COM Port Seçin” isimli sekme ile açılır. Kablosuz algılayıcı ağına dâhil olan düğümlerden bilgisayarımıza bağlı olanın hangi COM Port üzerinden bağlı olduğunu ve COM Port üzerinden hangi veri hızında iletişim yapacağımızı belirlediğimiz sekmedir. Veri iletim hızı açılışta 9600 baud olarak görülmektedir. Kullanılan işlemcinin USB üzerinden veri iletim hızı 9600 baud olduğundan bu değer değiştirilmeden kullanılmaktadır.

Bir diğeri sekme “Veri Okuma - Çizme” isimli veri alıp ekrana çizdirme işlemi başlatan, bitiren sekmedir.

Bu iki sekmenin detaylı ekran görüntüleri Şekil 2.16’de görülebilir.



Şekil 2.16.a. MSP430 Programı “COM Port Seçin” sekmesi ekran görüntüsü

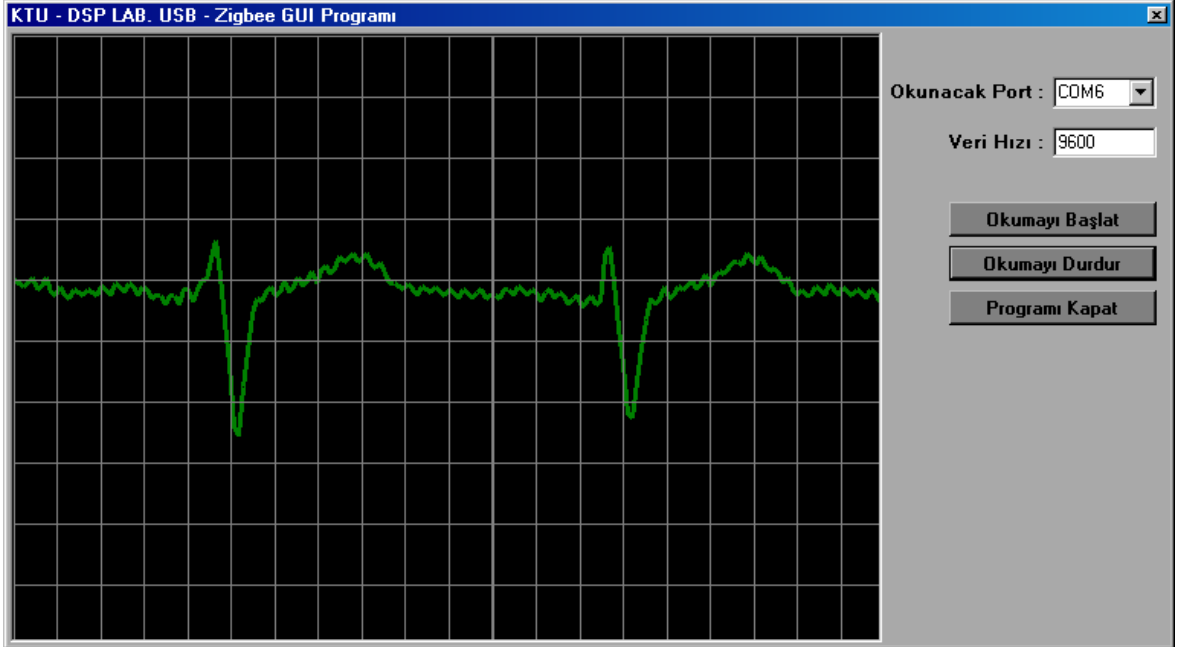


Şekil 2.16.b. MSP430 Programı “Veri Okuma - Çizme” sekmesi ekran görüntüsü

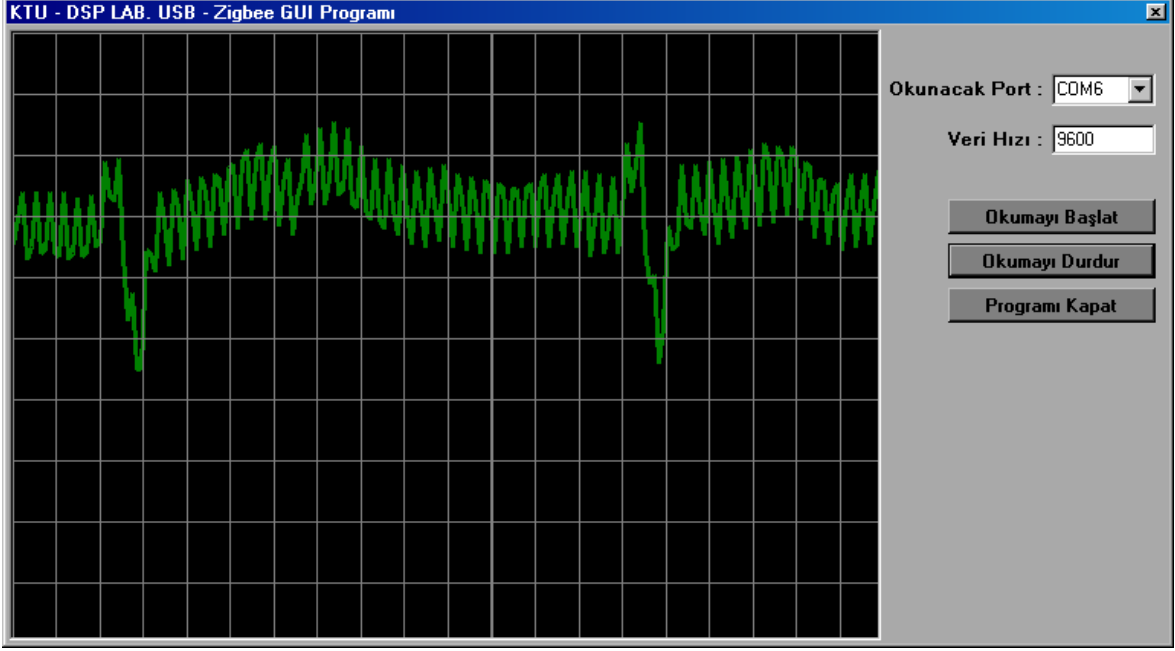
2.2. EKG İşaretinin Kablosuz Ölçüm Sistemi ile Taşınması Uygulaması

Ölçüm sisteminin bir uygulaması da EKG (ECG, electrocardiography) işareti taşınmasıdır. Ölçüm sistemi batarya ile beslendiğinden şebeke gürültüsünden arınmış bir şekilde EKG işareti taşınması mümkün olmaktadır. EKG işareti düşük güçlü bir işaret olduğundan ölçüm sisteminde yüksek hassasiyet gerekmektedir. Bununla birlikte nabız işaretlerinin doğru görülebilmesi için yüksek hızla örneklenmesi ve taşınmasına gerek olmamaktadır.

