

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK FAKÜLTESİ

ZIGBEE ile Bina İçi Güvenlik Otomasyon Sistemi

BİTİRME ÖDEVİ

Ozan ARSLAN

040050325

Bölümü: Elektronik Mühendisliği
Programı: Elektronik Mühendisliği

Danışmanı: Doç. Dr. Müştak Erhan Yalçın

Mayıs 2009

ÖNSÖZ

Bitirme projem boyunca bana destek oldukları, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, gerekli laboratuvar imkânlarını sağladıkları için heyecanlarını, isteklerini ve yeni şeyler üretme azimlerini hiçbir zaman kaybetmeyen, bu konuda her daim örnek aldığım değerli hocam Doç. Dr. Müştak Erhan YALÇIN ve Müh. Ramazan YENİÇERİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her türlü konuda bana destek olan aileme, birçok şey öğrendiğim İTÜ BIDB'ye, bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Gömülü Sistem Tasarımı Laboratuvar çalışanlarına, 4 yıl boyunca çok güzel paylaşımlar yaşadığım arkadaşlarıma, EEF futbol takımına sevgi dolu teşekkürler.

Mayıs 2009

Ozan ARSLAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. ZIGBEE	2
2.1. Zigbee Teknolojisi	2
2.2. Zigbee Tarihi ve Aşamaları	2
2.3. Zigbee'nin Kullanım Alanları	3
2.4. Diğer Kablosuz Teknolojilerle Zigbee'nin Karşılaştırılması	4
2.5. IEEE 802.15.4 Standardı	5
2.5.1. Fiziksel Katman	6
2.5.2. Ortam Erişim Yönetimi Katmanı	6
2.6. Zigbee Protokollerinin IEEE 802154 ile İlişkisi	7
2.7. Zigbee'de Düşük Güç Tüketimi	8
2.8. Zigbee Araç Tipleri, Ağ Bileşenleri ve Görevleri	8
2.9. Zigbee'nin Desteklediği Ağ Topolojileri	9
2.9.1. Yıldız Topoloji	9
2.9.2. Ağaç topolojisi	10
2.9.3. Örgü Topolojisi	10
2.10. Maxstream Xbee 2 Serisi Zigbee RF Modülleri Kiti	11

2.10.1. Zigbee Modüllerinin Genel Özellikleri	13
3. NEC 78K0R PD78F1166 MİKRODENETLEYİCİSİ	14
3.1. Mikrodenetleyici Nedir?	14
3.2. NEC PD78F1166 Mikrodenetleyicisinin Genel Özellikleri	14
3.3. UART Protokolü	16
3.4. NEC PD78F1166 Mikrodenetleyicisi Kiti	17
3.5. NEC PD78F1166 Mikrodenetleyicisinde UART Kullanımı ve İlgili Saklayıcı Ayarları	18
3.5.1. Çevre Birimlerini Etkinleştirme Saklayıcıları	19
3.5.2. Seri Haberleşme Saat Darbesi Seçicisi	19
3.5.3. Seri Mod Saklayıcısı	19
3.5.4. Seri Haberleşme Operasyonu Ayarlama Saklayıcısı	20
3.5.5. Seri Veri Saklayıcısı	20
3.5.6. Seri Kanal Başlatma Saklayıcısı	21
3.5.7. Seri Çıkışı Etkinleştirme Saklayıcısı	21
3.5.8. Seri Çıkış Saklayıcısı	21
3.6. Tuş Kesme Fonksiyonu	21
3.7. Zamanlayıcı Dizi Birimi Konfigürasyonu	23
3.7.1. Çevre Birimlerini Etkinleştirme Saklayıcısı	23
3.7.2. Zamanlayıcı Birimi Saat Darbesi Seçicisi	23
3.7.3. Zamanlayıcı Mod Saklayıcısı	23
3.7.4. Zamanlayıcı Veri Saklayıcısı	24
4. PROJENİN GERÇEKLENMESİ	25
4.1. Xbee Modüllerinin Nasıl Yerleştirileceği	25
4.2. Xbee Modüllerde Uygulanacak Ağ Protokolü	29
4.3. Xbee Modüllerde Kanal Numarası, PAN ID ve Veri İletim Hızı ve Çeşidinin Ayarlanması	29
4.3.1. Kanal Numarası ve PAN ID Seçimi	29
4.3.2. Veri iletim Hızı ve Çeşidinin Belirlenmesi	30
4.4. Hareket Algılayıcı Devresi ve Mikrodenetleyiciye Bağlanması	31

4.5. NEC PD78F1166 Mikrodenetleyicisinin Programlanması ve Program Kodları	32
4.6. NEC PD78F1166 Mikrodenetleyicisi ile Xbee Modülü Bağlantısı	35
4.7. Xbee Modülleri ve NEC Mikrodenetleyicisi Kullanılarak Uzaktaki Cihazın Kontrol Edilmesi	38
5. SONUÇ	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	41

TABLO LİSTESİ

Tablo 21: Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması [5]

4

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Zigbee'nin bina otomasyonunda kullanımı [4]	3
Şekil 2.2: Zigbee protokolü ile IEEE 802154 standardı arasındaki bağlantı diyagramı [1]	7
Şekil 2.3: Yıldız Topolojisi [3]	9
Şekil 2.4: Ağaç Topolojisi[3]	10
Şekil 2.5: Örnek bir örgü topolojisi[3]	11
Şekil 2.6: Maxstream Xbee 2 serisi kitleri	12
Şekil 3.1: Genel hatlarıyla mikrodenetleyici mimarisi [7]	14
Şekil 3.2: NEC PD78F1166'nın bacak dizilişi [8]	16
Şekil 3.3: 31 ondalık sayısının UART protokolüyle iletilmesi [7]	17
Şekil 3.4: NEC PD78F1166 mikrodenetleyici kiti [10]	18
Şekil 3.5: Anahtarlayıcı 1 – Kumanda kolu ve onların bağlı olduğu portlar [10]	22
Şekil 3.6: Tuş kesmesi blok diyagramı [8]	22
Şekil 4.1: Terminal sekmesinde “atnd” komutu ile düğüm bulma	26
Şekil 4.2: Arayüz kullanılarak yerel modem DH – DL konfigürasyonun yapılışı	27
Şekil 4.3: Seri Loop Back Adaptörü ve pin çıkışları [6]	27
Şekil 4.4: XCT-U programıyla Zigbee modemler arası uzaklık testi uygulaması	28
Şekil 4.5: Terminal Sekmesinde PAN ID Konfigürasyonu	30
Şekil 4.6: X-CTU ile Zigbee modemlerin veri iletim hızı ve çeşidinin ayarlanması	31
Şekil 4.7: Hareket algılayıcı devresi	32
Şekil 4.8: NEC – Xbee modülü arasındaki bağlantı devresinin şematigi	36
Şekil 4.9: Bağlantı devrenin PCB tasarımı	37
Şekil 4.10: Her kattaki sistemin görünüşü	37

ÖZET

Zigbee, diğer kablosuz teknolojilere kıyasla küçük boyutlarda veri alışverişini gerçekleştiren, iletim hızı yavaş, maliyeti düşük, uygulanabilirliği ve genişletilmesi kolay, az güç tüketen kablosuz haberleşme teknolojisidir. Bu projenin amacı Zigbee teknolojisini kullanarak yeni uygulamalar geliştirmeyi sağlayacak bir alt yapı oluşturmak ve bu alt yapı üzerinde mikroişlemci temelli bir uygulama gerçekleştirmektir.

Uygulamanın birinci kısmında uzak bir bölgedeki algılayıcı bilgileri, Zigbee destekli Maxstream Xbee 2 serisi RF modülleri ve NEC 78K0R 78PDF1166 mikrodnetleyicileri kullanılarak merkezi bir cihazda görüntülenmiştir. Hareket algılayıcı devresi hareketi algıladığında, mikrodnetleyiciye bir bitlik bir uyarı verir. Bu uyarıyı alan mikrodnetleyici UART haberleşme protokolünü kullanarak Zigbee modülüne hareketin algılandığını belirten bir veri gönderir. Bu veri doğrudan veya diğer Zigbee modülleri üzerinden merkezde bulunan koordinatör Zigbee modülüne gelerek, hareketin nerede algılandığına dair bilgi, HyperTerminal programıyla ekrana yazılır. Bu şekilde Zigbee teknolojisiyle uzak noktadaki bilgiler görüntülenmiştir.

Uygulamanın ikinci kısmında ise yine aynı cihazlar kullanılarak merkezde bulunan, koordinatör Zigbee modülünün bağlı olduğu cihazdan gönderilen verilerle diğer Zigbee modüllerine bağlı mikrodnetleyici kitler üzerinde kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle Zigbee ağ topolojileri kullanılarak görüntülemenin yanında kontrol işlemi de yapılmıştır.

SUMMARY

If we compare Zigbee to the other wireless communication Technologies, Zigbee provides low power consumption, low cost, practicality and easy expansion networks and used for smaller data transmission in slow speed. The aim of this project is to implement some applications with Zigbee technology based on microcontroller system and is to be a sample study to develop new applications in the further works.

In the first part of the application by using NEC PD78F1166 microcontroller and Maxstream Xbee Series 2 RF modules, the motion sensor information from remote areas was displayed on a central device. When the motion sensor detects an action, it sends one bit warning data to the microcontroller interrupt pin. After getting this interrupt, microcontroller sends a string data which indicates the movement detection, to the Xbee reception pin by using UART transmission / reception protocol. This string data comes to the coordinator Xbee module directly or over the other Xbee modules and the detection data is displayed on the central device monitor. HyperTerminal program is used to display this detection data on the computer which coordinator Xbee module is attached. By that, from a remote area sensor information is monitored on the central device.

In the second part of the application, with the same devices, microcontrollers which are far away from the coordinator Xbee module, are controlled from the central device. In this way by using Zigbee network topologies besides monitoring the sensor information also the remote devices are controlled from the central point.

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme denildiği zaman akla ses, resim, video vb. gibi büyük boyutlu verilerin yüksek veri hızında iletimini yapabilen Wi-Fi, WIMAX, Bluetooth ve şimdilerde popüler olan 3G, 4G gibi teknolojiler gelmektedir. Bu standartları kullanan cihazlar sistem kaynaklarını da iletim hızlarıyla doğru orantılı olarak fazla miktarlarda kullanırlar. Fakat her daim büyük boyutlarda veri iletimine ihtiyaç duyulmayabilir. Sensör ve kontrol cihazları küçük boyutlarda veri iletip veya alırlar. Bu durumda bu tarz verilerin iletimini sağlamak ve böyle cihazların kontrolünü yapmak için sistem kaynaklarını mümkün olduğunca az kullanacak, akıllı ağ topolojilerini destekleyecek bir teknolojiye ihtiyaç duyulmuştur. Bunun üzerine IEEE, 802.15.4 standardını çıkarmış, bu standartları temel alan Zigbee protokolünün ve bu protokolü destekleyen cihazların üretilmesini sağlamıştır. Böylelikle düşük güç tüketen, düşük maliyetli, akıllı ağ topolojileri kurabilen Zigbee destekli cihazlar günlük yaşamda yerini almaya başlamıştır.

Bitirme projesi kapsamında, Zigbee teknolojisini destekleyen modüller ve NEC PD78F1166 mikrodenetleyicileri ile sensör bilgilerinin merkezi bir cihazda görüntülenmesi, ayrıca uzak noktadaki cihazların bu merkezden kontrol edilebilmesi sağlanmıştır. Projede Maxstream Xbee 2 serisi OEM RF modülleri ve NEC 78K0R PD78F1166 mikrodenetleyicisi Cool- it! Kitleri, 3 adet hareket algılayıcı sensör devresi kullanılmıştır. Projede Zigbee teknolojisi ve NEC mikrodenetleyicisi ayrı ayrı ele alınmış, sonrasında tüm sistemin gerçekleştirilmesi için bu iki ayrı birim birleştirilmiştir. Zigbee, NEC mikrodenetleyicisi ve tüm sistemin nasıl birleştirilip uygulandığı tez dokümanında ayrıntılıca anlatılmaktadır.

2. ZIGBEE

2.1 Zigbee Teknolojisi

Zigbee, kablosuz haberleşme teknolojilerinde düşük hız kablosuz kişisel yerel ağ (LR-WPAN, Low-Rate Wireless Personal Area Network) haberleşmesi olarak bilinir. Zigbee teknolojisi, küçük boyutta veri alışverişi ile gerçekleştirilmesi mümkün uygulamalarda düşük maliyetli olması, minimum güç tüketme prensibine dayanması, kurulumunun kolay ve esnek yapıda olması açısından büyük oranda tercih edilmektedir. Bu teknoloji sayesinde karmaşık ağ yapıları kurmak, bunları genişletmek ve bu yapıların diğer teknolojilerle haberleşmesini sağlamak mümkündür [1].

