

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. TELSİZ ALGILAYICI AĞLARIN GELİŞİMİ	2
3. KULLANIMDA OLAN TELSİZ ALGILAYICI AĞLAR	8
3.1 Great Duck Island	8
3.2 Hogthrob	10
3.3 ZebraNET	12
3.4 Code Blue	13
4. KULLANIMDA OLAN TELSİZ ALGILAYICI DÜĞÜMLER	17
4.1 Wec, Rene, Rene2, Dot	17
4.2 Mica, Mica2Dot, Mica2, Telos	19
4.3 XYZ	20
4.4 Mulle	22
4.5 UIUC – Sensor Node	22
4.6 Eyes	23
4.7 Tmote Invent	23
4.8 MicaZ	24
5. DÜĞÜMLER İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ İŞLETİM SİSTEMLERİ	25
5.1 TinyOS	25
5.2 MANTIS	28
5.3 SOS	30
5.4 Ticari İşletim Sistemleri	31
6. TASARIM ÖZELLİKLERİ	33
6.1 İşlemci Birimi	33
6.2 Radyo İletişim birimi	37
6.3 Güç Yönetim Birimi	38
6.4 İkincil Bellek Birimi	38

7.	TELSİZ ALGILAYICI DÜĞÜM TASARIMI	40
7.1	Düğümde Kullanılacak Olan Parçaların Seçimi	40
7.1.1	Mikrodenetleyici Birimi	40
7.1.2	Telsiz İletişim Birimi	44
7.1.3	İkincil Bellek Birimi	45
7.1.4	Güç Yönetim Birimi	46
7.1.5	Algılayıcılar	46
7.2	Test Ortamı	53
7.3	Düğümün Tasarımı	56
8.	SONUÇ	58
KAYNAKLAR		60
EKLER		64
Ek 1 QFP-DIP dönüştürücü karta ait şematik, baskılı devre çizimleri		65
Ek 2 PC – JTAG bağlantı kartına ait şematik, baskılı devre çizimleri ve kullanılan devre elemanları listesi		67
Ek 3 MSP430F149 JTAG bağlantı kartına ait şematik, baskılı devre çizimleri ve kullanılan devre elemanları listesi		71
Ek 4 QLP-DIP dönüştürücü karta ait şematik, baskılı devre çizimleri		75
Şekil 8-8 QLP-DIP dönüştürücü karta ait baskılı devreEk 5 Test yazılımları		76
Ek 5 Test yazılımları		77
ÖZGEÇMİŞ		90

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternating Current
ADC	Analog Digital Converter
CEC	Cooperative Engagement Capability
CRC	Cyclic Redundancy Check
DARPA	Defense Advanced Research Agency
DC	Direct Current
DSN	Distributed Sensor Networks
EISLAB	Embedded Internet System Laboratory
EKG	Electrocardiograph
FLL	Frequency Locked Loop
GPS	Global Positioning System (Küresel Yer bulma Sistemi)
I2C	Inter Integrated Circuits
IDE	Integrated Development Enviroment
JTAG	Joint Test Action Group
LPF	Lowpass Filter (Alçak geçirgen filtre)
MEMS	Micro-elektromechanical Systems
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NESL	Networked and Embedded System Laboratory
PLL	Phase Locked Loop
QFP	Quad Flat Pack
QLP	Quad Leadless Package
SensIT	Sensor Information Technology
SOSUS	Sound Surveillance System
SPI	Serial Peripheral Interface
SPLICE	Signal Processing Language and Interactive Computing Enviroment
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
VCO	Voltage Controlled Oscilator

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1 DSN projesi kapsamında kullanılan akustik algılayıcılar, algılayıcı düğüm ve ekipmanlar [Chong 2003]	3
Şekil 2-2 29 Palms denemelerinde kullanılan düğümün paketlenmiş hali[8]	5
Şekil 2-3 29 Palms denemesinde kullanılan insansız hava aracı[8]	6
Şekil 2-4 29 Palms denemesinde takip edilen araçlardan biri (Dragon)[8].....	6
Şekil 2-5 Smart Dust projesinde geliştirilen bir prototip[9]	7
Şekil 3-1 Great Duck Island projesinde oluşturulan telsiz algılayıcı ağı yapısı[Mainwaring 2002]	9
Şekil 3-2 Great Duck Island Projesinde kullanılan koruyucu kılıf içindeki telsiz algılayıcı düğümler [Mainwaring 2002]	9
Şekil 3-3 Hogthrob projesinde kullanılan düğümün mikrodenetleyici kartı [10]	11
Şekil 3-4 Hogthrob projesinde kullanılan düğümün telsiz iletişim kartı[10]	12
Şekil 3-5 ZebraNet projesi kapsamında geliştirilen prototip[Zhang 2004]	13
Şekil 3-6 Pulse oximeter düğümü[13]	14
Şekil 3-7 Smiths Medical PM'in geliştirdiği oksijen ölçüm kartı[13]	14
Şekil 3-8 EKG düğümü [13].....	15
Şekil 3-9 Felçli hastaların izlenmesi için geliştirilen düğüm[13].....	16
Şekil 4-1 WeC telsiz algılayıcı düğümü[14]	18
Şekil 4-2 Rene telsiz algılayıcı düğümü[14]	18
Şekil 4-3 Rene için hazırlanmış olan algılayıcı kart[14]	19
Şekil 4-4 Dot telsiz algılayıcı düğümü[14].....	19
Şekil 4-5 UC Berkeley tarafından geliştirilmiş olan telsiz algılayıcı düğümlerin karşılaştırılması[14]	20
Şekil 4-6 XYZ düğümüne ait çeşitli resimler[21]	21
Şekil 4-7 ENALAB içerisinde oluşturulan telsiz algılayıcı ağı yapısı[21]	21
Şekil 4-8 Mulle düğümünün boyutlarını gösteren şekil[22].....	22
Şekil 4-9 Illinois Üniversitesi tarafından geliştirilen düğümün üstten ve alttan görünüşü[23]	22
Şekil 4-10 Eyes projesi kapsamında geliştirilen prototip düğüm[24]	23
Şekil 4-11 tmote invent telsiz algılayıcı düğüm[25]	24
Şekil 4-12 MicaZ düğümleri ve çeşitli algılayıcı kartlar[26]	24
Şekil 5-1 TinyOS işletim sisteminin kaynak yönetimi[27]	25
Şekil 5-2 İletişim bileşeninin grafiksel gösterimi[27]	26
Şekil 5-3 İletişim bileşeninin yazılımsal tanımlaması[27]	27
Şekil 5-4 TinyOS bileşenleri ile oluşturulan örnek bir uygulama[27]	28
Şekil 5-5 MANTIS işletim sisteminin blok diagramı[Bhatti 2005]	29
Şekil 5-6 MANTIS içerisindeki iletişim ve sürücü katmanları[Bhatti 2005].....	29
Şekil 5-7 MANTIS işletim sistemi için yazılmış örnek bir uygulama[Bhatti 2005].....	30
Şekil 5-8 AVRX için geliştirilen basit bir görev[30]	31
Şekil 5-9 AVRX 2.6 için yazılmış olan örnek uygulama [30]	32
Şekil 6-1 PLL saat üretici blok yapısı [31]	34
Şekil 6-2 FLL saat üretici blok yapısı[Djemouai 2001]	35
Şekil 7-1 EL7900 iç yapısı ve temel bağlantı biçimi[41].....	47
Şekil 7-2 EL7900'ün çıkış geriliminin ışığın parlaklığına göre değişimi[41].....	48
Şekil 7-3 EL7900'ün çıkış geriliminin ışığın dalga boyuna göre değişimi[41]	48
Şekil 7-4 SHT15 sıcaklık ve nem ölçüm doğrulukları[39].....	50
Şekil 7-5 SHT15'in baskılı devreye yerleştirilmesi[39].....	50
Şekil 7-6 DS1629 tarih registerlarının yapısı[42].....	52
Şekil 7-7 MSP430F149 DIP-QFP dönüştürücü	53
Şekil 7-8 PC – JTAG bağlantı kartı.....	54

Şekil 7-9 MSP430F149 JTAG kartı	54
Şekil 7-10 CC2420 QLP-DIP dönüştürücü	55
Şekil 7-11 CC2420 temel bağlantı şeması.....	55
Şekil 7-12 Telsiz algılayıcı düğümün blok şeması.....	56
Şekil 8-1 QFP-DIP dönüştürücü karta ait şematik	65
Şekil 8-2 QFP-DIP dönüştürücü karta ait pcb	66
Şekil 8-3 PC – JTAG bağlantı kartına ait şematik.....	67
Şekil 8-4 PC – JTAG bağlantı kartına ait baskılı devre	68
Şekil 8-5 MSP430F149 JTAG bağlantı kartına ait şematik	71
Şekil 8-6 MSP430F149 JTAG bağlantı kartına ait baskılı devre	72
Şekil 8-7 QLP-DIP dönüştürücü karta ait şematik	75
Şekil 8-8 QLP-DIP dönüştürücü karta ait baskılı devre	76
Şekil 8-8 QLP-DIP dönüştürücü karta ait baskılı devre	76

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 7-1 İncelenen mikrodnetleyicilerin enerji tüketimleri[11,15,32,33,34,35]	42
Çizelge 7-2 Mikrodnetleyicilerin uyanma süreleri[11,12,15,22,32,33,34,35]	42
Çizelge 7-3 Mimari açıdan mikrodnetleyicilerin karşılaştırılması[11,12,15,22,32,33,34,35]	43
Çizelge 7-4 Çevre birimlere göre mikrodnetleyicilerin karşılaştırılması[11,12,15,22,32,33,34,35]	44
Çizelge 7-5 Telsiz iletişim birimlerinin karşılaştırılması[18,19,20,36].....	45
Çizelge 7-6 İkincil bellek birimlerinin karşılaştırılması[16,17,37,38]	45
Çizelge 7-7 Kullanılan algılayıcıların listesi	47
Çizelge 7-8 SHT15'e ait sapma değerleri[39]	49
Çizelge 7-9 SHT15 için nem ve sıcaklık ölçüm özellikleri[39]	49
Çizelge 7-10 SP30 basınç ölçüm aralıkları[40]	51
Çizelge 7-11 SP30 sıcaklık ölçüm aralığı[40]	51
Çizelge 7-12 SP30 ivme ölçüm aralığı[40]	52
Çizelge 8-1 JTAG Bağlantı kartında kullanılan devre elemanları listesi	69
Çizelge 8-2 MSP430F149 JTAG bağlantı kartında kullanılan devre elemanları listesi	73

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi ve tez geliştirme süresince yardımlarını ve zamanını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ'a, donanımla ilgili bilgi ve deneyimlerini paylaştan Öğretim Görevlisi Ahmet HAKTANIR'a, gerekli donanımsal parçaların temini sırasında yardımları dokunan Cenevre Üniversitesi Arş. Görevlisi Özge ŞAHİN'e ve Bilgisayar Mühendisi Cüneyt KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Son yıllarda telsiz iletişim ve mikro-elektromekanik sistem (MEMS) teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, düşük maliyetli, düşük güç tüketimine sahip, çok işlevli ve küçük boyutlu telsiz algılayıcılardan oluşan telsiz algılayıcı ağların (wireless sensor networks) geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Telsiz algılayıcı ağlar ilk olarak askeri amaçlı savunma uygulamalarında kullanılmıştır. Günümüzde ise telsiz algılayıcı ağların kullanım alanları arasında doğal yaşam alanlarının izlenmesi, tarım ürünlerinin gelişimlerinin izlenmesi, endüstriyel kontrol ve izleme sistemleri, ev otomasyon sistemleri, güvenlik uygulamaları ve tedarik zinciri uygulamaları bulunmaktadır.

Telsiz algılayıcı ağlar, çevreden bilgi toplayabilen, aldığı bilgiyi bir başka düğüme veya merkeze aktarabilen düğümlerden oluşur. Telsiz algılayıcı düğümler, çevreden bilgi almayı sağlayan çeşitli sayıda ve türde algılayıcılar, algılayıcılardan alınan bilginin saklanması için ikincil depolama birimi, düğümlerin birbirleriyle haberleşmesini sağlayan telsiz haberleşme birimi, enerji ihtiyacının karşılanmasını sağlayan besleme (güç) birimi ve tüm bu işlemlerin gerçekleştirilmesinden sorumlu olan işlemci biriminden oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, yukarıda belirtilmiş olan uygulamalarda kullanılabilecek genel amaçlı telsiz bir algılayıcı düğümün oluşturulmasıdır. İlk olarak bugüne kadar oluşturulmuş olan telsiz algılayıcı ağlar ve bu ağların yapısında kullanılmış olan düğümler incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda geliştirilecek olan düğüm üzerinde kullanılacak olan mikrodenetleyici birim, telsiz iletişim birimi, ikincil bellek birimi, güç yönetim birimi ve algılayıcılar belirlenmiştir.

Belirlenen birimlerin test edilmesi için gerekli olan donanım ve yazılım altyapısı oluşturulmuştur. Test ortamında elde edilen bilgiler ışığında düğümün tasarımı son halini almıştır. Geliştirilen düğümün boyutlarının küçük olmasını sağlamak için 6 katmana sahip bir tasarım oluşturulmuştur. Bu sayede düğümün boyutlarının 25 mm x 25 mm x 10 mm olması sağlanmıştır. Geliştirilen düğümün veri aktarım hızı 250 kbps, veri depolama kapasitesi 8 Mbit'tir. Düğüm üzerinde basınç, ışık, sıcaklık ve ivme değerlerinin ölçülmesini sağlayan algılayıcılar bulunmaktadır. Geliştirilen düğüm üzerinde en yüksek enerji tüketimine telsiz iletişim birimi sahiptir. Kullanılan telsiz iletişim biriminin çıkış gücünün azaltılması ile enerji tüketimi azaltılabilir. Düğümün enerji tüketimi pasif konumda 10.5 μ A, veri alma durumunda 33.9 mA'dir. Veri aktarım durumunda ise güç tüketimi en az 13.4 mA, en fazla 21.5 mA'dir.

Anahtar kelimeler: Telsiz Algılayıcı Ağlar, Telsiz Algılayıcı, Algılayıcı Ağlar, Gömülü sistemler

ABSTRACT

Recent advances in micro-electro-mechanical systems (MEMS) technology, wireless communications, and digital electronics have enabled the development of low-cost, low-power, multifunctional sensor nodes that are small in size and communicate untethered in short distances. Like many other technologies first examples of wireless sensor network were built and used for military applications. Nowadays wireless sensor networks are being used in habitat monitoring, intelligent agriculture, industrial monitoring and control, home automation, security applications and asset tracking and supply chain management applications.

Wireless sensor networks consist of nodes which are capable of collecting data from its environment and deliver that data to another node or central node. Wireless sensor nodes consist of a sensor module to gather information from the environment, a secondary storage module to store data that is collected from the sensors, a communication module to communicate with the other nodes, a power management module and a microcontroller to manage all operations.

The aim of this project is to design and implement a general purpose and fully configurable wireless sensor node that can be used in applications mentioned above. Firstly, we have analyzed several wireless sensor networks that are used in different researches and sensor nodes that are used in these networks. As a result, we have constructed the hardware architecture of our node and chosen components that will be used.

We have developed several hardware and software to test functionality and interoperability of these components. We have developed a PCB design that has 6 layers, in order to minimize physical dimensions of the node. Dimensions of our wireless sensor node is 25 mm x 25 mm x 10 mm. Power consumption of the node is depends on wireless communication module. Power consumption of the wireless communication module can be reduced by decreasing output power of the module. Power consumption of our node is 10.5 μ A for idle mode and 22.6 mA for receive mode. In transmit mode, the power consumption is 13.4mA at least and 21.5 at most.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Sensor Node, Wireless Sensor, Embedded Systems.

1. GİRİŞ

İlk olarak askeri uygulamalarda savunma amaçlı kullanılmaya başlanan telsiz algılayıcı ağlar, mikro-elektromekanik sistemler (MEMS) ve telsiz iletişim sistemlerindeki gelişmeler sonucunda, günümüzde birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Bu uygulama alanlarından en yaygın olanları; doğal yaşam alanlarının izlenmesi, tarım ürünlerinin gelişimlerinin izlenmesi, endüstriyel kontrol ve izleme sistemleri, erken uyarı sistemleri, kapalı ve açık alanların güvenliğinin sağlanmasıdır.

Telsiz algılayıcı ağlar, değişik ihtiyaçları olan farklı alanlarda kullanılabilmektedir. Bu tez kapsamında hedeflenen, yukarıda belirtilmiş olan uygulamalarda kullanılabilecek telsiz bir algılayıcı düğümün tasarlanması ve gerçekleştirilmesidir. Uygulama alanlarının çokluğu ve değişik ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda oluşturulacak olan düğümün esnek bir yapıya sahip olması ve uygulamanın ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir olması gerekmektedir.

Geliştirilecek olan telsiz algılayıcının tasarlanması için öncelikle telsiz ağların gelişimi incelenmiş, teknolojiye gelişmelerin ne yönde olduğu belirlenmiştir. Sonraki adım da ise bugüne kadar oluşturulmuş olan telsiz algılayıcı ağlar incelenmiş ve bu uygulamalarda ihtiyaç duyulan algılayıcılar ve bu algılayıcıların özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgiler ışığında telsiz algılayıcı düğümün yapısında kullanılacak olan birimlerin seçimleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen birimlerin ve düğüm tasarımının test edilmesi için çeşitli test ortamları oluşturulmuştur. Test işlemlerinin başarıyla sonuçlanmasının ardından tasarlanan telsiz algılayıcı düğüm gerçekleştirilmiştir.

Tezin 2. bölümünde telsiz algılayıcı ağların gelişimi ve bu alandaki mevcut teknolojik gelişmeler, 3. bölümde bugüne kadar oluşturulmuş olan telsiz algılayıcı ağlar, 4. bölümde bu ağların yapısında ve diğer uygulamalarda kullanılmak üzere üretilmiş olan telsiz algılayıcı düğümler incelenmiştir. 5. bölümde telsiz algılayıcı düğümler için tasarlanmış olan işletim sistemleri incelenmiştir. 6. bölümde, yapılan incelemeler sonucunda geliştirilecek olan telsiz algılayıcı düğümün sahip olması gereken özellikler belirtilmiştir. 7. bölümde gerçekleştirilmiş olan telsiz algılayıcı düğümün tasarımı ile ilgili ayrıntı bilgi verilmiştir.

2. TELSİZ ALGILAYICI AĞLARIN GELİŞİMİ

Telsiz algılayıcı ağların temelleri dağıtık algılayıcı ağlara (Distributed Sensor Networks) dayanmaktadır. Dağıtık algılayıcı ağların ilk uygulamalarından biri 1950'li yıllarda kurulumuna başlanmış olan Sound Surveillance System (SOSUS)'tur[1]. SOSUS, soğuk savaş sırasında Amerikan donanması tarafından, Rus denizaltılarının izlenmesi için Atlantik ve Pasifik okyanuslarına kurulmuş ve kullanılmıştır. SOSUS'un yapısında okyanus dibine yerleştirilmiş olan akustik algılayıcı (hydrophones) dizileri bulunmaktadır. Bu algılayıcı dizileri okyanus dibine döşenmiş iletişim kabloları ile kıyılardaki merkezlere bağlanmıştır. SOSUS sisteminin geliştirilmesi ve başarılı şekilde denizaltıları takip etmeye başlaması, çok daha sessiz motorlara sahip denizaltıların geliştirilme sürecini başlatmıştır. Çok daha sessiz denizaltıların geliştirilmesi de daha hassas akustik algılayıcıların geliştirilmesine ve SOSUS'un yeni bir kıyı güvenlik sistemi ile değiştirilmesine neden olmuştur. Günümüzde SOSUS okyanus dibindeki titreşimler ve okyanus canlılarının izlenmesi için aktif olarak kullanılmaktadır.[Chong 2003]

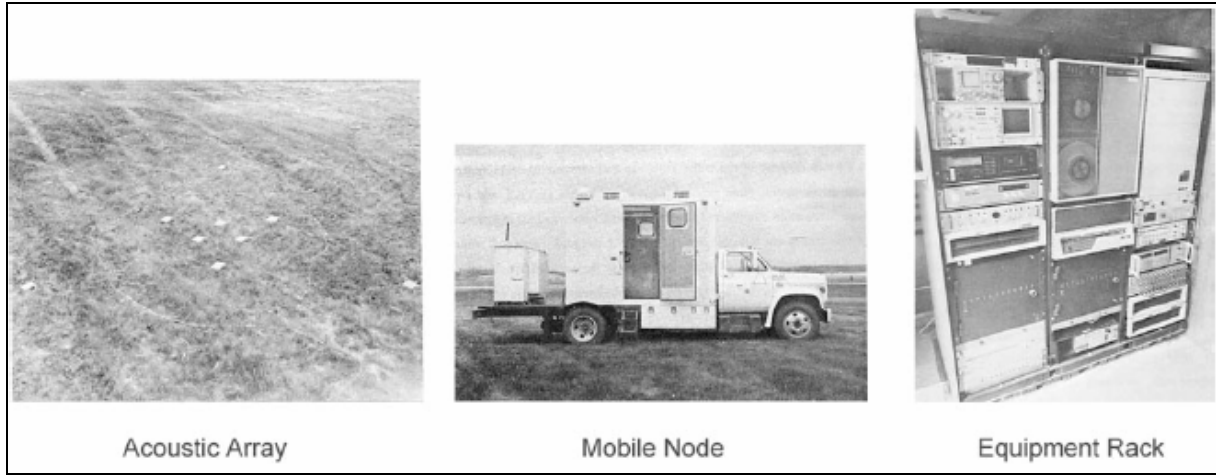
Dağıtık algılayıcı ağların teknolojik bileşenleri ilk kez 1978 yılında gerçekleştirilen Distributed Sensors Net seminerinde tanımlanmıştır. Bu bileşenler akustik algılayıcılar, kaynak paylaşımlı bir ağ üzerinde çalışan işlemleri birleştiren üst seviye iletişim protokolleri, bilgi işleme teknikleri, yer bulma (node localization) algoritmaları ve dağıtık sistemler üzerinde çalışan dinamik olarak değiştirilebilen dağıtık yazılımlardır.[Chong 2003]

Dağıtık algılayıcı ağlar üzerindeki ilk bilimsel çalışmalar ise 1980'li yıllarda Defense Advanced Research Agency (DARPA) tarafından başlatılan Distributed Sensor Networks (DSN) programı kapsamında başlamıştır. Program kapsamında dağıtık akustik izleme problemi örnek uygulama olarak seçilmiştir. Bu uygulamanın farklı kısımları farklı üniversiteler ve kuruluşlar tarafından geliştirilmiştir.[Chong 2003]

Proje kapsamında Carnegie Mellon Üniversitesi'nde, algılayıcı bir ağ üzerinde dağıtık olarak bulunan kaynaklara hata hoşgörülü (fault-tolerant) ve şeffaf (transparent) şekilde erişimi sağlayan, iletişim-merkezli (communication-oriented) Accent adında bir işletim sistemi geliştirilmiştir. Daha sonra bu işletim sistemi geliştirilerek ticari olarak kullanılan Mach işletim sistemi oluşturulmuştur.[Chong 2003]

Proje kapsamında hava araçlarının takip edilmesi için kullanılacak olan sinyal işleme teknikleri ise Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu tekniklerde insanların gerçek hayatta sinyalleri işleme ve yorumlama

yöntemleri temel alınmıştır. Ayrıca MIT tarafından proje kapsamında dağıtık algılayıcı ağlarda veri analizi ve algoritma geliştirilmesi için kullanılmak üzere, Signal Processing Language and Interactive Computing Enviroment (SPLICE) sistemi geliştirilmiştir.



Şekil 2-1 DSN projesi kapsamında kullanılan akustik algılayıcılar, algılayıcı düğüm ve ekipmanlar [Chong 2003]

Geliştirilen projenin test edilmesi amacıyla MIT Lincoln Laboratuvarı tarafından bir test ortamı oluşturulmuştur. Bu test ortamında, ortamdaki bilgi toplanması için 9 adet akustik algılayıcı ve bu algılayıcılardan gelen bilginin işlenmesi için PDP11/34 işlemcili bir bilgisayar kullanılmıştır. Hedef takibi (target tracking) için ise 256 kB bellek birimine sahip 3 adet MC68000 işlemci ve 512 kB bellek birimine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Şekil 2-1’de en solda test sırasında kullanılan 9 adet akustik algılayıcı dizisi görülmektedir. Bu algılayıcılar ortak merkezli 3 adet üçgen şeklinde yerleştirilmiştir. Orta resimde hareketli düğüm, sağdaki resimde ise düğüm içerisine yerleştirilmiş olan bilgisayar sistemleri görülmektedir. Hareketli düğümün elektrik ihtiyacı kamyonun arka tarafında yer alan sessiz jeneratörler ile sağlanmaktadır. Oluşturulan bu sistem, boyut ve performans açısından 1980’li yıllar için en son teknoloji ürünüdür. Yapılan test uçuşlarında oluşturulan akustik algılayıcı ağ, hava araçlarını başarılı bir şekilde takip etmiştir. [Chong 2003]

Her ne kadar dağıtık algılayıcı ağların yapısında çok sayıda ufak boyutta algılayıcı düğümler kullanılması planlanmış olsa da 1980’li ve 1990’lı yıllarda bu özelliklerde bir algılayıcı düğümün geliştirilmesi, gerekli teknolojilerin hazır olmaması nedeniyle mümkün olmamıştır. Ancak buna rağmen özellikle algılayıcı ağların, ağ merkezli savaşlar (network centric warfare) gibi askeri uygulamalarda, oldukça etkili çözümler sunduğu görülmüş ve bu alanlarda çeşitli projeler geliştirilmiştir. Bu projelerden biri de Amerikan donanması

tarafından geliştirilen Cooperative Engagement Capability (CEC)'dir.[7] Projenin amacı savaş sistemlerinin, üzerlerindeki çeşitli algılayıcılar vasıtasıyla topladıkları bilgileri birbirleri ile paylaşarak tek bir sistem gibi çalışmasının sağlanmasıdır. Bu yapı temel alınarak hava, kara ve sualtı savunma sistemleri geliştirilmiştir.

2000'li yıllarda özellikle micro-elektromekanik sistemler, telsiz iletişim ve düşük güç tüketimli mikrodenetleyicilerde yaşanan gelişmeler, telsiz algılayıcı ağların ilk düşünüldüğü gibi çok sayıda ufak algılayıcı düğümden oluşması fikrini uygulanabilir hale getirmiştir. Yaşanan teknolojik gelişmeler algılayıcı düğümlerin küçülmesini sağlamanın yanı sıra maliyetlerinin de düşmesine neden olmuştur. Böylece 1990'lı yılların sonlarına kadar çok büyük bütçeli askeri güvenlik uygulamalarında kullanılan ve oldukça maliyetli olan telsiz algılayıcı ağlar, sivil araştırmacılar tarafından birçok uygulama alanında kullanılmaya başlanmıştır.

Bu uygulama alanlarından en yaygın olanları, doğal yaşam alanlarının izlenmesi, tarım ürünlerinin gelişimlerinin izlenmesi, endüstriyel kontrol ve izleme sistemleri, erken uyarı sistemleri, kapalı ve açık alanların güvenliğinin sağlanmasıdır.

Telsiz algılayıcı ağlar, özellikle insan etkisinin en aza indirilmek istenildiği doğal yaşam alanlarının izlenmesi uygulamalarına çok uygundur. Great Duck Island[2] ve ZebraNet[3] projeleri bu alanda yapılmış uygulamaların en bilinen örnekleridir. İnsan gücüyle yapılması oldukça zor ve maliyetli olan tarım ürünlerinin gelişimlerinin izlenmesi işlemi, telsiz algılayıcı ağlar ile oldukça ucuz ve kolay gerçekleştirilmektedir. Her gün belirli aralıklarla ortamla ilgili nem, sıcaklık vb. bilgileri bir merkeze gönderecek telsiz algılayıcı düğümler ürün yetiştiricisinin ürünlerinin gelişimiyle ilgili oldukça detaylı bilgiye sahip olmasını sağlayacaktır. Endüstriyel kontrol ve izleme alanında telsiz algılayıcı ağların kullanımına ilişkin en iyi örnek Hogthrob[10] projesi olacaktır. Danimarka'da domuz yetiştiricileri birliğinin (Committee of Pig Production) kontrolünde çeşitli kurumların katılımıyla gerçekleştirilen bu projede hedeflenen domuzların çiftleşme ve hamilelik dönemlerinin izlenmesi ve böylece üretimin arttırılmasıdır.

Telsiz algılayıcı ağların kullanım alanlarının artmasıyla birlikte, bu ağların yapısında kullanılan düğümlerin üzerinde çalışacak yazılımların geliştirilmesi ihtiyacı da ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla çeşitli kurumlar tarafından değişik işletim sistemleri ve yazılımlar geliştirilmiştir. Günümüzde bu yazılımlar arasında en çok kullanılan UC Berkeley tarafından geliştirilen TinyOS'tur[27]. Bunun dışında MANTIS[28] ve SOS[29]

gibi işletim sistemleri ve düğümlere özel olarak geliştirilmiş yazılımlar da mevcuttur. Tüm bu yazılımların ortak özelliği güç tüketimini en aza indirerek düğümün çalışma ömrünü uzatmaktır.

Algılayıcılar, telsiz iletişim birimleri ve düşük güç tüketimli mikrodenetleyicilerde yaşanan gelişmeler sivil telsiz algılayıcı ağ uygulamalarının geliştirilmesinin yanı sıra askeri uygulamaların yeniden gözden geçirilmesine ve ilk başta planlandığı şekliyle yeniden oluşturulmalarına neden olmuştur. DARPA tarafından 1980’lerde geliştirilen hava araçlarının izlenmesi projesi tekrar gözden geçirilerek, hem hava hem de kara araçlarının izlenmesinde kullanılmak üzere telsiz algılayıcı ağların tasarlanması amacıyla Sensor Information Technology (SensIT)[6] programı başlatılmıştır. Program kapsamında çeşitli telsiz algılayıcı düğümler geliştirilmiş ve geliştirilen bu düğümlerden oluşturulan ağlar üzerinde denemeler yapılmıştır.



Şekil 2-2 29 Palms denemelerinde kullanılan düğümün paketlenmiş hali[8]

Şekil 2-2’de UC Berkeley tarafından 29 Palms California’da gerçekleştirilen bu denemelerden birinde kullanılan telsiz algılayıcı düğümü ve bu düğümün paketlenmiş hali görülmektedir. Bu denemede algılayıcı düğümlerin, insansız bir uçaktan atılarak izlenecek olan yol ve çevresine yerleştirilmesi, yerleştirilen düğümler arasında eş zamansal bir ağın oluşturulması, ağın yakınlarından geçen araçların tespit ve takip edilmesi, izlenen araçların bilgilerinin insansız hava aracına aktarılması ve hava aracının araçlarla ilgili bilgiyi bir yer merkezine aktarması hedeflenmektedir.