EKG işaretinin taşınabilmesi için öncelikle yükseltilmesi gerekmektedir. Bunun için düşük maliyetli bir EKG yükselteç devresi hazırlandı. Vücuda bağlanan EKG elektrotlarından alınan EKG işaretleri iki ayrı kanaldan yükselteç devresine bağlandı ve yükseltildi. Yükseltelen işaret yükselteç devresinin çıkışına bağlı bulunan MSP430 işlemcinin üzerindeki ADC birimi ile sayısalaya dönüştürüldü ve bu sayısal veri dizisi işlemci tarafından, gönderilmek üzere CC2480 ZigBee alıcı-verici yongasına ulaştırıldı. Algılayıcı ağının koordinatörüne bağlı bilgisayarda bulunan EKG çizdirici program vasıtasıyla koordinatör biriminin aldığı veri dizileri çizdirilerek anlık EKG işareti kablosuz olarak ölçülmüş oldu. Ölçülen işaret Şekil 2.17'de görülebilmektedir.



Şekil 2.17. Batarya ile beslenen kablosuz ölçüm sistemi ile bir EKG işaretinin taşınması



Şekil 2.18. Şebeke ile beslenen kablosuz ölçüm sistemi ile bir EKG işaretinin taşınması

Şekil 2.18’de kablosuz ölçüm sisteminin şebeke üzerinden beslendiği durumlarda EKG işareti taşınarak elde edilmiş bir ekran görüntüsü görülmektedir. İşaretin üzerindeki şebeke kaynaklı 50Hz gürültü açıkça görülebilmektedir.

Şekil 2.17 ile Şekil 2.18 karşılaştırıldığında batarya ile beslenen bir sistemle şebeke ile beslenen bir sistem arasındaki fark ortaya çıkmaktadır.