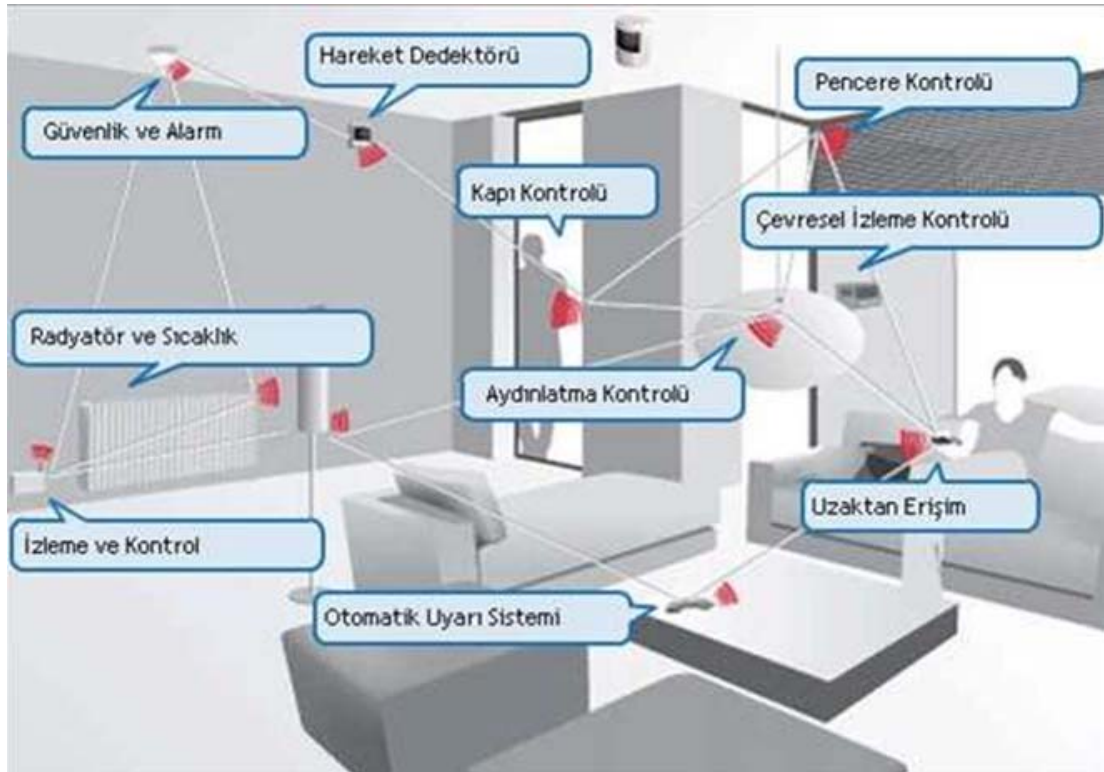
2.2 Zigbee Tarihi ve Aşamaları

Wi-Fi ve Bluetooth gibi kablosuz haberleşme teknolojilerinin kimi uygulamalarda elverişsiz olmaları nedeniyle 1998 yılından itibaren Zigbee stili ağlar üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Amaç güvenilirliği yüksek, düşük maliyetli, enerji tasarruflu, görüntüleme ve yönetme amaçlı ağlar kurmaya elverişli ürünler ortaya çıkarmaktı [2]. Zigbee teknolojisinin ihtiyacı olan standart IEEE tarafından 802.15.4 standardı Mayıs 2003'te tamamlanmıştır. 14 Aralık 2004 tarihinde Zigbee özellikleri tasdik edilmiştir [2]. Zigbee Alliance, Zigbee teknolojisinin standartlarından sorumlu dünya çapında bir birim olup; güvenilir, düşük maliyetli ve güç tüketimi az ürünler ortaya çıkarmak için birçok firmanın bir araya gelip görüntüleme ve kontrol amaçlı ürünlerin standartları üzerinde çalıştığı bir topluluktur [2]. Bu topluluğun üye sayısı 2005 yılında 200'ü bulmuş ve her yıl bu sayı daha da artmıştır. Bu da Zigbee teknolojisinin önemini göstermektedir. Zigbee, Haziran 2005 tarihinde kullanıma sunulmuştur. Zigbee 2007, yeni teknik özellikleri ile 30 Eylül 2007'de piyasaya sürülmüştür. Son olarak ilk Zigbee uygulama profili olan ev otomasyonu da 2 Kasım 2007'de kullanıma sunulmuştur [2].

2.3 Zigbee'nin Kullanım Alanları

Zigbee sağladığı avantajlar sayesinde birçok sektörde sensör haberleşmesinde, kontrol ve izleme mekanizmalarında kullanılmaktadır. Zigbee'nin yaygın olarak kullanıldığı bazı sektörler ve bu sektörlerdeki uygulamaları aşağıda belirtilmiştir.

Ticari Bina ve Ev Otomasyonu: HVAC (Isınma, Havalandırma ve Klima Sistemlerinde), ışıklandırma kontrolü, kapı – pencere – panjur – kilit kontrollerinde, ev otomasyonunda müzik ve sinema sistemlerinin kontrolünde, bina içi giriş- çıkış kontrollerinde kullanılmaktadır [3].



Şekil 2.1: Zigbee'nin bina otomasyonunda kullanımı [4]

Güvenlik: Güvenlik alarm, yangın-gaz-su detektör sistemlerinde, giriş-çıkış kontrollerinde kullanılmaktadır [3].

Sağlık Sektörü: Hasta takip veya vücut geliştirme antrenmanlarında kontrol amaçlı kullanılır. Kan basıncı, nabız, tansiyon ve diğer medikal bilgilerin izlenmesinde büyük rol oynar [3].

Araçlarda: Araçlardaki mekanizmaların kontrolünde özellikle de kabloların

ulaşamayacağı yerlerde mesela lastiklerin basıncını izlemede kullanılır [3].

Tarım: Nem, su, sıcaklık, gübre durumu vb. gibi verilerin izlenmesini sağlayarak ürün yetiştirmede optimizasyonu sağlar [3].

Endüstri: Üretim kontrolü, enerji yönetimi, endüstriyel cihazların kontrolünde kullanılır [3].

Ayrıca taşınabilir servislerin ve aygıtların çevrimiçi (online) ödeme, çevrimiçi kontrol sistemlerinde kullanılır [3].

2.4 Diğer Kablosuz Teknolojilerle Zigbee'nin Karşılaştırılması

Tablo 2.1'de görüldüğü üzere Zigbee, pil ömrünün uzunluğu, istenildiği kadar ağ kurma avantajı, sistem kaynaklarını minimumda kullanması sayesinde izleme ve kontrol amaçlı uygulamalarda kullanılabilecek en uygun teknolojidir. Dezavantajı ise Wi-Fi veya Bluetooth'da olduğu gibi büyük boyutlarda veri akışı sağlayamamasıdır. Bu da Zigbee'nin daha çok küçük boyutlarda veri akışının olduğu uygulamalarda kullanılması demektir. Ayrıca Zigbee lisans gerektirmeyen frekans bandını kullanır, kurulumu ucuz ve kolaydır. Esnek ve genişletilebilen ağ yapısına sahiptir.

Tablo 2.1: Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması [5]

Özellik	Zigbee	GPRS/GSM	Wi-Fi	Bluetooth
Odaklanma Alanı	İzleme ve Kontrol	Geniş alan ses ve veri	Web, E-posta, Görüntü	Kablo Yerine
Sistem Kaynağı	4-32 Kb	16 Mb +	1 Mb +	250 Kb +
Pil Ömrü (Gün)	100-1000 +	1-7	0,5-5	1-7
Ağ Boyutu (adet)	Sınırsız 2^{64}	1	32	7
Ağ Veri Genişliği (kb/s)	20-250	64-128 +	11000 +	720
Kapsama Alanı (metre)	1-100 +	1000 +	1-100	1-10 +
Başarı Alanları	Dayanıklılık, Maliyet, Güç tüketimi	Ulaşılabilirlik, Kalite	Hız, Esneklik	Maliyet, Rahatlık

2.5 IEEE 802.15.4 Standardı

IEEE 802.15.4 standardı, kablosuz kişisel yerel ağlarında fiziksel (PHY) ve ortam erişim yönetimi (MAC, Medium Access Control) katmanları için oluşturulmuştur. Standardın oluşturulma amacı düşük alt yapı maliyetli, aktarım hızı yavaş ve düşük güç tüketimli kişisel kablosuz ağlar oluşturulmasıdır. 802.15.4 ün özellikleri [1,2]:

- 3 farklı ISM bandı kullanır. ISM (Endüstri, Bilim ve Tıp Bandı), telsiz haberleşmede herhangi bir sertifika veya lisansa ihtiyaç kalmadan sadece belirli bir çıkış gücü sınırlamasına uyularak kullanılan frekans bantlarıdır. Bunun için 3 farklı frekans bandı vardır:
- 868-868.8 MHz aralığı Avrupa'da kullanılır ve sadece 1 kanal içerir. Veri aktarım hızı 20 kb/s'dir.
- 902-928 MHz aralığı Kuzey Amerika'da kullanılır ve öncesinde 10 kanal vardı, 2006 yılı itibarıyla 30 kanal içerir. Veri aktarım hızı 40 kb/s'dir.
- 2400-2483.5 MHz aralığı Dünya genelinde kullanılır ve 16 kanal içerir. Veri aktarım hızı maksimumda 250 kb/s'dir.
- Dinamik adresleme yapabilir.
- Yıldız (star), örgü (mesh) ve noktadan noktaya (peer-to-peer) ağ yapılarını destekler.
- CSMA-CA'yı destekler. CSMA (Carrier Sense Multiple Access) Mekanizmasında, paket transfer etmek isteyen düğüm ilk olarak Clear Channel (Kanal temiz mi?) keşif prosedürünü uygular. Bunun için ortamı belli bir süreliğine dinler. Eğer medya temiz ve boş, herhangi bir veri transferi söz konusu değilse düğüm paketini iletir. Fakat başka bir düğüm tarafından veri iletimi var ise; düğüm veri iletiminden vazgeçer, belli bir süre bekler, tekrardan Clear Channel prosedürünü uygular. Ayrıca aynı anda 2 ya da daha fazla düğümün paketlerini iletmeleri durumunda veriler üst üste gelebilir, bu olay verilerin çarpışmasına (collision) ve paketlerin düşmesine yol açar. Eğer kayıpsız bir iletim isteniyorsa, bu çarpışmalar fark edilmeli ve düşen paketler yeniden iletilmelidir. CSMA-CA algoritması bu noktada oluşabilecek sorunları önler ve kayıpsız veri iletimini sağlar [1].

- Güvenli ve güvenilir bir iletişim sağlar.

IEEE 802.15.4 standardı yukarıdaki işlemleri iki katmanda gerçekleştirir.

2.5.1 Fiziksel Katman (Physical Layer)

Radyo frekans kontrolü, kanal seçimi, ortamın veri iletimi için uygunluğunun kontrolü (clear channel assesment), verilerin modülasyonu ve demodülasyonu, sinyal yayılımı, yayın alma ve yayın verme işlemlerinin yapıldığı katmandır [1].

2.5.2 Ortam Erişim Yönetimi Katmanı (MAC)

Güvenilir ve güvenli iletişimi sağlayan katmandır. Her cihazın bir MAC adresi mevcuttur. Bu MAC adresleri 64 bit (long address) ya da 16 bit (short address) olabilmektedir. Bu katmanda paket kriptolama işlemi ve cihazlar arası güvenilir erişim kontrolü yapılır. 802.15.4 standardında MAC katmanı tarafından çeşitli güvenlik servisleri uygulanır. Cihazlar kendilerine gelen paketlere cevap verirken paketler içinde bulunan karşı tarafın MAC adreslerini dikkate alırlar. Bu durumda MAC adresleri özgün, eşsiz olduğundan paketlerin farklı cihazlara gitmesi mümkün değildir [1].

MAC katmanında 3 çeşit güvenlik modu vardır. Bunlar:

1. Güvensiz Mod:

Herhangi bir güvenlik servisi sağlanmadan MAC paketçiklerinin açık metin olarak gönderilmesidir [1].

2. Erişim Kontrol Listesi Modu (Access Control List Mode):

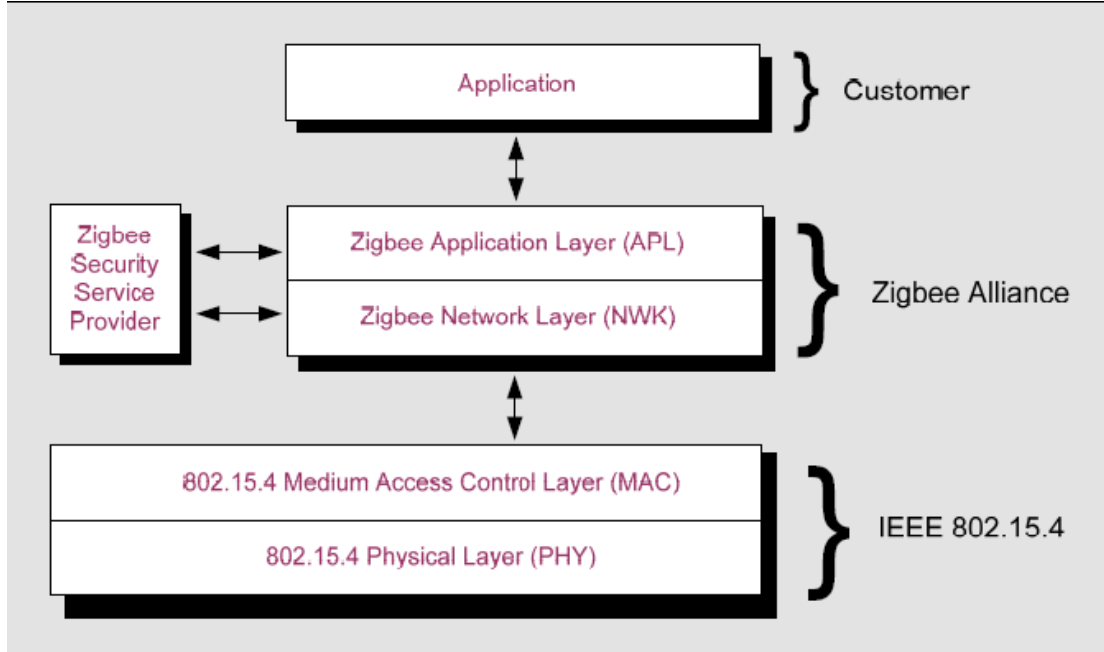
Her bir cihazın MAC adresinin listelenerek, haberleşmesi istenen cihazların donanımlarına yüklenmesiyle sağlanır. Böylelikle yabancı bir cihaz sisteme dâhil olamaz [1].

3. Güvenli Mod:

Bu modda MAC paketçikleri kriptolanır. Kriptolamada AES (Advanced Encryption Standard) kullanılır [1].

Haberleşme ne kadar güvenli olursa aynı zamanda o kadar da sistem kaynağını tüketir. Bu yüzden ihtiyaca göre güvenlik önlemleri alınmalıdır.