Şekil 2-3’te kullanılan insansız hava aracı, Şekil 2-4’te ise izlenen araçlardan biri görülmektedir. Yapılan 3 günlük testler sonucunda sistemin planlandığı gibi çalışması sağlanmıştır[8].



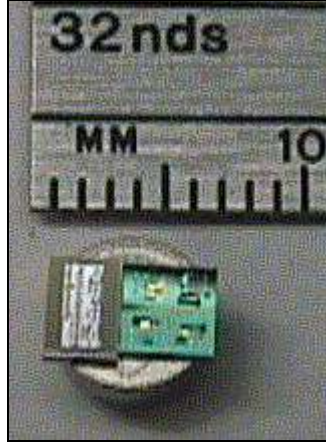
Şekil 2-3 29 Palms denemesinde kullanılan insansız hava aracı[8]

Testlerde UC Berkeley Üniversitesi tarafından geliştirilen Rene adlı telsiz algılayıcı düğüm kullanılmıştır. Düğüm üzerine yakından geçen araçların tespit edilebilmesi için 2 boyutlu manyetik alan ölçen (2 axis magnetometer) bir algılayıcı yerleştirilmiştir. Düğümler üzerinde yine UC Berkeley Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan TinyOS işletim sistemi çalıştırılmıştır.



Şekil 2-4 29 Palms denemesinde takip edilen araçlardan biri (Dragon)[8]

Günümüzde geliştirilen telsiz algılayıcı düğümlerin boyutları artık milimetrelerle ölçülmektedir. Ancak hedeflenen çok daha küçük boyutlardaki düğümlerin oluşturulmasıdır. Bu kapsamda başlatılan projelerden biri olan Smart Dust kapsamında geliştirilen prototiplerden biri Şekil 2-5'te görülmektedir. Prototip'in yapısında 1 adet optik iletişim birimi, 1 adet mikrodenetleyici ve ısıtma cihazlarında kullanılan türde bir pil birimi mevcuttur. 0.25 mikron teknolojisi ile geliştirilmiş olan prototip, bazı tasarım kurallarına uyulmadığı için çalıştırılmamıştır.



Şekil 2-5 Smart Dust projesinde geliştirilen bir prototip[9]

Düğümün boyutlarının küçülmesi, düğümlerin güç ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılan pillerinde küçük boyutlarda olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu yüzden düğümlerin kesintisiz çalışma zamanları birkaç gün ile sınırlıdır. Düğümlerin çalışma zamanlarını uzatabilmek için, çeşitli yazılımsal yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı ise düğümlerin belirli zaman aralıklarında çevreden bilgi toplamaları ve bu zamanlar dışında kendilerini kapatmalarıdır. Burada zaman aralığı ne kadar uzun seçilirse düğümün çalışma ömrü o kadar uzun olacaktır, diğer yandan zaman aralığının uzaması etraftan toplanmış olan bilginin hassasiyetini azaltacaktır. Düğümlerin çalışma ömürlerinin arttırılması için daha az güç tüketimine sahip mikrodenetleyicilerin, küçük ancak çok daha güçlü pil birimlerinin ve “wake-up radio” teknolojisini kullanan telsiz iletişim birimlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

3. KULLANIMDA OLAN TELSİZ ALGILAYICI AĞLAR

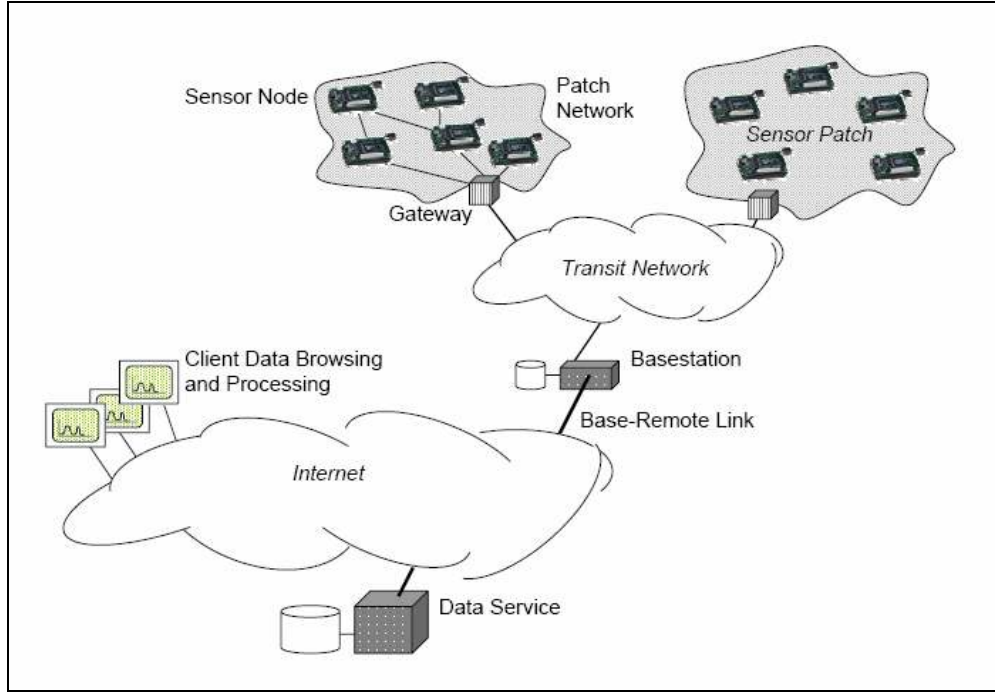
Günümüzde telsiz algılayıcı ağların kullanıldığı pek çok uygulama alanı mevcuttur. Bu uygulama alanlarından önde gelenleri ise; telsiz algılayıcıların, insan müdahalesini dolayısıyla ortam üzerindeki etkisini en aza indirdiği; doğal hayatın izlenmesi, kablolu zorluklarının olduğu endüstriyel kontrol ve izleme uygulamalarıdır. Bu bölüm kapsamında, bugüne kadar oluşturulmuş doğal hayatın gözlemlenmesinde ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmış olan telsiz algılayıcı ağlardan en önemlileri incelenmiş ve özellikleri detaylı bir şekilde ortaya konmuştur.

3.1 Great Duck Island

2002 yılının ilk baharında Berkeley'deki Intel araştırma laboratuvarı, California Üniversitesi ve Atlantik Kolejinin işbirliği ile doğal hayatın ve hayvanların yaşam alanlarının insan etkileşimi olmaksızın gözlenmesinde kullanılmak üzere doğal ortam izleme teçhizatının oluşturulmasını amaçlayan bir program başlatılmıştır[2]. Program kapsamında pilot bölge olarak Amerika'nın Maine eyaletindeki Great Duck adası seçilmiş ve ilk etapta adadaki kuşların yuvalarını yakınlara 32 adet telsiz algılayıcı düğüm yerleştirilmiştir.

Kullanılan telsiz algılayıcı düğümler, bir mikrodenetleyici birimi, bir adet düşük enerji ihtiyaçlı radyo birimi, bir adet ikincil bellek birimi, piller ve algılayıcı birimlerinden oluşmaktadır. Sistemde ısı, nem, hava basıncı ve orta menzilli kızıl ötesi algılayıcılar bulunmaktadır.

Adaya yerleştirilmiş olan telsiz algılayıcı düğümler, belirli aralıklarla üzerlerindeki algılayıcılardan gelen bilgileri okur ve bu bilgileri adadaki bilgisayar merkezlerine aktarır. Bu merkezlerde toplanan bilgiler de Internet üzerinden yayınlanmaktadır. Şekil 3-1'de de görüldüğü gibi çok katmanlı bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan ağın en uç noktasında telsiz algılayıcı düğümler bulunmaktadır. Bu düğümler topladıkları bilgileri kendilerine yakın olan merkezlere iletirler. Ara merkezlerde toplanan bilgiler ana merkeze aktarılır ve buradan Internet aracılığıyla tüm dünyaya sunulur.



Şekil 3-1 Great Duck Island projesinde oluşturulan telsiz algılayıcı ağı yapısı [Mainwaring 2002]

Projenin başlamasından 2002 yılının kasım ayına kadar yerleştirilmiş olan 32 adet telsiz algılayıcı düğümden toplam bir milyondan fazla okuma işlemi yapılmıştır. 2003 yılının haziran ayında adadaki ağ, 56 düğümden oluşan yeni bir ağ ile değiştirilmiştir. Yeni oluşturulan bu ağa temmuz ayında 49 adet, ağustos ayında ise 60 adet düğüm daha eklenmiştir. Ağustos ayında ayrıca hava gözlemleme de kullanılmak üzere 25 adet yeni düğüm eklenmiştir. Şekil 3-2’de koruyucu kılıflar içerisinde kullanılan telsiz algılayıcı düğümler görülmektedir. Ağ içerisinde kullanılan telsiz algılayıcı düğümlerin çiğ, yağmur, sel, doğal hava koşullarına ve darbelere karşı dayanıklı olması gerekmektedir.



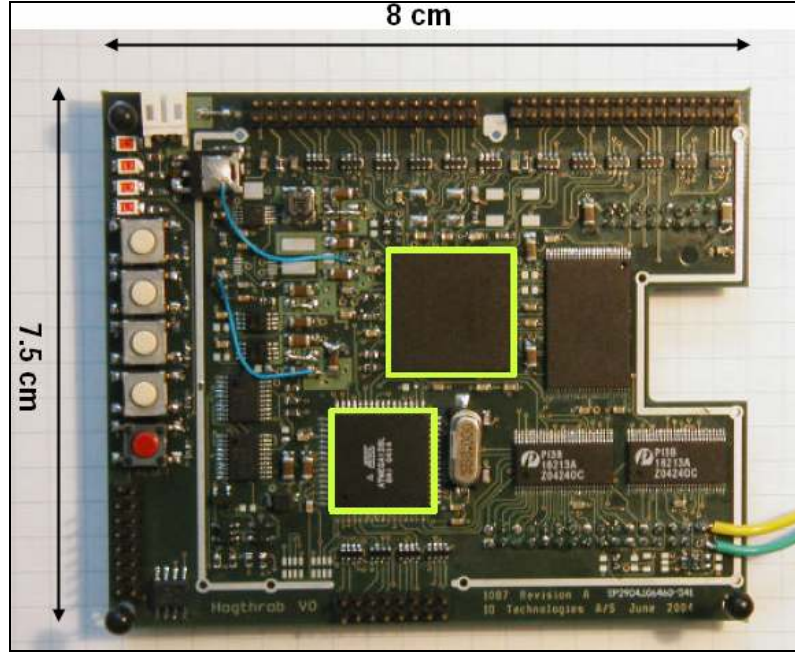
Şekil 3-2 Great Duck Island Projesinde kullanılan koruyucu kılıf içindeki telsiz algılayıcı düğümler [Mainwaring 2002]

Proje kapsamında Berkeley üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan Mica Mote adlı telsiz algılayıcı düğüm kullanılmıştır. Mica Mote dört ana birimden oluşmaktadır. Bu birimler, AtMega 128L[11] mikrodenetleyicinin kullanıldığı işlemci birimi, TR1000[19]'nin kullanıldığı radyo iletişim birimi, AT45DB041B[17]'nin kullanıldığı depolama birimi ve 2 adet AA boyutunda bataryanın kullanıldığı güç birimidir. Düğümde istenilen algılayıcıların bağlanmasını sağlayan 51 pinlik bir ara bağlantı birimi bulunmaktadır. Bu ara bağlantı üzerinden analog, I2C (Inter Integrated Circuits), SPI (Serial Peripheral Interface) ve UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) tipinde bağlantılar yapılabilmektedir. Düğüm ve düğümde kullanılan algılayıcıların yapısı ile ilgili detaylı bilgi bölümün sonunda yer almaktadır.

3.2 Hogthrob

Danimarka' da domuz yetiştirilmesinde verimi arttırmak için oluşturulan bu telsiz algılayıcı ağ, **DIKU** (Department of Computer Science), **DTU** (Denmarks Tekniske Universitet), **KVL** (The Royal Veterinary and Agriculture University) ve Danish Comittee for Pig Production tarafından geliştirilmiştir.[10]

2004 yılında başlatılan projedeki amaç domuzların çiftleşme dönemlerinin tespit edilerek üretimin arttırılmasının sağlanmasıdır. Domuzların farklı dönemlerde farklı kafeslerde ve koşullarda tutulması gerekmektedir. Örneğin gebe domuzlar yaklaşık 300m² lik bir kafeste 114 gün süreyle tutulmalıdır. Doğum yapmak üzere olan domuzlar ise 3 ila 4 hafta arasında 4m² lik kafeslerde tek başlarına olmalıdırlar. Çiftleşme döneminde ise domuzlar 2 ila 3 hafta arasında onarlı gruplar halinde 50m² lik kafeslerde bekletilirler.

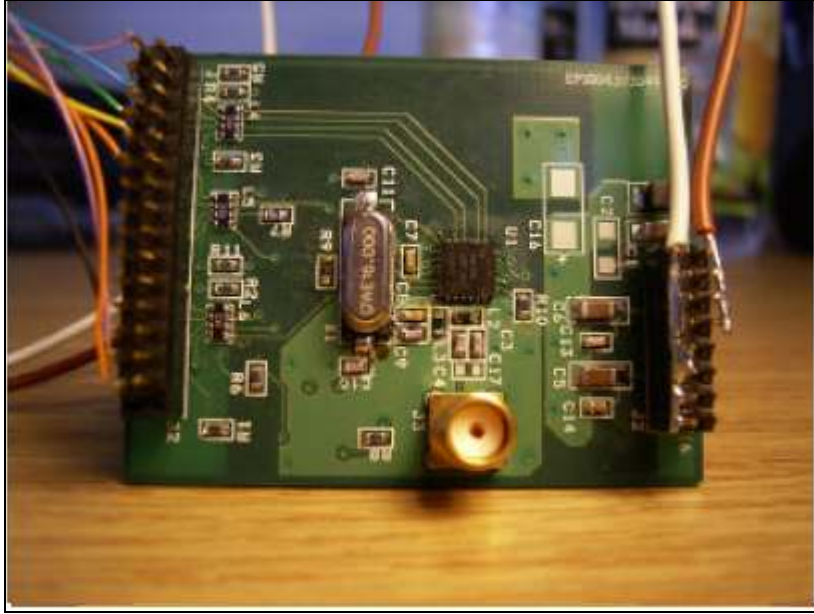


Şekil 3-3 Hogthrob projesinde kullanılan düğümün mikrodnetleyici kartı [10]

Domuzların yetiştirilmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise domuzların kulaklarına takılan RFID birimlerinden faydalanılmasıdır. Ancak bu yöntemde bilgilerin okunabilmesi için domuzlara çok yakın olunması (yaklaşık 10m) gerekmektedir. Oysa telsiz algılayıcı düğümlerin kullanılması, domuzlarla fiziksel temasın en aza indirildiği, çiftleşme dönemleri dışında domuzlarla ilgili diğer bilgilere de ulaşılmasını sağlayan çok daha etkili bir çözümdür. telsiz algılayıcı düğümlerin kullanımı, domuzların çiftleşme dönemlerinin belirlenmesi yanında, domuzların takip edilmesini ve hastalık vb. anormal davranışlarının takibini de sağlamaktadır.

Oluşturulan telsiz algılayıcı ağı oldukça basit bir yapısı vardır. Domuzların üzerlerine yerleştirilmiş olan düğümler bir merkeze, belirli aralıklarla algılayıcıları ile topladıkları bilgileri aktarmaktadır.

Proje kapsamında kullanılan telsiz algılayıcı düğüm Şekil 3-3'te görülmektedir. Algılayıcı düğümün işlemci birimini Atmega 128L[11] mikro denetleyici oluşturmaktadır. Düğüm üzerinde algılayıcılar aracılığıyla toplanan bilginin saklanması için bir saklama birimi bulunmaktadır. Algılayıcıların bulunduğu birimin ve radyo biriminin bağlanması için algılayıcı düğüm üzerinde ayrı bağlantı yolları bulunmaktadır. Şekil 3-4'te kullanılan radyo modülü görülmektedir.



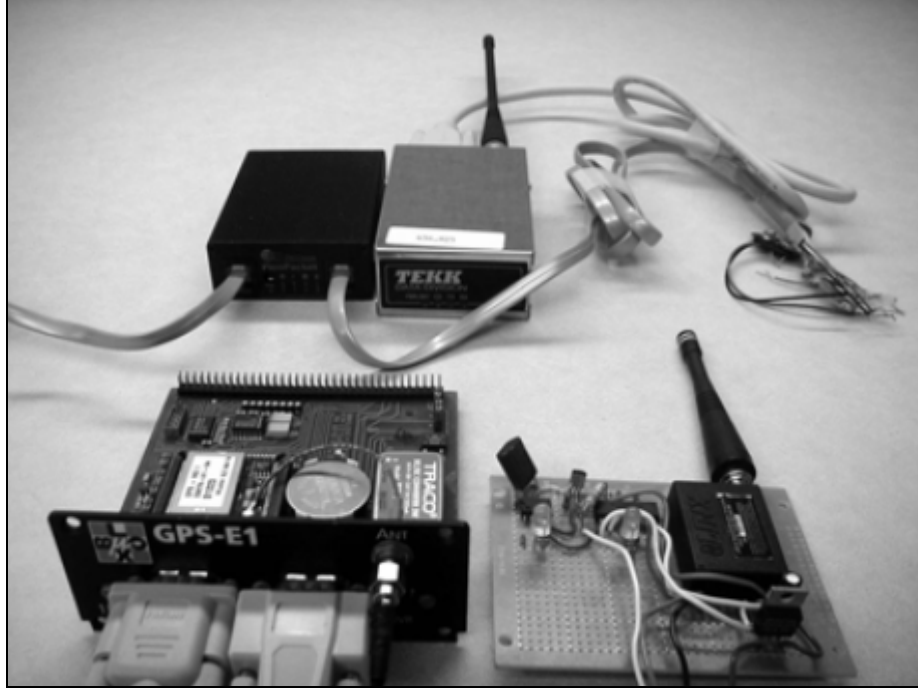
Şekil 3-4 Hogthrob projesinde kullanılan düğümün telsiz iletişim kartı[10]

3.3 ZebraNET

2001 yılında başlatılan bu projedeki amaç, türlerin hem kendi içlerindeki, hem de aralarındaki etkileşimleri ile insanlığın gelişiminin hayvanların doğal yaşamlarına olan etkisini, araştırmaktır. Oluşturulan ağ, ismini ilk kez üzerlerinde denendiği zebralardan alsa da, asıl amaçlanan tüm vahşi hayvanların izlenmesine olanak sağlayacak bir yapının oluşturulmasıdır.

Bu izleme işleminin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle hayvanların yerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için de her düğüm üzerinde bir adet küresel yer bulma sistemi (Global Positioning System - GPS) bulunmaktadır. Ayrıca her düğüm üzerinde hayvanın yeme, içme veya uyuma gibi basit yaşamsal faaliyetleri gerçekleştirdiğinin anlaşılmasını sağlayan algılayıcılar bulunmaktadır. Geliştirilen telsiz algılayıcı düğümlerin herbiri bir boyunluk yardımı ile bir zebranın boynuna yerleştirilmiştir. Oluşturulan yapı içerisinde bilginin toplandığı sabit bir merkez yoktur. Sabit merkezler yerine devamlı yer değiştiren ve gözlemciler tarafından kullanılan merkezler oluşturulmuştur. Bilginin düğümlerden bu merkeze aktarılması direk veya dolaylı olarak yapılabilmektedir. Her düğüm belirli aralıklarla çevresinde başka düğümler arar ve bilgilerini bu düğümlere aktarır. Bu şekilde her bilginin birden çok kopyasının tutulduğu yedeklemeli bir yapı oluşturulur. Düğümler bir merkez ile iletişime geçtiklerinde ise hem kendisine ait hem de diğer düğümlerden kendisine aktarılmış olan bilgileri merkeze aktarır. Kullanılan boyunlukların, zebralar bayıltıldıktan sonra takıldığı ve bu işlemin oldukça zor ve maliyetli olduğu düşünülürse kullanılan düğümlerin uzun süre

alışması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden düğümler güneş enerjisini kullanarak düğümün pilinin doldurulmasını sağlayacak bir güç yönetim birimine de sahiptirler.



Şekil 3-5 ZebraNet projesi kapsamında geliştirilen prototip[Zhang 2004]

Proje kapsamında geliştirilen telsiz algılayıcı düğümün ilk örneklerinden biri Şekil 2-5’te görölmektedir. Düğümlerin tasarımı son halini alana kadar çok çeşitli testlerden geçirilmiştir. Öncelikle New Jersey de evcil atlara yerleştirilen düğümler, daha sonra Amerika’nın Atlantik kıyısındaki adalarda vahşi atlar üzerinde denenmiştir. Bu denemelerden sonra son haline getirilen düğüm 2004 yılının son baharında Kenya’daki Sweetwaters koruma bölgesinde 50 adet zebra üzerine yerleştirilmiş ve 1 ay süreyle denenmiş ve böylece kurulacak olan yapının nasıl olması gerektiği ile ilgili bilgiler toplanmıştır. [Zhang 2004]

3.4 Code Blue

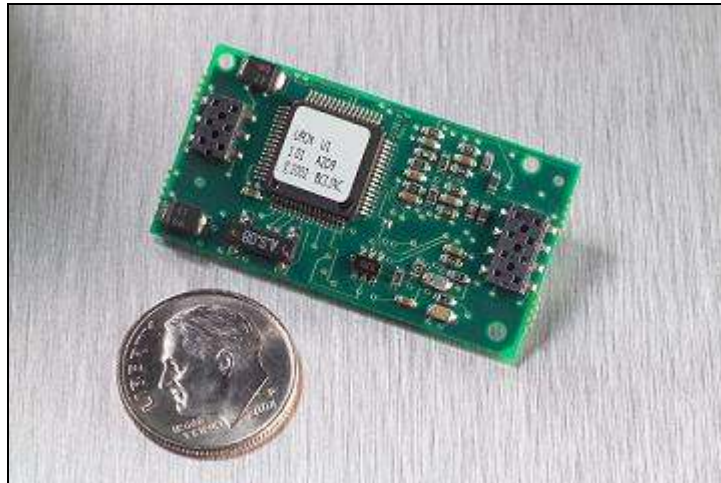
Harvard Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Bölümü tarafından geliştirilmiş olan ve yapısında değişik özellikte telsiz algılayıcı düğümler bulunduran bir telsiz algılayıcı ağdır[13]. Projede hedeflenen, hastane dışında ve içinde hastalarla ilgili detaylı bilgilerin toplanması ve bu bilgiler ışığında daha iyi tedavi edilebilmelerinin sağlanmasıdır.

Proje kapsamında 3 adet farklı özellikte telsiz algılayıcı düğüm geliştirilmiştir. Bu düğümlerden Şekil 3-6’da görölen telsiz “pulse oximeter” düğümü, hastanın kalp atışının ve kanındaki oksijen yoğunluğunun ölçülmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 3-6 Pulse oximeter düğümü[13]

Düğüm, UC Berkeley üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan Mica2 telsiz algılayıcı düğüm üzerine takılan özel algılayıcılar ile oluşturulmuştur. Algılayıcılar bir algılayıcı kart üzerine yerleştirilmiş ve düğümüne özel bir genişleme bağlantısı üzerinden bağlanmıştır. Kandaki oksijen miktarının ölçülmesinde kullanılan algılayıcı kulak memesi veya işaret parmağının iki yüzüne yerleştirilen led'ler ve optoelektronik algılayıcılardan oluşmaktadır. Kandaki oksijen miktarı hemoglobin tarafından emilen ışık miktarı ile ölçülmektedir. Şekil 3-7'de düğüm üzerinde kullanılan, Smiths Medical PM şirketi tarafından üretilmiş olan oximeter (oksijen ölçüm) kartı görülmektedir.

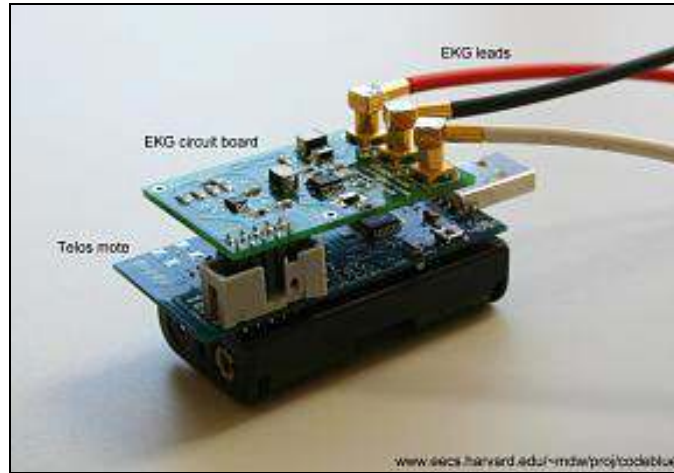


Şekil 3-7 Smiths Medical PM'in geliştirdiği oksijen ölçüm kartı[13]

Projede geliştirilen diğer bir düğüm de EKG (Electrocardiograph) ölçümlerinin yapılmasında

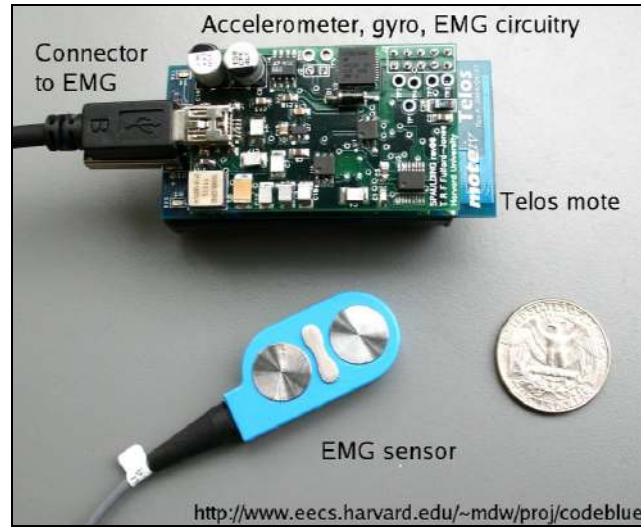
kullanılmaktadır. Düğüm, Mica2 telsiz algılayıcı düğüme eklenen bir algılayıcı kart ile oluşturulmuştur. Algılayıcı kart üzerinde INA321 operasyonel kuvvetlendirici kullanılarak oluşturulmuş ve MIT Media laboratuvarı tarafından geliştirilmiş olan 2 uçlu EKG sistemi bulunmaktadır. Oluşturulan telsiz algılayıcı düğüm Şekil 3-8’ de görülmektedir. Düğüm üzerinde bulunan 3 adet uçtan biri üst göğüs diğeri alt göğüs bölgesine yerleştirilir, üçüncü ucun amacı ise sistematik hataları engellemektir. Kullanılan INA321 üretilen sinyali 5 katına büyütür ve oluşabilecek gürültünün çoğunu süzer[13].

Proje kapsamında geliştirilen son düğümün amacı ise felç geçirmiş hastaların iyileşme süreçlerinin ve Parkinson hastalarına uygulanan tedavilerin izlenmesidir. Felç, insan beyninde oluşan bir iç kanama veya beyindeki herhangi bir noktaya yeterli kanın gitmemesi sonucu oluşan bir durumdur. Her iki durumda da beyin belirli bir kısmındaki faaliyet geçici veya kalıcı olarak durur. Parkinson ise genellikle 50’li yaşlarda başlayan beyin faaliyetlerinde düzensizlik sonucu oluşan bir hastalıktır ve en genel belirtisi ellerde oluşan titremedir.



Şekil 3-8 EKG düğümü [13]

Geliştirilen telsiz algılayıcı düğümlerin hastalar üzerine yerleştirilmesi ile hastanın devamlı olarak gözetim altında tutulması ve izlenmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde hastanın uygulanan tedaviye (verilen ilacın dozajı ve saati gibi) verdiği tepki en iyi şekilde anlaşılabilir. Kullanılan düğümün içerisinde 3 çeşit algılayıcı bulunmaktadır. Bu algılayıcılar STMicroelectronics tarafından üretilen LIS3L02AQ 3 eksenli ivme ölçer (accelerometer), Analog Devices tarafından üretilen ADXRS300 tek eksenli dönüölçer (gyroscope) ve Motion Lab systems tarafından üretilen MP1A.20.A0DM.60 EMG (ElectroMyoGraph) algılayıcısıdır. Şekil 3-9’da oluşturulmuş olan düğüm görülmektedir.



Şekil 3-9 Felçli hastaların izlenmesi için geliştirilen düğüm[13]

4. KULLANIMDA OLAN TELSİZ ALGILAYICI DÜĞÜMLER

Bu bölümde, 3. bölümde incelenmiş olan telsiz algılayıcı ağlarda kullanılan algılayıcı düğümler ve benzer uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan ticari ve akademik diğer telsiz algılayıcı düğümler detaylı olarak incelenmiştir.

UC Berkeley tarafından yönetilen telsiz algılayıcı düğüm projesini iki aşamada inceleyebiliriz. Birinci aşama, 1998 ve 2000 yılları arasında WeC, Rene, Rene2 ve Dot kod adlı düğümlerin geliştirildiği dönemdir. İkinci aşama ise 2001 yılından bugüne kadar olan dönemdir. İkinci aşama, düşük güç tüketimine sahip mikro denetleyici ve telsiz iletişim teknolojilerinde yaşanan önemli gelişmeler ışığında çok daha gelişmiş düğümlerlerin oluşturulduğu dönemdir.[14]

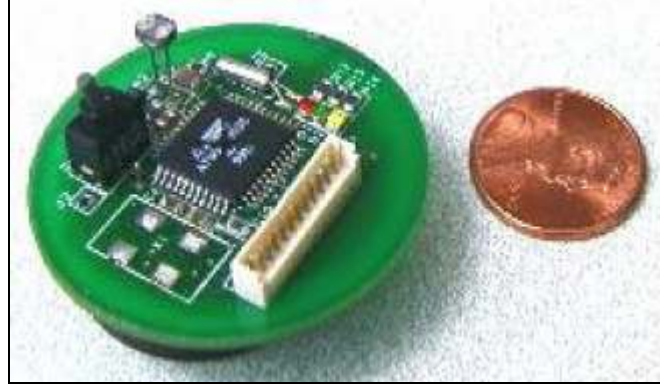
Bu bölümde incelenen diğer araştırma amaçlı telsiz algılayıcı düğümler ise, Avrupa Araştırma projesi olan Eyes kapsamında geliştirilen düğüm, Harvard üniversitesi tarafından CodeBlue projesi kapsamında geliştirilen “Pluto”[13], Hogthrob projesi kapsamında geliştirilen düğüm, California Üniversitesi Center for Embedded Computer Systems bölümü tarafından geliştirilen DuraNode ve Eco’dur.