Böyle bir sistemle tek düğüm üzerinden yaklaşık 15 metre menzil içerisinde EKG ölçümleri alınabilmektedir. ZigBee’nin düğümlü çalışabilme kabiliyeti sayesinde bu menzil genişletilebilmektedir. Bu da bir hastanın EKG ölçümleri takip edilirken, odada veya hastanede serbestçe dolaşabilmesi gibi imkânlar sunacaktır. Yapılan testler hareket halindeki algılayıcı birimlerinden yüksek doğrulukla veri alınabildiğini göstermiştir.

3. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Tasarlanmış olan kablosuz ölçüm sisteminin test edilmesi iki farklı kategori altında yapılmıştır. Bunlar; ölçümlerin değişen mesafelere göre güvenilirliğini ortaya koyan Doğruluk – Mesafe Testi ve sistemin taşıma kapasitesini ortaya koyan Kapasite Testidir.

3.1. Doğruluk – Mesafe Testi

Ölçüm sisteminin doğruluğunu test etmek için önceden belirlenmiş 64 Byte boyundaki 200 adet farklı veri dizisi verici tarafından yollandı ve alıcı tarafından alınan verilerle karşılaştırması yapılarak Tablo 3.1’deki başarılı iletim yüzde değerleri elde edildi.

Tablo 3.1. Ölçüm sisteminin doğruluk – mesafe testi sonuçları

	Mesafe	İç Mekan	Dış Mekan
Engelsiz	2 metre	%100	%100
	4 metre	%100	%100
	10 metre	%100	%95,5
Engelsiz, Hareketli	2 metre	%100	%100
	4 metre	%99	%100
	10 metre	%96	%95
Cam Engelli	2 metre	%100	---
	4 metre	%100	---
	10 metre	%99	---
Cam + Plastik Engelli	2 metre	%90	---
	4 metre	%86,2	---
	10 metre	---	---

Tabloda da görüldüğü gibi yapılan testlerde sistemin kısa mesafelerde oldukça yüksek güvenilirliğe sahip olduğu tespit edildi. Deneylerde iki algılayıcı ağı birimi arasındaki engellerin sistem performansına etkisinin büyük olduğu ve engelin cinsine göre yaşanan veri kaybının değiştiği görülmüştür.

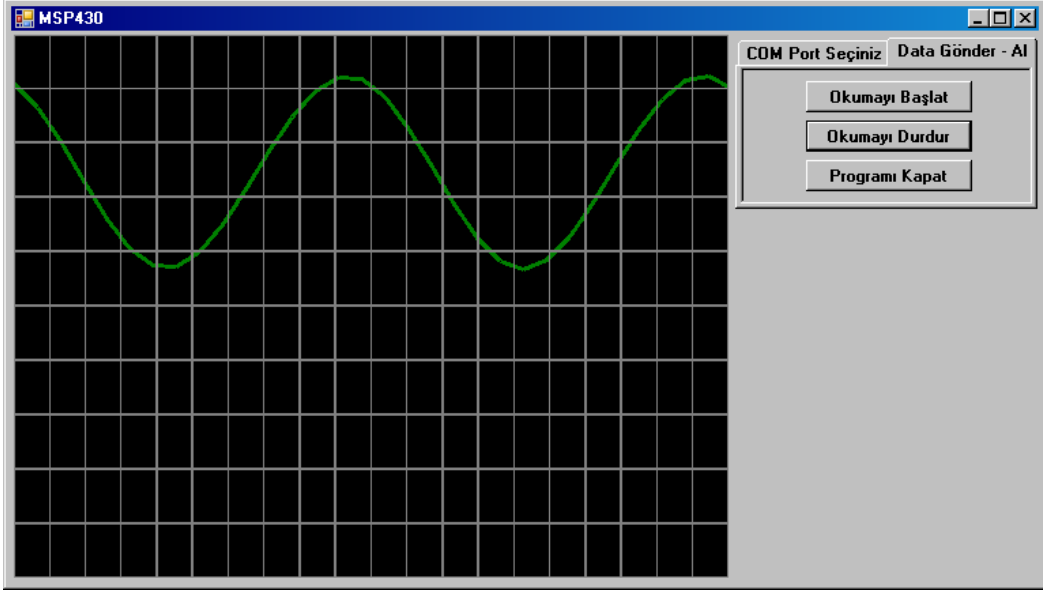
Ayrıca yapılan testlerde iç mekanda sistemin 15 - 25 metre menzile kadar rahat çalışabildiği, dış mekanda ise bu rakamın 10 - 15 metreye kadar inebildiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak iç mekândaki yansımaların olumlu etkisi gösterilebilir.