2.6 Zigbee Protokollerinin IEEE 802.15.4 ile İlişkisi



Şekil 2.2: Zigbee protokolü ile IEEE 802.15.4 standardı arasındaki bağlantı diyagramı

[1]

IEEE 802.15.4 standardı Zigbee teknolojisinin MAC ve PHY katmanını oluşturur. Zigbee standardı ise daha üst seviye katmanlar olan ağ ve uygulama katmanlarını tanımlar. En üst katman kullanıcı uygulamaları için ayrılmıştır. Diğer katmanları kısaca özetlersek:

PHY Katmanı: Radyo frekans haberleşmesini yapar.

MAC Katmanı: İki düğüm arasındaki güvenilir haberleşmeyi sağlar.

Ağ Katmanı: Kompleks ağ topolojilerinde haberleşme düzenini oluşturur.

Uygulama Katmanı: Ağ yönetim fonksiyonlarını, mesaj formatlarını, güvenlik uygulamalarını belirler.

Zigbee, 802.15.4 ün üzerine mantıksal ağ topolojisi kurma, güvenlik ve uygulama özelliklerini ekler.

Zigbee ve IEEE 802.15.4'ün amacı düşük güç tüketimini, düşük maliyeti, geniş mantıksal topolojileri sağlamak, birçok uygulamaya yönelik esnek protokolleri oluşturmaktır.

2.7 Zigbee’de Düşük Güç Tüketimi

Zigbee teknolojisinde düşük güç tüketimini sağlayan birçok etken vardır. Başlıcaları:

- Büyük boyutlarda veri aktarımının olmayışı
- Bu teknolojiye diğer teknolojilere oranla daha küçük aygıtların kullanılması
- Veri alışverişi yapmadığı zamanlarda yönlendirici ve koordinatör dışındaki aygıtların uyku modu (sleep mode) durumunda kalmaları [3]
- BPSK ve O-QPSK modülasyon çeşitlerinin çok fazla güç tüketmemeleri [3]
- Kısa zamanlı görev çevrimi (Low duty cycle): yayın alma ve yayın verme sürelerinin çok kısa ve bu iki süreç arasındaki zaman aralığının uzun tutulmasıyla cihazın aktif çalışma zamanı kısılır, böylelikle daha az güç tüketilir [3].

2.8 Zigbee Araç Tipleri, Ağ Bileşenleri ve Görevleri

Zigbee araçları temelde iki çeşidi baz alır.

İndirgenmiş Fonksiyonlu Cihazlar (Reduced Function Devices) (RFD): Hafıza, işlem ve güç kapasitesi bakımından sınırlandırılmış düğümlerdir. Ağda sadece Son Aygıt (End Device) olarak görev yapabilirler. Yönlendirici (router) veya koordinatör olamazlar [1].

Tam Fonksiyonlu Cihazlar (Full Function Devices) (FFD): Bu aygıtlar daha karmaşık işlemleri yapabilirler. Ağ topolojisinde yönlendirici, koordinatör veya son aygıt olarak görev alabilirler [1].

Yukarıdaki özellikleri içeren ağdaki Zigbee elemanları:

a-) Zigbee Varsayılan Ağ geçidi (Zigbee Gateway): Farklı ağlar arasında bağlantı kurulmasını, geçiş yapılmasını sağlar. Bu geçiş Zigbee ağları veya bir Zigbee ağı ile normal internet ağı arasında olabilir. Bu da Zigbee protokolü sayesinde kontrol ve izleme amaçlı edinilen bilgilerin internet aracılığıyla uzak yerlerden de gözlemlenebileceğini göstermektedir [1].

b-) Zigbee Son Aygıt (Zigbee End Device): Ağ içerisindeki en zayıf elamandır. Görevi elde ettiği mesajı bir sonraki düğüme iletmektir. Diğer aygıtlara göre daha az enerji tüketirler [1].

c-) Zigbee Koordinatörü: PAN (Personal Area Network) koordinatörü olarak da bilinir. Her Zigbee ağında sadece bir tane vardır. Görevi ağı başlatmak, aygıtlara PAN ID denilen ağ adını atamak, ağ operasyonunu yürütmektir [1].

d-)Zigbee Yönlendiricisi: Düğümler arasında yönlendirme yapmakla görevlidir. Yapılan bu yönlendirmelerle kullanılan ağın kapsamını artırır. Ayrıca adresleme yapılıp yapılmaması işlevini yönetmektedir [1].

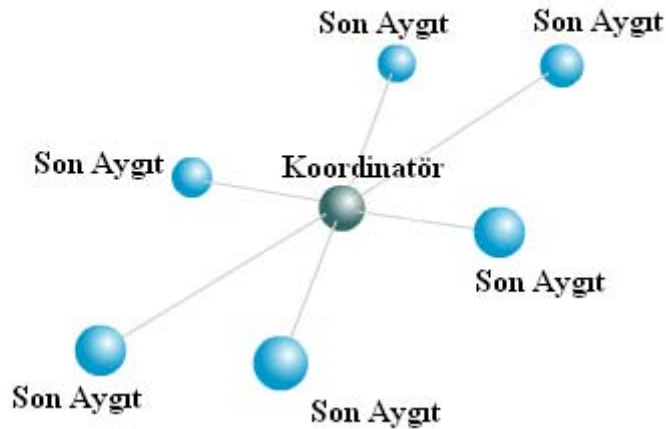
e-) Zigbee Güvenlik Merkezi (Zigbee Trust Center) (ZTC) : Zigbee güvenlik yapısını oluşturur ve yönetir. Aygıt, güvenlik ve ağ yönetimini sağlar [1].

2.9 Zigbee'nin Desteklediği Ağ Topolojileri

Zigbee noktadan noktaya, yıldız, bir noktadan birden çok noktaya veya çok noktadan tek noktaya, ağaç ve örgü topolojileri olmak üzere birçok topolojiyi destekler.

2.9.1 Yıldız Topoloji

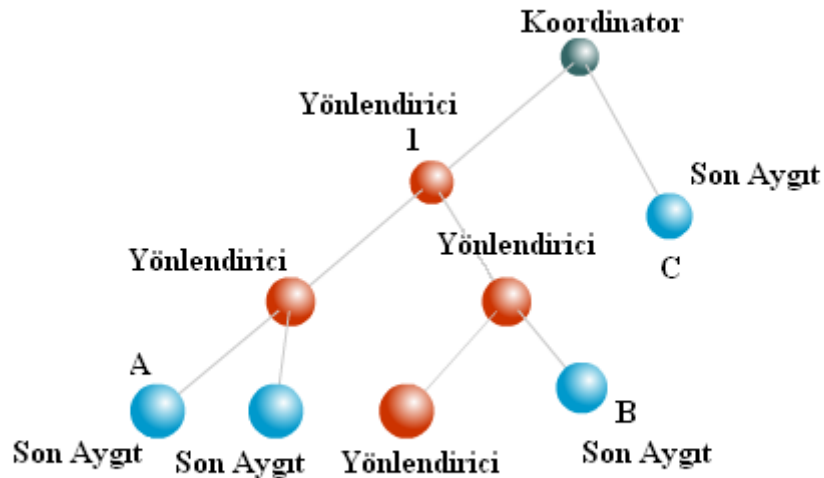
Bu topolojilerde merkezde koordinatör bulunur. Diğer bütün cihazlar noktadan noktaya olacak şekilde koordinatörle iletişim kurarlar. Mesajlaşma koordinatör üzerinden yapılır. Şekil 2.3'te merkezdeki cihaz koordinatör, diğer cihazlar son aygıttır [3].



Şekil 2.3: Yıldız Topolojisi [3]

2.9.2 Ağaç Topolojisi

Hiyerarşik bir düzende cihazların birbirleriyle haberleşme biçimidir. Ağaç yapısının en üst noktasında koordinatör bulunur. Bir düşük seviyede yönlendiriciler ve en alt seviyede ise son veya yönlendirici aygıtlar bulunur. Şekil 2.4'te A aygıtının B ile haberleşmesi 1 nolu aygıt üzerinden sağlanırken, C aygıtıyla haberleşmesi koordinatör tarafından sağlanır.

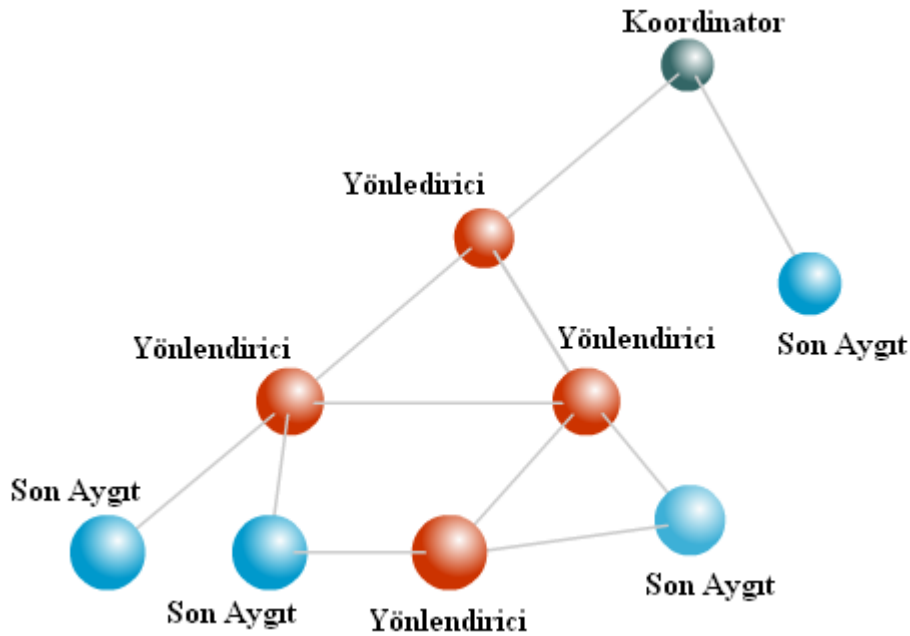


Şekil 2.4: Ağaç Topolojisi[3]

2.9.3 Örgü Topolojisi

Örgü topolojisi, en çok kullanılan topoloji olup aynı zamanda projede de kullanılmıştır. Bu tarz topolojilerde bütün cihazlar, birbirleriyle AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector routing) algoritması yardımıyla haberleşmektedir. Eğer gidilecek yön bilinmiyorsa, AODV algoritmasıyla hedef aygıtın nerde ve hangi yönde bulunduğunu bulabilmek için ilk olarak kaynak aygıt yön istek (route request) paketini tüm ağa yayınlar. Bu paket içerisinde paketin dizi numarası, hedefin ağ adresi, metrik bilgisi alanı ve kaynağın ağ adresi bulunmaktadır. Metrik, cihazlar arasında haberleşme yapılırken en avantajlı yolun bulunmasında üretici firma ve çeşitli standartlar tarafından parametreler kullanılarak hesaplanan maliyet bilgisidir. Yön istek yayını alan diğer cihazlar, yalnızca yön istek paketini gönderen kaynağa

gitmek istediği cihaza gidebileceği yönü metrik bilgisiyle iletir. Birden fazla cihazdan yön istek paketine cevap alındığında, metrik maliyeti en düşük olan yoldan veri paketi yollanır [6]. Şekil 2.5 örgü topolojisine örnek bir ağ yapısını göstermektedir.



Şekil 2.5: Örnek bir örgü topolojisi[3]

2.10 Maxstream Xbee 2 Serisi Zigbee RF Modülleri Kiti

Projede Maxstream Xbee 2 serisi kitleri kullanılmıştır. Bu kit; 2 adet kablo, 1 adet çip, 1 adet U.FL ve 1 adet de SMA antenli toplam 5 adet Xbee modülü ile birlikte biri RS-232 diğer 4'ü USB bağlantılı Xbee modüllerini programlama ve çeşitli testler yapma amaçlı toplam 5 adet kartı içerir. Şekil 2.6'da Maxstream Xbee 2 serisi kitleri gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Maxstream Xbee 2 serisi kitleri

5 adet Xbee modülünden biri koordinatör olup diğer dördü yönlendirici / son aygıt olarak çalışmaktadır. Xbee modüllerinden koordinatörün ürün numarası XB24-BWIT-002, diğerlerinin ise XB24-BWIT-004'tür. Bu ürün numaraları doğrultusunda veri dokümanından yararlanılarak Xbee modüllerinin API'yı (Application Programming Interface) desteklemediği, saydam (transparent) operasyonu yani gelen paketleri başka Xbee modüllerine olduğu gibi anahtarlama özelliğini desteklediği

belirlenmiştir. Xbee modülleri varsayılan durumda yapılandırıldığında saydam operasyonu destekler.