Ayrıca tmote IV şirketi tarafından geliştirilen “tmote Invent”[25] ve “tmote Sky”[25] ile Crossbow şirketi tarafından geliştirilmiş olan MicaZ[26] ticari amaçlı telsiz algılayıcı düğümler incelenmiştir. Bu düğümlerin dışında geliştirilmiş olan başka telsiz algılayıcı düğümler de mevcuttur. Ancak ticari amaçlı olmaları nedeniyle haklarında yeterli bilgi edinilememiştir. National Center for Landscape Fire Analysis tarafından geliştirilen “The Fire Intelligence Module”[50], Tendrill Networks[49] tarafından geliştirilen genel amaçlı telsiz algılayıcı düğüm bunlardan bazılarıdır.

4.1 Wec, Rene, Rene2, Dot

UC Berkeley üniversitesi tarafından telsiz algılayıcı düğüm tasarlanmasını amaçlayan bir program kapsamında geliştirilen ilk düğüm olan WeC, Şekil 4-1’de görülmektedir. 1998 yılında gerçekleştirilen WeC’in yapısında AT90LS8535 mikrodenetleyicisi ve TR1000 telsiz iletişim birimi kullanılmıştır. Güç kaynağı olarak raf ömrü 10 yıl olan CR2450 lithium pil kullanılmıştır. Kullanılan pilin oldukça küçük olması geliştirilen düğümün boyutlarının da küçük olmasını sağlamıştır. Ancak bu durum düğümün çalışma süresinin kısa olmasına neden olmuştur. Algılayıcı düğümün üzerinde sadece ışık ve sıcaklığın ölçülmesinde kullanılan algılayıcılar bulunmaktadır. Düğüm üzerinde farklı algılayıcıların bağlanabilmesi için

herhangi bir genişleme yuvası bulunmamaktadır.[14]

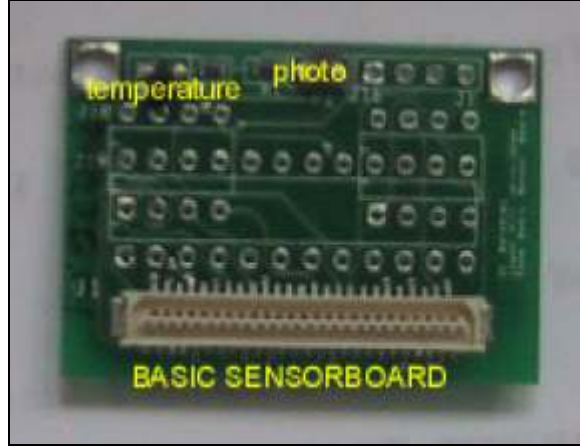


Şekil 4-1 WeC telsiz algılayıcı düğümü[14]

1999 yılında geliştirilen ikinci düğüm olan Rene Şekil 4-2’de görülmektedir. Rene’nin geliştirilmesinde hedeflenen, farklı tipteki algılayıcıların bağlanmasına imkan veren ve daha uzun çalışma ömrüne sahip bir algılayıcı düğümün oluşturulmasıdır. Bu yüzden pil olarak 2 adet AA boyutunda lithium piller kullanılmıştır. Ancak bu piller düğümün çalışma ömrünü uzatırken boyutlarının da büyümesine neden olmuştur. Düğüm üzerinde farklı algılayıcıların bağlanmasına imkan veren 51 pinli bir genişleme yuvası bulunmaktadır. Şekil 4-3’te bu bağlantı kullanılarak oluşturulmuş bir algılayıcı kart görülmektedir. Bu düğümün hemen ardından 2000 yılında Rene2 düğümü gerçekleştirilmiştir. Rene ve Rene2 arasındaki temel fark kullanılan mikrodenetleyicidir. Rene2 düğümünde AT90LS8535 yerine AtMega163 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bu şekilde işlem kapasitesi artırılmıştır ve uyanma süresi azaltılmıştır.[14]



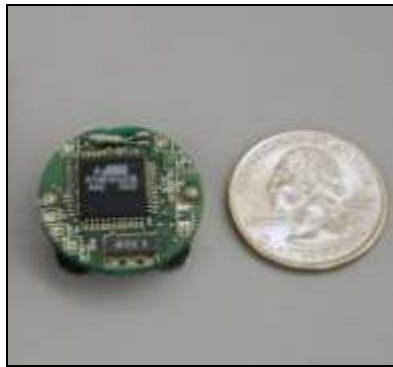
Şekil 4-2 Rene telsiz algılayıcı düğümü[14]



Şekil 4-3 Rene için hazırlanmış olan algılayıcı kart[14]

2000 yılında geliştirilen diğer bir düğüm ise Dot isimli düğümdür. Bu düğümün geliştirilme amacı Rene2 ile aynı çalışma performansına sahip ancak daha küçük bir düğümün oluşturulmasıdır. Bu yüzden düğümün boyutlarının büyümesine neden olan AA piller yerine CR2430 yassı piller kullanılmıştır. Üzerinde basınç, sıcaklık ve ivme gibi bilgilerin ölçülmesi için kullanılabilecek algılayıcıların bağlanması için 4 adet bağlantı yuvası bulunmaktadır. Şekil 4-4'te düğümün resmi görülmektedir.

WeC, Rene, Rene2 ve Dot düğümleri günümüzün ihtiyaçlarına artık karşılık verememektedir. Ancak oldukça düşük olan maliyetleri, çok sayıda telsiz algıyıcı düğümden oluşan ve rotalama algoritmalarının incelenmesinde kullanılacak test ağlarının oluşturulmasında kullanılmalarını sağlamaktadır.



Şekil 4-4 Dot telsiz algılayıcı düğümü[14]

4.2 Mica, Mica2Dot, Mica2, Telos

UC Berkeley projesinin ikinci kısmında oluşturulan düğümlerden ilki Mica düğümüdür.

Mikro denetleyici birimi olarak Atmega163'e göre güç tüketimi daha az olan AtMega128 kullanılmıştır. İkincil bellek birimi olarak ise daha önceki düğümlerde kullanılan 24LC256'ya göre çok daha fazla kapasiteye sahip AT45DB041B kullanılmıştır.[14]

Mica2 ve Mica2Dot düğümlerinde ise Mica'dan farklı olarak telsiz iletişim birimi olarak CC1000 kullanılmıştır. Mica2Dot' un geliştirilme amacı daha küçük piller kullanılarak küçük boyutlu düğümlerin oluşturulmasıdır.

Proje kapsamında geliştirilen son düğüm olan Telos ise tüm özellikleri ile geliştirilen diğer düğümlerden ayrılmaktadır. Düğümün yapısında, mikrodenetleyici olarak güç tüketimi AtMega128'in yaklaşık onda biri olan MSP430 kullanılmıştır. telsiz iletişim birimi olarak ise veri aktarım hızı TR1000 ve CC1000'e göre yaklaşık 6 kat fazla olan CC2420 kullanılmıştır.[14]

UC Berkeley tarafından geliştirilen tüm düğümlerin Şekil 4-5'te detaylı olarak karşılaştırılması bulunmaktadır.

Mote Type Year	WeC 1998	René 1999	René 2 2000	Dot 2000	Mica 2001	Mica2Dot 2002	Mica 2 2002	Telos 2004
								
Microcontroller								
Type	AT90LS8535		ATmega163		ATmega128		TI MSP430	
Program memory (KB)	8		16		128		60	
RAM (KB)	0.5		1		4		2	
Active Power (mW)	15		15		8		33	
Sleep Power (μ W)	45		45		75		75	
Wakeup Time (μ s)	1000		36		180		180	
Nonvolatile storage								
Chip	24LC256				AT45DB041B		ST M24M01S	
Connection type	I ² C				SPI		I ² C	
Size (KB)	32				512		128	
Communication								
Radio	TR1000		TR1000		CC1000		CC2420	
Data rate (kbps)	10		40		38.4		250	
Modulation type	OOK		ASK		FSK		O-QPSK	
Receive Power (mW)	9		12		29		38	
Transmit Power at 0dBm (mW)	36		36		42		35	
Power Consumption								
Minimum Operation (V)	2.7		2.7		2.7		1.8	
Total Active Power (mW)	24		27		44		41	
Programming and Sensor Interface								
Expansion	none	51-pin	51-pin	none	51-pin	19-pin	51-pin	10-pin
Communication	IEEE 1284 (programming) and RS232 (requires additional hardware)							
Integrated Sensors	no	no	no	yes	no	no	no	yes

Şekil 4-5 UC Berkeley tarafından geliştirilmiş olan telsiz algılayıcı düğümlerin karşılaştırılması[14]

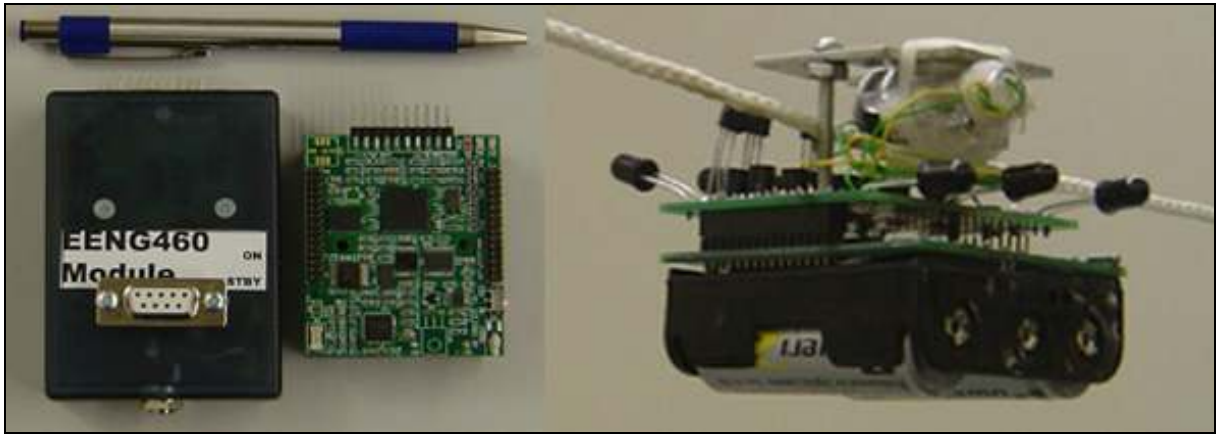
4.3 XYZ

Bu düğüm Yale Üniversitesi, Embedded Networks and Applications Laboratuvarı ve Cogen

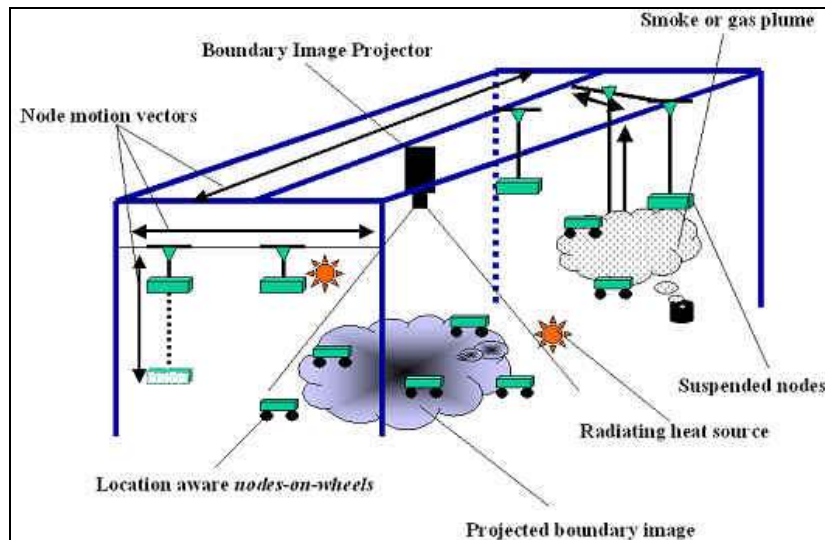
Computer firması tarafından geliştirilmiştir. Deneylerde, eğitim amaçlı projelerde ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir.[21]

Düğümün kullanım amacı ise telsiz bir algılayıcı ağ içerisinde bulunan düğümlerin yerlerinin belirlenmesi (node localization), sınır kestirimi (boundary estimation) ve düğüm ayarlanmasıdır (node calibration).

Düğümün işlemci birimini OKI ARM ML67Q500x serisi bir işlemci oluşturmaktadır. telsiz iletişim birimi olarak ise CC2420 kullanılmıştır. Düğümler üzerinde sıcaklık, hız ve ışığın ölçülmesinde kullanılan algılayıcılar bulunmaktadır. Geliştirilen sistemin beslenmesi için 3 adet AA boyutunda pil kullanılmaktadır.[21] Bu da düğümün boyutlarının oldukça büyümesine neden olmaktadır. Düğüm Şekil 4-6'da görülmektedir.



Şekil 4-6 XYZ düğümüne ait çeşitli resimler[21]



Şekil 4-7 ENALAB içerisinde oluşturulan telsiz algılayıcı ağın yapısı[21]

ENALAB içerisinde 100 adet XYZ düğümünden oluşan bir test ağı kurulmuştur. Oluşturulan ağ Şekil 4-7’de görülmektedir.

4.4 Mülle

Bu düğüm LULEA Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Bilimleri ve Elektrik Mühendisliği bölümü bünyesinde bulunan EISLAB (Embedded Internet System Laboratory) tarafından geliştirilmiştir. Düğümün iki farklı modeli vardır. Birinci model prototip geliştirilmesinde kullanılan ve çok sayıda genel amaçlı giriş çıkış uçlarına sahiptir. İkinci model ise üzerinde ivme, sıcaklık ve ışık algılayıcılarının bulundurur.[22]

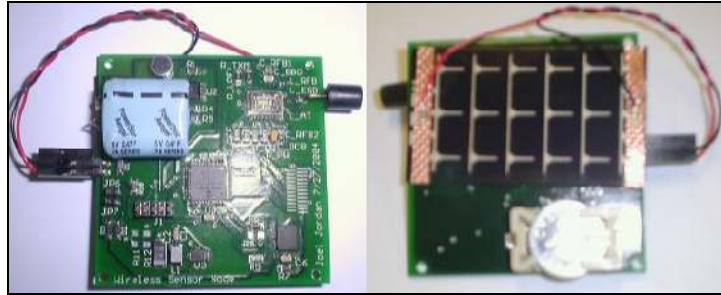


Şekil 4-8 Mülle düğümünün boyutlarını gösteren şekil[22]

Geliştirilen düğümü, diğer düğümlerden ayıran özellikleri, iletişim birimi olarak Bluetooth teknolojisinden faydalanması ve tasarlanan kartın 6 katmana sahip olmasıdır.

4.5 UIUC – Sensor Node

Illinois Üniversitesi tarafından kendi kendine güç üreten telsiz bir algılayıcı tasarlanması amacıyla başlatılan bir proje kapsamında geliştirilmiştir. Mikro denetleyici birimi olarak PIC18F4320’nin kullanıldığı düğümünün kendi enerjisini sağlaması için güneş panelleri kullanılmıştır.[23] Oluşturulan düğümün üstten ve alttan görünüşü Şekil 4-9’dadır.



Şekil 4-9 Illinois Üniversitesi tarafından geliştirilen düğümün üstten ve alttan görünüşü[23]

4.6 Eyes

EYES 3 yıllık bir Avrupa araştırma projesidir. Projede hedeflenen kendi kendine organize olan (self-organizing) ve düşük güç tüketimli telsiz algılayıcı ağ oluşturmaktır. Proje 2002 yılında başlayıp 2005 yılının Şubat ayında bitmiştir. Bu zaman zarfında oluşturulacak ağ içerisinde kullanılacak olan düğümün bir prototipi üretilmiştir. Prototip Şekil 4-10'da görülmektedir.[24]



Şekil 4-10 Eyes projesi kapsamında geliştirilen prototip düğüm[24]

Geliştirilen düğümün mikrodeneleyici birimini MSP430F149 oluşturmaktadır. Telsiz iletişim birimi olarak TR1001 kullanılmıştır. Ayrıca düğüm üzerinde kullanılacak işletim sistemi ve çevreden toplanan bilgilerin tutulması için ikincil bellek birimi mevcuttur.

4.7 Tmote Invent

Bu düğüm tmoteiv firması tarafından geliştirilmiştir. Düğümün mikrodeneleyici birimi olarak MSP430, kablosuz iletişim birimi olarak ise CC2420 kullanılmıştır. Düğümün üzerinde bulunan piller, düğümü USB portu üzerinden tekrar doldurulabilmektedir. Endüstriyel, güvenlik ve bina izleme uygulamaları için geliştirilmiş olan düğüm üzerinde ışık, sıcaklık, ivme ve ses algılayıcıları bulunmaktadır. Düğümün kullanıcı ile etkileşimini sağlamak için düğüm üzerinde çeşitli işlemlerin gerçekleştirilmesinde veya izlenmesinde kullanılan 3 adet ışık, 1 adet hoparlör ve 2 adet düğme bulunmaktadır. Düğüm menzili kapalı alanlarda 50m, açık alanlarda ise 125m'dir.[25] Düğüm Şekil 4-11'de görülmektedir.

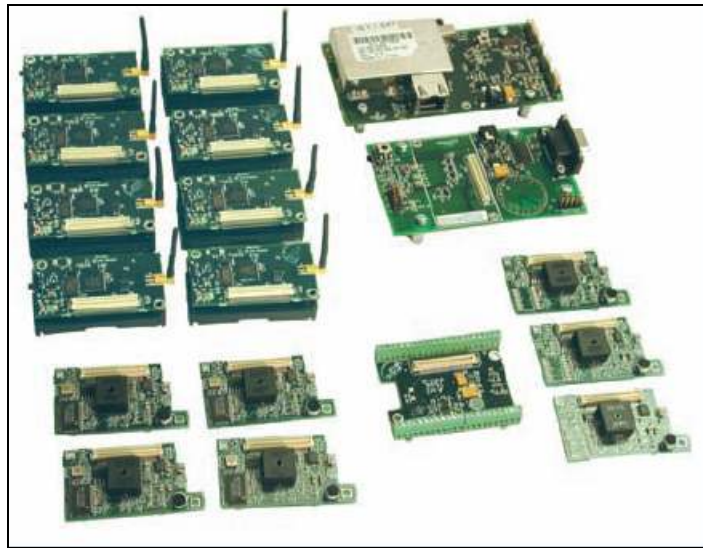


Şekil 4-11 tmote invent telsiz algılayıcı düğüm[25]

Düğüm üzerinde TinyOS işletim sisteminin tmote firması tarafından değiştirilmiş bir sürümü olan Boomerang işletim sistemi kullanılmaktadır.

4.8 MicaZ

Crossbow firması tarafından geliştirilen düğüm üzerinde TinyOS işletim sisteminin 1.1.7 versiyonu çalışmaktadır. Düğüm üzerinde MSP430 mikrodenetleyici birimi ve CC2420 telsiz iletişim birimi kullanılmıştır. Düğüm üzerinde algılayıcıların bağlanabilmesi için bir bağlantı birimi vardır. Bu bağlantı birimi aracılığıyla Şekil 4-12’de alt kısımda görülen 2 farklı tipteki algılayıcı kart düğüme takılabilmektedir. Bu algılayıcı kartlar üzerinde ivme, manyetizma, ışık, sıcaklık ve akustik algılayıcılar bulunmaktadır. Düğüm Şekil 4-12’de sol üst köşede görülmektedir.[26]



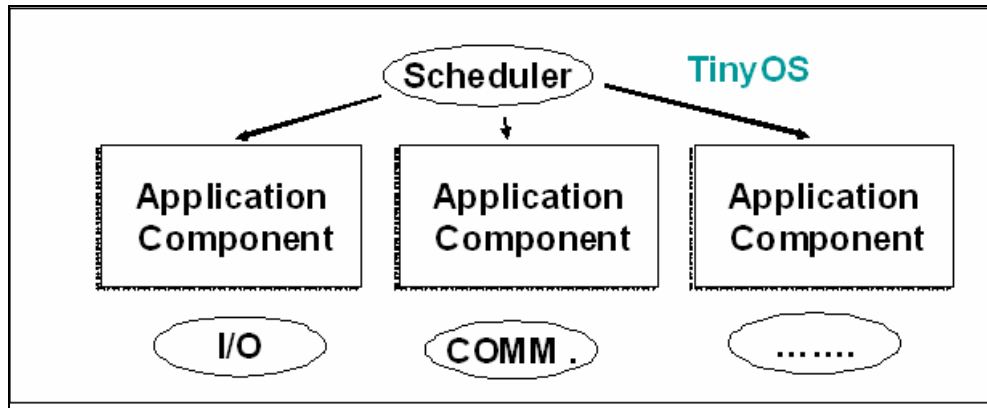
Şekil 4-12 MicaZ düğümleri ve çeşitli algılayıcı kartlar[26]

5. DÜĞÜMLER İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ İŞLETİM SİSTEMLERİ

Günümüzde telsiz algılayıcı düğümlerin boyutlarının küçülmesi ve çalışma ömürlerinin yıllar mertebesinde olması istenmektedir. Düğüm boyutlarının küçülmesi, düğümlerin güç ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılan pillerin de küçük boyutlarda olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu yüzden düğümlerin kesintisiz çalışma ömürleri birkaç gün ile sınırlıdır. Düğümlerin çalışma zamanlarını uzatabilmek için, çeşitli yazılımsal yöntemler geliştirilmiştir. Bu yazılımsal çözümler arasında telsiz algılayıcı düğümler için geliştirilmiş olan TinyOS[14], MANTIS[28] ve SOS[29] gibi açık kaynaklı, μ COS ve AVRX[30] gibi ticari işletim sistemleri de bulunmatadır.

5.1 TinyOS

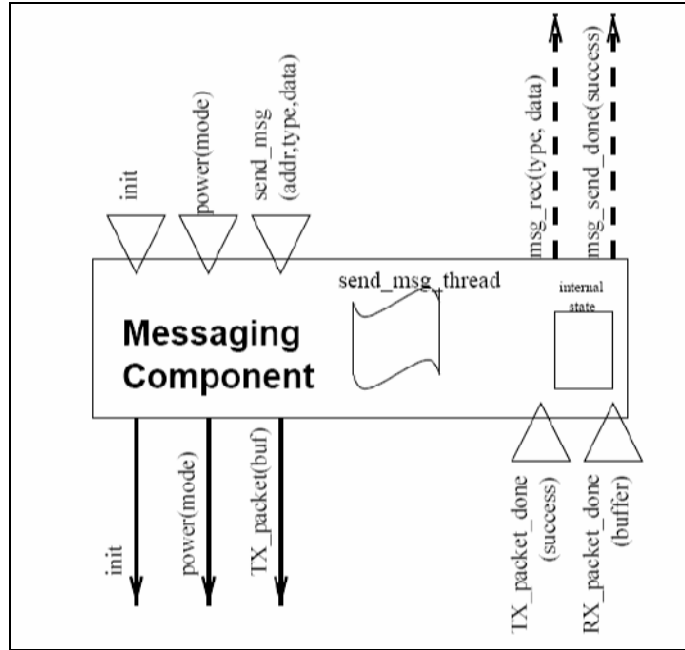
UC Berkeley Üniversitesi tarafından algılayıcı düğümler üzerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. TinyOS, bileşen tabanlı (component-based) bir mimariye sahiptir. Bu sayede hem hızlı yazılım geliştirilebilmekte hem de algılayıcı düğümlerin kısıtlı bellekleri için uygun kod üretilebilmektedir. TinyOS bünyesinde bulunan bileşen tabanlı kütüphaneler kullanılarak uygulamaya özel çözümler üretilmektedir. Bu kütüphaneler arasında iletişim protokolleri, algılayıcı sürücüler ve veri toplamam araçları (data acquisition) bulunmaktadır. Şekil 5-1’de TinyOS’un bileşen tabanlı mimarisi görülmektedir.



Şekil 5-1 TinyOS işletim sisteminin kaynak yönetimi[27]

TinyOS’un temel hedefi üzerinde çalıştırılacağı telsiz algılayıcı düğümlerin enerji tüketimini en aza indirmektir. Yapısında bir çekirdek (kernel) bulunmamaktadır, uygulamalar donanımsal kaynaklara direkt olarak erişir. Uygulamaların kullanacağı bellek miktarı derleme (compile) işlemi sırasında belirlenir, böylece dinamik bellek tahsisi (dynamic memory allocation) işlemine gerek kalmamaktadır.[27]

Geliştirilmiş olan yapıda herhangi bir anda sadece bir işlem (process) çalışabilmektedir. Bu yüzden oldukça basit bir yöntem olan FIFO (First In First Out) işlem yönetimi kullanılmıştır. TinyOS'un yapısında 2 seviyeli (2 Level) bir zamanlama (scheduling) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemdeki birinci grubu görevler (tasks), ikinci grubu ise olaylar (events) oluşturmaktadır. Görevler hesaplamaların yapılmasında, olaylar ise veri akışının kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Geliştirilen yapıda olaylar, başka olayları veya görevleri oluşturabilirler. Ancak görevler, başka görevleri veya olayları oluşturamazlar. Olaylar donanımsal kesmeler (interrupts) tarafından oluşturulan düşük seviyeli olaylar ve yazılımlar tarafından oluşturulan yüksek seviyeli olaylar olarak ikiye ayrılmıştır. Olaylar fonksiyon çağırılması (function calls) ile düşük seviyeden yüksek seviyeye doğru yayılabilirler. TinyOS'un yapısında yüksek seviyedeki bileşenler daha düşük seviyedeki bileşenlere komutlar (commands) aracılığıyla istekte bulunur. [27]



Şekil 5-2 İletişim bileşeninin grafiksel gösterimi[27]

Şekil 5-2'de iletişim bileşeninin (messaging component) grafiksel gösterimi bulunmaktadır. TinyOS'un yapısını oluşturan yazılımsal bileşenler genellikle, bir çerçeve (frame), olay işleyici (event handler), komutlar ve görevlerden oluşmaktadır. Şekil 5-2'de gösterilen iletişim bileşeni başlama durumuna getirme, güç yönetimi ve paket gönderilmesi için daha düşük seviyedeki bileşenlere gönderilecek olan komutlara (aşağı doğru ok işaretleri) ve üst seviyeden gelen istekleri işleyecek komutlara (aşağı doğru üçgenler) sahiptir. İletişim bileşeni, iletiminin tamamlanması ve paket alımının tamamlanmasıyla ilgili olayların

gerçekleştirilmesinden sorumludur. Bu olayların gerçekleştiğinde düşük seviyelerden gelen olay sinyalleri Şekil 5-2’de üçgenlerle gösterilmiştir. Gerçekleşen olayların üst seviyeye bildirilmesi için yukarı ok işaretleriyle gösterilen olay sinyalleri kullanılmaktadır. Şekil 5-3’te yukarıda incelenmiş olan iletişim bileşeninin tanımı görülmektedir.[27]

```

ACCEPTS{
    char AM_SEND_MSG(char addr,char type, char* data);
    char AM_POWER(char mode);
    char AM_INIT();
};

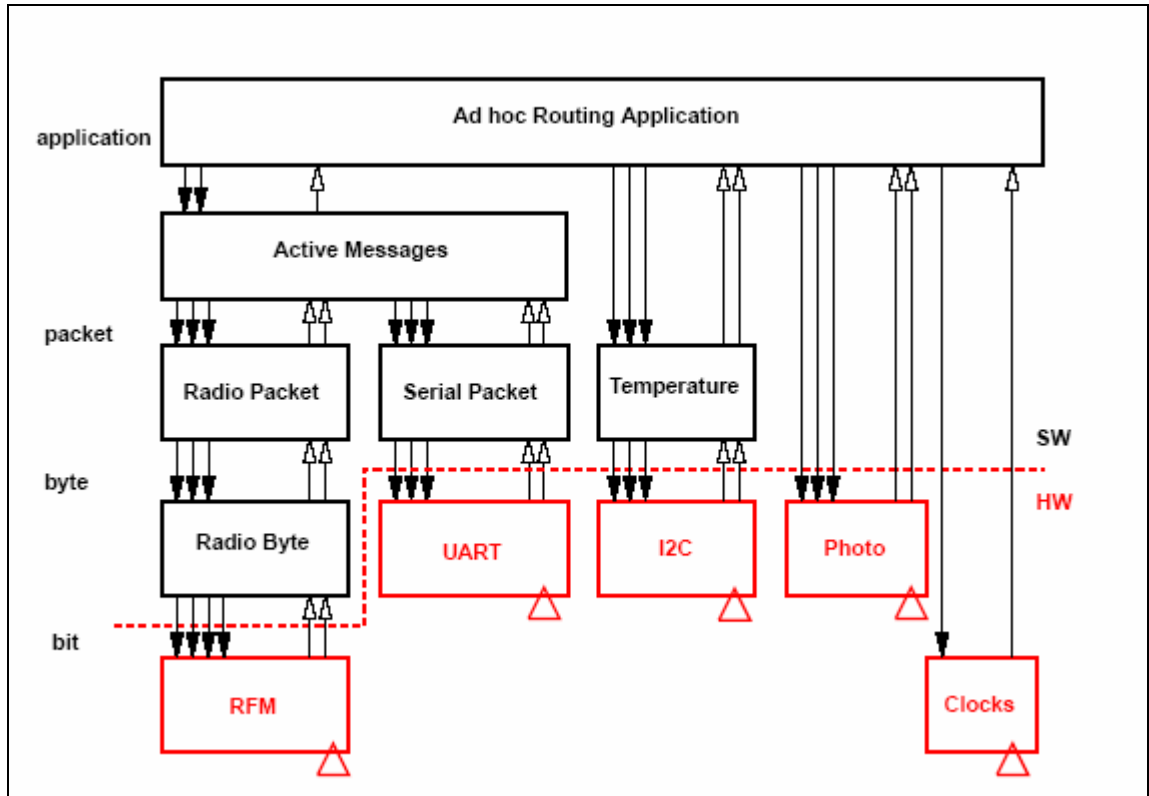
SIGNALS{
    char AM_MSG_SEND_DONE(char success);
    char AM_MSG_REC(char* data);
}
HANDLES{
    char AM_TX_PACKET_DONE(char success);
    char AM_RX_PACKET_DONE(char* packet);
};

USES{
    char AM_SUB_TX_PACKET(char* data);
    void AM_SUB_POWER(char mode);
    char AM_SUB_INIT();
};

```

Şekil 5-3 İletişim bileşeninin yazılımsal tanımlaması[27]

TinyOS’un yapısında bulunan bileşenler 3 ayrı grupta incelenebilir. Bu bileşen grupları; donanım soyutlaması (hardware abstraction), soyut donanım (synthetic hardware) ve üst seviye yazılımsal (high level software) bileşenlerdir. Donanım soyutlama bileşenleri, fiziksel donanımların TinyOS yapısını oluşturan bileşen modeline eklenmelerini sağlar. Soyut donanım bileşenleri ise gelişmiş donanımların simüle edilmesini sağlar. Bu çeşit bir bileşene en iyi örnek Radio Byte bileşenidir. Bu bileşen telsiz iletişim birimine verinin byte olarak aktarılması ve bu birimden bilginin byte olarak alınmasından sorumludur. Üst seviye yazılımsal bileşenler ise kontrol, rotalama ve veri aktarımı gibi işlemlerden sorumludur. Şekil 5-4’te TinyOS’un çeşitli bileşenleri kullanılarak oluşturulmuş örnek bir uygulamanın grafiksel gösterimi verilmiştir. [27]



Şekil 5-4 TinyOS bileşenleri ile oluşturulan örnek bir uygulama[27]

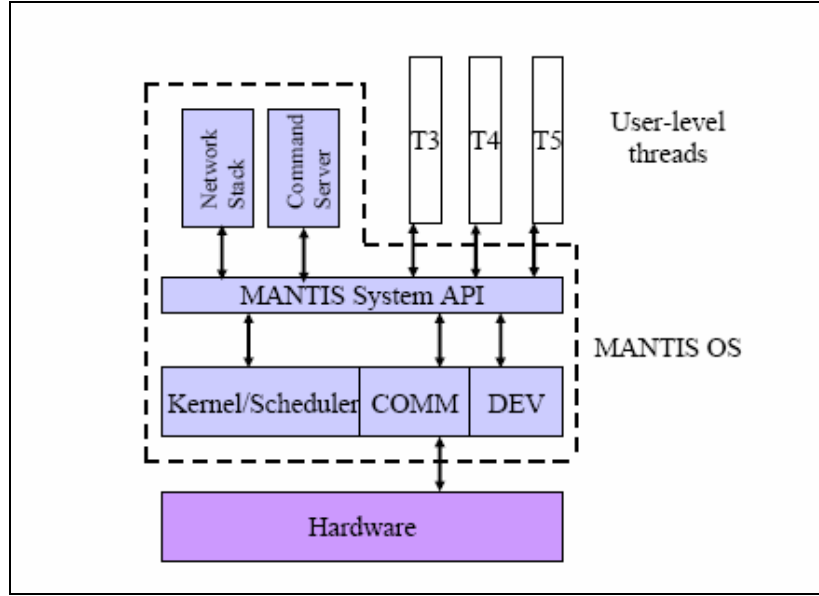
TinyOS işletim sistemi birçok değişik donanım üzerinde çalışabilmektedir ve birçok projede kullanılmaktadır. Bu donanımlardan bazıları yine UC Berkeley Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan WeC, Rene, Rene2, Dot, Mica, Mica2Dor, Mica2 ve Telos'tur. TinyOs'un kullanıldığı projelerden bazıları, Calamari[44], CotsBots[45], Great Duck Island[2], Firebug[46], TinyDB[47], TinyGALS[48]'tır.