3.2. Kapasite Testi

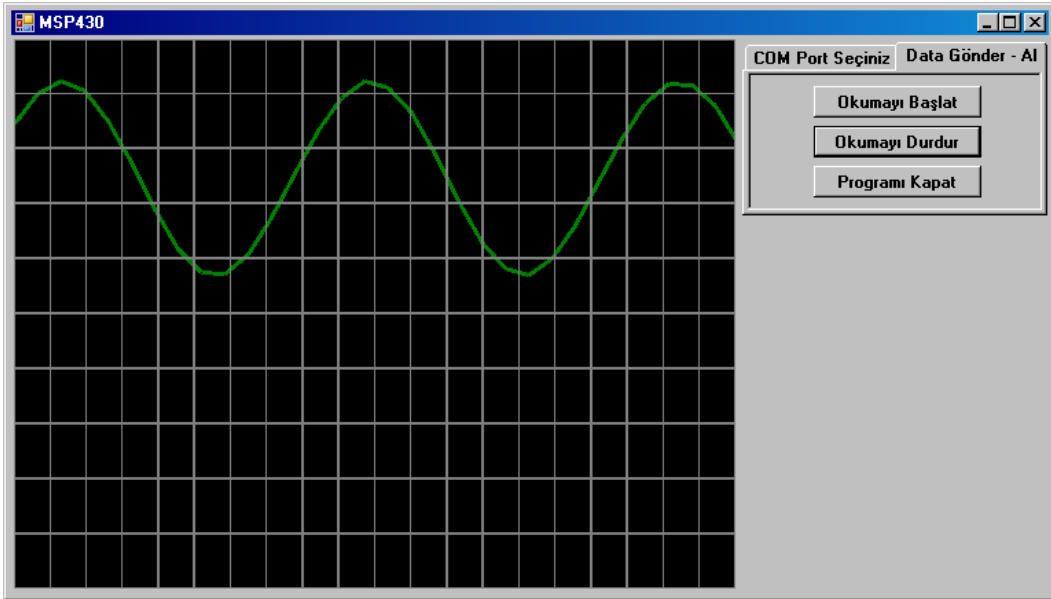
Ölçüm sistemin kapasitesini test etmek için ADC kanallarından birine çeşitli frekanslarda sinüs işareti uygulandı. Analog sinüs bilgisinin sayısala dönüştürülmesinde saniyede 200k gibi yüksek bir örnekleme hızına sahip MSP430 işlemcinin içerisindeki ADC10 bloğu kullanıldı.

Çeşitli frekans değerleri ile yapılan testler sonucunda elde edilen ekran görüntüleri Şekil 3.1'deki gibi elde edildi.

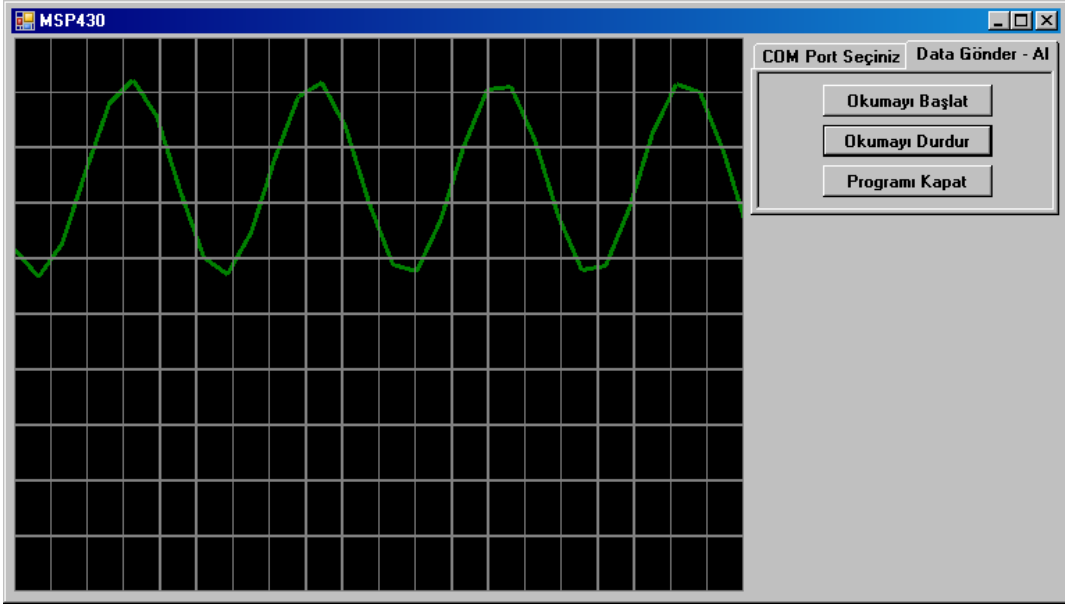
Yapılan deneylerde ölçüm sisteminin 10 - 15kHz ve daha düşük frekanslı analog işaretleri bozmadan taşıyıp sorunsuz çizdirebildiği görülmektedir. 15 – 20kHz aralığında çizdirilen işaretle ise bozulmalar tespit edilmiştir. 20 – 25kHz ve üzeri frekans değerindeki analog işaretlerin çok bozulduğu ve eldeki ölçüm sistemi ile sağlıklı bir şekilde taşıyıp çizdirilemediği tespit edilmiştir.