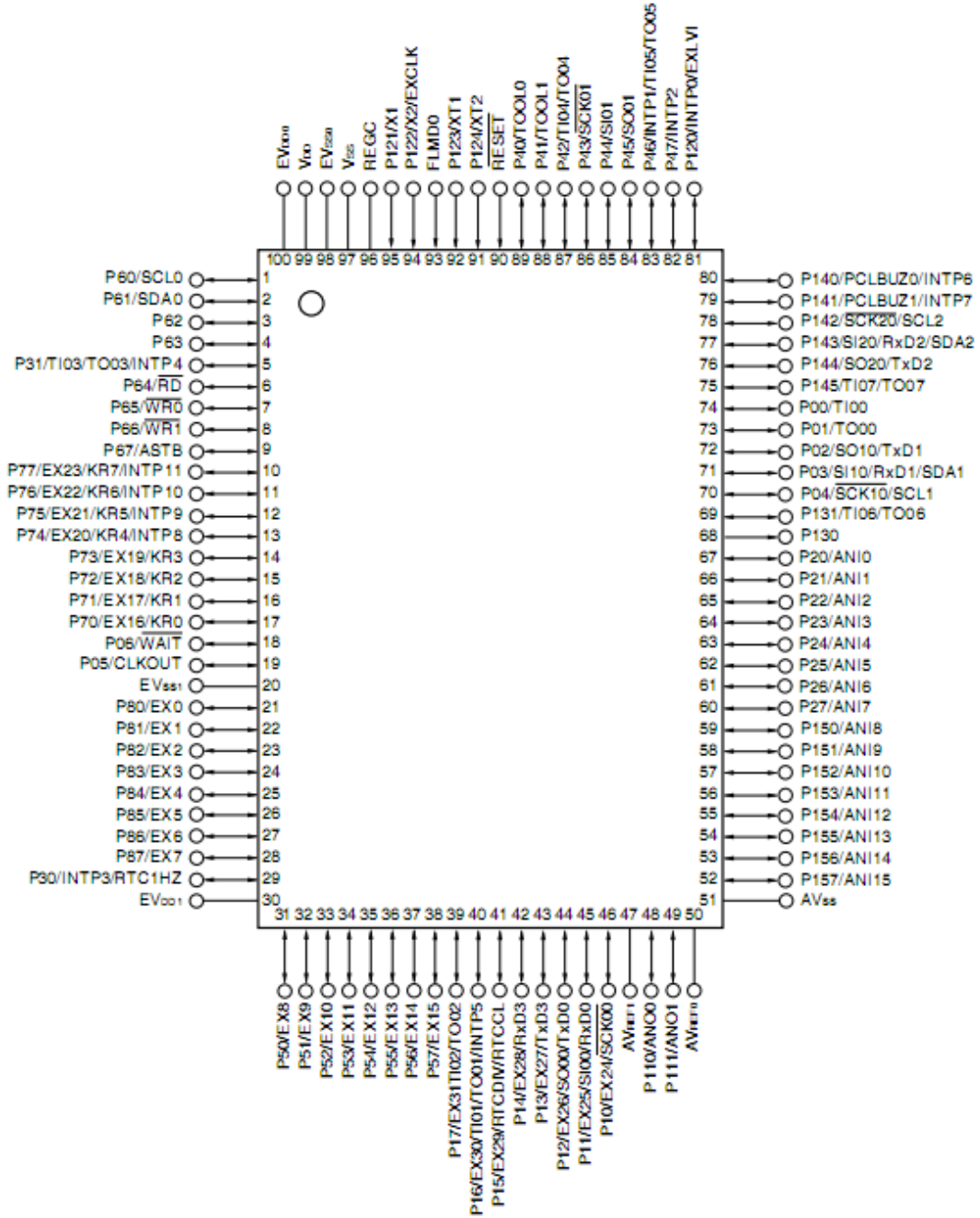
2.10.1 Xbee Modüllerinin Genel Özellikleri

Maxstream Xbee 2 serisi RF modüllerinin genel özellikleri [6]:

- Kapalı alanda 40 metreye kadar haberleşme sağlar.
- Açık alanda 120 metreye kadar haberleşme sağlar.
- Verici gücü + 3dBm, alıcı hassaslığı -95 dBm'dir.
- RF veri genişliği 250, 000 bps'dir.
- Tx, Rx yaklaşık 40 mA ile çalışarak düşük güç tüketimi yapar.
- AT komut modunu desteklidir.
- Noktadan noktaya, bir noktadan birçok noktaya, bir uç birimden diğer uç birime ve örgü topolojilerini destekler.
- ISM 2.4 GHz bandını kullanır.
- 16 farklı kanalda yayın yapabilme özelliğine sahiptir.
- -40 ila 85 °C aralığında çalışabilir.
- 1200'den 230400 bps'ye kadar veri iletim hızında haberleşme yapabilir.
- Besleme gerilim 2,8 – 3,4 V aralığında olmalıdır.
- UART veri haberleşme bağlantıları, VCC, GND, yeniden başlatma, uyku modu, PWM, sayısal ve analog giriş/çıkışları olmak üzere toplam 20 adet bağlantı noktası vardır.

minumum 61 μ sn hızında işlem yapma yeteneğine, 256 kb ROM ve 12 kb RAM belleğine sahiptir. Genel amaçlı kullanım için 8 adet 32 bitlik saklayıcısı, 1 adet 32 bitlik (16 bit x 16 bit) çarpma saklayıcısı, toplamda 88 giriş - çıkış bağlantı bacağı, biri gözcü (watchdog) ve biri gerçek zamanlı olmak üzere toplam 10 kanallı zamanlayıcısı, 10 bit hassaslıkta 8 kanallı ADC'si (Analog Sayısal Dönüştürücü), 8 bit hassaslıkta 2 kanallı DAC'ı (Sayısal Analog Dönüştürücü), UART – CSI - I^2C seri haberleşme arabirimleri vardır. -40 ile 85°C sıcaklık aralığında çalışabilir [8]. Toplamda 100 bacağı bulunan PD78F1166 mikrodnetleyicisinin bacak dizilişi şekil 3.2'deki gibidir.

Projede PD78F1166 mikrodnetleyicisinin UART seri haberleşme, tuş kesme ve zamanlayıcı birimleri kullanılmıştır.

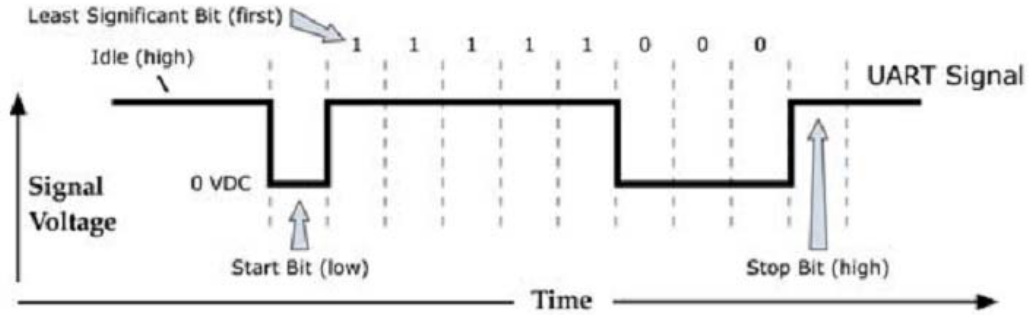


Şekil 3.2: NEC PD78F1166'nın bacak dizilişi [8]

3.3 UART (Evrensel Asenkron Alıcı / Verici) Protokolü

UART, donanımlar arasındaki seri haberleşmeyi sağlayan haberleşme protokolü olup verinin bit bit tek hat üzerinden iletilip yine tek hat üzerinden alınmasını gerçekleştirir. Kaynak cihazda paralel oluşturulan veri, UART birimi vasıtasıyla hedef cihaza tek hat üzerinden belirlenen hızda bit bit aktarılır. UART birimi, dönüştürme esnasında iletilmek istenen verinin başına bir bitlik lojik 0 başlama

bitini, sonuna ise isteğe bağlı uzunlukta 1, 1.5, 2 bitlik durma bitini koyar. Bu şekilde alıcı cihaz veri aktarımının başladığını ve bittiğini anlar, başlama ve durma bitlerini atarak gerekli veriyi alır. UART protokolü ile 5 bitten 8 bite kadar değişen boyutlarda veri aktarımı sağlanabilir [9]. Şekil 3.3'te 31 ondalık sayısının iletim halindeyken UART paket yapısı incelendiğinde başlama, durma bitleri ile veri uzunluğu kavramları daha net anlaşılabilir [7]. Seçime bağlı olarak veri iletiminin doğru yapıp yapılmadığını kontrol amaçlı kontrol biti (parity) de eklenebilir.



Şekil 3.3: 31 ondalık sayısının UART protokolüyle iletilmesi [7]

Haberleşmenin olabilmesi için her iki donanım cihazında da aynı veri iletim hızı (baud rate), aynı uzunlukta durma biti kullanılmalı, aktarılacak veri uzunluğu da aynı olmalıdır. Projemizde, UART ayarları yapılırken NEC PD78F1166 mikrodnetleyicisi ve Zigbee modüllerinde kontrol biti eklenmemiştir. Her iki cihaz 9600 bit/sn iletim hızına, 8 bit veri uzunluğuna ve 1 bit uzunluğunda durma bitlerine sahip UART paketleriyle haberleştirilmişlerdir.

3.4 NEC PD78F1166 Mikrodnetleyicisi Kiti

PD78F1166 mikrodnetleyicisi program geliştirme ve uygulama bazında oldukça elverişli bir kittir. PD78F1166 mikrodnetleyici kiti:

- Her satırda 16 karakter yazılabilen toplamda 32 karakterli LCD ekranına
- 1 adet dört yönlü kumanda koluna
- Analog Sayısal Çeviriciler için 2 adet referans voltaj girişi bağlantı noktasına
- 1 adet yeniden başlatma butonuna
- 8 butonlu konfigürasyon anahtarlayıcısına
- Harici güç kaynağı bağlantı noktasına

- Biri güç diğer ikisi bağlantı noktası çıkışlı toplamda 3 adet lede
- Yaygın olarak kullanılan birimlere (UART, ADC, Kesme vb. gibi) ait 20 adet konnektör çıkışına
- Kablolama alanı olarak kullanılmasına olanak sağlayan 38 adet konnektör çıkışına
- USB veya QB-MINI2 hata ayıklama (debug) öykünücüsü (emulator) olmak üzere flash programlama, kod yükleme ve çalıştırma, adım adım veya kesme noktalı kod çalıştırma özelliklerini destekleyen toplam 2 adet bağlantı noktasına sahiptir [10].



Şekil 3.4: NEC PD78F1166 mikrodnetleyici kiti [10]

3.5 NEC PD78F1166 Mikrodnetleyicisinde UART Kullanımı ve İlgili Saklayıcı Ayarları

NEC PD78F1166 mikrodnetleyici kitinden kolaylıkla UART alıcı / verici hattı çekilebilmesi için UART1 birimi kullanılmıştır. Böylelikle TPU12 ve TPU13 konnektörleri Tx (verici), Rx (alıcı) bağlantıları için kullanılıp, kite zarar verilmemiştir.

UART1 haberleşmesi iki kanaldan yapılır. Bu kanallardan çift kanal numarasına

sahip olan Tx, tek kanal numarasına sahip olan ise Rx'i ifade eder. UART1 haberleşmesi 9600 bit/sn iletim hızı, 8 bit veri ve 1 bit uzunluğunda durma biti olacak şekilde programlanmıştır.

UART1 biriminin kullanılması için ilk olarak donanımda bazı saklayıcıların ayarlanması gerekmektedir. Bu başlangıç ayarları yapıldıktan sonra UART1 birimi veri haberleşmesi için uygun hale gelir.

3.5.1 Çevre Birimlerini Etkinleştirme Saklayıcıları 0, 1 (PER0, PER1) (Peripheral Enable Registers)

Bu kaydediciler çeşitli çevre donanımlarını etkinleştirme veya devre dışı bırakmak amacıyla kullanılır. Böylelikle sadece ihtiyaç duyduğumuz çevre donanımı çalışacak, güç tüketiminde ve gürültüde azalma olacaktır. Projemizde UART1 kullanıldı. UART1, seri dizi birimi 0 a bağlı olduğundan SAU0EN (Serial Array Unit 0 Enable) saklayıcısı lojik 1 yapılmalıdır. SAU0EN yazıcısı PER0 ile ayarlanır [8].

3.5.2 Seri Haberleşme Saat Darbesi Seçicisi m (m = birim değeri) (SPSm) (Serial Clock Select Register)

Seri haberleşmede kanalların kullanacağı operasyon saat darbesini ayarlamak için kullanılır. UART1 birim 0'a bağlı olduğundan SPS0 saklayıcısı ayarlanmalıdır. SPS0, 0x0004 olarak yani 1.25 MHz olarak ayarlanmıştır [8]. İleride bu değer iletim hızını 9600 bit/sn ayarlanmasında kullanılacaktır.

3.5.3 Seri Mod Saklayıcısı mn (n= kanal değeri) (Serial Mode Register)(SMRmn)

Seri mod saklayıcısı, birimlere bağlı olan kanalların hangi modda (UART, CSI, I^2C ,alıcı, verici, kesme tarzı, düşen veya yükselen kenar tetikli) çalışacağını belirlemede kullanılır. SMR02 saklayıcısı birim 0, kanal 2'yi ifade edip, verici modunda kullanılmalıdır. Bu durumda SMR02 saklayıcısı 0x0022 olarak ayarlanır. Bunun sonucunda düşen kenar tetiklemeli, UART protokolünde, iletim bitti kesmesini oluşturan, verici modda çalışacaktır. SMR03 saklayıcısı birim 0, kanal 3'ü ifade eder ve alıcı modunda kullanılmalıdır. SMR03 saklayıcısı 0x0122 olarak ayarlanmıştır. Böylelikle SMR02 saklayıcısından farklı olarak verici yerine alıcı modda programlanır [8].

3.5.4 Seri Haberleşme Operasyonu Ayarlama Saklayıcısı mn (SCRmn) (Serial Communicaton Operation Setting Register)

Seri haberleşme operasyonu ayarlayıcısı kullanılarak ilgili birim ve o birime bağlı kanalın alıcı ya da verici modu, haberleşme protokolü, veri uzunluğu, durma biti uzunluğu, kontrol biti kullanıp kullanılmayacağı belirlenir [8].

SCR02 saklayıcısı 0x8097 olarak ayarlanarak sadece verici, kontrol biti içermeyen, düşük anlamlı bitin gönderimi öncelikli, 1 bit durma ve 8 bit uzunluğunda veri gönderme özelliğine sahip olur. SCR03 saklayıcısı 0x4097 olarak programlanarak SCR02'den farklı olarak verici yerine alıcı modda ayarlanır [8].

SCRmn saklayıcısının diğer bitleri veri kitabında UART protokolü için olması gerektiği gibi programlanmıştır. Bu bitler kullanıcının seçimine bağlı değildir, veri kitabında belirtildiği gibi ayarlanmazsa UART kullanılamaz.

3.5.5 Seri Veri Saklayıcısı mn (SDRmn) (Serial Data Register)

Seri veri saklayıcısı iletim hızının ayarlanmasında kullanılır. Her kanal için ayrı ayrı belirtilmelidir. Projede her iki cihazımız da 9600 bit/sn iletim hızında çalışacağından SDR02 ve SDR03 saklayıcıları 0x8000 olarak ayarlanmıştır. Bu değer, seri haberleşme saat darbesi seçicisine bağlı olarak aşağıdaki formülle belirlenmiştir.

$$\text{iletim hızı} = \frac{\frac{\text{operasyon saat frekansı}}{\text{SDRmn}[15:9] + 1}}{2[\text{bps}]}$$

Operasyon saat frekansı seri haberleşme saat darbesi seçicisi ile 1,25 MHz olarak ayarlanmıştır. SDR02 ve SDR03 saklayıcılarının yüksek anlamlı ilk 8 bitine bakıldığında ondalık olarak 64'e eşittir. İşlemler yapılırsa:

$$\frac{1250000}{64}$$

olarak bulunur. Bu da 9600 bit/sn iletim hızında haberleşebileceğini göstermektedir. ± 0.16 'lık bir hata payı vardır [8].