5.2 MANTIS

MANTIS, telsiz algılayıcı düğümler için multi threaded bir işletim sistemi oluşturulması amacıyla Colarado Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Bölümü tarafından geliştirilmiştir. Şekil 5-5'de işletim sisteminin mimarisi görülmektedir. MANTIS projesinde hedeflenen, geliştirilen uygulamaların Palm, PC gibi birçok farklı platformda çalıştırılabilmesine imkan veren bir işletim sisteminin oluşturulmasıdır. Bu yüzden taşınabilir bir programlama dili olan C kullanılarak yazılmıştır. [Bhatti 2005]

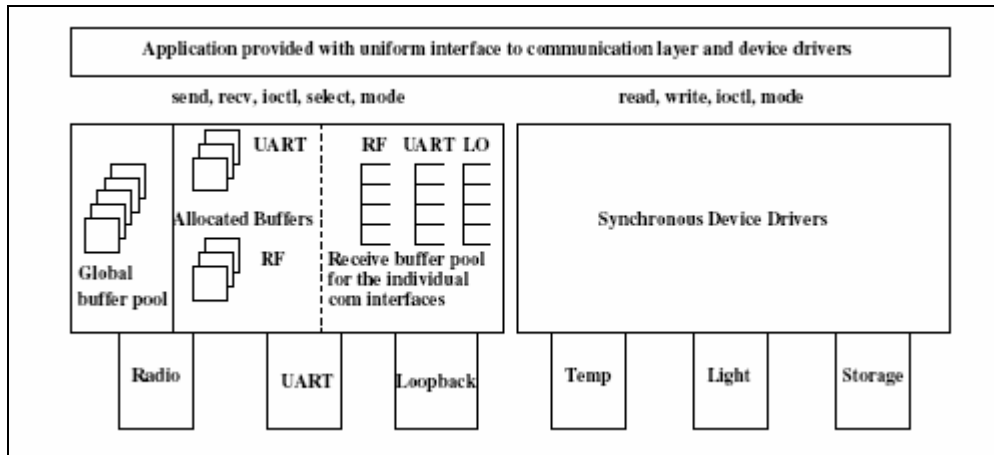
İşletim sisteminin çekirdeği içerisinde Unix tabanlı işletim sistemlerinde kullanılan zamanlayıcılara (scheduler) benzer bir zamanlayıcı kullanılmıştır. Zamanlama yöntemi olarak öncelik seviyelerine sahip round robin yöntemi kullanılmaktadır. Threadlerin eş zamanlılığın

sağlanması için ikili ve sayan semaphore'lar kullanılmaktadır. Zamanlayıcı, threadler arasındaki geçişleri donanımsal olarak oluşturulan bir zamanlayıcı kesmesi ile gerçekleştirir. Bu zaman aralığının normal değeri 10 ms'dir. Ancak bu değer yazılımsal olarak değiştirilebilir. Bu geçişler semaphore işlemleri veya sistem çağrılarını ile de gerçekleştirilebilir. Oluşan kesmeler arasında sadece zamanlayıcı kesmesi çekirdek tarafından değerlendirilir. Diğer tüm kesmeler ilgili aygıt sürücülerine yönlendirilir. [Bhatti 2005]



Şekil 5-5 MANTIS işletim sisteminin blok diagramı[Bhatti 2005]

Şekil 5-6'da solda radyo, seri ve benzeri birimlerle eş zamansız olarak iletişimi sağlayan yapı, sağda ise donanım sürücülerine eş zamanlı olarak erişimi sağlayan yapı görülmektedir. Uygulamanın bu iki yapıya erişimi, bir katman kullanılarak tekdüze bir hale getirilmiştir.



Şekil 5-6 MANTIS içerisindeki iletişim ve sürücü katmanları[Bhatti 2005]

Düğüm üzerinde bulunan aygıtlara erişim için POSIX (Portable Operating System Interface) benzeri bir yapı oluşturulmuş ve *dev_read()*, *dev_write()*, *dev_mode()* ve *dev_ioctl()* sistem çağrıları gerçekleştirilmiştir. *dev_mode()* sistem çağrısı güç yönetimi için kullanılır. Düğüm üzerindeki aygıtların açık, kapalı ve pasif durumlarında olabilir. Bu aygıtların durumlarında değişiklik *dev_mode()* sistem çağrısı yapılarak gerçekleştirilir. *dev_ioctl()* sistem çağrısı ise aygıtlara özel parametrelerin değiştirilmesinde kullanılır. Örneğin bu sistem çağrısı kullanılarak düğüm üzerinde bulunan bir EPROM'un hangi adresine erişileceği belirlenir. *dev_read()* ve *dev_write()* sistem çağrıları düğüm üzerindeki aygıtlardan veri okunması veya bu aygıtlara veri aktarılması için kullanılır. [Bhatti 2005]

Şekil 5-7'de MANTIS işletim sisteminin yapısında bulunan programlama arayüzleri (Application Programming Interface - API) kullanılarak geliştirilmiş olan algıla ve ile (sense and forward) yapısında bir uygulamaya ait kaynak kod görülmektedir.

```
#include <inttypes.h>
#include "led.h"
#include "dev.h"
#include "com.h"

void start(void)
{
    uint16_t delay;
    uint8_t value;
    comBuf send_pkt;

    value = dev_get(DEV_MICA2_LIGHT);
    mos_led_toggle(0);

    send_pkt.data[0] = value;
    send_pkt.size=1;
    com_send(IFACE_RADIO, &send_pkt);
}
```

Şekil 5-7 MANTIS işletim sistemi için yazılmış örnek bir uygulama[Bhatti 2005]

MANTIS işletim sistemi, birçok telsiz algılayıcı düğüm üzerinde çalışabilmektedir. Bu düğümlerden bazıları UC Berkeley tarafından geliştirilmiş olan Mica, Mica2Dor, Mica2 ve Telos'tur.

5.3 SOS

SOS işletim sistemi, UCLA Üniversitesi bünyesinde bulunan NESL (Networked and Embedded Systems Labrotory) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilmesindeki temel amaç telsiz algılayıcı düğümlerin çalışma yapılarının dinamik olarak değiştirilmesidir. Bu yüzden

işletim sisteminin çekirdeği, dinamik bellek tahsisine imkan sağlayan modüler bir yapı üzerine kurulmuştur.[29]

SOS işletim sistemi, bir telsiz algılayıcı ağı kurulduktan sonra düğümlerinin farklı şekillerde ayarlanmalarına imkan sağlamaktadır. Bu şekilde her düğüm için ayrı yazılımlar geliştirilmek yerine tek bir yazılım geliştirilip farklı düğümler üzerinde sadece gerekli modüller çalıştırılabilir.[29]

SOS işletim sisteminin çekirdeği dinamik bellek tahsisinin yanısıra çöp toplama (garbage collection) ve öncelikli zamanlayıcı (priority scheduling) özelliklerini de sağlamaktadır. SOS şu an için sadece Crossbow tarafından geliştirilen MicaZ ve Yale üniversitesi tarafından geliştirilen XYZ düğümleri üzerinde çalışmaktadır.

5.4 Ticari İşletim Sistemleri

Telsiz algılayıcı düğümler üzerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş olan çeşitli ticari işletim sistemleri bulunmaktadır. Bunlardan biri AVR mikrodenetleyicileri üzerinde çalışacak şekilde Larry Barello tarafından geliştirilmiş olan AVRX'tir. AVRX gerçek zamanlı, çok görevli (multitasking) bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdeği assembly programlama dili ile yazılmıştır. Çekirdeğinin yapısında 16 farklı öncelik seviyesinin yer aldığı bir zamanlayıcı bulunmaktadır. Görevler arasında bilgi aktarımı için mesaj kuyrukları (message queue) bulunmaktadır. Şekil 5-8'de AVRX yapısında kullanılmak üzere yazılmış olan bir göreve ait kod görülmektedir. AVRX yapısında kullanılacak olan görevler genellikle bir başlatma işlemi (initialization) ve ardından sonsuz bir döngü içinde yapılan işlemlerden oluşur.[30]

```

Mutex Timeout;

AVRX_TASKDEF(myTask, 10, 3)
{
    TimerControlBlock MyTimer;

    while (1)
    {
        AvrXDelay(&MyTimer, 10); // 10ms delay
        AvrXSetSemaphore(&Timeout);
    }
}

```

Şekil 5-8 AVRX için geliştirilen basit bir görev[30]

AVRX işletim sisteminin şu an kullanımda olan iki ayrı sürümü bulunmaktadır. Bunlardan

AVRX 2.3 sadece assembly programlama dili ile yazılım geliştirilmesine imkan vermektedir. AVRX işletim sisteminin 2.6 versiyonu ise C kodu ile yazılım geliştirilmesine imkan sağlamaktadır. Şekil 5-9'da ise AVRX 2.6 üzerinde geliştirilen bir uygulamanın ana kodu görülmektedir.[30]

```
void main(void)                // Main runs under the AvrX Stack
{
    outp((1<<SE) , MCUCR);    // Enable "Sleep" instruction for idle
loop

    outp(TCNT0_INIT, TCNT0);   // TCNT0_INIT defined in "hardware.h"
    outp(TMC8_CHK256 , TCCR0); // Set up Timer0 for CLK/256 rate
    outp((1<<TOIE0) , TIMSK);  // Enable0 Timer overflow interrupt

    outp(-1, LED-1);           // Make PORTB output and
    outp(-1, LED);             // drive high (LEDs off)

    AvrXRunTask(TCB(task1));
    AvrXRunTask(TCB(task2));
    AvrXRunTask(TCB(Monitor));

    InitSerialIO(UBRR_INIT);   // Initialize USART baud rate
generator

    Epilog();                  // Switch from AvrX Stack to first
task
}
```

Şekil 5-9 AVRX 2.6 için yazılmış olan örnek uygulama [30]

6. TASARIM ÖZELLİKLERİ

Telsiz algılayıcı düğümleri oluşturan en temel birimler, çevreden çeşitli bilgilerin toplanmasını sağlayan algılayıcılar, toplanan bilginin işlenmesini ve düğümün kontrol edilmesini sağlayan işlemci birimi, bilginin diğer düğümlere veya merkezlere aktarılmasını sağlayan kısa mesafeli radyo iletişim birimi ve bilginin saklanmasını sağlayan depolama birimidir. Düğümlerin en temel özellikleri sınırlı enerji kaynaklarına ve küçük boyutlara sahip olmalarıdır. Doğal hayatın izlenmesi, ziraat ve güvenlik uygulamaları gibi kullanım alanları düşünüldüğünde oluşturulan düğümlerin oldukça dayanıklı olması gerekmektedir. Telsiz algılayıcı düğümler tek kullanımlık olacak şekilde tasarlanmışlardır. Bir düğümün pili bittiğinde bulunduğu ortamdan alınarak pilinin değiştirilmesi ve tekrar yerine yerleştirilmesi, düğümlerin düşük maaliyeti, düğümün bulunduğu yerin tespit edilmesinin zorluğu, düğümün bulunduğu yerin erişilebilirliği gibi etkenler göz önünde bulundurulduğunda, oldukça maaliyetlidir. Bu yüzden geliştirilen düğümlerin sınırlı enerji kaynakları ile mümkün olduğu kadar uzun süre çalışmalarına devam etmeleri gerekmektedir. Belirtilen bu temel sınırlamalar telsiz algılayıcı düğümlerin yazılımsal ve donanımsal tasarımlarını farklılaştırmaktadır.

Bu bölüm kapsamında telsiz algılayıcı düğümleri oluşturan birimler için gerekli temel özellikler ortaya konmuş, bu özellikler ışığında daha önce tasarlanmış olan telsiz algılayıcı düğümlerde kullanılmış ve kullanılabilmeye aday birimlerin özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

6.1 İşlemci Birimi

Telsiz algılayıcı düğümlerin ufak boyutlarda oldukları ve enerji ihtiyaçlarının karşılanması için de pil kullanıldığı göz önüne alındığında, düğümleri oluşturan tüm birimlerin güç tüketiminin en az seviyede olması gerekmektedir. Bu birimlerin başında düğümün çekirdeğini oluşturan işlemci birimi gelmektedir. Bir telsiz algılayıcı düğümde kullanılacak işlemcinin, telsiz algılayıcı ağların çalışma yapısına uygun özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda ayrı başlıklar altında incelenmiştir.[Lynch 2005]

Güç Tüketimi (Power Consumption)

Telsiz algılayıcı ağların genel çalışma prensibi, düğümlerin belirli aralıklarla çevrelerinden algılayıcıları ile gerekli fiziksel büyüklükleri okumaları üzerine kuruludur. Bu süre elde edilecek bilginin hassasiyeti ve enerji tüketimi ile ters orantılıdır. Bekleme süresi ne kadar azalırsa elde edilen bilgi de o derece hassastır. Aynı şekilde bekleme süresinin artması enerji

tüketimini de azaltacağı için düğümün ömrünü arttıracaktır.

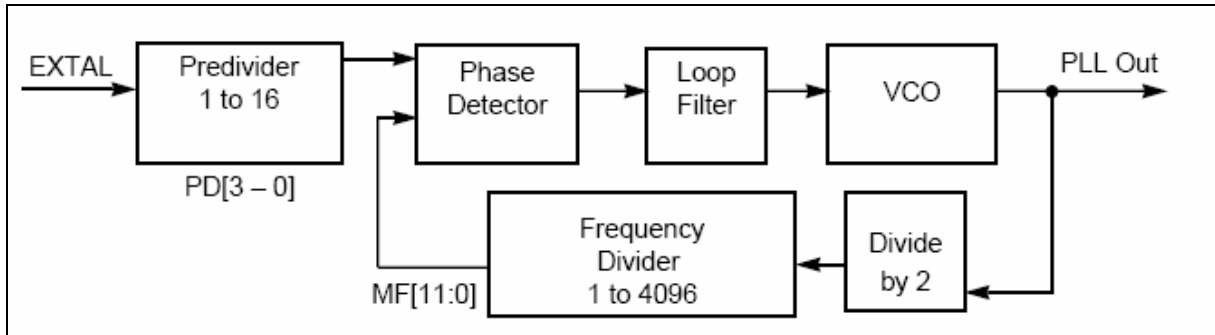
Düğümün yapısında kullanılacak olan işlemci biriminin bu tarz çalışma yapısına uygun çalışma seviyeleri olması gerekmektedir. Bu çalışma seviyeleri işlemci biriminin içinde bulunan ADC, SPI arabirimi vb. birimlerden sadece ihtiyaç duyulanların aktif olmasını, diğerlerinin ise enerji tasarrufu için kapatılmasını sağlayabilmelidir. İşlemci birimi bu çalışma seviyelerinin hepsinden bir zamanlayıcı veya herhangi bir kesme (interrupt) sayesinde uyanıp gerekli işlemleri yapıp tekrar aynı çalışma seviyesine dönebilmelidir.

Saat Ölçeklenmesi (Clock Scaling)

İşlemciyi çalıştırmak için saat sinyali üretmenin en basit yolu, işlemciye bir kristalin bağlanmasıdır. Bu yöntemin kötü tarafı ise işlemcinin farklı saat hızlarında çalışmasına imkan vermemesidir. Saat kapatıldığında işlemci duracak, açıldığında ise sabit hızda çalışacaktır.

İşlemcinin farklı hızlarda çalışmasını sağlamanın bir başka yöntemi ise yüksek hızlı bir kristal kullanmak ve kristalin ürettiğin saat sinyalini işlemci içinde belirli bir sayıya (2, 4, 8 vb.) bölmektir. Ancak bu yöntemin kötü tarafı işlemcinin düşük hızda çalışmasına rağmen kristal yüksek hızda çalışmaya devam edecek olmasıdır. Bu yüzden de güç tüketiminde herhangi bir tasarruf söz konusu değildir.

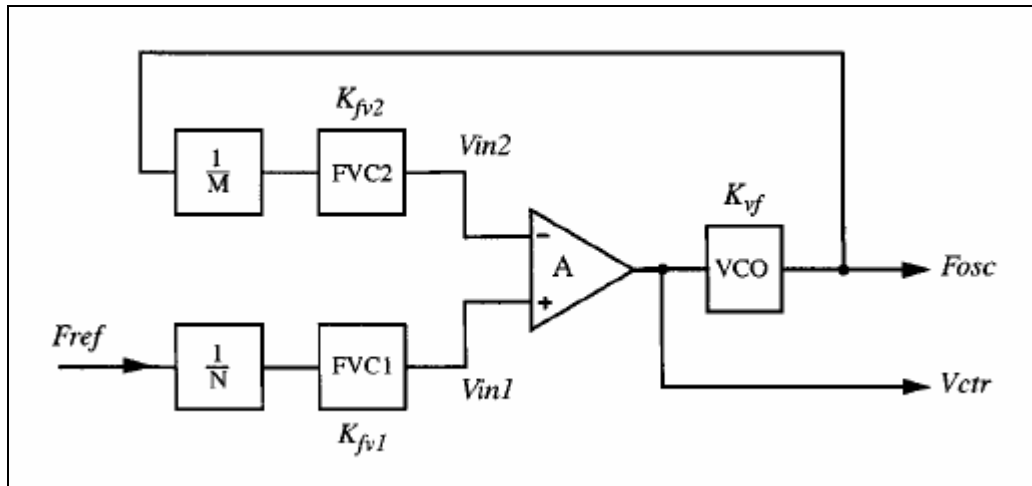
Diğer bir yöntem ise düşük hızlı bir saat üretici kullanmak ve bu saat üreticinin sinyalini bir çarpan yardımı ile istenen düzeye arttırmaktır. Bu arttırma işlemi sırasında kullanılabilecek 2 ayrı yöntem mevcuttur. Bu yöntemler birçok işlemci tarafından yaygın olarak kullanılan PLL (Phase Locked Loop) ve daha yeni ve etkili bir yöntem olan FLL (Frequency Locked Loop)'tir.



Şekil 6-1 PLL saat üretici blok yapısı [31]

Şekil 6-1’de PLL yapısına ait blok diyagram görülmektedir. PLL tasarımı istenen sistem saatinin üretilmesi için bir VCO (Voltage Controlled Oscillator) kullanılır. Üretilen sistem saati bir bölücü yardımıyla N ’e bölünür ve sisteme dışardan bağlı kristal osilator ile karşılaştırılmak için Faz bulucu (Phase Detector) tarafından kullanılır. Karşılaştırma sonucu oluşan sinyal AC (Alternating Current) özelliktedir ve DC (Direct Current) özelliğe sahip olması için bir Alçak geçirgen filtreden (Low Pass Filter) geçirilmesi gerekmektedir. Kararlı sistem saati ancak dışarıdan bağlı olan saat osilatorun frekansı ile N ’ e bölünmüş sistem saatinin frekansının aynı olması durumunda elde edilebilir. Dışarıdan bağlanan saat osilatorunun frekansı, VCO’nun ürettiği saatin frekansından büyükse sistem saati artacak, küçük ise sistem saati azalacaktır.

Yapısında alçak geçirgen filtre bulunması nedeniyle PLL’in çevrim gecikmesi (loop delay) yüksektir. Bu da düşük güçle çalışacak bir işlemcinin değişik çalışma seviyeleri arasındaki uyanma (wake-up) zamanının yüksek olmasına neden olmaktadır. FLL bu sorunun çözülmesi için oluşturulmuş olan yeni bir yöntemdir.



Şekil 6-2 FLL saat üretici blok yapısı[Djemouai 2001]

Şekil 6-2’de görüldüğü gibi FLL yapısında VCO tarafından üretilen sistem saati bir bölücü kullanılarak M ’e bölünür. Sisteme dışardan bağlı olan osilatörün ürettiği saat sinyali de bir bölücü kullanılarak N ’e bölünür. Her iki sinyal birer FVC (Frequency to Voltage Converter)’dan geçirilerek V_{in1} ve V_{in2} gerilimleri elde edilir. İki gerilim arasındaki fark operasyonel güçlendirici ile güçlendirilerek VCO’ya ait gerilimim kontrol edilmesini sağlayan V_{ctr} gerilimi oluşturulur.

Komut Seti (Instruction Set)

Telsiz algılayıcı düğümlerin, üzerlerindeki algılayıcılar yardımıyla çevreleri ile ilgili aldıkları sıcaklık, ışık, titreşim, konum vb. bilgileri bir merkeze veya başka bir düğüme aktarmadan önce veri üzerinde çeşitli işlemler yapmaları veya bilgilerin güvenliğini sağlamak amacıyla şifrelemeleri gerekmektedir.

Bu işlemlerin özellikle şifreleme işleminin gerçekleştirilmesinde mikrodnetleyici üzerinde bulunacak bir çarpma birimi işlemleri oldukça hızlandıracaktır. Düşük güç tüketimine sahip birçok mikrodnetleyici 8 bitlik mimari üzerine kurulmuştur. Oysa 16 bitlik bir mimari üzerine kurulmuş olan bir mikrodnetleyicinin kullanılması şifreleme işlemlerindeki performansın yani sıra eldeli toplama işlemleri gibi en temel aritmetik işlemlerin bile daha hızlı gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. [Lynch 2005]

G/Ç İşlemleri (I/O Operations)

Telsiz algılayıcı düğümün yapısında kullanılacak bir mikrodnetleyicinin düşük enerji tüketiminin yanı sıra birçok bağlantı arabirimine de sahip olması gerekmektedir. Kullanılacak olan mikrodnetleyicinin düğümün yapısında bulunan radyo iletişim birimi, ikincil bellek birimi ve algılayıcılar ile iletişimini sağlayacak sayıda ve çeşitte bağlantı arayüzüne sahip olması gerekir. Ayrıca düğümün birçok uygulamada kullanılabilmesini sağlamak amacı ile çeşitli bağlantı arayüzünü içerisinde barındıran bir genişleme yuvasına sahip olması gerekmektedir. Ancak bu şekilde düğümün yapısına yeni algılayıcıların eklenerek değişik ihtiyaçlara cevap vermesi sağlanabilir. [Lynch 2005]

Telsiz algılayıcı ağların kullanıldığı uygulamaların birçoğu algılayıcılar üzerinden toplanan bilginin en hassas şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç duyar. Bu yüzden mikrodnetleyici üzerinde yer alan ve algılayıcılardan okunan bilginin değerlendirilmesinde kullanılan analog sayısal çeviricinin de (ADC) bu ihtiyaca cevap verebilmesi gerekmektedir.

Yazılım Geliştirme

Geliştirilen telsiz algılayıcı düğümün çok çeşitli uygulamalarda kullanılacak olması, her uygulamada değişik yazılımların kullanılmasını gerektirmektedir. Bu yazılım ihtiyacının rahatça karşılanabilmesi için kullanılacak mikrodnetleyicinin uygun yazılım geliştirme araçlarına (Integrated Development Enviroment- IDE) sahip olması gerekmektedir.

6.2 Radyo İletişim birimi

Telsiz algılayıcı düğümün yapısında kullanılacak olan telsiz iletişim biriminin, düğümün kullanılacağı uygulamalara bağlı olarak çeşitli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin başında düşük güç tüketimi, veri aktarım mesafesi, veri aktarım hızı ve güvenlik gelmektedir. Bu özellikler aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

Güç Tüketimi

Telsiz algılayıcı düğümler üzerinde bulunan telsiz iletişim birimleri sadece bilginin başka bir düğüm veya merkeze iletilmesi durumlarında etkin hale getirilir. Bu işlem sırasında bilgilerini aktaracak olan düğümün çevresinde iletişim birimi açık olarak bekleyen başka düğümlerin olması gerekmektedir. Bu yüzden kullanılacak olan telsiz iletişim birimleri herhangi bir t anında kapalı, pasif (Idle) veya iletişim (RX/TX) halinde bulunabilirler. Düğümün yapısında bulunan telsiz iletişim biriminin, düğümün çalışma zamanının çoğunda kapalı veya pasif halde olacağı göz önünde bulundurulduğunda bu çalışma seviyeleri için oldukça düşük güç tüketimine sahip olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Telsiz algılayıcı düğümlerdeki güç tüketimini en aza indirmek için kullanılabilecek teknolojilerden biri de “wake-up radio”dur. Bu teknoloji kapsamında geliştirilen telsiz iletişim birimleri, ancak başka telsiz birimlerden kendilerine bağlantı isteği geldiğinde aktif hale gelmektedirler. Ancak şu an bu teknolojiye sahip ticari bir devre kullanıma sunulmamıştır.

Güvenlik

Özellikle askeri uygulamalarda düğümlerin, algılayıcıları vasıtasıyla çevrelerinden aldıkları, bilgilerin 3. kişilerce ele geçirilmemesi, geçirilse dahi kullanılamaması gerekmektedir. Bu yüzden düğümün algılayıcılarından aldığı bilgiyi şifreli olarak saklaması gerekmektedir. Bilginin başka bir düğüme aktarılması sırasında gerçekleştirilecek ikinci bir şifreleme güvenliği oldukça arttıracaktır. Bu yüzden kullanılacak olan telsiz iletişim biriminin şifreleme özelliğinin bulunması gerekmektedir.

Menzil

Telsiz algılayıcı ağlar içerisinde yeralan düğümler, çevrelerinden algılayıcıları aracılığıyla topladıkları bilgileri belirli zaman aralıklarında çevrelerindeki diğer düğümlere veya merkezlere aktarmaktadırlar. Bilgilerini aktaracak olan düğüm, radyo birimini etkin hale getirdikten sonra çevresinde yer alan diğer düğümleri araması ve bulduğu düğümlerden bir

veya birden fazlasına bilgilerini aktarması gerekir. Düğümlerin yapısında kullanılan telsiz iletişim birimlerinin kullanım alanı ne kadar geniş olursa, çevrede başka düğümün bulunması ihtimali de artacaktır. Kapsama alanının geniş olması aynı sayıda düğüm ile daha fazla alanın gözlenmesi için de kullanılabilir.

6.3 Güç Yönetim Birimi

Telsiz algılayıcı düğümün yapısında bulunan güç yönetim birimi, düğümü oluşturan diğer birimlerin ihtiyaçlarına göre farklı şekillerde düzenlenebilir. Güç yönetim birimi en basit haliyle tek başına pillerden oluşabilir. Burada kullanılan pillerin boyutu geliştirilecek olan düğümün boyutu üzerinde önemli bir rol oynayacaktır.

Düğüm üzerindeki farklı birimlerin birbirinden farklı gerilimlere ihtiyaç duyması durumunda güç yönetim birimine bir gerilim yönetici (voltage supervisor) eklenmelidir. Düğümün güç ihtiyacının karşılanmasında güneş panelleri kullanılabilir. Kullanılan bu paneller düğümün pillerini şarj ederek düğümün çalışma ömrünü arttırabilir. Ancak güneş panellerinin kullanımı bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Örneğin güneş panellerinin boyutları düğümün boyutunun artmasına neden olacaktır. Bir diğer problem ise düğümün, üzerlerindeki güneş panellerinin güneş ışığı görebilecek şekilde yerleştirilmesine gerek duyulmasıdır. Bu tür bir yerleştirme her uygulamada mümkün olmayacaktır.

6.4 İkincil Bellek Birimi

Düğümün yapısında algılayıcılardan okunan bilgilerin saklanması için kullanılacak olan ikincil bellek birimi bulunması gerekmektedir. Her düğüm belirli aralıklarla algılayıcılardan aldıkları bilgileri başka düğümlere veya merkeze aktarır. Bilgilerin bu şekilde biriktirilerek toplu halde başka bir düğüm veya merkeze aktarılması güç tüketimini azaltacaktır. Bunun yanı sıra ağ içerisindeki her düğüm her zaman çevresinde bilgilerini aktarabileceği başka düğümler bulamayabilir. Bu durumda bilgilerin bir sonraki aktarma işlemine kadar saklanması gerekmektedir.