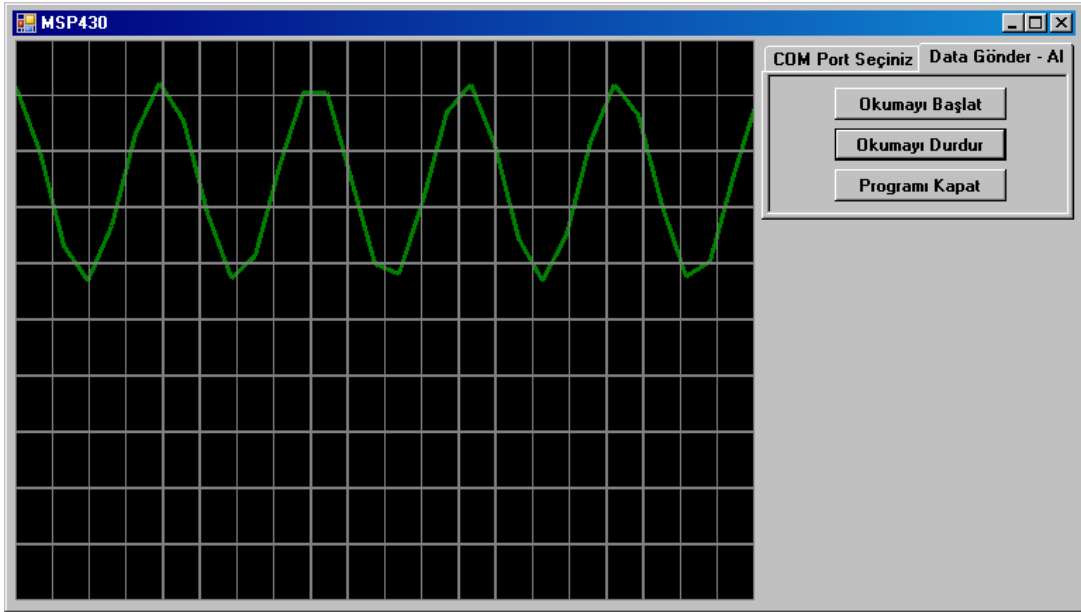
Şekil 3.1.a. 10kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü



Şekil 3.1.b. 12kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü



Şekil 3.1.c. 20kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü



Şekil 3.1.d. 25kHz sinüs işaretin taşınması sonucu ekran görüntüsü

4. SONUÇLAR

Kablosuz algılayıcı ağları yüzlerce saha birimi, veri okuma/yazma, kontrol ve hassas ölçüm üniteleri, kullanılarak bir merkezi birim tarafından uzaktan denetlenebilirler. Data hızları düşük ve haberleşme kuralları eşzamanlı haberleşmeye çok da uygun olmayan algılayıcı ağları gerçek zamanlı ses ve görüntü iletimine uygun değildir. Ancak, resim ve kayıtlı ses iletimi, dosya aktarımı gibi zaman kısıtlaması olmayan uygulamalar mümkündür. Bu çalışmada gerçekleştirilen kablosuz ölçüm probundan elde edilen en önemli sonuçlardan biri, şebekeden bağımsız olarak yapılan ölçümlerde ölçülen işaret üzerine ölçüm sisteminden gelen gürültü ihmal edilebilecek kadar az olmaktadır. Kullanılan kablosuz haberleşme sisteminin taşıyıcı frekansı ölçülen sistemin çalışma aralığı için çok büyük olup ölçümlerde etkisi gözlenmemektedir. Kontrol katında kullanılan mikroişlemci eğer düşük güçlü ve dâhili osilatör ile çalışıyorsa sisteme ilave ettiği gürültü ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır. Ancak kullanılan mikroişlemcinin harici bir osilatör ile çalışması veya gücünün yüksek olması durumunda bu işlemciden gelen gürültü ölçülen büyüklükte yapılan hatayı artıracaktır.

Analog örnekleme ve sayısal dönüştürücülerin kullanıldığı sistemlerde osilatör gürültüsü her zaman ölçülen büyüklükte hataya neden olan en önemli gürültü kaynağıdır ve sakınılması zordur. Radyo Frekans arayüzü (kablosuz algılayıcı) bağlantısı kullanarak yapılan ölçümlerde sisteme eklenen harici gürültüleri minimize etmek daha kolaydır. Dolayısı ile amaçlanan ve kurulan algılayıcı ağının geleneksel kablolu ölçüm sistemlerine göre önemli bir üstünlüğü bu tezle ortaya çıkarılmış ve sunulmuştur.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada kablosuz algılayıcı ağlarının yapısı ve kurulum yöntemleri incelenmiş, bir kablosuz algılayıcı ağı yöntemi olan IEEE 802.15.4 (ZigBee) standardı kullanılarak kablosuz bir ölçüm sisteminin gerçekleştirilmesi üzerinde çalışılmıştır.

Kablosuz algılayıcı ağlarındaki en büyük problem en geniş menzilde algılamanın en düşük güç tüketimiyle yapılabilmesidir. IEEE ve ZigBee Alliance kuruluşlarının ortak geliştirdiği ZigBee standardı bu noktada devreye girmektedir.

Modülasyon tekniği ve düğümlü çalışabilme yeteneği sayesinde ZigBee ağında bilgi, çok düşük güçlerle uzak mesafelere iletilebilmektedir. Bu sayede birimlerin batarya ömürleri aylara hatta yıllara kadar ulaşabilmektedir.

Düğümlü çalışabilme yeteneği aynı zamanda ZigBee standardı ile uzun mesafelere iletim yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ağa bağlı yüzlerce düğüm birbiri üzerinden veri iletimi yapabilmektedir. Fakat düğüm sayısı arttıkça iletişimin gecikmesi de artacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Römer, K., Friedemann, M., The Design Space of Wireless-Sensor Networks, 54–61, 2004.
2. Haenselmann, T., Sensornetworks GFDL Wireless Sensor Network Textbook, 2006.
3. Hadim, S., Nader, M., Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks, 2006.
4. Hart, J., Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science?, 2006.
5. Ergen, S., ZigBee / IEEE 802.15.4 Summary, 2004.
6. ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>.
7. WirelessHART Standard Approved and Released, <http://www.hartcomm2.org/hcf/press/pr2007/hart7released.html>.
8. Lenvall, T., Svenson, S., Hekland, F., A Comparison of WirelessHART and ZigBee for Industrial Applications, 2008.
9. Cypress, Cy-Fi Low Power RF Presentation, 2008.
10. Tilak S., Abu-Ghazaleh N., Heinzelman W., A Taxonomy of Wireless Micro Sensor Network Models, 2002.
11. Liang, X., Balasingham, I., Performance Analysis Of The IEEE 802.15.4 Based ECG Monitoring Network, 2007.
12. Park, C., Chou, P., Bai, Y., Matthews, R., Hibbs, A., An Ultra-Wearable, Wireless, Low Power ECG Monitoring System, 2006.
13. Dağtaş, S., Pekhteryev, G., Şahinoğlu, Z., Multi-stage Real Time Health Monitoring via ZigBee in Smart Homes, 2007.
14. MSP430x2xx Family User's Guide, 2008.
15. IEEE Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2007.

ÖZGEÇMİŞ

17.11.1984 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini 24 Şubat İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Orta öğrenimini Cumhuriyet Ortaokulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2004 yılından beri SOMAY Ltd. Şti. nde Teknik Sorumlu olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.