3.5.6 Seri Kanal Başlatma Saklayıcısı m (SSm) (Serial Channel Start Register)

SSm saklayıcısı 16 bitlik olup ilgili UART biriminin kanallarını etkinleştirmek için kullanılır. UART1, birim 0'a bağlı olduğundan, kanal 2 ve kanal 3 kullanıldığından SS0 saklayıcısı 0x000C olarak ayarlanmalıdır [8]. Diğer bütün UART ayarlamaları yapıldıktan sonra bu komutun yazılması yani ayarlamalardan sonra UART kanallarının aktifleştirilmesi daha mantıklıdır.

3.5.7 Seri Çıkışı Etkinleştirme Saklayıcısı m (SOEm) (Serial Output Enable Register)

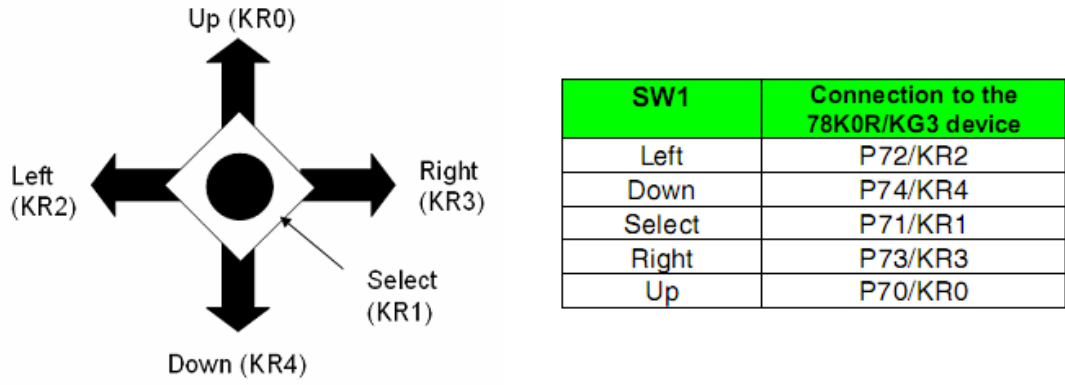
SOEm saklayıcıları ilgili birimin verici çıkışını etkinleştirmek için kullanılır. Projede SOE0 saklayıcısı, 0x0004 olarak ayarlanmıştır, çünkü verici çıkışı kanal 2'yi kullanmaktadır, 0x0004 olarak programlandığında kanal 2 çıkışı lojik 1 yapılarak etkinleştirilir [8].

3.5.8 Seri Çıkış Saklayıcısı m (SOM) (Serial Output Register)

SOM saklayıcıları, ilgili birimin ilgili verici kanallarında arabellek (buffer) saklayıcısını etkinleştirmek için kullanılır. Birim 0 ve verici olarak kanal 2 kullanıldığından S00 saklayıcısı 0x0004 olarak ayarlanır [8].

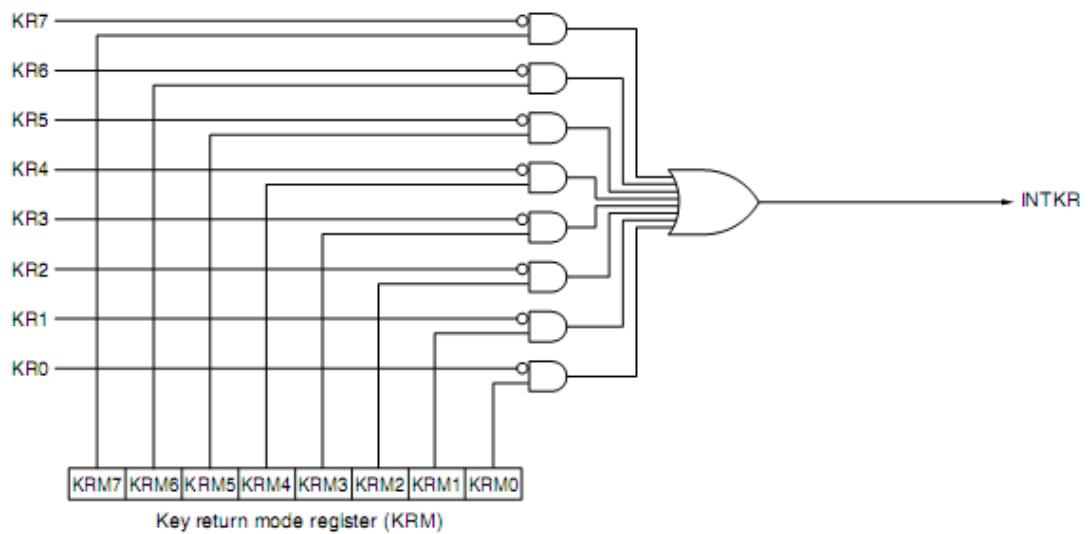
3.6 Tuş Kesme Fonksiyonu (Key Interrupt Function)

İlerideki çalışmalara da kolaylık olması açısından NEC PD78F1166 mikrodenetleyicisi kitinde bulunan kumanda kolu, kesme yaratma amaçlı kullanılmıştır. Bu kumanda kolu sayesinde uzaktan bir araç, LCD'ye sürülmüş bazı menü içerikli programlar kontrol edilebilir kısacası kit üzerine ekleme yapılmadan bu butonlar kullanılarak yaratılan kesmeler kitin daha az deforme olmasını sağlayacaktır. Kumanda kolundan gelebilecek kesmelerin oluşturulabilmesi için ilk olarak hangi portların aktifleştirilmesi gerekeceğine bakılır. Şekil 3.5'te kumanda kolu bağlantı noktaları gösterilmektedir[10].



Şekil 3.5: Anahtarlayıcı 1 – Kumanda kolu ve onların bağlı olduğu portlar[10]

Kumanda kolunun bağlantı noktalarına bakıldığında, tuş kesmesini sağlayan bağlantı bacaklarına gittiği görülür. Bu durumda yazılacak program tuş kesme fonksiyonu düşünülerek yazılmalıdır. Tuş kesmesinin kullanılmasının diğer bir avantajı da kit üzerinde konnektör pinlerin takılabileceği KR5, KR6 ve KR7 deliklerinin olmasıdır. Sırasıyla TPU20, TPU21 ve TPU21 konnektör yerleri dışarıdan alınan değere göre tuş kesmesi yaratılmasını sağlar. Şekil 3.6’da tuş kesmesi blok diyagramına bakıldığında tuş kesmesini kullanabilmek için ilk olarak tuş kesme mod saklayıcısı (KRM) ayarlanmalıdır. Çünkü kumanda kolundan veya diğer konnektörlerden gelen veri, mod saklayıcısından gelen veri ile AND’lenmektedir. Tuş kesmesi, ilgili bacak girişinin belli bir süre lojik 0 olmasıyla sağlanır.



Şekil 3.6: Tuş kesmesi blok diyagramı[8]

Tuş kesmelerini aktifleştirmek için KRM saklayıcısı 0xFF yapılır. Böylelikle bütün tuş kesmeleri etkinleştirilmiştir. Eğer sadece bazı kesmeler kullanılacaksa mesela kumanda kolu kesmeleri, KRM saklayıcısının ilgili bitlerini lojik 1 yapmak (0x1F) yeterli olacaktır. Ayrıca ilgili portların pull-up direnç saklayıcısı PU7 de 0xFF değerine ayarlanmalıdır [8].

3.7 Zamanlayıcı Dizi Birimi Konfigürasyonu (Timer Array Unit)

Zamanlayıcı dizi birimi, programda butonun basılıp basılmadığını kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Bu birim, buton lojik 0'a çekildiği anda etkinleşir ve 10 msn'lik bir gecikme yaratır. Butona normal şekilde basılıp çekildiğinde 10 msn'den daha fazla bir zaman geçer. Bu yüzden 10 msn butonun durumunun değişip değişmediğini belirlemek için ideal bir süredir. Böylelikle herhangi bir nedenden dolayı ilgili butonların bağlı olduğu portlarda meydana gelen ani voltaj değişimleri veya piklemeler sonucunda tuş kesmesi etkinleşmeyecektir. Tuş kesmesinin etkinleşmesi için butonların bağlı olduğu portların en az 10 msn boyunca aynı değerde kalması gerekecektir. 16 bitlik zamanlayıcı dizi biriminin kanal 0'ı kullanılmıştır.

3.7.1 evre Birimlerini Etkinleştirme Saklayıcısı (PER0) (Peripheral Enable Register)

3.5.1'de belirtildiği üzere evre birimlerini etkinleştirmede kullanılır. Zamanlayıcı dizi birimini aktifleştirilmesi için PER0 saklayıcısının birinci biti olan TAU0EN (Timer Array Unit 0 Enable) lojik 1 yapılmalıdır [8].

3.7.2 Zamanlayıcı Birimi Saat Darbesi Seçicisi 0 (TPS0) (Timer Clock Select Register)

TPS0 ile zamanlayıcının sayma hızı belirlenir. Programda TPS0 saklayıcısına 0x0070 değeri verilmiştir. Veri dokümanında bu değer 156.2 kHz'e karşılık gelmektedir [8]. Bu da sayma işlemi hızının yaklaşık 6,52 sn yapıldığını belirtmektedir.

3.7.3 Zamanlayıcı Mod Saklayıcısı 0n (TMR0n) (Timer Mode Register)

TMR0n saklayıcıları zamanlayıcı kanallarının hangi modda çalıştırılacağını (hangi operasyon saat darbesinde, düşen ya da yükselen kenar tetiklenmeli mi, geri veya

ileriye doğru saymalı mı) belirler. Programda kanal 0 kullanıldığından TMR00 saklayıcısına 0x8000 değeri yazılmıştır. Böylelikle operasyon saat darbesinde, düşen kenar tetiklenmeli, geriye doğru sayan ve 0x0000 gelindiğinde zamanlayıcı kesme bayrağını lojik 1 yapacak şekilde çalışan bir zamanlayıcı elde edilir [8].

3.7.4 Zamanlayıcı Veri Saklayıcısı 0n (n = kanal) (TDR0n) (Timer Data Register)

TDR0n saklayıcıları zamanlayıcının nerden başlayacağını belirtmede kullanılır. Programda kanal 0 zamanlayıcısı kullanıldığından TDR00 saklayıcısı programlanmıştır [8]. 10 msn sonunda zamanlayıcı kesme bayrak bitinin lojik 1 yapılabilmesi için TDR00 saklayıcısına 0x061A verisi yüklenmiştir. Zamanlayıcı kesme süresi hesaplama formülü aşağıdaki gibidir [8]:

$$\text{kesme süresi} = \text{Zamanlayıcı birimi saat darbe periyodu} * (TDR0n + 1)$$

Bu formüle göre saklayıcılara yazıldığımız değerler yerine konulduğunda 10 msn'lik bir süre elde ederiz.

$$T = \left(\frac{1}{156,2 * 10^3} * (061A - 0000 + 1) \right) = 10,0006 \text{ msn}$$

Zamanlayıcı başlatıldıktan 10 msn sonra TMIF00 (zamanlayıcı kesme bayrağı) lojik 1 olur.

4.PROJENİN GERÇEKLENMESİ

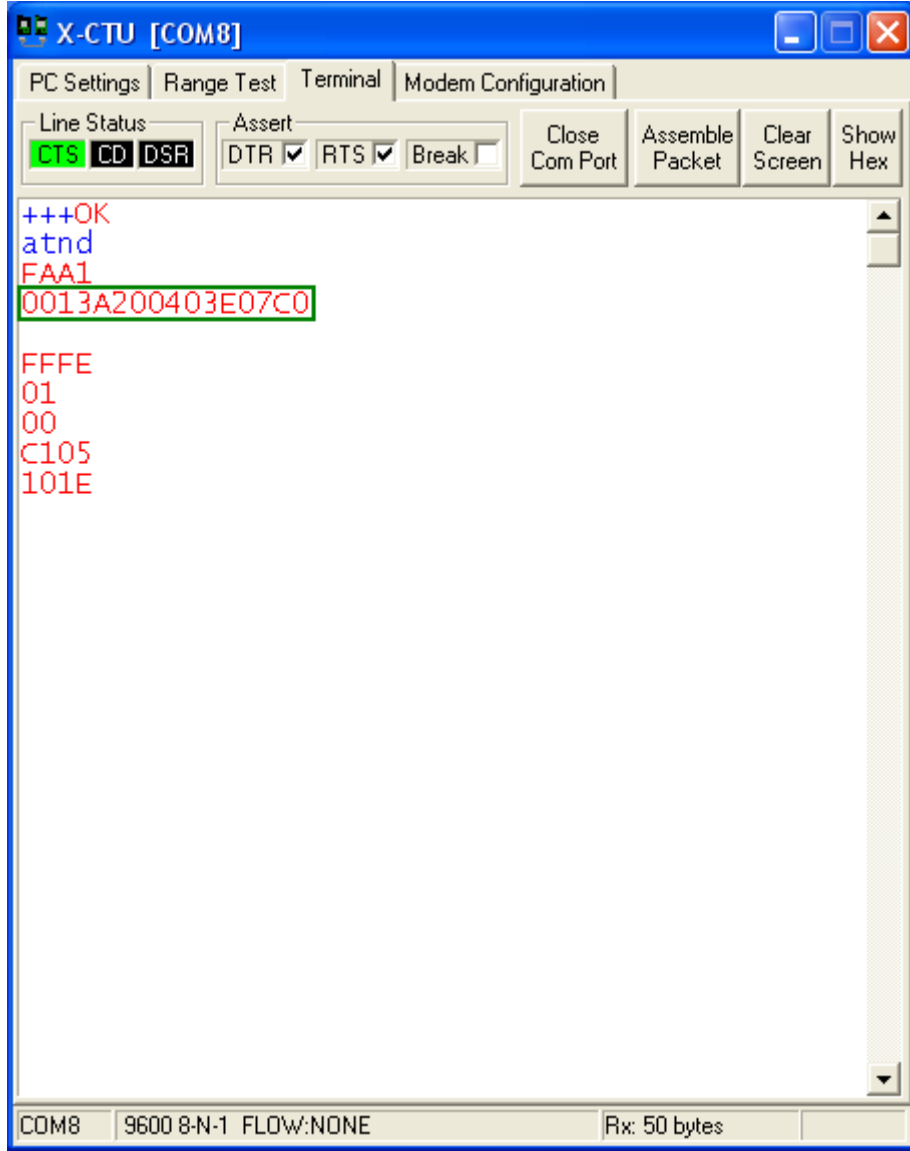
Bina veya herhangi bir alan içerisindeki bilgiler, değişiklikler, uyarılar vb. gibi verilerin, birçok konuda avataj sağlayan Zigbee modülleri vasıtasıyla ana bir cihazda hem görüntülenebilmesi hem de kontrol edilebilmesi istenmektedir. Bu amaçla projede 4 adet Zigbee modülü, 3 adet NEC 78K0R - uPD78F1166 mikrodenetleyicisi ve 3 adet hareket algılayıcı sensör devresi kullanılmıştır. Hareket algılayıcıların bulunduğu alanlarda hareket algılandığında, hareketin algılandığına dair bilgiler Zigbee modülleri vasıtasıyla bilgisayar ekranında görüntülenecektir.