Güç Tüketimi

Düğüm bünyesinde bulunan diğer tüm birimler gibi ikincil bellek biriminin düşük güç tüketimine sahip olması ve kullanılmadığı durumlarda çok az güç harcaması gerekmektedir. Ayrıca ikincil bellek biriminin okuma ve yazma işlemleri içinde düşük güç tüketimine sahip olması gerekmektedir. Pasif çalışma seviyesinden aktif çalışma (okuma veya yazma)

seviyesine geçiş süresi de oldukça kısa olmalıdır. Bu sürenin uzun olması durumunda mikro denetleyici de aktif halde bekleyecek durumunda kalacak ve bu da düğümün güç tüketimini arttıracaktır.

G/Ç İşlemleri

Düğümün yapısında kullanılacak olan ikincil bellek birimi, SPI, I2C veya benzeri standart bir arabirim üzerinden mikrodnetleyici birime bağlanabilmelidir. Bu şekilde ikincil bellek birimi ile ilgili işlemlerin gerçekleştirilmesi, yazılımsal açıdan kolaylaşacaktır. Düğüm üzerinde standart bir arabirime sahip ikincil bellek biriminin kullanılması, bu birimin ihtiyaç duyulduğunda, yazılımsal bir değişiklik gerektirmeden daha hızlı veya daha yüksek kapasiteli bir ikincil bellek birimi ile değiştirilmesine de imkan verecektir.

7. TELSİZ ALGILAYICI DÜĞÜM TASARIMI

Tezin bu kısmında düğümü oluşturan birimlerde kullanılan parçaların seçilme işlemleri, seçilmiş olan parçaların test edilmesi için oluşturulmuş olan ortam ve düğümün tasarımı detaylı olarak anlatılmaktadır.

7.1 Düğümde Kullanılacak Olan Parçaların Seçimi

Tez kapsamında geliştirilmiş olan düğümün mikrodnetleyici birimi, telsiz iletişim birimi, ikincil bellek birimi, güç yönetim birimi ve algılayıcılar olarak 5 birimden oluşması tasarlanmıştır. Bu birimleri oluşturan parçaların seçimi ise tezin 6. bölümünde belirlenmiş olan tasarım özellikleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

7.1.1 Mikrodnetleyici Birimi

Geliştirilen telsiz algılayıcı düğümün yapısında kullanılmak üzere, 3. bölümde yer alan telsiz algılayıcı ağların yapısında kullanılmış olan düğümler ve 4. bölümde incelenmiş olan genel amaçlı telsiz algılayıcı düğümlerin yapılarında kullanılmış olan mikrodnetleyici birimler incelenmiştir. Bu mikrodnetleyici birimler, Atmel şirketi tarafından geliştirilmiş olan AT90LS8535, AtMega 163L, AtMega 128L, Microchip firması tarafından geliştirilmiş olan PIC18F4320, OKI tarafından geliştirilmiş olan OKI ARM ML67Q500x ve Texas firması tarafından geliştirilmiş olan MSP430F149'dir. Ayrıca telsiz algılayıcı düğümlerin yapısına uygun, kullanıma hazır ve düşük güç tüketimi olan başka mikrodnetleyici birimlerde bu değerlendirme kapsamına alınmıştır. Bu mikrodnetleyiciler ise Analog Devices firması tarafından geliştirilen ADuC845 ve Microchip firması tarafından geliştirilen PIC16F877'dir.

Güç Tüketimi (Power Consumption)

Telsiz Algılayıcı düğümlerin çalışma ömürlerini uzatmak amacı ile sadece belirli zaman aralıklarında çevrelerinden bilgi toplarlar ve geri kalan zamanlarda kendilerini kapatırlar. Bu yüzden bir düğümün yapısında kullanılacak olan mikrodnetleyici birimin güç tasarrufu sağlayan çeşitli çalışma seviyelerine sahip olması tercih edilmektedir.

ADuC845 mikrodnetleyicisi tek bir çalışma seviyesine sahiptir. Bu çalışma seviyesinde osilator haricinde mikrodnetleyicinin tüm çevre birimleri kapatılır.[34]

AT90LS8535 mikrodnetleyicisi idle, power-save ve power-down olmak üzere 3 adet çalışma seviyesine sahiptir. Idle çalışma seviyesinde, SPI, UARTs, Analog Comparator, ADC, zamanlayıcı ve kesme mekanizması çalışmaya devam eder sadece mikrodnetleyicinin

çekirdeği (core) kapalıdır. Power-down çalışma seviyesinde ise sadece harici kesme mekanizması ve izleme zamanlayıcısı (watchdog timer) çalışmaya devam eder. Mikrodenetleyici bu çalışma seviyesinden bir kesme ile normal çalışma seviyesine dönebilir.[32]

AtMega163L mikrodenetleyicisi, AT90LS8535'te bulunan idle, power-save ve power-down çalışma seviyelerinin yanısıra analog sayısal çevrim işlemlerinde oluşacak parazitlerin azaltılması için ADC noise reduction çalışma seviyesine sahiptir.[12]

AtMega128L mikrodenetleyicisinde AtMega163L'nin sahip olduğu çalışma seviyelerinin yanısıra Standby ve Extended Standby olmak üzere 2 adet daha çalışma seviyesine sahiptir. Standby çalışma seviyesi, power-down çalışma seviyesine benzemektedir. Standby çalışma seviyesinin tek farkı mikrodenetleyiciye dışardan bağlı olan osilatorun çalışmaya devam etmesidir. Extended Standby çalışma seviyesi ise power-save çalışma seviyesi ile aynı özellikleri göstermektedir. İki çalışma seviyesi arasındaki fark extended standby çalışma seviyesinde mikrodenetleyiciye dışardan bağlı olan osilatorun çalışmaya devam etmesidir.[11]

ML67Q500x mikrodenetleyicisi, mikrodenetleyicinin tamamen kapatıldığı halt ve sadece osilatorun kapatıldığı standby çalışma seviyelerine sahiptir. [22]

MSP430F149, 5 adet farklı çalışma seviyesine sahiptir. Bu çalışma seviyelerinin tamamında mikrodenetleyicinin çekirdeği (core) kapalıdır. Bu çalışma seviyeleri kullanılarak mikrodenetleyicinin farklı çevre birimlerinin ve osilatorların çalışır veya kapalı konumda olması sağlanabilir. Mikrodenetleyici bu çalışma seviyelerinin hepsinden bir kesme ile normal çalışma seviyesine döner, kesme işlemi bittiğinde yine aynı çalışma seviyesine döner.[15]

PIC16F877 sadece power-down çalışma seviyesine sahiptir. Bu çalışma seviyesinde mikrodenetleyicinin tüm çevre birimleri kapatılır. Mikrodenetleyici bu çalışma seviyesinden bir kesme ile uyanabilir.[35]

PIC18F4320 ise sadece mikrodenetleyici içindeki çevre birimlerin çalışmaya devam ettiği idle çalışma seviyesi ve tüm mikrodenetleyicinin kapalı olduğu sleep olmak üzere 2 adet çalışma seviyesine sahiptir.[33]

Çizelge 7-1'de bu bölüm kapsamında incelenmiş olan tüm mikrodenetleyicilerin çeşitli çalışma seviyeleri ve çalışma hızları için güç tüketimleri verilmiştir. AtMega163L ve ML67Q500x mikrodenetleyicileri için gerekli bilgilere ulaşamaması nedeniyle bu mikrodenetleyiciler Çizelge 7-1'de yer almamaktadırlar.

Çizelge 7-1 İncelenen mikrodnetleyicilerin enerji tüketimleri[11,15,32,33,34,35]

		Max Freq. (3V)	Power Down	Idle (1 MHz)	Active (32 KHz)	Active (1 MHz)	Active (8 MHz)
1	AduC845	6.3 MHz	20 μ A	-	2.78 mA	4.05 mA	13.3 mA
2	AT90LS8535	8 MHz	15 μ A	0.6 mA	-	2.5 mA	9 mA
3	AtMega128L	8 MHz	25 μ A	0.4 mA	0.7 mA	2 mA	8 mA
4	MSP430F149	8 MHz	0.5 μ A	55 μ A	19.2 μ A	420 μ A	1.9 mA
5	PIC16F877	20 MHz	30 μ A	220 μ A	35 μ A	220 μ A	1.5 mA
6	PIC18F4320	20 MHz	7.2 μ A	250 μ A	70 μ A	650 μ A	3 mA

Saat Ölçeklenmesi (Clock Scaling)

İncelemeye alınmış olan mikrodnetleyicilerin PIC16F877 hariç tamamı, yazılımsal olarak çalışma hızlarının değiştirilmesine imkan vermektedir. Ancak sadece MSP430F149 saat ölçeklenmesi işlemi için FLL yöntemini kullanmaktadır. Bu da çalışma seviyeleri arasındaki geçiş süresinin, Çizelge 7-2’de de görüldüğü gibi, diğer mikrodnetleyicilere göre çok daha düşük olmasını sağlamaktadır.

Çizelge 7-2 Mikrodnetleyicilerin uyanma süreleri[11,12,15,22,32,33,34,35]

Mikrodnetleyici	Wake-up time
AduC845	30 μ s
AT90LS8535	1.2 ms + 4clk
AtMega163L	4.2 ms + 6clk
AtMega128L	2 ms + 4 clk
ML67Q500x	10 ms
MSP430F149	< 6 μ s
PIC16F877	$\sim$ 32 ms (1024 t_{osc})
PIC18F4320	$\sim$ 32 ms (1024 t_{osc})

Komut Seti (Instruction Set)

Çizelge 7-3’te de görüldüğü gibi MSP430F149 16 bit, ML67Q500x ise 32 bit kelime

uzunluğuna sahiptir. Diğer tüm işlemciler ise 8 bit kelime uzunluğundadır. 6. bölüm kapsamında da belirtildiği gibi 8 bit kelime uzunluğuna sahip işlemcilerin kullanılması performans kaybına neden olacaktır.

Çizelge 7-3 Mimari açıdan mikrodenetleyicilerin karşılaştırılması[11,12,15,22,32,33,34,35]

	Mimari	Kelime Büyüküğü (bit)	Komut Sayısı	Register Sayısı
AduC845	CISC	8	255	-
AT90LS8535	RISC	8	118	32
AtMega163L	RISC	8	130	32
AtMega128L	RISC	8	133	32
ML67Q500x	RISC	32	-	31
MSP430F149	RISC	16	51	16
PIC16F877	RISC	8	35	-

G/Ç İşlemleri (I/O Operations)

Telsiz algılayıcı düğümün yapısında kullanılacak mikrodenetleyicinin düğümün yapısında bulunan radyo iletişim birimi, ikincil bellek birimi ve algılayıcılar ile iletişimini sağlayacak sayıda ve çeşitte bağlantı arayüzüne sahip olması gerekir. Ayrıca düğümün birçok uygulamada kullanılabilmesini sağlamak amacı ile çeşitli bağlantı arayüzünü içerisinde barındıran, bir genişleme yuvasına sahip olması gerekmektedir. Ancak bu şekilde düğümün yapısına yeni algılayıcıların eklenerek değişik ihtiyaçlara cevap vermesi sağlanabilir.

Çizelge 7-3'te bu bölüm kapsamında incelenen mikrodenetleyicilerin sahip oldukları çevre birimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Yazılım Geliştirme

Geliştirilen düğümün kullanılması için yeniden bir yazılım geliştirmek yerine 5. bölümde incelenmiş olan işletim sistemlerinden birinin kullanılması planlanmıştır. Akademik ve ticari olarak geliştirilen birçok projede kullanılan TinyOS işletim sisteminin geliştirilecek olan düğümde kullanılması planlanmıştır. TinyOS parça merkezli yapısı düğüm üzerinde yapılacak olan tasarım değişikliklerinin yazılım üzerinde yapılacak olan değişiklikleri azaltmaktadır. Bu

şekilde geliştirilen düğüm üzerinde ileride yapılabilecek olan donanımsal iyileştirmeler yazılım üzerinde yapılacak değişiklikleri en aza indirecektir.

Çizelge 7-4 Çevre birimlere göre mikrodenetleyicilerin karşılaştırılması[11,12,15,22,32,33,34,35]

	ADC (bit)	I2C	SPI	UART	USART	HW Multiplier	General I/O
AduC845	24	1	1	1	-	-	24
AT90LS8535	10	-	1	1	-	-	32
AtMega163L	10	-	1	1	-	-	32
AtMega128L	10	-	1	2	2	-	53
ML67Q500x	10	1	-	1	-	1	
MSP430F149	12	-	2	1	2	1	48
PIC16F877	10	1	1	-	1	-	24
PIC18F4320	10	1	1	-	1	-	24

7.1.2 Telsiz İletişim Birimi

Geliştirilen düğümün yapısında kullanılacak telsiz iletişim biriminin belirlenmesi için bugüne kadar geliştirilmiş olan düğümler üzerinde kullanılan telsiz algılayıcı birimler incelenmiştir. Bu telsiz iletişim birimleri, RF Monolithics firması tarafından üretilen TR1000 ve TR1001, Chipcon firması tarafından üretilen CC1000 ve CC2420'dir. Bu telsiz iletişim birimleri ile ilgili detaylı bilgi Çizelge 7-4'te karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Geliştirilen düğümün yapısında kullanılan CC2420 telsiz iletişim birimi çıkış gücünün düşürülerek veri aktarımı sırasında güç tüketiminin azaltılmasına imkan vermektedir. Çıkış gücü 0dBm ile -25 dBm arasındaki değiştirilebilmekte böylece güç tüketimi 8.5 mA'e kadar düşürülmektedir.

Çizelge 7-5 Telsiz iletişim birimlerinin karşılaştırılması[18,19,20,36]

	Çalışma Frekansı (MHz)	Veri aktarım hızı (kbps)	Çıkış Gücü (dBm)	Alıcı Hassasiyeti (dBm)	Güç Tüketimi		
					Pasif (A)	Transmit (mA)	Receive (mA)
TR1000	916.50	115.2	1.5	-106	0.7	12	3.8
TR1001	868.35	115.2	1.5	-106	-	12	3.8
CC1000	868.35	76.8	5	-110	0.2	14.8	7.4
CC2420	2483.5	250	0	-95	1	17.4	18.8

7.1.3 İkincil Bellek Birimi

Bugüne kadar geliştirilmiş olan düğümlerden incelenmiş olanları üzerinde Microchip firması tarafından geliştirilen 24LC256, Atmel firması tarafından geliştirilen AT45DB041B ve ST Microelektronics firması tarafından geliştirilen M24M01S ve M25P80 kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen bellek birimlerinin özellikleri Çizelge 7-6’da karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Çizelgede yer alan güç tüketimi bellek biriminin en yüksek hızda çalıştırıldığında harcadığı gücü göstermektedir.

Çizelge 7-6 İkincil bellek birimlerinin karşılaştırılması[16,17,37,38]

	Bağlantı Tipi	Bellek Miktarı (Kbit)	Yazma Süresi (ms)	Veri Aktarım Hızı (KHz)	Güç Tüketimi		
					Pasif (µA)	Aktif	
						Okuma (µA)	Yazma (mA)
24LC256	I2C	256	5	400	1	400	3
AT45DB041B	SPI	4096	7	5000	20	4000	15
M24M01S	I2C	1024	10	400	2	2000	-
M25P80	SPI	8192	1.5	25000	1	4000	15

Geliştirilen düğümünün yapısında bellek birimi olarak diğer alternatiflere göre daha yüksek saklama kapasitesi ve veri aktarım hızına sahip olan M25P80’nin kullanılmasına karar

verilmiştir. En düşük güç tüketimine sahip olan 24LC256'nin M25P80'e göre daha yavaş olan yazma süresi nedeniyle aynı miktar verinin yazılması için yaklaşık olarak aynı güç tüketimine ihtiyaç duyacaktır.

7.1.4 Güç Yönetim Birimi

Geliştirilmiş olan düğüm üzerindeki güç biriminin oldukça basit bir yapıya sahip olması hedeflenmiştir. Güç yönetimi için özel bir donanım kullanılmamıştır. Mikrodenetleyici oldukça basit bir yöntemle bu işlemi gerçekleştirmektedir. Mikrodenetleyici sadece ihtiyaç duyulan birimlerin açık olmasını, diğer birimlerin ise kapalı kalmasını sağlamaktadır.

Sistemin ihtiyaç duyduğu güç 3.0 V gerilim üreten Lithium-ion yassı (button) pil kullanılmıştır. Ayrıca testler sırasında düğümün kesintisiz çalışmasını sağlamak amacıyla, düğümün dışardan bir güç üreticine bağlanmasını sağlayan bir bağlantı birimi de mevcuttur.

7.1.5 Algılayıcılar

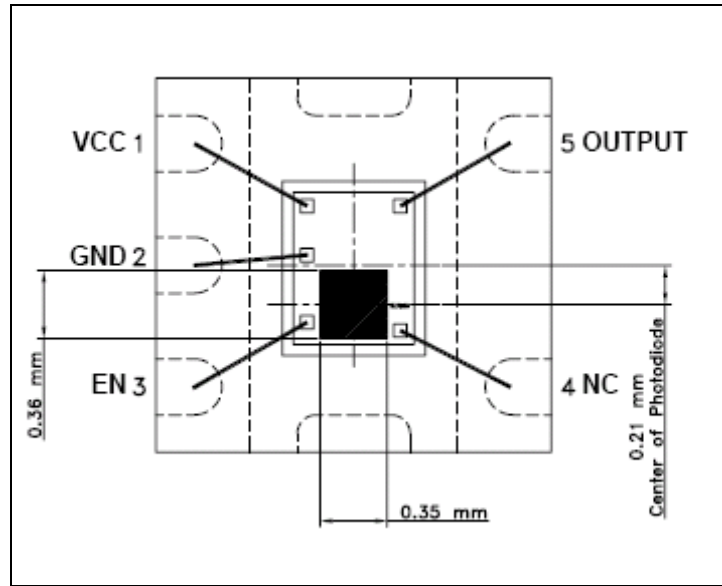
Geliştirilen düğüm üzerinde bulunacak olan algılayıcıların seçimi, bugüne kadar oluşturulmuş olan telsiz algılayıcı ağlarda kullanılan düğümler üzerinde bulunan algılayıcılar sınıflandırılarak yapılmıştır. Bugüne kadar oluşturulan telsiz algılayıcı ağlar ile çevreden genellikle sıcaklık, ışık, nem, basınç, ivme ve manyetik alan bilgileri toplamaktadırlar. Geliştirilmiş olan düğümün çok amaçlı olması planlandığı için tüm bu bilgileri çevreden toplayabilecek algılayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Çizelge 7-7'de, yukarıda sayılan fiziksel büyüklüklerden herbirinin çevreden toplanması için kullanılacak olan algılayıcıların listesi verilmiştir.

EL7900

Intersil firması tarafından geliştirilen el7900 algılayıcısı, çevreden ışık bilgisinin toplanmasında kullanılmaktadır. Algılayıcı, Şekil 7-1'te de görüldüğü gibi bir adet fotodiyot (photodiode) ve transimpedance amplifier dan oluşmaktadır.

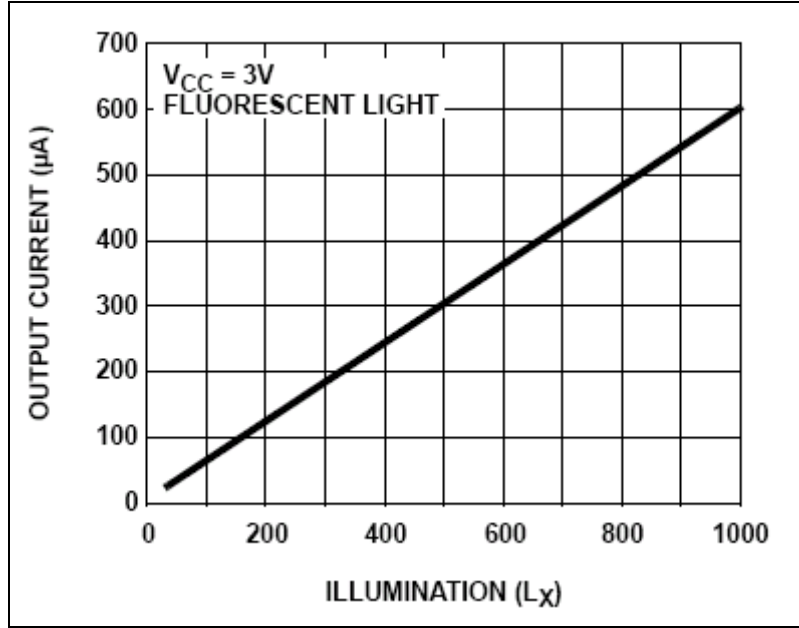
Çizelge 7-7 Kullanılan algılayıcıların listesi

Fiziksel Büyüklük	Algılayıcı	Firma
Sıcaklık	SHT15 SP30	Sensirion Infineon
Işık	EL7900	Intersil
Nem	SHT15	Sensirion
Basınç	SP30	Infineon
İvme	SP30	Infineon
Gerçek Zamanlı Saat Sıcaklık	DS1629	Dallas

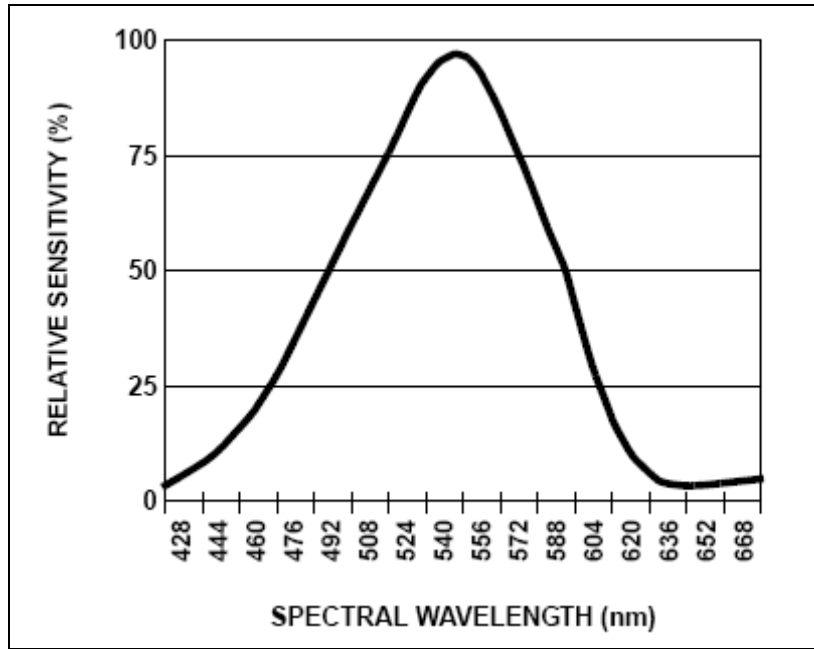


Şekil 7-1 EL7900 iç yapısı ve temel bağlantı biçimi[41]

EL7900'in çıkış geriliminin, ışığın dalga boyuna göre değişimi Şekil 7-2'de, ışığın parlaklığına göre değişimi ise Şekil 7-3'te grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 7-2 EL7900'ün çıkış geriliminin ışığın parlaklığına göre değişimi[41]



Şekil 7-3 EL7900'ün çıkış geriliminin ışığın dalga boyuna göre değişimi[41]

SHT15

Sensirion firması tarafından geliştirilmiş olan SHT15 algılayıcısı, çevreden sıcaklık ve nem bilgilerini toplayabilmektedir. SHT15 oldukça küçük olan boyutları ve düşük güç tüketimi ile telsiz algılayıcı düğümlerin yapısında kullanılmaya oldukça elverişlidir. Ayrıca Çizelge 7-8'de de görüldüğü gibi yanı sıra firma tarafından üretilen aynı tipteki algılayıcılara göre hata

aralığı çok daha düşüktür.

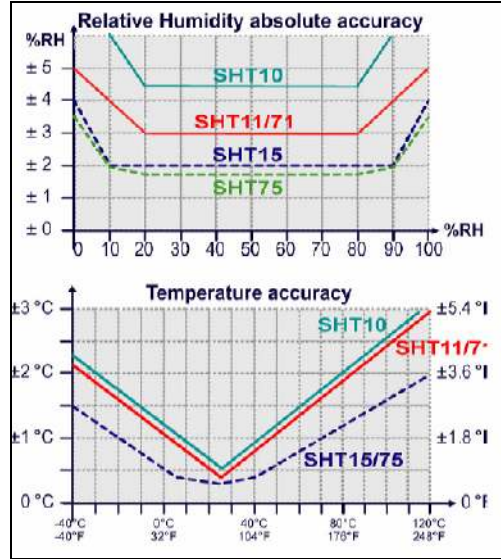
Çizelge 7-8 SHT15'e ait sapma değerleri[39]

Part Number	Humidity accuracy [%RH]	Temperature accuracy [K] @ 25 °C	Package
SHT10	±4.5	±0.5	SMD (LCC)
SHT11	±3.0	±0.4	SMD (LCC)
SHT15	±2.0	±0.3	SMD (LCC)
SHT71	±3.0	±0.4	4-pin single-in-line
SHT75	±1.8	±0.3	4-pin single-in-line

Çizelge 7-9'te SHT15'e ait çeşitli özellikler verilmiştir. Bu özelliklerden bazıları sıcaklık ve nem özelliklerinin ölçüm aralıkları, ölçüm hassasiyetleri ve ölçüm dengeleridir. Şekil 7-4'da ise bu ölçümlerin doğruluk oranlarını gösteren grafikler yer almaktadır.

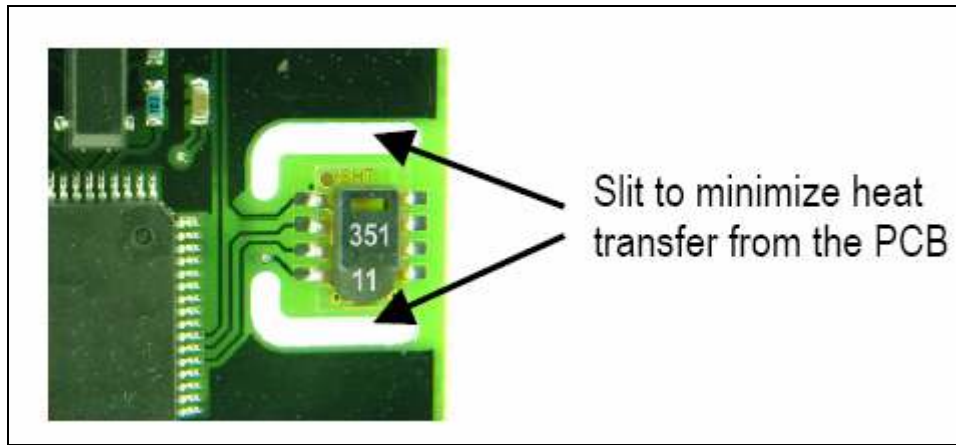
Çizelge 7-9 SHT15 için nem ve sıcaklık ölçüm özellikleri[39]

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution ⁽²⁾		0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12	bit
Repeatability			±0.1		%RH
Accuracy ⁽¹⁾	linearized	see figure 1			
Uncertainty					
Range		0		100	%RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air		4		s
Temperature					
Resolution ⁽²⁾		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability			±0.1		°C
			±0.2		°F
Accuracy		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s



Şekil 7-4 SHT15 sıcaklık ve nem ölçüm doğrulukları[39]

SHT15'in baskılı üzerine yerleştirilirken, özellikle sıcaklık ölçümlerinde yanılmanın en aza indirilmesi için pcb ile arasında yalıtım yapılması gerekmektedir. Şekil 7-5'de bu kuralın uygulandığı bir baskılı devre görülmektedir.



Şekil 7-5 SHT15'in baskılı devreye yerleştirilmesi[39]

SP30

Infineon firması tarafından geliştirilen SP30 algılayıcısı özellikle arabaların dış tekerlerinde ivme, basınç ve sıcaklık bilgilerinin toplanmasında kullanılmaktadır. Geliştirilen düğüm içerisinde bu 3 fiziksel büyüklüğün çevreden toplanmasında kullanılacaktır. Düğümün yapısında kullanılmak üzere seçilmiş olmasının temel nedenleri; 3 temel fiziksel değeri birarada ölçmesi ve bu fiziksel değerler için oldukça geniş ölçüm aralıklarına sahip olmasıdır.

Aşağıdaki çizelgelerde SP30 algılayıcısının sıcaklık, ivme ve basınç ölçüm aralıkları verilmiştir.

Çizelge 7-10 SP30 basınç ölçüm aralıkları[40]

Pressure measurement specifications, 100-450kPa range						
PARAMETER	SPECIFICATION				AMBIENT CONDITION	
	Min	Typ	Max	Unit	Temp [°C]	VDD [V]
Pressure range	100		450	kPa	-40 to 125	
Measurement error	-7		7	kPa	0 to 50	2.1 – 3.6
	-17.5		17.5	kPa	-40 to 125	2.1 – 3.6
Optional pressure measurement ranges						
Pressure measurement specifications, 100-700kPa range						
PARAMETER	SPECIFICATION				AMBIENT CONDITION	
	Min	Typ	Max	Unit	Temp [°C]	VDD [V]
Pressure range	100		700	kPa	-40 to 125	
Measurement error	-11		11	kPa	0 to 50	2.1 – 3.6
	-28		28	kPa	-40 to 125	2.1 – 3.6
Pressure measurement specification, 100-800kPa range						
PARAMETER	SPECIFICATION				AMBIENT CONDITION	
	Min	Typ	Max	Unit	Temp [°C]	VDD [V]
Pressure range	-100		800	kPa	-40 to 125	
Measurement error	-12,5		12,5	kPa	0 to 50	2.1 - 3.6
	-31.5		31.5	kPa	-40 to 125	2.1 - 3.6
Pressure measurement specifications, 100-900kPa range						
PARAMETER	SPECIFICATION				AMBIENT CONDITION	
	Min	Typ	Max	Unit	Temp [°C]	VDD [V]
Pressure range	100		900	kPa	-40 to 125	
Measurement error	-14		14	kPa	0 to 50	2.1 – 3.6
	-35		35	kPa	-40 to 125	2.1 – 3.6

Çizelge 7-11 SP30 sıcaklık ölçüm aralığı[40]

PARAMETER	SPECIFICATION				AMBIENT CONDITION	
	Min	Typ	Max	Unit	Temp [°C]	VDD [V]
Measurement error	-3		3	°C	-20 to 70	2.1 – 3.6
	-5		5	°C	-40 to 90	2.1 – 3.6
	-3		7	°C	90 to 125	2.1 – 3.6

Çizelge 7-12 SP30 ivme ölçüm aralığı[40]

PARAMETER	SPECIFICATION				AMBIENT CONDITION	
	Min	Typ	Max	Unit	Temp [°C]	VDD [V]
Input range	-12		115	g	-40 to 90	2.1 – 3.6
Sensitivity accuracy	-18.75		18.75	%	-40 to 90	2.1 – 3.6
Offset accuracy	-6		6	g	-20 to 70	2.1 – 3.6
	-8.5		8.5	g	-40 to 90	2.1 – 3.6

DS1629

Dallas Semiconductor firması tarafından üretilen DS1629 algılayıcısı, çevreden hem sıcaklık bilgisinin okunmasında kullanılmaktadır. Algılayıcı üzerinde ayrıca bir gerçek zamanlı saat bulunmaktadır. Geliştirilen düğümün, mikrodenetleyici birimi üzerinde bulunan sayıcılar yardımı ile belirli periyotlarla çalışması sağlanabilir. Ancak dışardan bağlanacak olan bir gerçek zamanlı saat ile düğümün tam olarak istenen bir tarihte çalışması da sağlanabilir. Mikrodenetleyici biriminde yeralan sayıcılar ile gerçek zamanlı saat kullanılarak elde edilen hassasiyete ulaşmak mümkün değildir. DS1629 üzerinde tarih bilgisinin saklandığı registerlara ait yapı Şekil 7-6’de verilmiştir. Bu yapı ile 2100 yılına kadar olan tarihler tutulabilmektedir.