4.1 Xbee Modüllerinin Nasıl Yerleştirileceği

Zigbee modülleri AT (Attention Terminal) komut modunda konfigüre edilmiştir. AT komutları modüllerin özel fonksiyonlarını kontrol etmek amaçlı kullanılır. Bu komut modunda işleme başlamadan önce “X-CTU” programının terminal sekmesine, veri haberleşmesi modundan çıkılıp yapılandırma – komut moduna girilmesi için “+++” yazılır. Bu komutun yazılmasının ardından ekranda “OK” (tamam) bilgisinin görülmesiyle Zigbee modülü yapılandırma moduna girmiş olur. Sonrasında kendisinden sonra komut geleceğini yerel modüle bildiren ”at” yazılıp ilgili komutlar ve parametreleri modüle uygulanır.

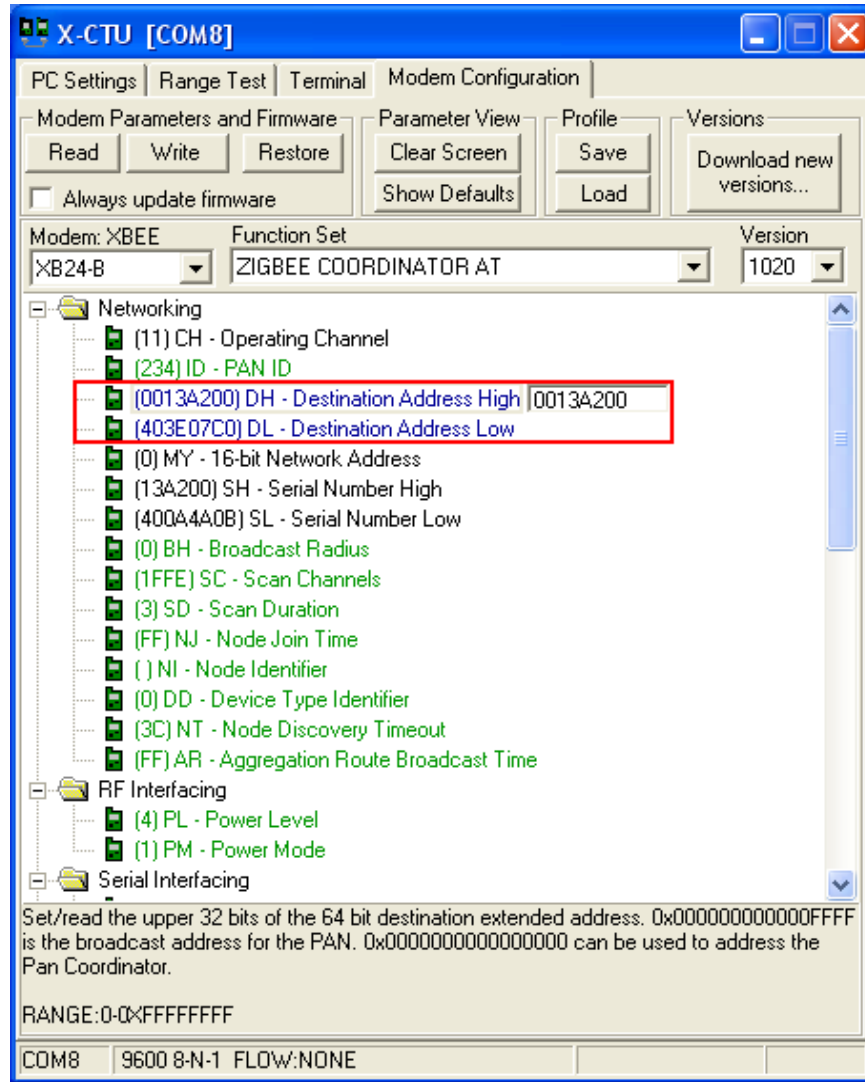
Zigbee modüller arasındaki bağlantı kesilmeyecek kadar uzaklıktaki noktalara birer adet hareket algılayıcı sensör devresi, NEC 78K0R mikrodenetleyicisi ve Zigbee modülü konulmuştur. Zigbee modüllerinin ne kadar uzaklıkta haberleşebileceği “X-CTU.exe” programında bulunan uzaklık testi (range test) sekmesinden yapılabilir [11]. Uzaklık testi aşağıdaki gibi yapılır:

“X-CTU.exe” programı çalıştırılarak kordinatör Zigbee modülün bağlı olduğu ilgili bağlantı noktası seçilir. Sonrasında terminal ekranına gelinip uzaklık testine tabi tutulacak diğer Zigbee modülün adresini öğrenmek için şekil 4.1’deki “atnd” (node discover) (düğüm keşfet) komutu girilir [11].



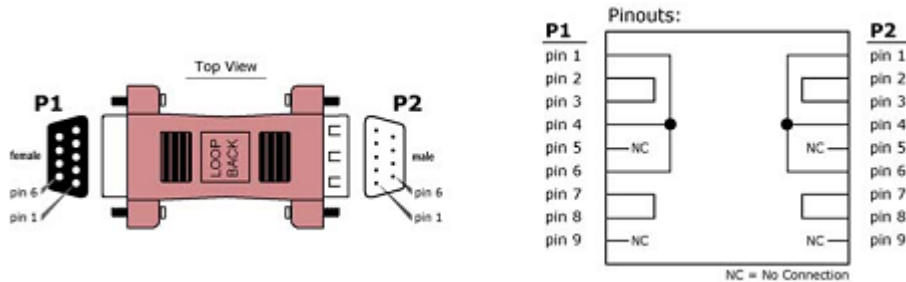
Şekil 4.1: Terminal sekmesinde “atnd” komutu ile düğüm bulma

Ekranda dikdörtgen çerçeve içindeki 64 bitlik adres diğer Zigbee modülün adresi olup, koordinatör Zigbee modülün DH (Destination Address High) (Hedef Cihazın Yüksek Anlamlı Adres Bitleri), DL'lerine (Destination Address Low) (Hedef Cihazın Düşük Anlamlı Adres Bitleri) bu adresler girilir [11]. Bu konfigürasyon terminal ekranında yapılabildiği gibi modem konfigürasyon sekmesinden arayüz üzerinden de yapılabilir. İlk olarak “Read” (Oku) butonu tıklanarak modem o anki yapılandırılması görülür. Sonrasında DH ve DL sekmelerine ilgili adres değerleri girilip, “Write” (Yaz) butonuna basılarak yapılan değişiklik Zigbee modülüne kaydedilir. Şekil 4.2’de arayüz kullanılarak konfigürasyonun nasıl yapılacağı gösterilmektedir.



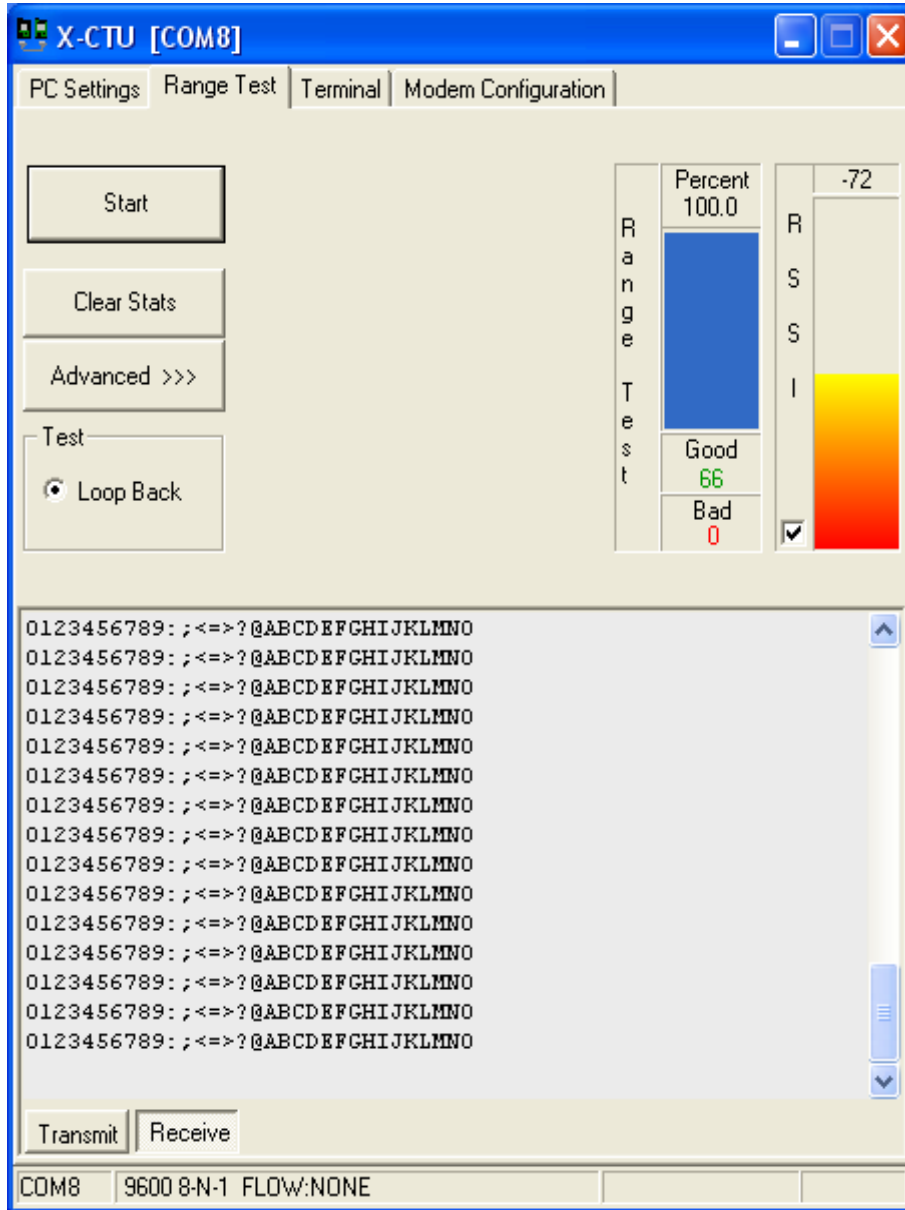
Şekil 4.2: Arayüz kullanılarak yerel modülün DH – DL konfigürasyonunun yapılışı

Zigbee modüllerde uzaklık testini uygulayabilmek için Maxstream kitleriyle birlikte verilen seri “Loop Back” adaptörü kullanılır. “Loop Back” adaptöründe, alıcı pin (RX) (pin no:2) ile verici pin (TX) (pin no:3) birbirleriyle kısa devre edilerek gelen verinin aynen geri iletilmesi sağlanmıştır. Şekil 4.3’te “Loop Back” adaptörünün iç yapısı gösterilmektedir[6].



Şekil 4.3: Seri Loop Back Adaptörü ve pin çıkışları [6]

Loop Back adaptörü takılan Zigbee modülü, yerel cihaza bağlı durumdaki Zigbee modülünden uzaklaştırılarak uzaklık testi, X-CTU programıyla yapılır. Program vasıtasıyla yaratılan veri sürekli olarak diğer Zigbee modülüne iletilir, cevap alınamamaya başlandığı takdirde Zigbee modüller arasındaki maksimum uzaklık aşılmıştır, mesafenin kısaltılması gerekir. Ayrıca programın uzaklık testi sayesinde gelen radyo frekanslarının gücü de RSSI (Receive Signal Strength Indication) (Gelen Sinyalin Güç Göstergesi) bölümünde görülebilir. Şekil 4.4'te uzaklık testi sonucu elde edilen sonuçlar görülebilir.



Şekil 4.4: X-CTU programıyla Zigbee modüller arası uzaklık testi uygulaması

4.2 Xbee Modüllerde Uygulanacak Ağ Protokolü

Maxstream Xbee 2 serisi ağaç, yıldız, örgü, noktadan noktaya gibi birçok ağ topolojisini desteklemektedir. Projede örgü ve noktadan noktaya ağ protokolleri kullanılmıştır. Doğru PAN ID, kanal numarası, veri iletim hızı ve çeşidi ayarlarının yapılması şartıyla Zigbee modüller varsayılan durumda yapılandırıldığında örgü topolojisini destekler. PAN ID, kanal numarası, veri iletim hızı ve çeşidi her Zigbee modülünde aynı olmalıdır. Böylelikle en uzak noktadaki dördüncü Zigbee modülün RF verisi önce üçüncü Zigbee modüle sonrasında ikinci ve en sonunda birinci Zigbee modülü olan koordinatöre gelip HyperTerminal programıyla bilgisayarda görüntülenebilir. Koordinatör dışındaki Zigbee modüller varsayılan adresleme ayarlarında programlanmıştır. Koordinatörden herhangi bir Zigbee modülüne veri iletilmesi durumunda koordinatörde noktadan- noktaya ağ topolojisi uygulanmış ve kontrol edilecek Zigbee modülün seri numarası (64 bitlik ağ adresi) koordinatörün DH, DL adreslerine girilmiştir.

4.3 Zigbee Modüllerde Kanal Numarası, PAN ID ve Veri İletim Hızı ve Çeşidinin Ayarlanması

4.3.1 Kanal Numarası ve PAN ID Seçimi

Zigbee ağlarda ilk olarak koordinatörün başlatılması daha uygundur. Koordinatör çalışmaya başladığı anda bütün ağ adına haberleşmenin yapılacağı kanalı ve PAN ID'yi seçer. Öncelikle koordinatör Zigbee modülü, SC (Scan Channel) (Kanal Tarama) parametresi ile kanal taraması yapar. Bu tarama sonucunda kullanılmayan uygun bir kanal ağ kanalı olarak seçilir. Eğer kullanıcı tarafından daha öncesinde herhangi bir PAN ID girilmemişse koordinatör kendisi rastgele bir PAN ID seçer [6]. Seçilen kanal kullanıcı tarafından değiştirilemezken, PAN ID değiştirilebilir. PAN ID'nin terminal sekmesinde komut yazılarak nasıl değiştirilebileceği şekil 4.5'te belirtilmiştir.



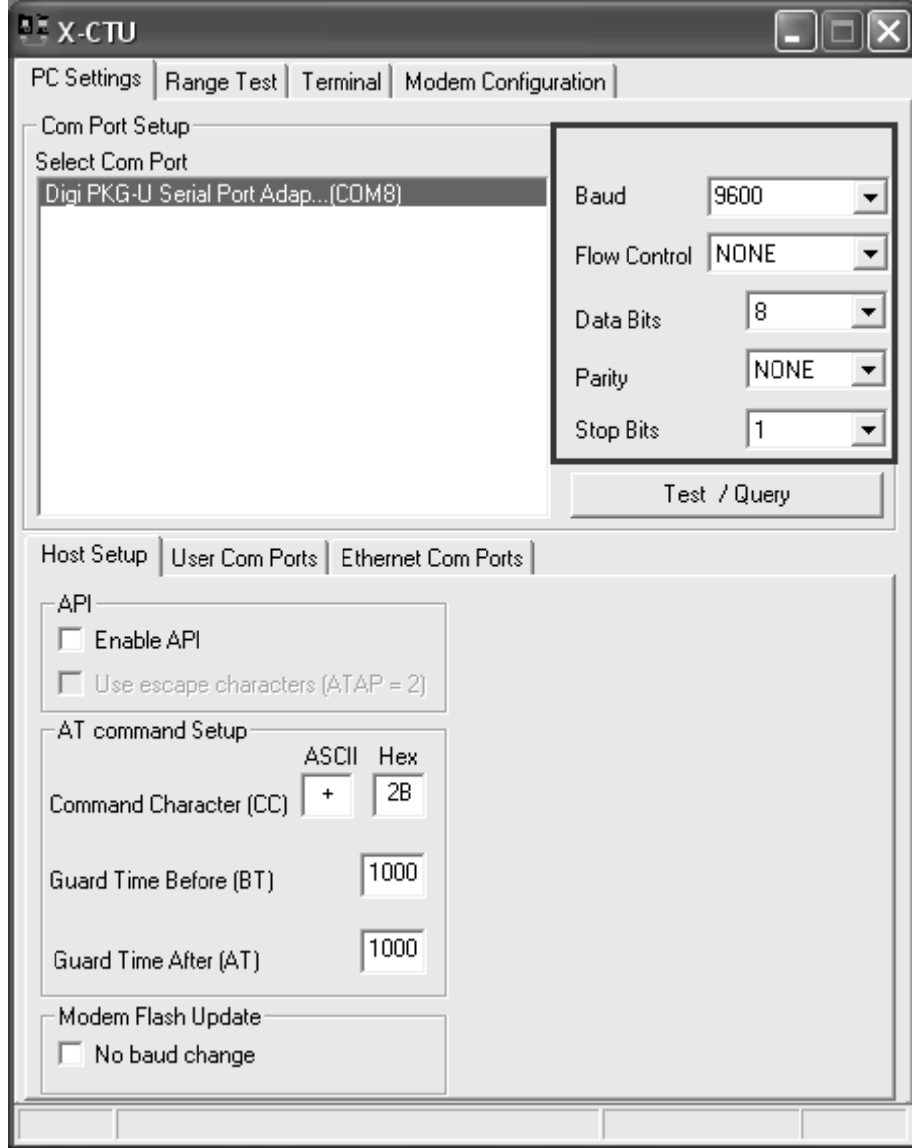
Şekil 4.5 : Terminal Sekmesinde PAN ID Konfigürasyonu

Şekil 4.5’te ilk olarak “ATID” komutuyla modülün o anda sahip olduğu PAN ID’nin onaltılık tabanda 200 olduğu görülmüştür. Sonrasında “ATID=300” komutu çalıştırılarak PAN ID onaltılık tabanda 300 olarak değiştirilmiştir. “ATWR” komutu ile yapılan değişiklik kaydedilmiş, “ATCN” komutuyla da komut modundan çıkmıştır. PAN ID, 0 ile 3FFF arasındaki değerleri alabilir [6].

4.3.2 Veri iletim Hızı ve Çeşidinin Belirlenmesi

Veri iletim hızı ve çeşidi varsayılan olarak bırakılmıştır. 9600 bit/sn, 8 bit, eşlik olmayan yani hatasız iletimi denetleme özelliği kapalı, 1 bit de durma biti olarak ayarlanmıştır. Bu özellikler farklı sistemler için farklı şekilde ayarlanabilir. Zigbee modülü ile NEC 78K0R mikrodenetleyicisi arasında haberleşme olacağından aynı

ayarlar NEC 78K0R mikrodnetleyicisinde de yapılacaktır. Ancak bu şekilde donanımlar arası haberleşme sağlanabilir. Zigbee modülünde bu ayarlar şekil 4.6'daki kare içine alınmış sekmede yapılır.



Şekil 4.6: X-CTU ile Zigbee modüllerin veri iletim hızı ve çeşidinin ayarlanması

4.4 Algılayıcı Devresi ve Mikrodnetleyiciye Bağlanması

Sensör devresi Teknokits firmasından hazır olarak alınmıştır. 9V – 12V arası DC kaynakla beslenmekte olup, hareket algılandığında devre üzerindeki röle çeker. Röle bir müddet çekili kalır, bu sürenin uzunluğu devre üzerinde bulunan potansiyometre ile ayarlanabilir [12]. Sensör, hareketi algıladığında, röle çekecek ve rölenin çıkışında bulunan 3 adet bağlantı arasında ikili olarak anahtarlama meydana

gelecektir. PD78F1166 mikrodnetleyicisinde, tuş kesmesi, ilgili portun sıfıra çekilmesi ile aktifleŖeceđinden; rölenin ikinci çıkışına toprak hattı çekilir. Birinci çıkış ise bir kablo ile ilgili tuş kesmesi portunun konnektörüne bağlanır. Kit üzerinde bulunan KR5 konnektörü bunun için uygun görölmüş, birinci çıkıştan gelen kablo buraya takılmıştır. KR5 portuna belli bir süreliğine lojik 0 gelmesiyle, tuş kesmesi etkinleŖecek ve gerekli komutları gerçekleŖtirecektir. Ŗekil 4.7’de hareket algılayıcı sensör devresinin PCB üzerine yerleŖtirilmiş hali görölr.



Ŗekil 4.7: Hareket algılayıcı sensör devresi

4.5 NEC PD78F1166 Mikrodnetleyicisinin Programlanması ve Program Kodları

NEC PD78F1166 mikrodnetleyicisini programlamak için IDE Embedded Workbench IDE programı kullanılmıştır. C dilinde programlama yapılmıştır. ”io78f1166_a0.h“ ve ”io78f1166_a0_ext.h“ kütüphaneleri, mikrodnetleyicinin saklayıcılarının, kesme ve fonksiyon vektör adreslerinin tanımlandığı kütüphaneler olup, 78K0R-Cool it! Örnek programından alınmıştır. Bu kütüphaneler sayesinde doğrudan saklayıcıların adları veya ilgili bitleri kullanılarak herhangi bir adreslemeye ihtiyaç duyulmadan daha az karmaşıklıkta programlama yapılmıştır.

Sensör devresi hareketi algıladığında, KR5 tuş kesmesi etkinleşecek, bunun sonucunda UART protokolü kullanılarak mikrodenetleyicinin Tx bacağından hareketin algılandığına dair bilgi, Zigbee modülünün Rx bacağına gönderilecektir.

Program aynı zamanda mikrodenetleyici kiti üzerindeki kumanda kolunun da kullanılabileceği biçimde yazılmıştır, çünkü ilk çalışmalar kumanda kolu üzerinde yapılmıştır. Kumanda kolu kullanılarak tuş kesmesi kullanılmıştır.

Bu amaçla yazılmış programın önemli kısımları:

```
void UART1_KarakterGonder(unsigned char GidenByte) // Yalnızca bir karakter
// (8Bit) gönderen fonksiyon
{
    STIF1 = 0; // UART1 Tx1 kesme bayrağını sıfırlar
    SDR02 = GidenByte; // 1 karakter gönderilir
    while(!STIF1); // iletim bitene kadar bekle, Tx1 kesme bayrağı
    // 1 olduğunda bu satırdan çıkılır
    STIF1 = 0; // UART1 Tx1 kesme bayrağı yeniden
    // kullanılmak üzere tekrardan sıfırlanır
}

void UART1_DiziGonder (const char *pDizi) //Dizi gönderen fonksiyon
{
    unsigned char Data; //Data değişkeninin türü
    while (1)
    {
        Data = (unsigned char)(*pDizi++); //Datayı *pDizi adres
        //göstericisindeki karaktere eşitle ve
        // *pDizi adres göstericisini 1 arttır
        if(Data) UART1_KarakterGonder(Data); //Eğer data 0 değilse, data
        //değişkenini KarakterGonder
        //fonksiyonuna gönder
        else break;
    }
}

//-----
// Ana program
//-----
void main( void )
{
    DonanimBaslat(); // DonanimBaslat fonksiyonunu
```

```

gerçekleştir
    __enable_interrupt ();                                //kesmeleri etkinleştir

while (1){
    while(sw1_giris==SENSOR)                            //Sensör hareketi algılandığında
                                                         //(KR5 tuş kesmesi)
    {
                                                         //fonksiyonu çağır

        UART1_DiziGonder ("* 3.katta hareket algılandı *\n\r");
    }

    SRIF1 = 0;                                           // UART1 Rx kesme bayrağını sıfırla
    SRMK1 = 0;                                           // UART1 Rx kesmesini etkinleştir
    __enable_interrupt();                                // kesmeleri etkinleştir
}

//-----
// Kesme fonksiyonları
//-----
#pragma vector = INTKR_vect
__interrupt void isr_INTKR(void)                        //Tus Kesmesi Algılandığında
{
    unsigned char sw1_IlkDurum,sw1_SonDurum;           //sw1_IlkDurum ve
                                                         //sw1_SonDurum
                                                         //değişkenlerini tanımlama

    sw1_IlkDurum= (~P7) & 0x3f;                        // Tuş Kesmesi portlarını oku ve

//sw1_IlkDurum'a yaz

    TDR00 = 0x061A;                                     // Zamanlayıcı veri saklayıcısını kurulum
    TMR00 = 0x8000;                                     // Zamanlayıcı saklayıcı modunu ayarlanır
    TS0L_bit.no0 = 1;                                  // Zamanlayıcıyı Başlat
    while(!TMIF00);                                    // Zamanlayıcı kesme bayrağı TMIF00=1
                                                         //oluncaya kadar bekle, yaklaşık 10 msn

    TMIF00 = 0;                                         // tekrar kullanılabilmesi için TMIF00=0 yapılır
    TT0L_bit.no0 = 1;                                  // Zamanlayıcıyı durdurulur
    sw1_SonDurum= (~P7) & 0x3f;                        // ikinci kez tus kesmesi portları
                                                         //okunup, sw1_SonDurum'a yazılır

    if(sw1_IlkDurum==sw1_SonDurum)
    sw1_giris=sw1_IlkDurum;                            // Eğer 10 msn geçtikten sonra
                                                         // sw1_IlkDurum, sw1_SonDurum'a eşitse
                                                         // sw1_giris ilk duruma eşitlenir.