BYTE ADDRESS	BIT 7 MSb	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 Lsb	BYTE RANGE
00h	CH	10 SECONDS			SECONDS				00-59
01h	0	10 MINUTES			MINUTES				00-59
02h	0	12 MODE	AM/PM	10 HOURS	HOURS				01-12 00-23
		24 MODE	10 HOURS						
03h	0	0	0	0	0	DAY			01-07
04h	0	0	10 DATE		DATE				01-31*
05h	0	0	0	10 MONTH	MONTH				01-12
06h	10 YEAR				YEAR				00-99

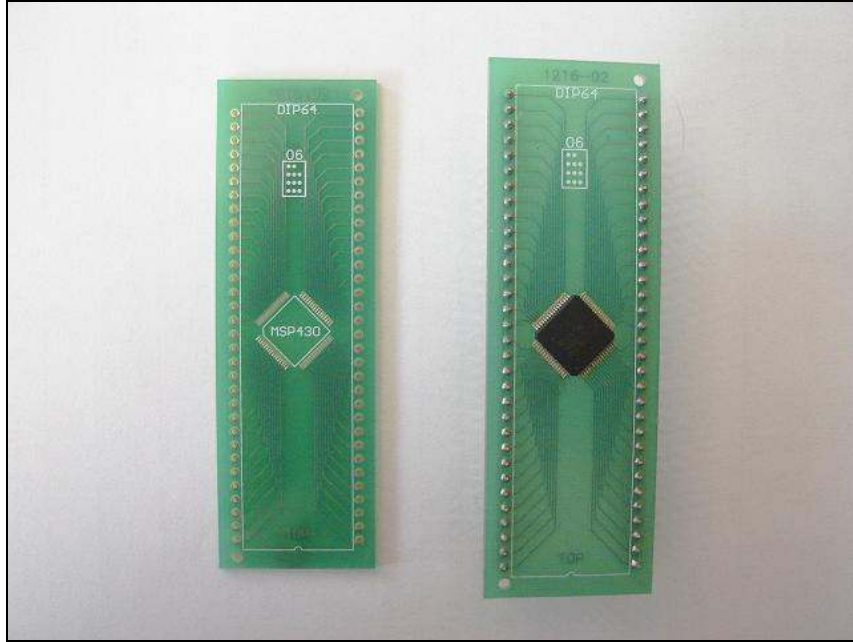
* DATE BYTE MAXIMUM VALUE RANGES FROM 28 TO 31, DEPENDING ON MONTH AND YEAR

Şekil 7-6 DS1629 tarih registerlarının yapısı[42]

7.2 Test Ortamı

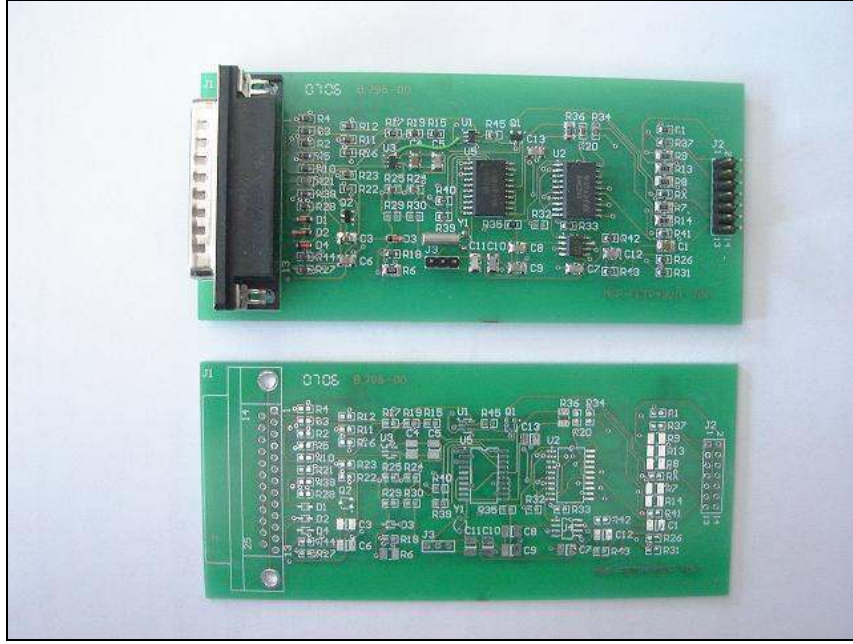
Geliştirilen telsiz algılayıcı düğüm tasarımının gerçekleşmeden önce test edilmesi ve oluşabilecek sorunların görülmesi için bir test ortamı hazırlanmıştır. Bu test ortamında düğüm yapısında kullanılan tüm birimlerin tek başlarına ve diğer birimlerle olan çalışmaları kontrol edilmiştir.

Bu kapsamda öncelikle düğümün temel parçası olan mikrodnetleyici birimin programlanması ve üzerinde çalışan yazılımın üzerinde hata ayıklanmasını (debug) sağlayan ortam oluşturulmuştur. Kullanılan MSP430F149 işlemci birimi, JTAG üzerinden programlanabilmekte ve yine bu bağlantı birimi üzerinden üzerinde çalışan yazılımın ayıklanmasına imkan vermektedir. MSP430F149 işlemci biriminin kılıf yapısı 64 bacaklı QFP'dir. Öncelikle mikrodnetleyici birimin test işlemleri sırasında protoboard veya delikli kartlara rahatça takılıp çıkarılabilmesi için kılıf tipinin DIP olarak değiştirilmesini sağlayan bir kart oluşturulmuştur. Şekil 7-7'de bu kartı ve mikrodnetleyicinin bu kart üzerine lehimlenmiş hali görülmektedir. Oluşturulan QFP-DIP dönüştürücü karta ait şematik ve baskılı devre (Printed Circuit Board -PCB) EK1'de bulunmaktadır.



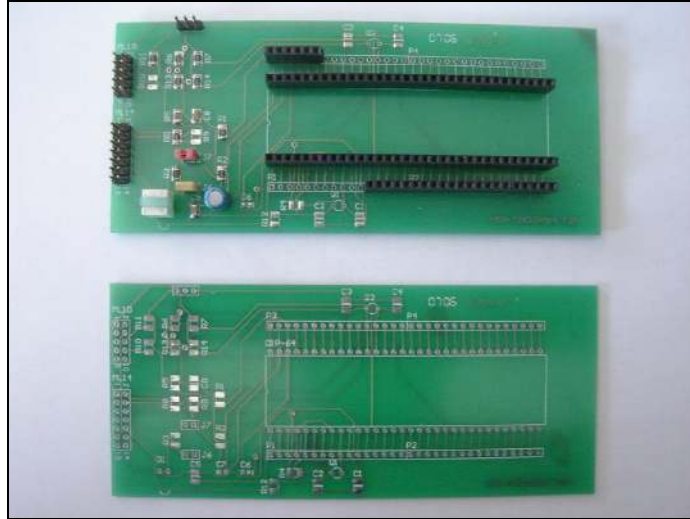
Şekil 7-7 MSP430F149 DIP-QFP dönüştürücü

Mikrodnetleyici birimin programlanması için ayrıca 2 adet kart tasarlanmıştır. Bu kartlardan birincisi mikrodnetleyicinin JTAG bağlantı ile PC'nin paralel portu arasındaki geçişi sağlayan karttır. Bu kartın Şekil 7-8'de görülmektedir. Karta ait şematik ve PCB çizimleri ile kullanılan parçalara ait liste EK2'de bulunmaktadır.



Şekil 7-8 PC – JTAG bağlantı kartı

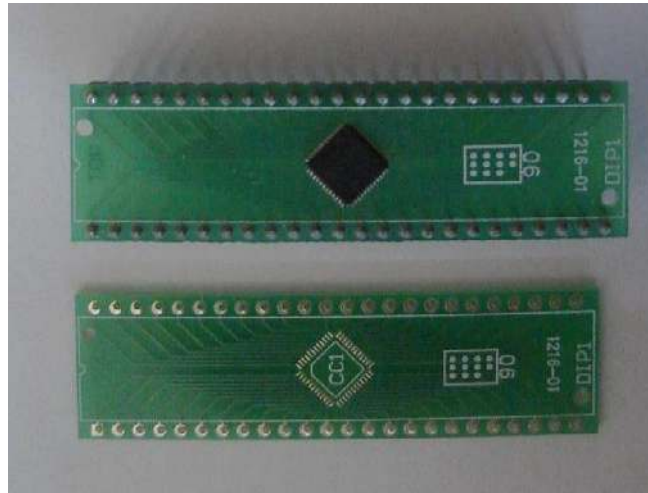
Mikrodenetleyici birimin programlanması ve çeşitli test yazılımlarının geliştirilmesi sırasında kullanılmak üzere, BSL ve JTAG bağlantıları, 1 adet LED ve mikrodenetleyicinin tüm bacaklarına erişilmesini sağlayan bağlantılara sahip bir kart oluşturulmuştur. Karta ait şematik ve PCB çizimler ile kullanılan parçaların listesi EK3'te bulunmaktadır.



Şekil 7-9 MSP430F149 JTAG kartı

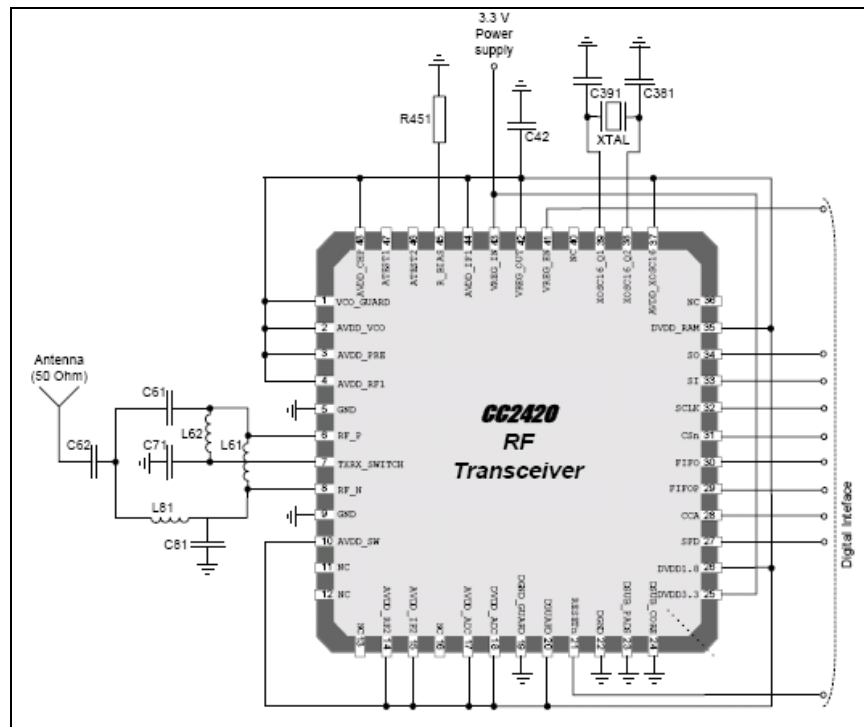
Düğüm üzerinde bulunan ve telsiz iletişim birimi olarak çalışan CC2420, 48 bacaklı QLP kılıf yapısına sahiptir. Bu birimin test işlemleri sırasında rahat kullanılmasını sağlamak için kılıf yapısını DIP tipine çeviren bir QLP-DIP çevirici kart oluşturulmuştur. Şekil 7-10'de bu kart

ve kart üzerine CC2420'nin lehimlenmiş hali görülmektedir. Bu karta ait şematik ve PCB çizimler EK4'te bulunmaktadır.



Şekil 7-10 CC2420 QLP-DIP dönüştürücü

CC2420 telsiz iletişim biriminin çalışmasını sağlamak için bir dizi bağlantının yapılması gerekmektedir. Bu bağlantılara ait şematik çizim Şekil 7-11’de verilmiştir. Test ortamında CC2420 ile ilgili gerekli denemelerin yapılması için Şekil 7-11’de şematik çizimleri görülen devre delikli pertinaks üzerinde oluşturulmuştur.



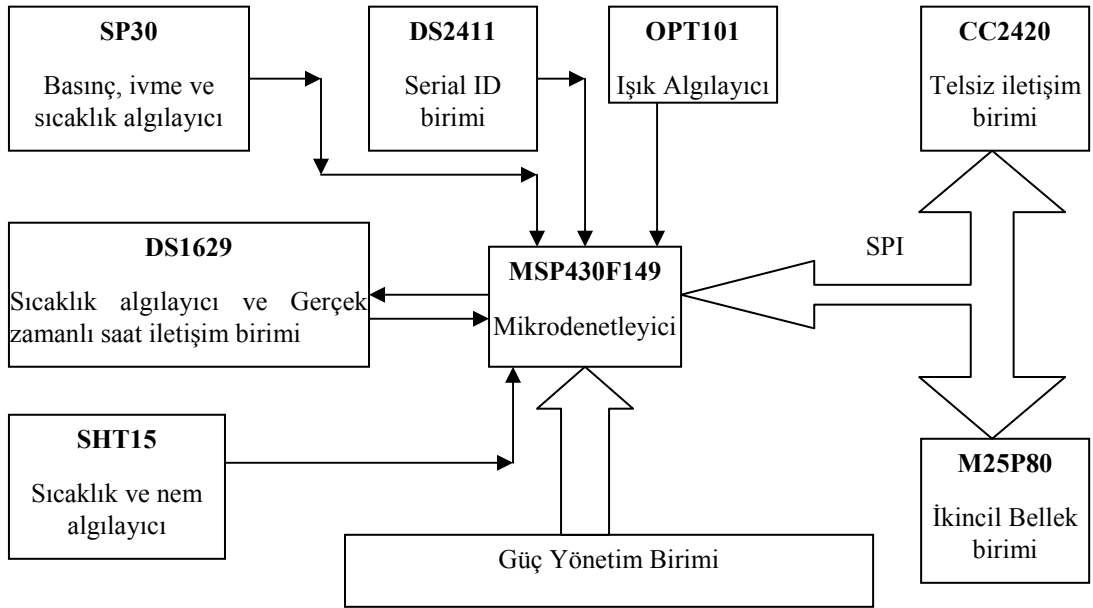
Şekil 7-11 CC2420 temel bağlantı şeması

Geliştirilen düğümün yapısında kullanılan diğer birimlerin test işlemleri ise kullanılacak olan birimlerin farklı kılıflarda olan modelleri kullanılarak yapılmıştır. Örneğin EL7900 algılayıcısının DIP kılıfına sahip bir modeli mevcuttur. Benzer şekilde test işlemleri sırasında bellek birimi olarak kullanılan M25P80'nin düğümün son tasarımında kullanılan VFQFPN8 kılıfına sahip modeli yerine SO8 kılıfına sahip modeli kullanılmıştır.

Test işlemleri sırasında kullanılan birimlerin özelliklerinin test edilmesi için hazırlanmış olan yazılımlara ait olan kodlar EK5'te bulunmaktadır.

7.3 Düğümün Tasarımı

Geliştirilmiş olan telsiz algılayıcı düğüm, mikro denetleyici birimi, telsiz iletişim birimi, ikincil bellek birimi güç yönetim birimi ve algılayıcılar olmak üzere 5 ana birimden oluşmaktadır. Şekil 7-12'te düğümü oluşturan birimler ve bu birimler arasındaki bağlantı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 7-12 Telsiz algılayıcı düğümün blok şeması

Geliştirilen her düğümün bulunduğu ağ içerisinde kendisini belirten bir numaraya (ID) sahip olması ve bu numaranın diğer düğümlerle çakışmaması gerekmektedir. Bu yapının oluşturulması için düğümün yapısında Dallas semiconductors firması tarafından geliştirilmiş

olan DS2411 serial ID birimi kullanılmıştır. Bu birim üzerinde 64 bitlik bir bilgi tutulmaktadır. Bu bilginin, ilk 8 biti Family Code, sonraki 48 biti serial ID ve son 8 bitlik kısım ise CRC (Cyclic Redundancy Check) bilgilerini içermektedir. Üretilen birimler üzerindeki bilginin tek (unique) olması üretici firma tarafından garanti edilmektedir.[43]

Geliştirilen düğümün temel hedefleri küçük ve bir çok telsiz algılayıcı ağ uygulamasında kullanılabilir olmaktır. Bu iki temel hedefin gerçekleştirilmesi için algılayıcı düğüm üzerinde telsiz algılayıcı ağlarda en çok ihtiyaç duyulan sıcaklık, nem, ışık, basınç ve ivme algılayıcıları bulunmaktadır. Ancak algılayıcı düğümün kullanılabileceği farklı uygulama alanlarında başka algılayıcıların kullanılmasına ihtiyaç duyulabilir. Bu ihtiyacı karşılamak için düğüm üzerinde SPI, I2C, ADC, ve genel amaçlı G/Ç bağlantı çeşitlerinin bulunduğu bir genişleme yuvası oluşturulmuştur. Düğümün küçük boyutlara sahip olması için ise kullanılan birimlerin herbirinin küçük boyutlara sahip olmasına dikkat edilmiş, birimler arası bağlantıların en az yeri kaplaması için 6 katmana sahip bir kart geliştirilmiştir. Geliştirilen telsiz algılayıcı düğümün şematik ve baskılı devre çizimleri ile kullanılan devre elemanlarının listesi EK6’da bulunmaktadır.

8. SONUÇ

Tez çalışması kapsamında, telsiz algılayıcı ağların yapısında kullanılabilecek bir telsiz algılayıcı düğüm tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Düğümün, değişik uygulama alanlarında kullanılabilir olması, düşük güç tüketimine sahip olması ve fiziksel olarak küçük boyutlara sahip olması hedeflenmiştir ve bu hedeflere ulaşılmıştır.

İlk olarak askeri savunma uygulamalarında kullanılan telsiz algılayıcı ağlar, günümüzde doğal yaşam alanlarının izlenmesi, tarım ürünlerinin gelişimlerinin izlenmesi, endüstriyel kontrol ve izleme sistemleri, ev otomasyon sistemleri, güvenlik uygulamaları ve tedarik zinciri uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bugüne kadar geliştirilen diğer birçok düğümün kendi üzerlerinde algılayıcılar bulunmamaktadır. Bu düğümler ile kullanılmak istenen algılayıcılar ayrı bir bağlantı yuvası üzerinden düğümlere takılmaktadır. Ancak bu durum düğümün boyutlarının büyümesine neden olmaktadır. Telsiz algılayıcı ağların kullanıldığı uygulamalar incelenmiş ve bu uygulamalarda ihtiyaç duyulan fiziksel büyüklükler belirlenmiştir. Geliştirilen düğümün üzerinde bu inceleme sonucu belirlenen ışık, sıcaklık, nem, basınç ve ivme büyüklüklerinin ölçülmesini sağlayan algılayıcılar bulunmaktadır. Ayrıca düğüm üzerinde farklı algılayıcıların kullanılmasını sağlamak için bir genişleme yuvası bulunmaktadır. Bu genişleme yuvası, SPI, genel amaçlı G/Ç, I2C, UART ve Analog bağlantı tiplerini desteklemektedir. Düğüm üzerinde bulunan algılayıcılar sayesinde, -40°C ile $+125^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklık, -12g ile 115g arasındaki ivme bilgisini, 100 kPa ile 900 kPa arasındaki basınç ve 300nm ile 1100 nm dalga boyları arasındaki ışık bilgisinin ölçülmesine imkan sağlamaktadır.

Telsiz algılayıcı ağların kullanıldığı uygulamalarda oluşturulan ağın aylarca hatta yıllarca kullanılması hedeflenmektedir. Ağın yapısında kullanılan düğümler, sınırlı miktarda enerjiye sahiptir. Bu yüzden geliştirilen düğümün yapısında oldukça düşük güç tüketimine sahip birimler kullanılmıştır. Geliştirilen düğümün enerji ihtiyacı 3.0 V gerilim üreten Li-on yassı bir pil ile karşılanmaktadır. Ancak düğüm üzerinde düğümün çalışma süresini uzatmak için başka bir pil veya kesintisiz güç kaynağının kullanılmasına imkan veren bir bağlantı bulunmaktadır. Geliştirilen düğüm üzerinde en yüksek enerji tüketimine telsiz iletişim birimi sahiptir. Kullanılan telsiz iletişim biriminin çıkış gücünün azaltılması ile enerji tüketimi azaltılabilir. Düğümün enerji tüketimi pasif konumda $129.5\text{ }\mu\text{A}$, veri alma durumunda 33.9 mA 'dir. Veri aktarım durumunda ise güç tüketimi en az 13.4 mA , en fazla 21.5 mA 'dir.

Geliştirilen düğümün boyutlarının küçük olmasını sağlamak için 6 katmana sahip bir tasarım

yapılmıştır. Bu şekilde düğümün yapısında kullanılan birimler arasındaki bağlantıların en az yeri kaplaması sağlanmıştır. Ayrıca düğümün yapısında SMD tipi (Surface Mount Devices) devre elemanları kullanılmış ve bu elemanların yerleştirilmesinde kartın her iki yüzü de kullanılmıştır. Bu sayede düğümün boyutlarının 25 mm x 25 mm x 5 mm kadar küçülmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen düğüm üzerinde telsiz iletişim birimi olarak kullanılan CC2420 ile 250 kbps iletişim hızına ulaşılması sağlanmıştır. Düğüm üzerinde, bugüne kadar geliştirilmiş olan diğer düğümlerden farklı olarak bir gerçek zamanlı saat bulunmaktadır. Bu gerçek zamanlı saat kullanılarak telsiz algılayıcı ağların daha uzun süre aktif kalması ve daha net zaman bilgisinin elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Telsiz algılayıcı düğümlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş işletim sistemlerinden en yaygın olanları TinyOS ve MANTIS'tir. Bu iki işletim sistemi farklı yapılar üzerine kurulmuş olsa da temel hedefleri güç tüketiminin en aza indirilmesidir. Geliştirilen düğüm üzerinde bu iki işletim sistemi ile de uyumludur. Ancak düğümün sahip olduğu tüm özelliklerin bu işletim sistemleri tarafından desteklenmesi için üzerlerinde bazı değişikliklerin yapılması gerekmektedir.

Geliştirilen tez çalışmasına ek olarak, ses ve görüntü algılayıcıların bu düğümün yapısına entegre edilmesi ve özellikle güvenlik uygulamalarında kullanılmak üzere bir işlem sistemi geliştirilmesi konularında çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

Chong C., Kumar S.P., (2003) "Sensor Networks : Evolution, Opportunities, and Challenges", Proceedings of IEEE Volume 91 Issue 8, Ağustos 2003

Mainwaring, A., Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D., Anderson, J., (2002) "Wireless sensor networks for habitat monitoring", Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, WSNA 2002, Atlanta, Georgia, USA, Eylül 2002

Bhatti, S., Carlson, J., Dai, H., Deng, J., Rose, J., Sheth, A., Shucker, B., Gruenwald, C. , Torgerson, A., Han, R., (2005) "MANTIS OS: An Embedded Multithreaded Operating System for Wireless Micro Sensor Platforms", ACM/Kluwer Mobile Networks & Applications (MONET), Special Issue on Wireless Sensor Networks, vol. 10, no. 4, Ağustos 2005

Djemouai, A., Sawan, M.A., Slamani, M., (2001) "New Frequency-Locked Loop Based on CMOS Frequency-to-Voltage Converter: Design and Implementation", IEEE Transactions on Circuits and Systems - II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 48, No. 5, Mayıs 2001

Lundberg, M., Eliasson, J., Allan, J., Johansson, J., Lindgren, P., (2005) "Power Characterization of a Bluetooth-Equipped Sensor Node", Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks, Haziran 2005

Lynch, C., O'Reilly, F., (2005) "Processor Choice For Wireless Sensor Networks", Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks, Haziran 2005

Connolly, M., O'Reilly, F., (2005) "Sensor Networks and The Food Industry" , Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks, Haziran 2005

Park, C., Lahiri, K., Raghunathan, A., (2005) "Battery Discharge Characteristics of Wireless Sensor Nodes: An Experimental Analysis", Second Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, California, USA, Eylül 2005

Gao, T., Greenspan, D., Welsh, M., Juang, R.R., Alm, A., (2005) "Vital Signs Monitoring and Patient Tracking Over a Wireless Network", Proceedings of the 27th IEEE EMBS Annual International Conference, Eylül 2005.

Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D., "Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research", The Fourth International Conference on Information Processing in Sensor Networks: Special track on Platform Tools and Design Methods for Network Embedded Sensors (IPSN/SPOTS), Los Angeles, USA, Nisan 2005.

Szewczyk, R., Polastre, J., Mainwaring, A.M., Culler, D., (2004) "Lessons from a Sensor Network Expedition" Proceedings of Wireless Sensor Networks, First European Workshop, EWSN 2004, Berlin, Germany, Ocak 2004

Römer, K., "Tracking Real-World Phenomena with Smart Dust", Proceedings of Wireless Sensor Networks, First European Workshop, EWSN 2004, Berlin, Germany, Ocak 2004

Zhang, P., Sadler, C., Lyon, S., Martonosi, M., "Hardware Design Experiences in ZebraNet", The Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Kasım 2004

INTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.chinfo.navy.mil/navpalib/cno/n87/usw/issue_25/sosus.htm
- [2] www.greatduckisland.net
- [3] www.princeton.edu/~mrm/zebranet.html
- [4] www.princeton.edu/pr/pwb/02/1111/1a.shtml
- [5] Zhang P., Sadler, C.M., Lyon S.A., Martonosi M., "Hardware Design Experiences in ZebraNET", "www.princeton.edu/~csadler/sensys04.pdf"
- [6] www.darpa.mil/body/archives/sensit/index.htm
- [7] Cebrowski, A.K., Garstka, J.J., "Network-Centric Warfare: Its Origin and Future", www.usni.org/Proceedings/Articles98/PROcebwski.htm
- [8] robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/29Palms0103/
- [9] robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/
- [10] Bonet, P., "The Hogthrob Project",
"www.hogthrob.dk/output/publications_files/Hogthrob-Zurich.ppt"
- [11] AtMega 128L Data sheet", "www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2467.pdf",
- [12] AtMega 163L Data sheet ,
"www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/T/M/E/ATMEGA163L.shtml"
- [13] www.eecs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue/
- [14] Kang, K.D., "Introduction to TinyOS",
"www.cs.binghamton.edu/~kang/cs580s/tinyos.ppt",
- [15] MSP430S149 Data sheet, "focus.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f149.pdf", revised June 2004
- [16] 24LC256 Data sheet, "ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21203M.pdf",
- [17] AT45DB041B Data sheet",
"www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc3443.pdf",
- [18] CC1000 Data sheet, "www.chipcon.com/files/CC1000_Data_Sheet_2_2.pdf"
- [19] TR1000 Data sheet, "www.rfm.com/products/data/tr1000.pdf"
- [20] CC2420 Data sheet, "www-inst.eecs.berkeley.edu/~cs150/Documents/CC2420.pdf"
- [21] www.eng.yale.edu/enalab/XYZ/
- [22] OKIML67Q500x Datasheet,
"www.eng.yale.edu/enalab/XYZ/programming/oki_manual.pdf"
- [22] project.irv.se/default.asp?proj=2&projekt=32

- [23] www.acm.uiuc.edu/sigarch/projects/sensornode/
- [24] www.eyes.eu.org/sensnet.htm
- [25] www.moteiv.com/
- [26] MicaZ Data sheet,
[“www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICAz_Kit_Datasheet.pdf”](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICAz_Kit_Datasheet.pdf)
- [27] Hill, J., “A Software Architecture Supporting Networked Sensors”,
[“www.cs.berkeley.edu/~kwright/nest_papers/TinyOS_Masters.pdf”](http://www.cs.berkeley.edu/~kwright/nest_papers/TinyOS_Masters.pdf),
- [28] MANTIS Project homepage, [“mantis.cs.colorado.edu/index.php/tiki-index.php”](http://mantis.cs.colorado.edu/index.php/tiki-index.php),
- [29] SOS Project homepage, [“nesl.ee.ucla.edu/projects/sos/”](http://nesl.ee.ucla.edu/projects/sos/)
- [30] AVRx homepage, [“www.barello.net/avrx/index.htm”](http://www.barello.net/avrx/index.htm),
- [31] Clock Generation with PLL,
[“ece-www.colorado.edu/~ecen4002/manuals/dsp56300family/ch6-pll-clk.pdf”](http://ece-www.colorado.edu/~ecen4002/manuals/dsp56300family/ch6-pll-clk.pdf)
- [32] AT90LS8535 Datasheet,
[“www.nikhef.nl/pub/departments/et/misc/at8535/at8535_dat.pdf”](http://www.nikhef.nl/pub/departments/et/misc/at8535/at8535_dat.pdf)
- [33] PIC18F4320 Datasheet, [“ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39599c.pdf”](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39599c.pdf)
- [34] ADuC845 Datasheet Rev. B,
[“www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/143183654ADuC845_7_8_b.pdf”](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/143183654ADuC845_7_8_b.pdf)
- [35] PIC16F877, [“ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf”](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf)
- [36] TR1001 Datasheet, [“www.rfm.com/products/data/tr1001.pdf”](http://www.rfm.com/products/data/tr1001.pdf)
- [37] M24M01S Datasheet, [“www.datasheetcatalog.com/stmicroelectronics/127/”](http://www.datasheetcatalog.com/stmicroelectronics/127/)
- [38] M25P80, [“www.st.com/stonline/books/pdf/docs/8495.pdf”](http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/8495.pdf)
- [39] SHT15 Datasheet, [“www.sensirion.com/images/getFile?id=25”](http://www.sensirion.com/images/getFile?id=25)
- [40] SP30 Datasheet, [“www.infineon.com/upload/Document/SP30%20product%20brief.pdf”](http://www.infineon.com/upload/Document/SP30%20product%20brief.pdf),
- [41] EL7900 Datasheet, [“http://www.intersil.com/data/fn/fn7377.pdf”](http://www.intersil.com/data/fn/fn7377.pdf)
- [42] DS1629 Datasheet, [“www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2739”](http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2739)
- [43] DS2411 Datasheet, [“www.maxim-ic.com/getds.cfm?qv_pk=3711”](http://www.maxim-ic.com/getds.cfm?qv_pk=3711)
- [44] www.cs.berkeley.edu/~kamin/calamari/
- [45] firebug.sourceforge.net/
- [46] www-bsac.eecs.berkeley.edu/projects/cotsbots/
- [47] telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/
- [48] ptolemy.eecs.berkeley.edu/papers/03/TinyGALS