```

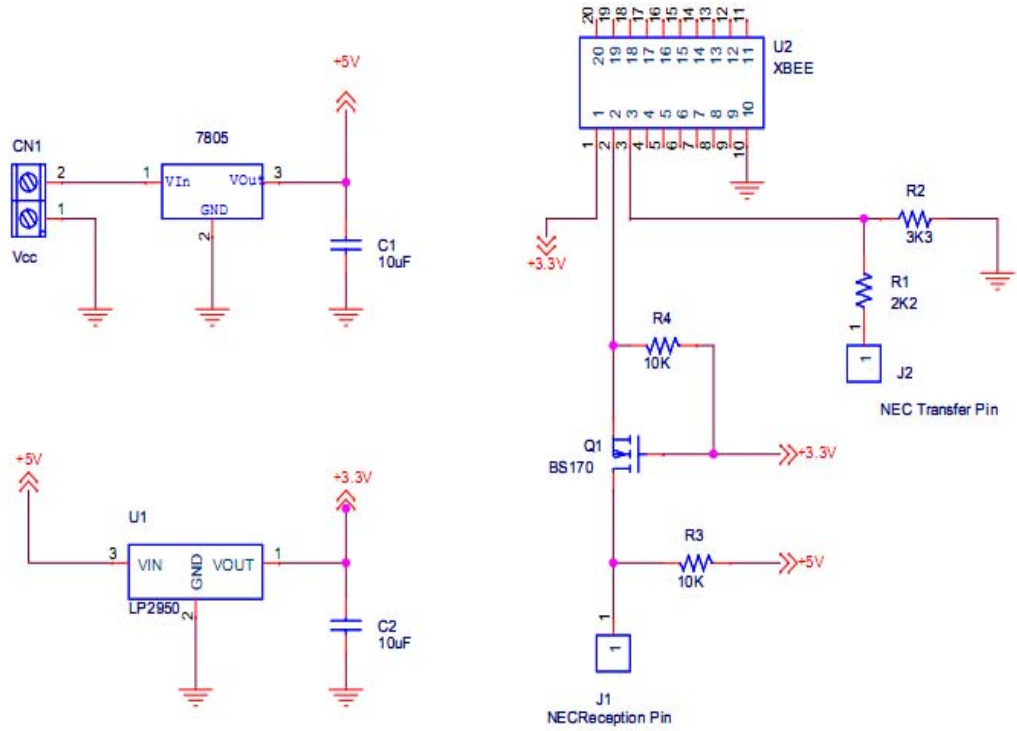
```
// Bunun yapılmasının sebebi kumanda
// kolunun (Tus Kesmesinin) gerçekten
// basılıp basılmadığının kontrol edilmesidir.
//10 msn bunun için yeterli bir zamandır.

else sw1_giris=0;
}
```

Mikrodenetleyiciden kendisine bağlı Xbee modülüne gönderilen UART verisi, diğer modüllerin saydam modda çalışmasıyla koordinatör modüle kadar iletilip, bilgisayar ekranında görüntülenmiştir.

4.6 NEC PD78F1166 Mikrodenetleyicisi ile Xbee Modülü Bağlantısı

Her iki cihaz da aynı 9V'luk güç kaynağından beslenecektir. Bunun için 5 V ve 3.3 V'luk iki adet regülatör kullanılarak ilk olarak 9V işaret 5V'luk regülatöre verilmiş, bu regülatör çıkışı NEC'in beslemesine bağlanmıştır. Sonrasında 5V'luk regülatör çıkışı 3.3V'luk regülatöre verilmiş, bu regülatörün çıkışı da Xbee modülünün beslemesi bağlanmıştır. Böylelikle her iki cihazın besleme problemi çözülmüştür. Fakat her iki cihazın Tx ve Rx bağlantı bacakları farklı gerilimlerde lojik 1 ve lojik 0 ürettiğinden bu bağlantılar arasında dönüşüm yapılmalıdır. Şekil 4.8'de bu bağlantıların nasıl yapıldığına dair devre şeması verilmiştir.

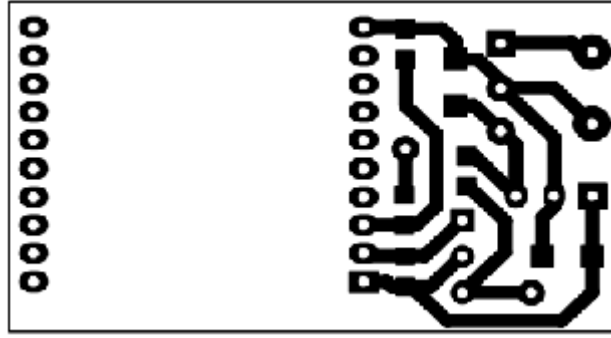


Şekil 4.8: NEC – Xbee modülü arasındaki bağlantı devresinin şematiği

NEC mikrodnetleyicisinin Tx çıkışı ile Xbee modülünün Rx girişi arasına $2k2 \Omega$ ve $3k3 \Omega$ 'luk iki direnç kullanılıp gerilim bölücü yapılarak, lojik gerilim dönüşümü sağlanmıştır.

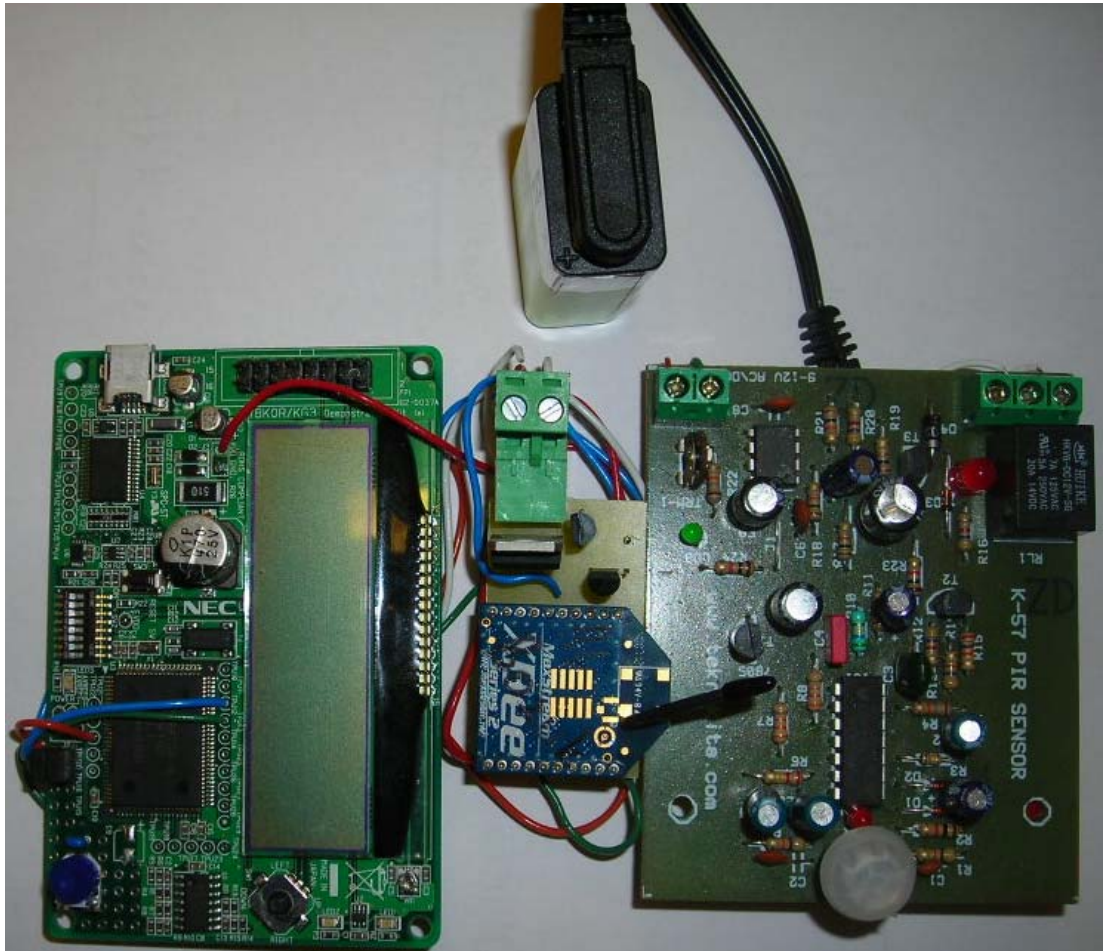
Xbee modülünün Tx çıkışı ile NEC mikrodnetleyicisinin Rx girişi arasında ise 2 adet $10 k \Omega$ direnç ve bir adet NMOS (BS170) bağlanmıştır. BS170 mosfeti hızlı anahtarlama yapabildiğinden tercih sebebidir. Xbee modülünün Tx çıkışı lojik 0 olduğunda mosfet anahtarlama yapacak ve NEC mikrodnetleyicisinin Rx girişini topraklayıp lojik 0 yapacaktır. Xbee modülünün Tx çıkışı lojik 1 yani 3.3V olduğunda, mosfet anahtarlama yapamayacak, akım çekmeyecektir. Böylelikle NEC mikrodnetleyicisinin Rx girişi lojik 1'i ifade eden 5V olacaktır.

Xbee modüllerinin daha kolay ve ergonomik kullanılabilmesi için basılan PCB tasarımı şekil 4.9'daki gibidir.



Şekil 4.9: Bağlantı devrenin PCB tasarımı

Xbee modülü, NEC mikrodenetleyicisi ve hareket algılayıcı sensör devresi şekil 4.10'daki her bir kata yerleştirilerek, koordinatör cihazın bağlı olduğu bilgisayarda hareketin algılandığına dair gelen bilgilerin görüntülenmesi yapılmıştır.



Şekil 4.10: Her kattaki sistemin görünüşü

4.7 Xbee Modülleri ve NEC Mikrodenetleyicisi Kullanılarak Uzaktaki Cihazın Kontrol Edilmesi

Zigbee teknolojisinin en önemli iki amacı görüntüleme ve kontrol etmedir. Hareket sensörünün hareketi algıladığına dair bilgilerin koordinatör Xbee modülüne gelip bilgisayarda bu bilginin okunması Zigbee teknolojisinin görüntüleme kısmıydı. Ayrıca Zigbee teknolojisinin sağladığı ağ topolojileri sayesinde uzaktaki cihazlar kontrol edilebilmektedir. Projenin bu kısmında en uç noktadaki Xbee modülüne bağlı NEC mikrodenetleyici kitinin üzerinde bulunan LED1 ve LED2 kontrol edilecektir. Bu amaçla, Xbee koordinatör modülünün DH ve DL adreslerine ulaşmak istenen Xbee modülünün adresleri girilir. Bu durumda koordinatör tarafından gönderilen paketler hedef adres olarak ilgili Xbee modülünün adreslerini taşıyacağından paketler mümkün olan en kısa yoldan ilgili Xbee modülüne ulaştırılır. Paketi alan Xbee modülü, paket içerisindeki ilgili veriyi Tx çıkışından NEC mikrodenetleyicisinin Rx girişine iletir. NEC mikrodenetleyicisine bölüm 4.5'teki kodlara ek olarak aşağıdaki kodların eklenmesiyle LED1 ve LED2 kontrol edilir.

```
#pragma vector = INTSR1_vect
__interrupt void isr_INTSR1(void)           //UART1 Rx kesme fonksiyonu
{
    GelenByte = (unsigned char)SDR03;        // UART1 Rx arabelleğini oku

    switch(GelenByte)
    {
        case 0x31:                          // 0x31 "1" in ASCII değeridir. Klavyeden 1'e
                                                //basıldıysa bu bölümdeki işlemleri gerçekleştir.
            LED1 = 0;                        //LED1'i yak
            LED2 = 0;                        //LED2'yi yak
            GelenByte=0x00; //GelenByte tekrardan kullanmak için sıfırla
            break;

        case 0x32:                          // "2" 'ye basılmışsa
            LED1 = 1;                        //LED1'i söndür
            LED2 = 1;                        //LED2'yi söndür
            GelenByte=0x00;
            break;
    }
}
```

5. SONUÇLAR

Uzak noktalardaki sensör bilgileri başarıyla merkez bilgisayarda görüntülenmiştir. Ayrıca uzak noktadaki cihazların da merkezden kontrol edilebilmesi sağlanmıştır. 4 adet Zigbee modül yaklaşık 30-35 metre mesafe aralıklarıyla yerleştirilmiştir.

Bu projeye ek olarak yapılabilecekler:

- Daha farklı ve fazla sayıda sensör kullanılabilir. Bunun için NEC mikrodenetleyicisinin diğer birimleri (ADC, DAC vb...) de kullanılabilir.
- İşlevsel bir arayüz yazılarak gelen sensör bilgileri bilgi çeşidine veya bölgeye göre sınıflandırılıp, görüntüleme ve kontrol etme işlemi daha görsel hale getirilebilir.
- Sadece bilgisayara bağımlı kalmayıp, NEC 78K0R Cool - it! Kiti üzerinde bulunan LCD ekranı ve kumanda kolu kullanılarak da gerekli görüntüleme ve kontrol işlemleri hareket halindeyken (herhangi bir bilgisayara bağlı olmadan) yapılabilir.
- Düşük güç tükettiği için güneş enerjisiyle de çalıştırılabilir. Böylelikle elektrik hattı çekilmesi mümkün olmayan yapı veya arazilerde haberleşme sağlanabilir.
- Sisteme eklenecek Zigbee varsayılan ağ geçidi cihazı ile Zigbee modülleriyle alınan verilere internet ortamından da ulaşılabilir.

Trafik sinyalizasyonundan dijital elektrik sayaçların haberleşmesine, güvenlik sistemlerinden sağlık sektöründe hasta kontrol mekanizmalarına kadar daha birçok alanda Zigbee teknolojisinden faydalanılmaktadır.

Günümüzde sensörlerin hemen hemen her yerde kullanıldığı ve yaygın olarak da kullanımlarının arttığını düşünürsek bunlarla birlikte Zigbee modüllerini de sıkça kullanılacağını göreceğiz.

KAYNAKLAR

- [1] **Ken Masica**, April 2007, Recommended Practices Guide For Securing Zigbee Wireless Networks in Process Control System Environments, Lawrence Livermore National Laboratory
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee>, Şubat 2009
- [3] <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/index.htm>, Şubat 2009
- [4] <http://www.bidb.itu.edu.tr/?d=484>, Şubat 2009
- [5] <http://www.zigbee.org/About/FAQ/tabid/192/Default.aspx>, Şubat 2009
- [6] Maxstream Xbee Series 2 OEM RF Modules Datasheet
- [7] <http://www.mikroe.com/en/books/8051book/ch1/images/01.gif>, Mayıs 2009
- [8] 78K0R/KG3, NEC Preliminary User's Manual
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/UART>, 1 Mayıs 2009
- [10] 78K0R – Cool it! Demonstration Kit for the 78K0R, NEC User's Manual
- [11] Xbee Series 2 OEM Development Kits Quick Start Guide
- [12] <http://www.teknokits.com/urunler/urunler/k57/k57.htm>, Mayıs 2009

ÖZGEÇMİŞ

Ozan ARSLAN, 21 Temmuz 1986' da İstanbul'da doğdu. İlkokulu Dr. Refik Saydam İlköğretim Okulu'nda, ortaokul ve liseyi Büyükçekmece Hüseyin Yıldız Anadolu Lisesi'nde tamamlayıp, Eylül 2005'te İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği lisans programına başladı. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi'nde öğrenimine devam etmektedir.