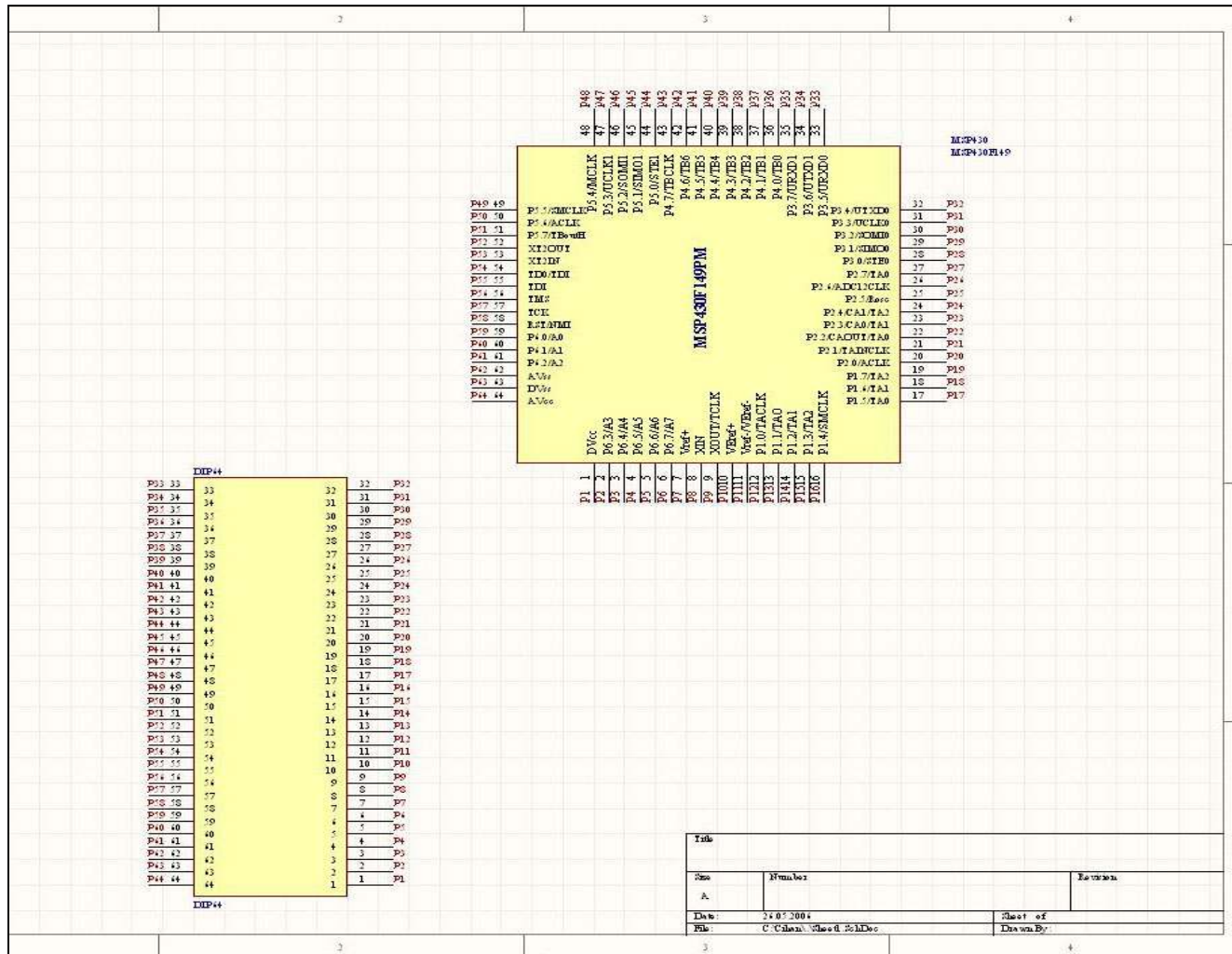
[49] www.tendriline.com

[50] firecenter.forestry.umt.edu/firecenter/

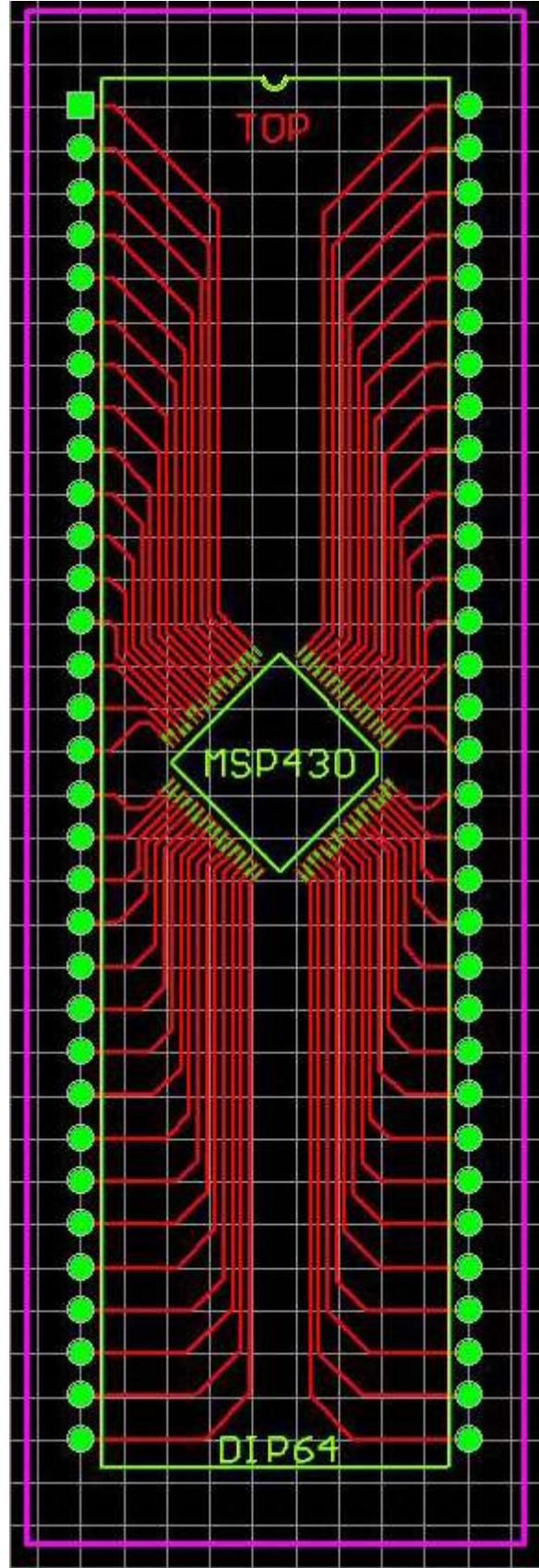
EKLER

- Ek 1 QFP-DIP dönüştürücü karta ait şematik, baskılı devre çizimleri
- Ek 2 PC – JTAG bağlantı kartına ait şematik, baskılı devre çizimleri ve kullanılan devre elemanları listesi
- Ek 3 MSP430F149 JTAG bağlantı kartına ait şematik, baskılı devre çizimleri ve kullanılan devre elemanları listesi
- Ek 4 QLP-DIP dönüştürücü karta ait şematik, baskılı devre çizimleri
- Ek 5 Test yazılımları
- Ek 6 Geliştirilen telsiz algılayıcı düğümün şematik ve baskılı devre çizimleri ile kullanılan devre elemanlarının listesi

Ek 1 QFP-DIP dönüştürücü karta ait şematik, baskılı devre çizimleri

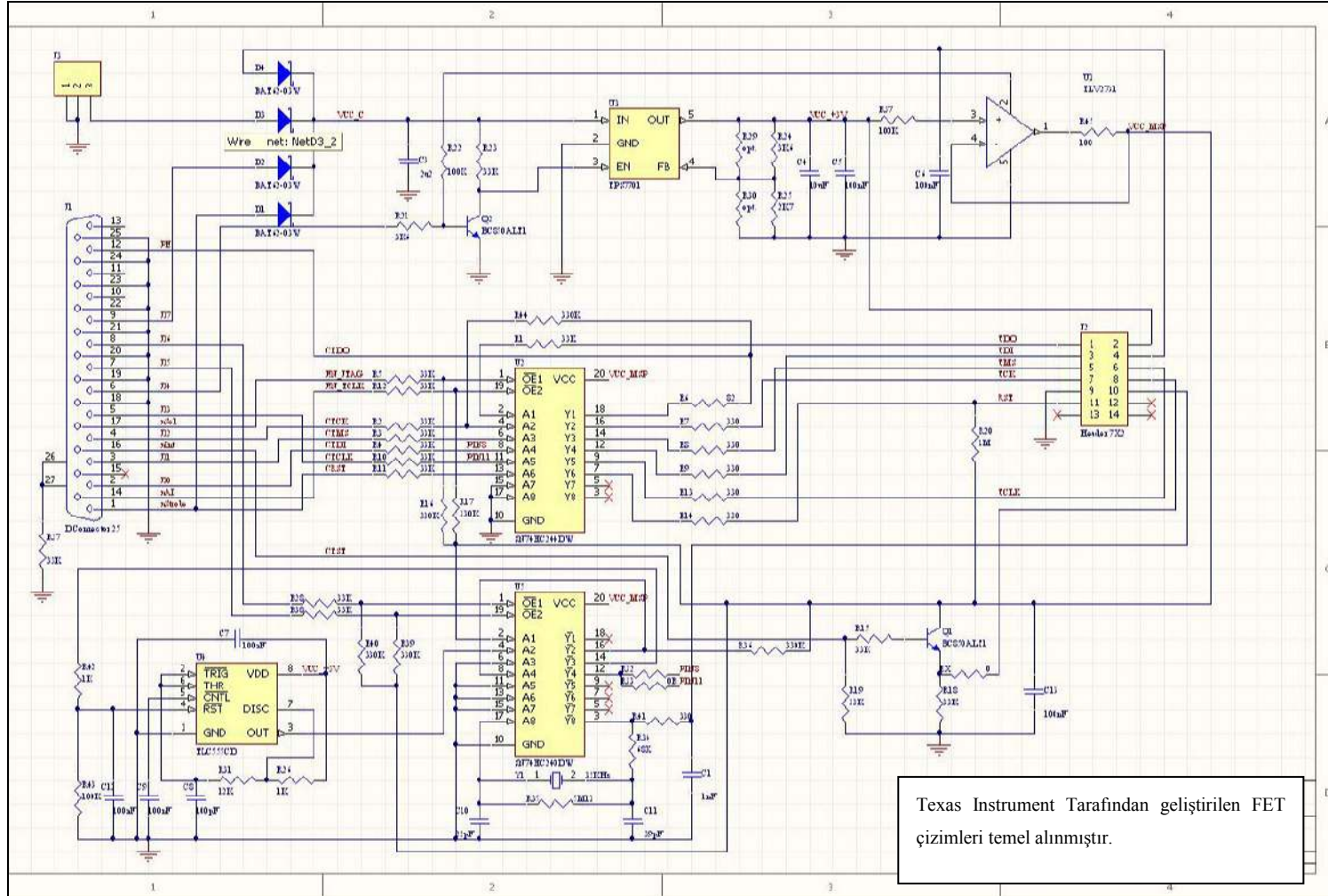


Şekil 8-1 QFP-DIP dönüştürücü karta ait şematik

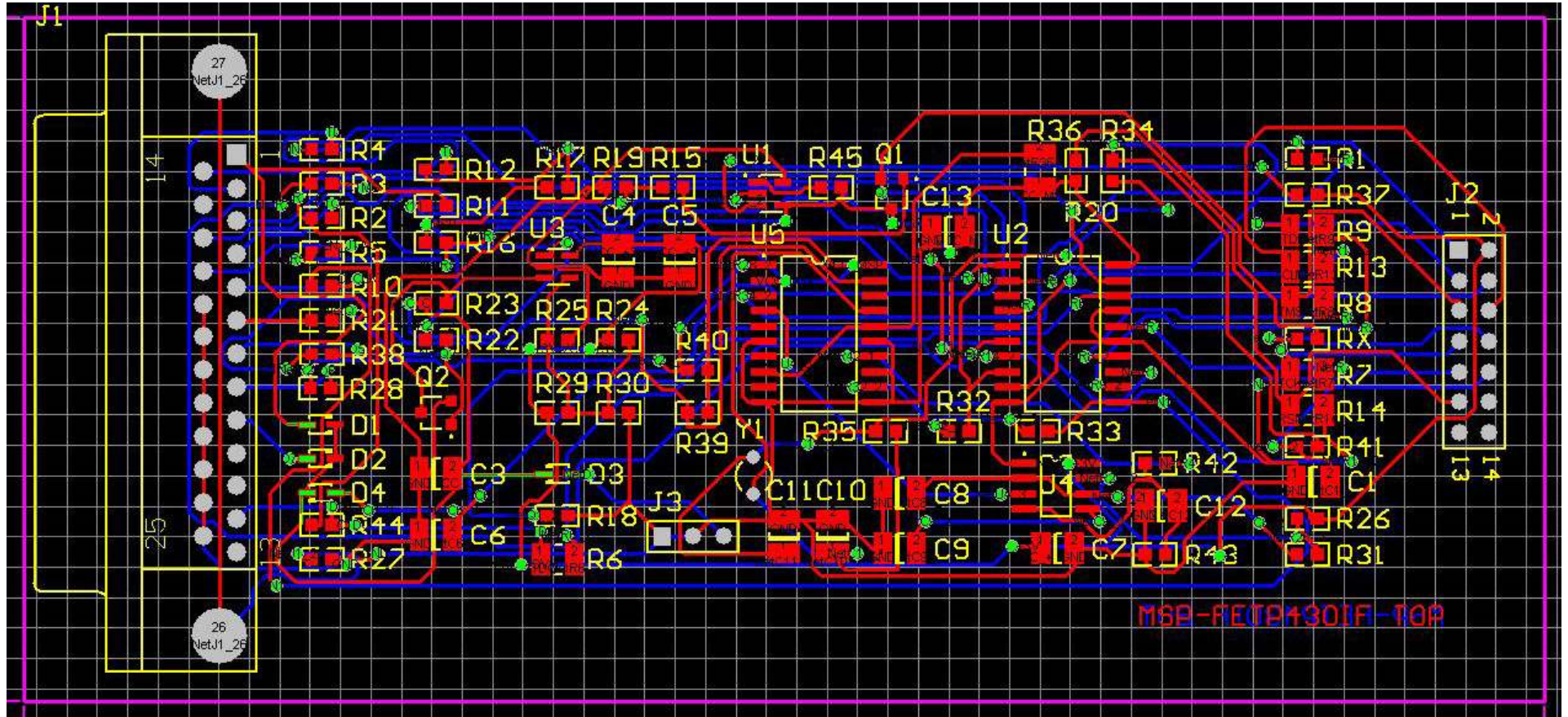


Şekil 8-2 QFP-DIP dönüştürücü karta ait pcb

Ek 2 PC – JTAG bağlantı kartına ait şematik, baskılı devre çizimleri ve kullanılan devre elemanları listesi



Şekil 8-3 PC – JTAG bağlantı kartına ait şematik



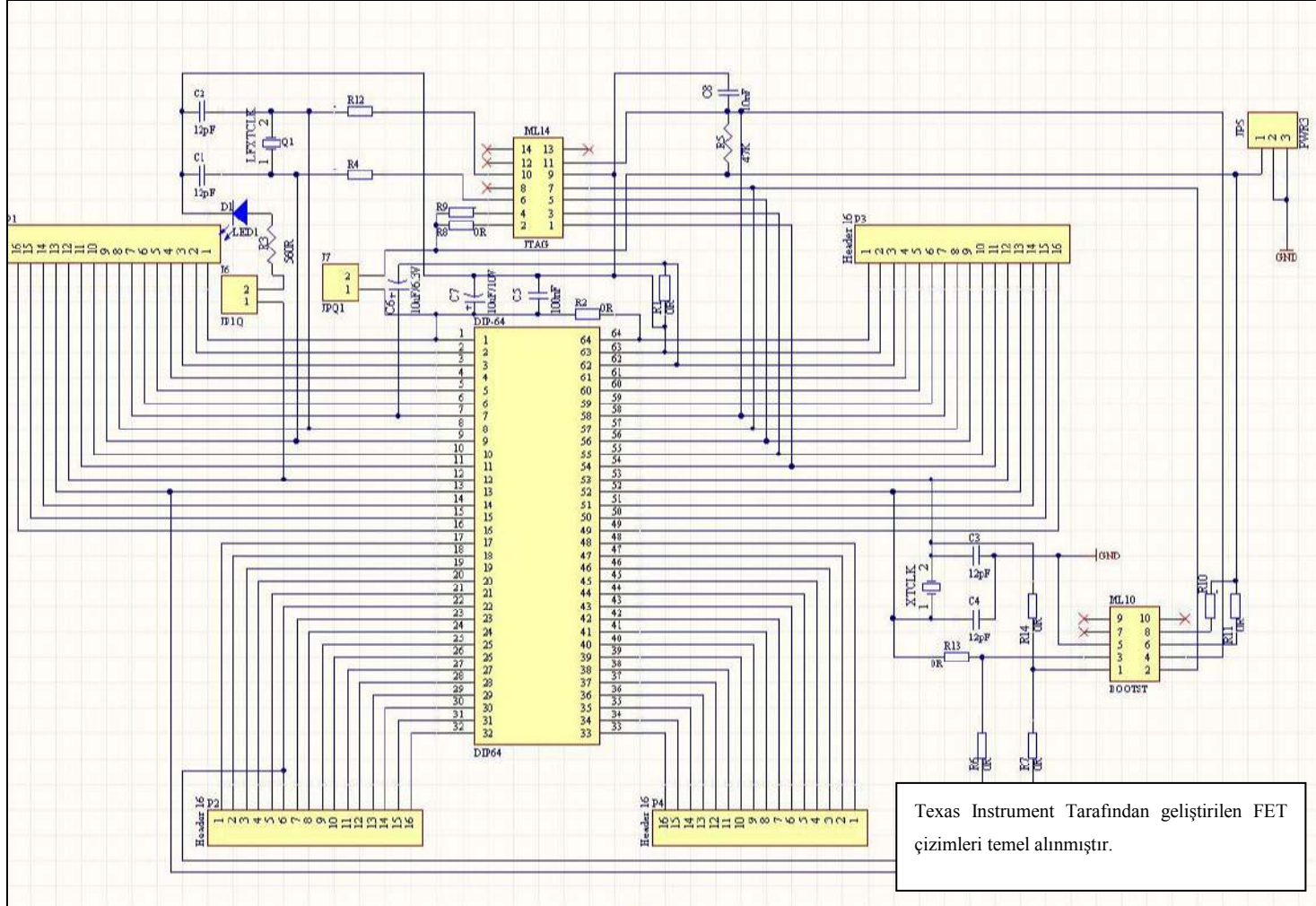
Şekil 8-4 PC – JTAG bağlantı kartına ait baskılı devre

Çizelge 8-1 JTAG Bağlantı kartında kullanılan devre elemanları listesi

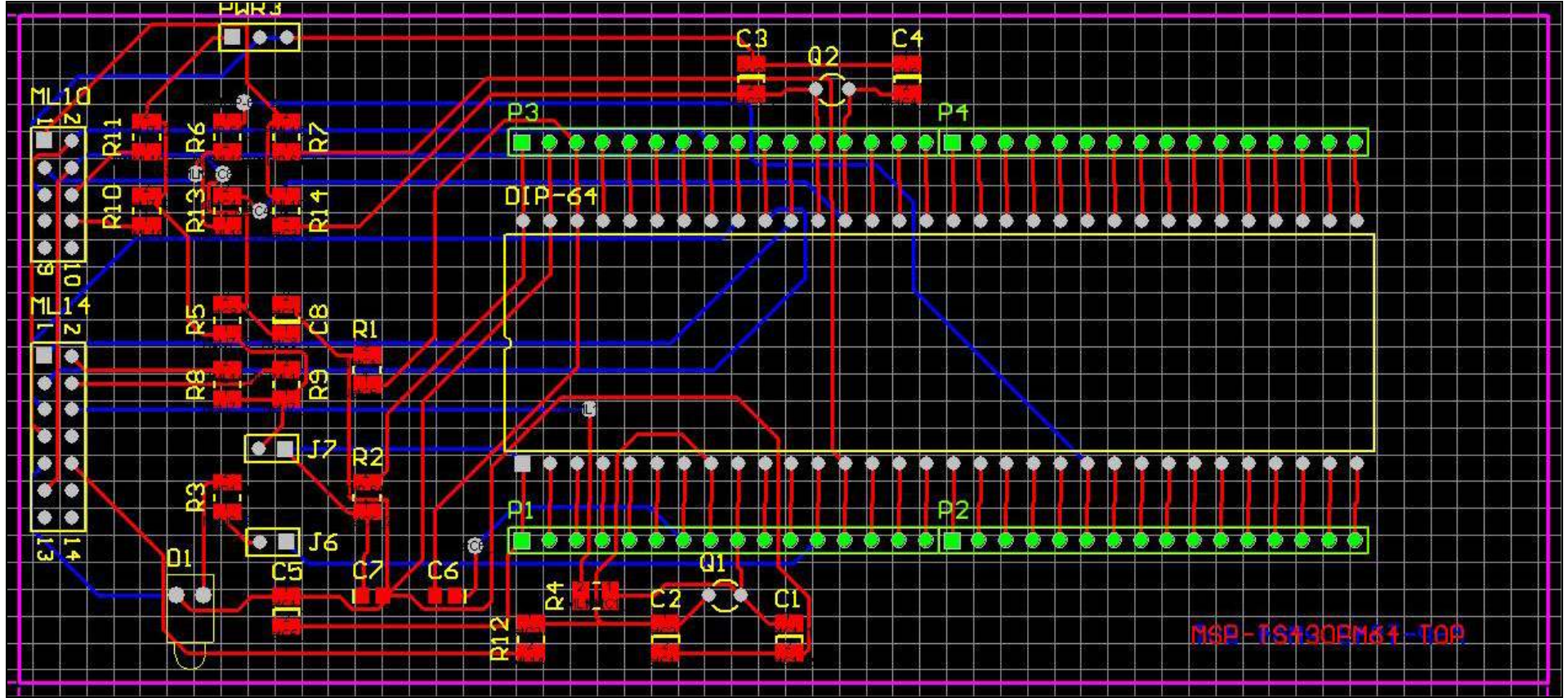
Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity	Value
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C1	CC3225-1210	Cap Semi	1	1nF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C3	CC3225-1210	Cap Semi	1	2u2
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C4	CC3225-1210	Cap Semi	1	10uF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C5	CC3225-1210	Cap Semi	1	100nF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C6	CC3225-1210	Cap Semi	1	100nF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C7	CC3225-1210	Cap Semi	1	100nF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C8	CC3225-1210	Cap Semi	1	100pF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C9	CC3225-1210	Cap Semi	1	100nF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C10	CC3225-1210	Cap Semi	1	22pF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C11	CC3225-1210	Cap Semi	1	39pF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C12	CC3225-1210	Cap Semi	1	100nF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C13	CC3225-1210	Cap Semi	1	100nF
Low-Barrier Silicon RF Schottky Diode for Detectors	D1	SOD-323	BAT62-03W	1	
Low-Barrier Silicon RF Schottky Diode for Detectors	D2	SOD-323	BAT62-03W	1	
Low-Barrier Silicon RF Schottky Diode for Detectors	D3	SOD-323	BAT62-03W	1	
Low-Barrier Silicon RF Schottky Diode for Detectors	D4	SOD-323	BAT62-03W	1	
Receptacle Assembly, 25 Position, Right Angle	J1	DSUB1.385-2H25B	D Connector 25	1	
Header, 7-Pin, Dual row	J2	HDR2X7	Header 7X2	1	
Header, 3-Pin	J3	HDR1X3	Header 3	1	
General Purpose Transistor NPN Silicon	Q1	318-08	BC850ALT1	1	
General Purpose Transistor NPN Silicon	Q2	318-08	BC850ALT1	1	
Resistor	R1	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R2	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R3	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R4	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R5	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R6	CR3225-1210	Res3	1	82
Resistor	R7	CR3225-1210	Res3	1	330
Resistor	R8	CR3225-1210	Res3	1	330
Resistor	R9	CR3225-1210	Res3	1	330
Resistor	R10	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R11	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R12	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R13	CR3225-1210	Res3	1	330
Resistor	R14	CR3225-1210	Res3	1	330
Resistor	R15	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R16	C1608-0603	Res3	1	330K
Resistor	R17	C1608-0603	Res3	1	330K
Resistor	R18	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R19	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R20	C1608-0603	Res3	1	1M
Resistor	R21	C1608-0603	Res3	1	3K6
Resistor	R22	C1608-0603	Res3	1	100K
Resistor	R23	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R24	C1608-0603	Res3	1	3K6
Resistor	R25	C1608-0603	Res3	1	2K7
Resistor	R26	C1608-0603	Res3	1	1K
Resistor	R27	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R28	C1608-0603	Res3	1	33K

Resistor	R29	C1608-0603	Res3	1	opt.
Resistor	R30	C1608-0603	Res3	1	opt.
Resistor	R31	C1608-0603	Res3	1	12K
Resistor	R32	C1608-0603	Res3	1	
Resistor	R33	C1608-0603	Res3	1	0R
Resistor	R34	C1608-0603	Res3	1	68K
Resistor	R35	C1608-0603	Res3	1	5M11
Resistor	R36	CR3225-1210	Res3	1	330K
Resistor	R37	C1608-0603	Res3	1	100K
Resistor	R38	C1608-0603	Res3	1	33K
Resistor	R39	C1608-0603	Res3	1	330K
Resistor	R40	C1608-0603	Res3	1	330K
Resistor	R41	C1608-0603	Res3	1	330
Resistor	R42	C1608-0603	Res3	1	1K
Resistor	R43	C1608-0603	Res3	1	100K
Resistor	R44	C1608-0603	Res3	1	330K
Resistor	R45	C1608-0603	Res3	1	100
Resistor	RX	C1608-0603	Res3	1	0
	U1	SO-G5/P.95	TLV2731	1	
Octal Buffer and Line Driver with 3-State Outputs	U2	DW020	SN74HC244DW	1	
	U3	SO-G5/X.5	TPS7701	1	
LinCMOS Timer	U4	D008	TLC555CD	1	
Octal Buffer and Line Driver with 3-State Outputs	U5	DW020	SN74HC240DW	1	
Crystal Oscillator	Y1	BCY-W2/D3.1	XTAL	1	

Ek 3 MSP430F149 JTAG bağlantı kartına ait şematik, baskılı devre çizimleri ve kullanılan devre elemanları listesi



Şekil 8-5 MSP430F149 JTAG bağlantı kartına ait şematik



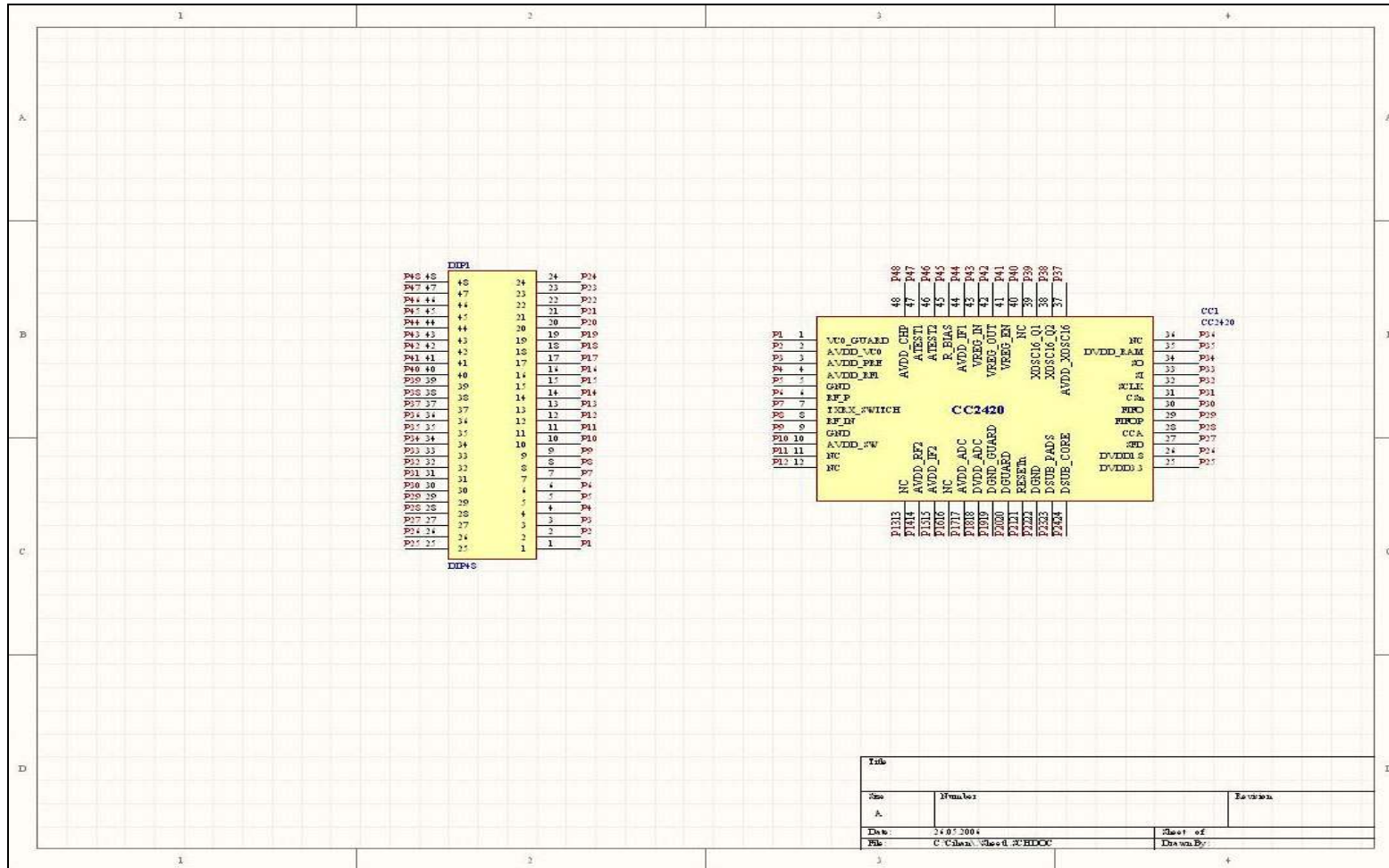
Şekil 8-6 MSP430F149 JTAG bağlantı kartına ait baskılı devre

Çizelge 8-2 MSP430F149 JTAG bağlantı kartında kullanılan devre elemanları listesi

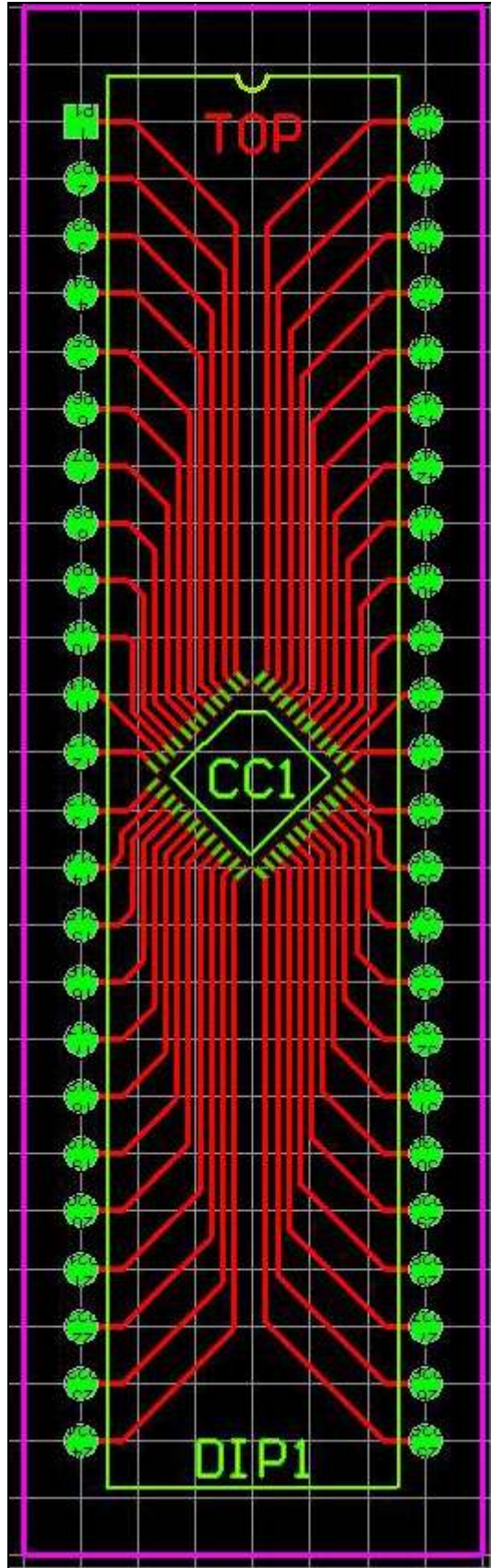
Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity	Value
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C1	CC3225-1210	Cap Semi	1	12pF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C2	CC3225-1210	Cap Semi	1	12pF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C3	CC3225-1210	Cap Semi	1	12pF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C4	CC3225-1210	Cap Semi	1	12pF
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C5	CC3225-1210	Cap Semi	1	100nF
Polarized Capacitor (Surface Mount)	C6	CC2012-0805	Cap Pol3	1	10uF/6.3V
Polarized Capacitor (Surface Mount)	C7	CC2012-0805	Cap Pol3	1	10uF/10V
Capacitor (Semiconductor SIM Model)	C8	CC3225-1210	Cap Semi	1	10nF
Typical RED GaAs LED	D1	LED-1	LED1	1	
	DIP-64	DIP-64	DIP64	1	
Header, 2-Pin	J6	HDR1X2	Header 2	1	
Header, 2-Pin	J7	HDR1X2	Header 2	1	
Header, 5-Pin, Dual row	ML10	HDR2X5	Header 5X2	1	
Header, 7-Pin, Dual row	ML14	HDR2X7	Header 7X2	1	
Header, 16-Pin	P1	HDR1X16	Header 16	1	
Header, 16-Pin	P2	HDR1X16	Header 16	1	
Header, 16-Pin	P3	HDR1X16	Header 16	1	
Header, 16-Pin	P4	HDR1X16	Header 16	1	
Header, 3-Pin	PWR3	HDR1X3	Header 3	1	
Crystal Oscillator	Q1	BCY-W2/D3.1	XTAL	1	
Crystal Oscillator	Q2	BCY-W2/D3.1	XTAL	1	
Resistor	R1	CR3225-1210	Res2	1	0R
Resistor	R2	CR3225-1210	Res2	1	0R
Resistor	R3	CR3225-1210	Res3	1	560R
Resistor	R4	CR3225-1210	Res2	1	-
Resistor	R5	CR3225-1210	Res3	1	47K
Resistor	R6	CR3225-1210	Res2	1	0R

Resistor	R7	CR3225-1210	Res2	1	0R
Resistor	R8	CR3225-1210	Res2	1	0R
Resistor	R9	CR3225-1210	Res2	1	-
Resistor	R10	CR3225-1210	Res2	1	-
Resistor	R11	CR3225-1210	Res2	1	0R
Resistor	R12	CR3225-1210	Res2	1	-
Resistor	R13	CR3225-1210	Res2	1	0R
Resistor	R14	CR3225-1210	Res2	1	0R

Ek 4 QLP-DIP dönüştürücü karta ait şematik, baskılı devre çizimleri



Şekil 8-7 QLP-DIP dönüştürücü karta ait şematik



Şekil 8-8 QLP-DIP dönüştürücü karta ait baskılı devre

Ek 5 Test yazılımları

MSP430 ile CC2420 arasındaki iletişimin test edilmesinde kullanılan yazılım aşağıda verilmiştir.

```
#define CLOCK_HIGH          0x08
#define CLOCK_LOW           0xF7
#define CLOCK_PORT          P1OUT

#define DATA_OUT_HIGH      0x04
#define DATA_OUT_LOW       0xFB
#define DATA_OUT_PORT      P1OUT

#define DATA_IN_HIGH       0x02
#define DATA_IN_LOW        0xFD
#define DATA_IN_PORT       P1IN

#define CC_REGISTER_ACCESS  0x00
#define CC_READ              0x40
#define CC_WRITE             0x00
#define CC_REGISTER_MASK    0x3F
#define CC_CHIP_SELECT      0xEF
#define CC_CHIP_DESELECT    0x10
#define CONTROL_PORT        P1OUT

#define SPI0en               0x40
#define SPI1en               0x10

#include <msp430x14x.h>

typedef unsigned char UCHAR;
typedef unsigned int  UINT;

enum CLOCK_STATE {LOW, HIGH};

void clock (UINT, UINT);
void outBit (UINT);
UINT inBit ();
void chipSelect ();
void chipDeSelect ();
UINT readRegister (UCHAR);
void writeRegister (UCHAR , UINT);

void clock_low ( int );
void clock_high ( int );
void main(void)
{
    UINT i;

    //unsigned int id=0;
    //unsigned int status=0;

    WDTCTL = WDTPW+WDTHOLD;                // Stop watchdog timer
    P1DIR  = 0x1D;                          // Set P1.0 to output direction
    chipDeSelect();                         // deselect CC2420
    clock(0,0);                             // condition clock to low
    clock(0,0);

    i = readRegister(0x1E);
    i = readRegister(0x1F);
    writeRegister(0x14, 0x55AA);
    i = readRegister(0x14);
    writeRegister(0x14, 0xAA55);
    i = readRegister(0x14);
}

void clock (UINT durationLow, UINT durationHigh) {
    static enum CLOCK_STATE clockStatus = LOW;
    //UINT i = 0;

    switch (clockStatus) {
        case LOW:
            // toggle clock to HIGH
```

```

        CLOCK_PORT |= CLOCK_HIGH;
        clockStatus = HIGH;
        //PIOUT |= 0x01;
        //for (i=0; i<1000; i++);
        break;

    case HIGH:
        // toggle clock to LOW
        CLOCK_PORT &= CLOCK_LOW;
        clockStatus = LOW;
        //PIOUT &= 0xFE;
        //for (i=0; i<1000; i++);
        break;
    }
}

void outBit (UINT bit) {

    switch (bit) {
        case 0:
            DATA_OUT_PORT &= DATA_OUT_LOW;
            break;
        case 1:
            DATA_OUT_PORT |= DATA_OUT_HIGH;
            break;
    }
}

UINT inBit () {

    return ((DATA_IN_PORT & DATA_IN_HIGH) == DATA_IN_HIGH);

}

void chipSelect () {

    CONTROL_PORT &= CC_CHIP_SELECT;

}

void chipDeSelect () {

    CONTROL_PORT |= CC_CHIP_DESELECT;

}

UINT readRegister (UCHAR regNo) {
    UCHAR temp;
    UCHAR status;
    UINT  result;

    UINT  i;
    UINT  bit;
    UINT  mask;

    temp  = CC_REGISTER_ACCESS | CC_READ | (regNo & CC_REGISTER_MASK);
    status = 0;

    chipSelect();
    mask = 0x80;
    for (i=0; i<8; i++, mask = mask >> 1) {
        bit = ((temp & mask) == mask);
        outBit(bit);
        clock(0,0);
        status = status << 1;
        status = status | inBit();
        clock(0,0);
    }

    result = 0;
    for (i=0; i<16; i++) {
        clock(0,0);
        result = result << 1;
        result = result | inBit();
        clock(0,0);
    }
}

```

```

    chipDeSelect();

    return (result);
}

void writeRegister (UCHAR regNo, UINT value) {
    UCHAR temp;
    UCHAR status;

    UINT i;
    UINT bit;
    UINT mask;

    temp = CC_REGISTER_ACCESS | CC_WRITE | (regNo & CC_REGISTER_MASK);
    status = 0;

    chipSelect();
    mask = 0x80;
    for (i=0; i<8; i++, mask = mask >> 1) {
        bit = ((temp & mask) == mask);
        outBit(bit);
        clock(0,0);
        status = status << 1;
        status = status | inBit();
        clock(0,0);
    }

    mask = 0x8000;
    for (i=0; i<16; i++, mask = mask >> 1) {
        bit = ((value & mask) == mask);
        outBit(bit);
        clock(0,0);
        clock(0,0);
    }

    chipDeSelect();
}

/*****
/* Prototype - setupClock */
/* */
/* Description */
/* This prototype sets-up the XT2 oscillator and tests */
/* that it has settled before moving on */
*****/
void setupClock (int RES) {

    switch (RES) {
        case 0:
            WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
            // D=2, N=121, no mod
            SCFQCTL = 121;
            // SCFIO = 0100 0100
            SCFIO = 0x44;
            // DCOPLUS=1, XTS_FLL=0
            // XCAPXPF=00
            FLL_CTL0 = 0x80;
            // SMCLK=0, XT2OFF=1, SELMX=00, SELS=0, FLL_DIVX=10
            // FLL_CTL1= 0010 0010
            FLL_CTL1 = 0x22;
            break;
        case 1:
            WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD; // Stop watchdog timer
            FLL_CTL0 &= XT2OFF; // Switch on the XT2 osc.
            FLL_CTL1 |= SELM_XT2+SELS; // Select XT2 osc. for
            // Test the osc. flag bit
            do {
                IFG1 &= ~OFIFG; // Clear the OFIFG bit
            } while (OFIFG&IFG1);
            break;
    }
}
*/

```

```

/*****
/* Prototype - setupPorts
/* Description
/* This prototype sets-up the GPIO ports as appropriate
*****/
void setupPorts (void) {

    // SPI port for ADC
    P3SEL = BIT3 + BIT2 + BIT1;           // Bits 3, 2 & 1 are assigned as SPI specific pins
    //P3DIR = ADC_FS + ADC_CS;             // Set the ADC_CS bit as an output
    //P3OUT = ADC_FS + ADC_CS;             // De-assert ADC_CS for the adc - HIGH

    // SetupInterrupts
    P1IFG |= 0x00;
    P1IES |= 0x40;
    P1IE |= 0x40;
    _EINT();                               // Enable interrupts
}

/*****
/* Prototype - setupSPI
/* Description
/* This prototype sets-up the P3 for communication via SPI
*****/
void setupSPI (void) {

    ME1 |= USPIE0;                         // Module Enable - SPI

    U0CTL &= ~SWRST;                       // Make sure the RESET bit is off
    U0CTL |= CHAR + SYNC + MM;             // USART0 module operation
                                           // CHAR = 1 => 8-bit data
                                           // SYNC = 1 => SPI selected
                                           // MM = 1 => master mode,
                                           //      MSP is the master

    U0TCTL |= SSEL0 + SSEL1 + STC;         // USART0 Transmit control register
                                           // SSEL0 = 1 & SSEL1 = 1
                                           // => SMCLK is used for baud-rate generation
                                           // STC = 1 => 3-pin SPI mode selected

    U0BR0 = 0x02;                          // Divide SMCLK by 4 => transfer clock
    U0BR1 = 0x00;                          //
    U0MCTL = 0x00;                         // Modulation control - not used. Ensure
                                           // all these bits are reset

    ME2 |= USPIE1;                         // Module Enable - SPI

    U1CTL &= ~SWRST;                       // Make sure the RESET bit is off
    U1CTL |= CHAR + SYNC + MM;             // USART1 module operation
                                           // CHAR = 1 => 8-bit data
                                           // SYNC = 1 => SPI selected
                                           // MM = 1 => master mode,
                                           //      MSP is the master

    U1TCTL |= CKPL + SSEL0 + SSEL1 + STC;   // USART1 Transmit control register
                                           // SSEL0 = 1 & SSEL1 = 1
                                           // => SMCLK is used for baud-rate generation
                                           // STC = 1 => 3-pin SPI mode selected

    U1BR0 = 0x02;                          // Divide SMCLK by 4 => transfer clock
    U1BR1 = 0x00;                          //
    U1MCTL = 0x00;                         // Modulation control - not used. Ensure
                                           // all these bits are reset
}

/*****
/* Prototype - complete
/* Description
/* This prototype checks the URXIFG0-bit. If the receiver
/* is still receiving data the program waits until all bits
/* are received and the URXIFG0 bit is asserted
*****/
void rxComplete(void) {

    do {
        IFG1 &= ~ URXIFG0;
    } while (URXIFG0 & IFG1);
}

```

```

}

/*****
/* Prototype - complete
/* Description
/* This prototype checks the URXIFG0-bit. If the receiver
/* is still receiving data the program waits until all bits
/* are received and the URXIFG0 bit is asserted
*****/
void txComplete(void) {

    do {
        IFG1 &=~ UTXIFG1;
    } while (UTXIFG1 & IFG1);
}

/*
void main(void)
{
    // int test;
    setupClock(Resonator);
    init_sys();
    InitializeLCD();
    clearDisplay();
    displaySpecial(SoftBaugh|AL|AR|AU|AD);

    do {
        for(i=0; i<Samples; i++)
        {
            adc_convert(i);
            //sortMajor(adc_data[i]);

            displaySpecial(SoftBaugh|AR);
            displayTest(DispType);
        }
        clearDisplay();
    }

    while (1);

}
*/

/*****
/* Prototype - convert
/* Description
/* This prototype does the adc conversion
*****/
void adc_convert (int cnt)
{
    P3OUT &= ~(ADC_CS);
    P3OUT &= ~(ADC_FS);

    U0TXBUF = 0x00;
    RX_complete();
    byte0 = U0RXBUF;
    U0TXBUF = 0x00;

    RX_complete();
    byte1 = U0RXBUF;

    U0TXBUF = 0x00;

    RX_complete();
    byte2 = U0RXBUF;
    P3OUT |= (ADC_FS);

    U0TXBUF = 0x00;

    RX_complete();

```

```

P3OUT |= (ADC_CS); // De-assert ADC_CS HIGH

#if ADS7826 //10-Bit, 4th rising, CKPL = 0
{
    byte0 = byte0 << 11; // Left-shift the hi-byte 8-bits, to prepare
    byte1 = byte1 << 3;
    adc_data[cnt] = (0x03FF & (byte0 | byte1)>>6);
}
#endif

#if ADS7827 // 8-Bit, 4th rising, CKPL = 0
{
    byte0 = byte0 << 11; // Left-shift the hi-byte 8-bits, to prepare
    byte1 = byte1 >> 3;
    adc_data[cnt] = (0x00FF & (byte0 | byte1)>>8);
}
#endif

#if ADS7816_17_22_29 //12-Bit, 4th rising, CKPL = 0
{
    byte0 = byte0 << 11; // Left-shift the hi-byte 8-bits, to prepare
    byte1 = byte1 << 3;
    adc_data[cnt] = (0x0FFF & (byte0 | byte1)>>4);
}
#endif

#if ADS7818_34_35 //12-Bit, 2nd rising, CKPL = 1
{
    byte0 = byte0 << 9; // Left-shift the hi-byte 8-bits, to prepare
    byte1 = byte1 << 1;
    adc_data[cnt] = (byte0 | byte1)>>4;
}
#endif

#if ADS8320_21_25 //16-Bit, 7th rising, CKPL = 0
{
    byte0 = byte0 << 14; // Left-shift the hi-byte 8-bits, to prepare
    byte1 = byte1 << 6;
    byte2 = byte2 >> 2;
    adc_data[cnt] = (byte0 | byte1 | byte2);
}
#endif

#if ADS8324 //14-Bit, 7th rising, CKPL = 0
{
    byte0 = byte0 << 14; // Left-shift the hi-byte 8-bits, to prepare
    byte1 = byte1 << 6;
    byte2 = byte2 << 2;
    adc_data[cnt] = (byte0 | byte1 | byte2)>> 2;
}
#endif

void displayTest(int type)
{
    #if ADS7826
        displayMinor(5,UL_SEVEN);
        displayMinor(4,UL_EIGHT);
        displayMinor(3,UR_TWO);
        displayMinor(2,UR_SIX);
        sortMajor(adc_data[i]);
    #endif
    #if ADS7827
        displayMinor(5,UL_SEVEN);
        displayMinor(4,UL_EIGHT);
        displayMinor(3,UR_TWO);
        displayMinor(2,UR_SEVEN);
        sortMajor(adc_data[i]);
    #endif
    #if ADS7816_17_22_29
        displayMinor(5,UL_SEVEN);
        displayMinor(4,UL_EIGHT);
        displayMinor(3,UR_ONE);
        displayMinor(2,UR_SIX);
        sortMajor(adc_data[i]);
    #endif
}

```

```

#endif

#if ADS7818_34_35
    displayMinor(5,UL_SEVEN);
    displayMinor(4,UL_EIGHT);
    displayMinor(3,UR_ONE);
    displayMinor(2,UR_EIGHT);
    sortMajor(adc_data[i]);
#endif

#if ADS8320_21_25
    displayMinor(5,UL_EIGHT);
    displayMinor(4,UL_THREE);
    displayMinor(3,UR_TWO);
    displayMinor(2,UR_ZERO);
    sortMajor(adc_data[i]);
#endif

#if ADS8324
    displayMinor(5,UL_EIGHT);
    displayMinor(4,UL_THREE);
    displayMinor(3,UR_TWO);
    displayMinor(2,UR_FOUR);
    sortMajor(adc_data[i]);
#endif
}
*/

/*
#pragma vector=PORT1_VECTOR
__interrupt void CH_switch (void)
// interrupt[PORT1_VECTOR] void CH_switch (void)
{
    PLIFG &= ~BIT6;
    DispType = DispType + 1;
    delay(5);
    if (DispType >= 4) DispType = 0;
}
*/

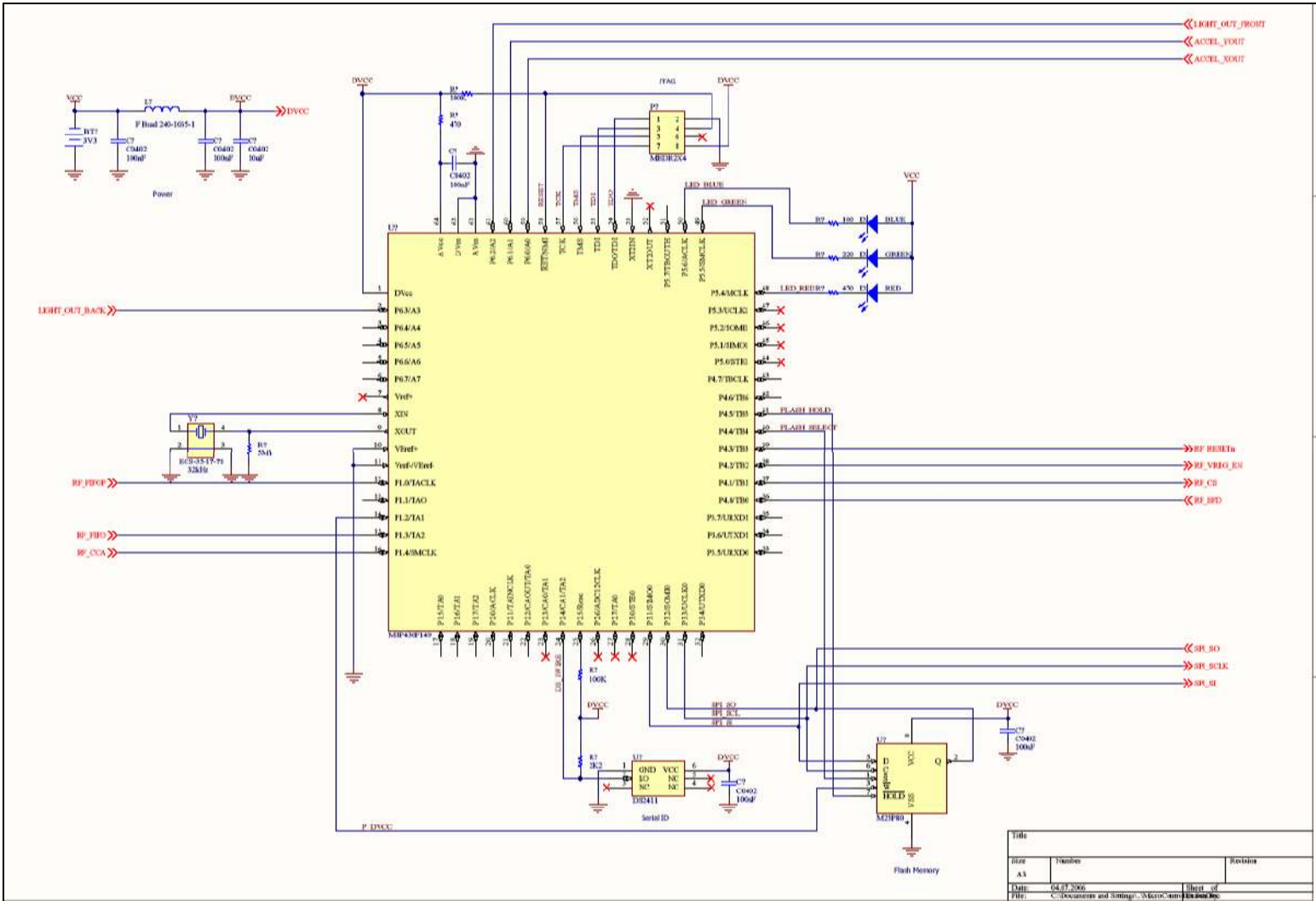
```

Ek 6 Geliştirilen telsiz algılayıcı düğümün şematik ve baskılı devre çizimleri ile kullanılan devre elemanlarının listesi

Çizelge 8-3 Telsiz algılayıcı düğümde kullanılan devre elemanları listesi

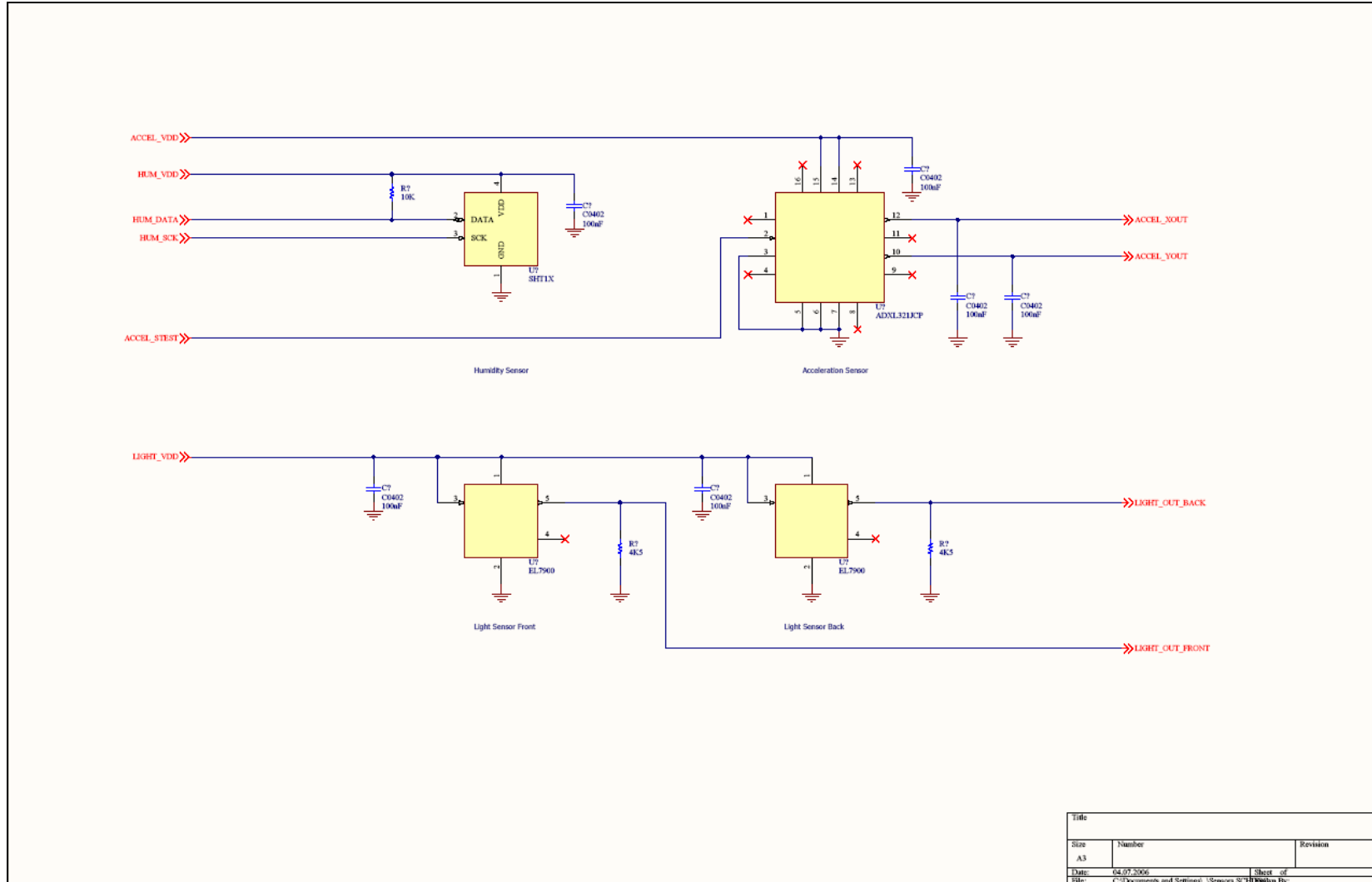
Description	Footprint	LibRef	Quantity	Value
Multicell Battery	BAT-2	Battery	1	3V3
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	68pF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	22pF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	5p6
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	0p5
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	0p5
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	5p6
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	10uF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	10uF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	10uF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	10nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	68pF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	68pF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	68pF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	100nF
Ceramic Chip Capacitor - Standard	402	C0402	1	22pF
SMT Top Mount Chip LED, Red	2.0X1.25X0.8	HSMC-S670	1	RED
SMT Top Mount Chip LED, Green	2.0X1.25X0.8	HSMQ-C170	1	GREEN
SMT Top Mount Chip LED, Blue	2.0X1.25X0.8	HSMR-C170	1	BLUE
RF Coaxial PCB Connector,	MCX5.08-H5	COAX-F	1	
Inductor	0402-A	Inductor	1	F Bead 240-1035-1
Inductor	0402-A	Inductor	1	F Bead 240-1035-1
Inductor	0402-A	Inductor	1	7n5
Inductor	0402-A	Inductor	1	5n6
Inductor	0402-A	Inductor	1	7n5

Header, 4-Pin, Dual row	MHDR2X4	MHDR2X4	1	
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	4K5
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	10K
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	10K
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	1M
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	1M
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	5M1
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	10K
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	0
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	43K
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	470
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	100K
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	2K2
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	100K
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	4K5
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	470
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	220
Thick Film Chip Resistor	2-0402	ERJ2GE	1	100
Small and Thin +/-18g Accelerometer		ADXL321JCP	1	ADXL321JCP
CC2420 RF Transceiver		CC2420	1	CC2420
Silicon Serial Number with Vcc Input		DS2411	1	DS2411
Ambient Light Photo Detect IC		EL7900	1	EL7900
Ambient Light Photo Detect IC		EL7900	1	EL7900
8 Mbit, low voltage; Serial Flash memory		M25P80	1	M25P80
MSP430F149 Mixed Signal Processor	F-QFP10x10-G64/N	MSP430F149	1	MSP430F149
Humidity and Temperature Sensor		SHT1X	1	SHT1X
Crystal Oscillator	ECX-3S	ECS-240-16-7S	1	
Crystal Oscillator	ECX-3S	ECS-35-17-7S	1	32kHz



Şekil 8-9 Telsiz algılayıcı düğüm mikrodenetleyici birimi

Şekil 8-10 Telsiz algılayıcı düğüm iletişim birimi



Şekil 8-11 Telsiz algılayıcı düğüm algılayıcı birimler

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 17.02.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1994-1998 Kabataş Erkek Lisesi

Lisans 1998-2002 Yıldız Üniversitesi Elektrik Elektronik Fak.
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Müh. Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2003-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi