

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞI VE KNX ENTEGRASYONU İLE
EV OTOMASYONU**

Ahmet Burak GÖKBAYRAK

KOCAELİ 2015

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

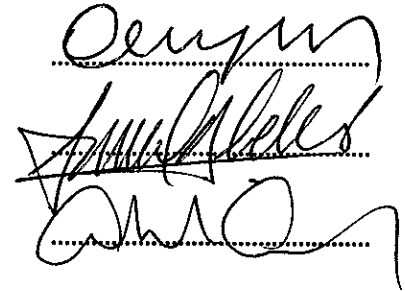
**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞI VE KNX ENTEGRASYONU İLE
EV OTOMASYONU**

AHMET BURAK GÖKBAYRAK

**Doç.Dr. Oğuzhan URHAN
Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Yrd.Doç.Dr. Anıl ÇELEBİ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Doç.Dr. Celal ÇEKEN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.**



Tezin Savunulduğu Tarih: 02.02.2015

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, KNX tabanlı ev otomasyon sisteminin kablosuz algılayıcı ağı temelli bir yaklaşım ile etkinliğinin artırılmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların bu alanda çalışacak araştırmacılara yararlı olmasını dilerim.

Bu konuda çalışma yapmama olanak sağlayan, çalışmam boyunca bana yol gösteren ve bugüne kadar kendisinden çok şey öğrendiğim değerli hocam Doç. Dr. Oğuzhan Urhan'a, hayatım boyunca hem maddi hem de manevi olarak benden desteklerini esirgemeyen ve benim bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan annem, babam ve kardeşim başta olmak üzere tüm aileme, bana destek olan tüm dostlarıma ve anlayışı ve desteğiyle hep yanımda olan Hilal'e teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışma kapsamında sağladıkları altyapı ile bu tezin ortaya çıkmasını sağlayan Viko by Panasonic firmasına teşekkür ederim.

Bu çalışma Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı tarafından 1480.STZ.2012-2'nolu Sanayi Tezleri (SAN-TEZ) projesi kapsamında desteklenmiştir.

Ocak - 2015

Ahmet Burak GÖKBAYRAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ.....	1
1. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI.....	4
1.1. Giriş	4
1.2. Mimari	12
1.3. Protokoller.....	15
2. KNX TEKNOLOJİSİ	20
2.1. Giriş	20
2.2. KNX Konfigürasyon Modları	22
2.3. KNX Ortamları.....	23
2.3.1. KNX.TP	24
2.3.2. KNX.PL	25
2.3.3. KNX.RF.....	26
2.3.4. KNX.IP	27
2.4. KNX Temel Çalışma Metodu	27
3. HİBRİT EV OTOMASYONU	30
3.1. Giriş	30
3.2. KAA'ların Gömülü Gerçekleşmesi.....	32
3.3. Kullanılan Protokol	38
3.4. Geliştirilen Sistem	40
3.4.1. Kablosuz ev otomasyon ağı	43
3.4.1.1. Uygulama donanımı.....	43
3.4.1.2. Uygulama yazılımı.....	45
3.4.1.3. Deneysel sonuçlar	55
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR.....	58
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Örnek bir KAA	4
Şekil 1.2. Smart Dust projesi kapsamında geliştirilen bir algılayıcı.....	6
Şekil 1.3. Volkanda Kullanılan Algılayıcı Düğüm.....	7
Şekil 1.4. CodeBlue projesi kapsamında geliştirilen EKG ve EMG algılayıcıları.....	8
Şekil 1.5. KAA ile su sayaç kontrol sistemi.....	9
Şekil 1.6. KAA ile kauçuk conta ölçüm programı arayüzü	10
Şekil 1.7. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Kullanılan Topolojiler	11
Şekil 1.8. Algılayıcı ağlar için iletişim kuralları kümesi	12
Şekil 2.1. Örnek bir KNX ortamı	20
Şekil 2.2. KNX ortamları	23
Şekil 2.3. Fiziksel adres gösterimi.....	28
Şekil 2.4. İki ve üç düzeyli grup adres gösterimi	28
Şekil 3.1. JN5148-001-M00	33
Şekil 3.2. JN5148-001-M03	33
Şekil 3.3. JN5148-001-M04	34
Şekil 3.4. JN5148 modüllerinin iç yapısı	35
Şekil 3.5. JenNet ağ protokol yığını	39
Şekil 3.6. Geliştirilen sistem diyagramı	40
Şekil 3.7. AÜ blok diyagramı.....	42
Şekil 3.8. Sistemde kullanılan KNX ağı	42
Şekil 3.9. Sistemde kullanılan koordinatör	43
Şekil 3.10. Pili model uç birimler.....	44
Şekil 3.11. Röleli model uç birimler.....	44
Şekil 3.12. Koordinatör yazılımı akış diyagramı.....	46
Şekil 3.13. Pili uç birim akış diyagramı.....	48
Şekil 3.14. Röleli uç birim akış diyagramı.....	49
Şekil 3.15. Detaylı JenNet yazılım mimarisi.....	50
Şekil 3.16. Uygulama fonksiyonları	52
Şekil 3.17 Haberleşmede kullanılan veri	55

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. KAA protokollerinin karşılaştırılması.....	15
Tablo 2.1. Farklı KNX kullanım ortamlarının karşılaştırılması	24
Tablo 3.1. JN5148 ile Kullanılabilen Protokoller.....	38

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

- AES : Advanced Encryption Standard (Gelişmiş Şifreleme Standardı)
ANSI : American National Standard Institute (Amerikan Ulusal Standard Enstitüsü)
API : Application Programming Interface (Uygulama Programı Arayüzü)
AÜ : Anahtarlama Ünitesi
BCI : BatiBUS Club International (Uluslararası BatiBUS Kulübü)
CSMA: Carrier Sense Multiple Access (Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim)
DTMF: Dual Tone Multi Frequency (Çift Tonlu Çoklu Frekans Kodlama)
EHSA : European Home Systems Association (Avrupa Ev Sistemleri Derneği)
EIBA : European Installation Bus Association (Avrupa Kurulum Yolu Derneği)
EKG : Electrocardiography (Elektrokardiyografi)
EMG : Electromyography (Elektromiyografi)
ETS : Engineering Tool Software (Mühendislik Araç Yazılımı)
IEC : International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IEEE : The Institute of Electrical and Electronics Engineering (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
KAA : Kablosuz Algılayıcı Ağları
MAC : Media Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)
OSI : Open Systems Interconnection (Açık Sistem Bağlantısı)
SoC : System On Chip (Entegre Üzerinde Sistem)

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞI VE KNX ENTEGRASYONU İLE EV OTOMASYONU

ÖZET

Kablosuz algılayıcı ağları hayatın çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Bu ağlar kablolanmanın mümkün olmadığı yada kötü görüntüye sebep olduğu durumlarda oldukça etkin sonuçlar sunarlar.

Son dönemlerde ev/bina otomasyonu uygulamaları sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Tüm sistemin tek bir yerden izlenmesi ve kontrol edilebilmesi fikrinin cazipliği ev/bina otomasyonlarına olan talebi artırmıştır. Bu alanda KNX oldukça öneme sahiptir ve uluslararası kabul edilirliliği olan önemli bir standarttır. KNX tabalı ev/bina otomasyon sistemleri ile bir odada bulunan aydınlatmanın açılıp kapanması, odanın sıcaklık seviyesinin ayarlanması yada jalousiler kontrol edilebilir.

Bu tez çalışması kapsamında ev/bina otomasyonu uygulamaları için kablosuz algılayıcı ağlarının KNX standardı ile entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Kablosuz algılayıcı ağ tasarımıında NXP firmasının düşük güç tüketimine sahip Jennic isimli modülleri kullanılmıştır. Geliştirilen sistemle yapılan testler neticesinde kablosuz algılayıcı ağının pille çalışan düğümünün beş yıl çalışabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ev/Bina Otomasyonu, Kablosuz Algılayıcı Ağı, KNX.

HOME AUTOMATION WITH WIRELESS SENSOR NETWORKS AND KNX ENTEGRATION

ABSTRACT

Wireless sensor networks have been utilized in many different area of the life. These networks provide efficient solutions when it is not possible to install cables or this installation results in bad appearance.

Home/building automation systems become widespread nowadays. The idea of observing and controlling whole system by making use of a control station has increased the demand for home/building automation. KNX is very important and commonly utilized international standard in this area. It is possible to develop KNX based home/building automation systems which include On-Off, heating and curtain controls.

The integration of KNX system with wireless sensor networks is investigated within the scope of this thesis for home/building automation purpose. NXP's low-power Jennic modules are employed for the implementation of wireless sensor network integration. The experiments carried out reveal that the developed system is able to work with KNX network in a seamless manner and provides more than 5 years continuous operation when powered by batteries.

Key Words: Home/Building Automation, Wireless Sensor Networks, KNX.

GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile beraber kablosuz algılayıcı ağları hayatın her alanına girmeye başlamıştır. Kabloluların sebep olduğu karmaşık ve kullanım zorluğu kablosuz sistemlere olan ilginin artmasını sağlamıştır. Kablosuz algılayıcı ağları günümüzde çok farklı alanlarda kullanılabilir. Askeri alanda keşif, haberleşme ve askeri kumanda gibi alanlarda kullanılabilir. Özellikle savaş alanlarından verinin toplanıp bir merkezi sisteme aktarılması gereken durumlarda kullanılması büyük fayda sağlamaktadır. Bitki ve hayvanların izlenmesi ve davranışlarının takip edilmesi noktasında da kablosuz algılayıcı ağlarının kullanıldığı uygulamalar bulunmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağları sağlık alanında da kendine yer bulabilmektedir. Biyomedikal cihazlarda ve hasta izleme uygulamalarında kablosuz algılayıcı ağlarından faydalanılmakta ve hastaların hayatlarını kolaylaştırmaktadır. Endüstriyel alanda özellikle ölçüm noktasında personel hatalarının azaltılması ve personel sayısının düşürülmesi noktasında kablosuz algılayıcı ağları kullanılabilir.

Kablolanın hem görsel hem de kullanım olarak en büyük zorluklara sebep olacağı alanlardan biri olan ev otomasyonu uygulamaları olduğundan kablosuz algılayıcı ağlarının ev otomasyon sistemlerinde aktif olarak kullanılabilirliği bir gerçektir. Aydınlatma ve iklimlendirme gibi ev / bina içerisinde çok kullanılan uygulamaların kablolanmaya ihtiyaç duyulmadan kullanılabilirliği yaşamı kolaylaştıracak önemli gelişmelerden biridir.

KNX sistemi, dünyada teknoloji üretimi yapan birçok firmanın cihaz ürettiği, herkesin erişimine açık bir ev-bina otomasyon sistemi protokolüdür. KNX, akıllı bina teknolojilerinde oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır. Aydınlatma (On-Off), iklimlendirme (ısıtma-soğutma), panjur, perde, jaluzi vb. kontrolü ve enerji ölçümü gibi çeşitli işlevleri yerine getiren cihazlar bir iletişim hattı üzerinden haberleşerek bilgisayar türevi bir merkezi kontrol ünitesine ihtiyaç duymadan görevlerini yerine

getirirler. Böylece oldukça kapsamlı bir otomasyon sisteminin gerçekleştirilmesi mümkün olur.

Ev otomasyonu konusunda dünya çapında standartlaşma eğilimi bulunmaktadır. Bu eğilim neticesinde 1999 yılında Brüksel’de EIBA (European Installation Bus Association), EHSA (European Home Systems Association) ve BCI (BatiBUS Club International) gibi ev otomasyonu konusunda çalışmalar yapan kuruluşlar bir araya gelmişlerdir. Bu üç kuruluşun yaptığı çalışmalar neticesinde ev / bina otomasyonu konusunda dünya çapında standartlaşmayı sağlayacak KNX Birliği’ni kurmuşlardır. 2006 yılında ise KNX, ev otomasyonu için uluslararası bir standart(ISO/IEC 14543-3) olarak kabul edilmiştir. Ayrıca Avrupa (CENELEC EN50090, CEB EN 13321-1 ve 13321-2), Çin (GB / T 20965) ve Amerika (ANSI / ASHRAE 135) standardı olarak onaylanmıştır.

Ev otomasyon uygulamalarında dünya çapında oldukça yoğun kullanılan KNX, radyo frekans ortamında da kendi altyapısını kullanarak çalışmaktadır. Fakat ayrıntıları ileriki bölümlerde verilen problemlerden dolayı KNX’in RF kullanımının dezavantajları bulunmaktadır. Dolayısıyla KNX sistemi ile kablolamanın getirdiği dezavantajları ortadan kaldıran kablosuz algılayıcı ağlarının birlikte kullanılması ev otomasyonu uygulamaları açısından oldukça faydalı olacağı açıktır.

Yukarıda verilen bilgilerden hareketle bu tez çalışması kapsamında geliştirilen bir kablosuz algılayıcı ağının bir KNX sistemine entegrasyonu sağlanmış ve kablosuz algılayıcı ağındaki her bir uç birimin KNX sistemi ile uygun bir şekilde çalışması gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde kablosuz algılayıcı ağları ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Kablosuz algılayıcı ağlarının genel özelliklerinden bahsedilmiş, uygulama alanları incelenmiş ve bu alanlarla alakalı örneklere yer verilmiştir. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılacak ağ topolojileri açıklanmıştır. Kablosuz algılayıcı ağlarının mimari yapısı OSI katmanı çerçevesinde ayrıntılarıyla ele alınmıştır. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağı tasarlanırken kullanılacak Bluetooth, Wi-Fi, UWB, ZigBee ve Jennet gibi protokoller incelenmiş, bu protokollerin

kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılması durumunda ağın kapsama alanı, güç tüketimi, veri oranı gibi çeşitli özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelemesi yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, KNX sistemi ayrıntılı olarak incelenmiştir. İlk olarak KNX hakkında genel bilgi verilmiştir. Farklı KNX cihazlarının kullanabileceği konfigürasyon modları üzerinde durulmuştur. Ardından bükümlü kablo, güç hattı, kablosuz ve İnternet ortamlarında KNX kullanımının nasıl gerçekleştirileceği ayrıntılı olarak incelenmiştir. Daha sonra ise KNX'in temel çalışma metodu açıklanmıştır.

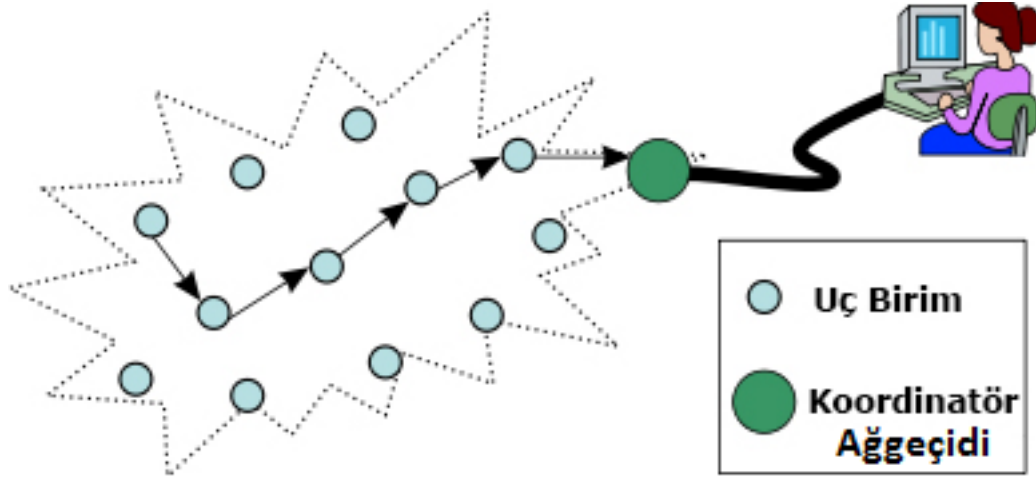
Çalışmanın üçüncü kısmında, tasarlanan sistem ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Kablosuz algılayıcı ağının koordinatör ve uç birimlerinde kullanılan NXP firmasının Jennic JN5148 isimli SoC'sinin özelliklerden bahsedilmiş, KNX ile IEEE 802.15.4 tabanlı kablosuz algılayıcı ağı arasında kullanılan ağgeçidi (gateway) hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde ise, geliştirilen sistem hakkında genel değerlendirme yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

1. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI

1.1. Giriş

Kablosuz algılayıcı ağları (KAA), son zamanlarda oldukça gündemdedir ve üzerinde çok sayıda çalışma yapılmaktadır. KAA'lar bilgi toplama, bilgi işleme ile sivil ve askeri uygulamalar için çeşitli ortamların izlenmesini ve gözlenmesini sağlarlar. KAA'lar genellikle kablosuz ortamda haberleşen, sınırlı işlem gücüne ve düşük güç tüketimine sahip, düşük maliyetli ve çok çeşitli fonksiyonları yerine getiren düğümlerden oluşur. KAA'lar kablolu ağlara alternatif olmalarının yanı sıra kablolu ağların gerçekleştiremeyeceği uygulamaların gerçekleşmesini de sağlarlar. Şekil 1.1.'de örnek bir KAA görülmektedir.



Şekil 1.1. Örnek bir KAA [1]

Kablosuz algılayıcı ağı kavramı ilk olarak 1980'li yılların başlarında ortaya çıkmıştır. Mikro-elektromekanik sistemlerdeki gelişmeler ile birlikte ise 1990'lı yıllarda oldukça önemli bir konu haline almıştır. Son zamanlarda KAA'lar sahip oldukları özellikler sayesinde kablosuz algılayıcı ve eyleyici ağları olarak da anılmaktadır.

KAA'lar ilk olarak askeri alanlarda kullanılmış daha sonra ise maliyetlerin düşmesi ile birlikte diğer alanlarda da kullanılmaya başlamıştır [2]. Bir KAA'da temel olarak ağın yönetimini gerçekleştiren bir koordinatör, çeşitli bilgileri toplayan uç birimler ve büyük ağlarda verinin bir düğümden başka bir düğüme aktarılmasını sağlayan yönlendiriciler bulunmaktadır.

Ağın koordinatörü ağda bulunan verilerin kablolu ya da kablosuz başka bir yere aktarılması gerektiğinde ağgeçidi işlevi de görebilmektedir. Bir KAA'da yüzlerce uç birim bulunabilmektedir.

Uç birimlerden uygulamanın kullanıldığı yere göre sıcaklık, nem, ışık, basınç, hareket, gürültü seviyesi, herhangi bir nesnenin ağırlık, boyut, hız, yön, konum, gibi çok çeşitli nicelikleri algılamak için kullanılabilir [3].

KAA kavramında algılama, işleme ve iletişim ünitesi yetenekleri ne kadar yüksek ise o kadar çeşitli ve etkin uygulamalar gerçekleştirmek mümkün olur.

Kablosuz algılayıcı ağların güvenilirlik, kendini organize etme, esneklik ve kurulum kolaylıkları sebebiyle mevcut ve olası uygulamaları geniş bir çeşitlilik kazanmaktadır. Aynı zamanda neredeyse tüm çevre ortamlarında uygulanabilmeleri, özellikle mevcut kablolu ağların çalışmasının verimli olmadığı ya da kullanılmadığı durumlarda kullanılabilirler [4].

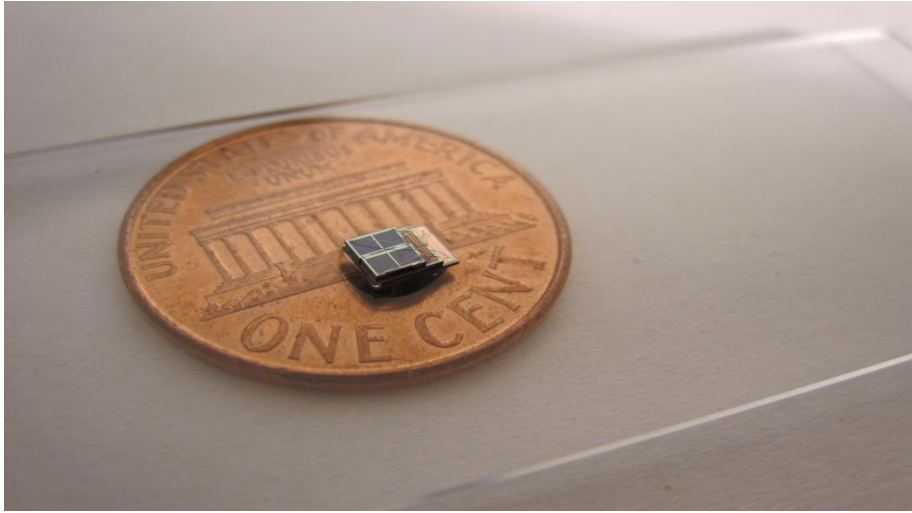
KAA'lar [5]'te belirtildiği gibi deprem, sel ve terörist saldırıları gibi olaylarda kullanılacak ölçüde güvenilirlik ve doğruluğa sahiptir. Dolayısıyla güvenliğin kritik olduğu birçok uygulamada kullanılmaları mümkündür.

Herhangi bir kablosuz algılayıcı ağına yeni bir cihaz katılması veya ağdan bir cihazın ayrılması ek bir yük gerektirmeden kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Böylelikle kullanıcıya esneklik ve kolay kurulum özellikleri sunar.

KAA'ların çok değişik kullanım alanları bulunmakla birlikte temelde bu alanları askeri uygulamalar, çevresel bilgilerin izlenmesi, sağlık, ev uygulamaları ve endüstriyel uygulamalar olmak üzere beş ana başlık altında toplamak mümkündür [5].

Askeri alanda KAA, keşif, haberleşme, askeri kumanda gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda KAA düğümlerinin düşük maliyetli olması ve düşman saldırısı sırasında zarar görse bile bunun askeri operasyonu etkilemeyecek olması özelliklerinden faydalanılmaktadır. KAA'nın askeri alanda ilk uygulamalarından Smart Dust uygulamasıdır. Proje, finansmanı DARPA tarafından karşılanmıştır ve amacı savaş sırasında düşman hattında kullanılacak KAA yapısı

için teknoloji sağlamaktır. Bu projede yola çıkış noktası KAA'ların kendi kendini organize edebilmeleri ile herhangi bir şekilde düşman sahasına bırakılabildiği takdirde buradan alınacak kritik verilerin değerlendirebilmek için ilgili merkeze eriştirebilecekleri düşüncesidir. Bu proje kapsamında 1 milimetre küplük algılayıcı platformu geliştirilmesi sağlanmış ve geliştirilen bu cihazlar savaş alanlarında kullanılmıştır. Bu algılayıcılar savaş alanının izlenmesi, hareket izleme, scud füzesi avlama gibi amaçlarla kullanılmıştır. Askeri alanda yapılan çalışmaların getirdiği bilgi birikim ile daha sonrasında bu teknoloji ticari alanda da kullanılmıştır. Bunların en önemli örneklerinden biri de her algılayıcı düğümün hastaların parmağına takılması ile onların hareketinin ve ivmelerinin izlenmesinin sağlanmasıdır [5].



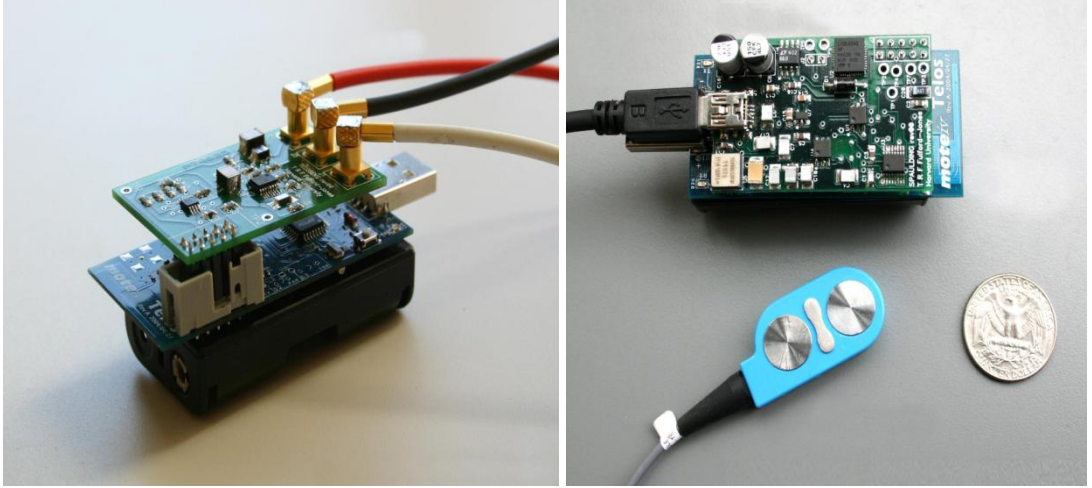
Şekil 1.2. Smart Dust projesi kapsamında geliştirilen bir algılayıcı [6]

Çevresel alanların izlenmesi noktasında KAA genelde bitki ve hayvanların izlenmesi şeklindedir. [7]'de fırtına kuşu gibi bir deniz kuşunun yuva seçimi ve iklimsel faktörlerin yaşama alanı üzerindeki seçime etkileri gibi etkilerin KAA ile takip edildiği Büyük Ördek Adası projesinden bahsedilmektedir. [8]'de ise Ekvator'da bulunan Volcan Tungurahua volkanına yerleştirilen sismik ve akustik algılayıcılar sayesinde yanardağ hareketlerinin KAA yaklaşımı ile izlendiğinden bahsedilmektedir. Volkana yerleştirilen algılayıcılar üzerinde bulunan düşük frekans hassasiyetli mikrofonlar vasıtasıyla volkanda yaşanan patlamalar ile alakalı bilgileri kontrol noktasına iletmiştir. Şekil 1.3'te volkanda kullanılan algılayıcıya yer verilmiştir.



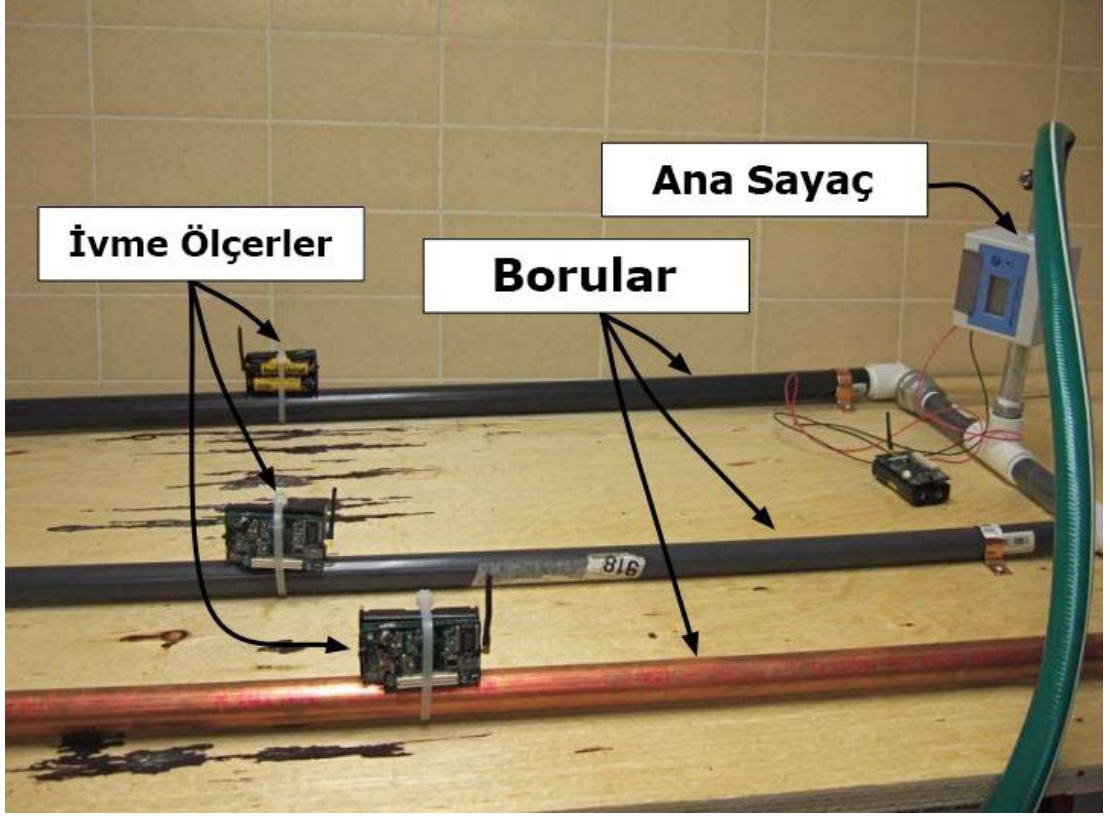
Şekil 1.3. Volkanda Kullanılan Algılayıcı Düğüm [5]

Sağlık uygulamalarında KAA özellikle biyomedikal cihazlarda kullanılmaktadır. KAA'ların sağlık alanındaki kullanımlarına önemli bir örnek olarak [9]'de verilen ve Amerika Enerji Bakanlığı tarafından desteklenen görme engelliler için yapay retina projesidir. Bu proje kapsamında yaşa bağlı macular bozulma ve retinis pigmentosa adı verilen retina hastalıklarına sahip görme engelli insanlar için yapay bir retinanın retinanın göze yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. [8] ve [10]'da geliştirilen CodeBlue projesi kapsamında EKG, EMG algılayıcıları gibi algılayıcılar hastanın üzerine yerleştirilerek hastanın hayati önem arz eden değişimlerinin izlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca yine bu proje kapsamında geliştirilen bilgisayar yazılımı ile gelen verilerin etkin bir şekilde görüntülenmesi ve kontrol edilmesi sağlanmıştır. Şekil 1.4'te CodeBlue projesi kapsamında geliştirilmiş EMG ve EKG algılayıcılarına yer verilmiştir.



Şekil 1.4. CodeBlue projesi kapsamında geliştirilen EKG ve EMG algılayıcıları [10]

Ev uygulamalarında KAA, gündelik hayatı kolaylaştırdığından günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. [11]'de evdeki su kullanımlarında kaçakların belirlenmesi KAA tabanlı bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Su şirketleri su kullanımının hangi birimlerde eksik ya da az olduğu bilgisi vermeden tüm evin genel su tüketim miktarını vermektedir. Fakat gelişen teknoloji ile beraber insanlar su tüketiminin nerelerde olduğunu öğrenmek istemektedirler. Geliştirilen KAA yaklaşımı ile sistemde bir evin içerisinde bulunan borulardan hangisinden ne kadar su çekildiği tespit edilebilmektedir. Bu projede borudan akan su miktarının boruda oluşacak titreşimle doğru orantılı olacağı varsayımına göre yapılmaktadır. Bu sebeple sistemde bulunan her bir düğümde ivmeölçer bulunmaktadır. Kalibrasyonu yapılan düğümler evde bulunan ana sayaç ile haberleştirilerek hangi borudan ne kadar aktığı bilgisi tespit edilebilmektedir. Şekil 1.5'de uygulanan sistem gösterilmektedir.



Şekil 1.5. KAA ile su sayaç kontrol sistemi [5]

KAA endüstriyel olarak çok çeşitli alanlarda kullanılabilir. [12]'de endüstride elle yapılan birçok ölçümde KAA'ların kullanılabilirliğinden bahsedilmektedir. Böylelikle personel ihtiyacının azalacağı ve insan faktöründen kaynaklı hataların minimuma indirileceği ifade edilmektedir.

[13]'te KAA'ların endüstride kullanılmasına güzel bir örnek verilmiştir. Bu çalışmada otomotiv sektöründe araçlara takılan kauçuk contaların yerleştirilmesi için boşlukların ölçülmesi hedeflenmektedir. Verilen bilgilere göre 10'un üzerindeki contanın birbirlerine göre konumları da önem arz ettiğinden gerekli boşluk ölçümlerinin KAA yaklaşımı ile yapılmasının ve bilgilerin bir bilgisayar ortamında tutulmasının faydalı olacağı öngörülmüştür. Ayrıca KAA yaklaşımı ile bu ölçümler daha pratik olarak yapılmaktadır. Şekil 1.6'da bu sisteme ait bilgisayar programının arayüzü verilmiştir.

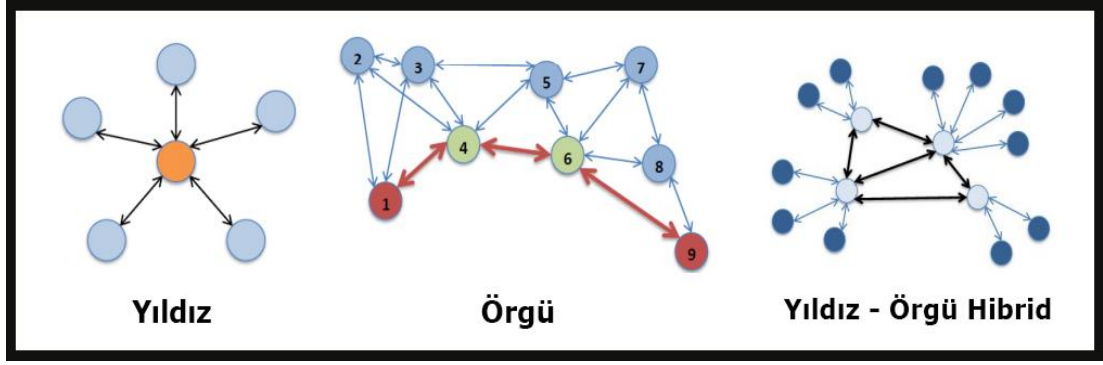


Şekil 1.6. KAA ile kauçuk conta ölçüm programı arayüzü [5]

Verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere KAA yaklaşımı hayatın birçok alanında kullanılabilir. Hem hayatı kolaylaştırması hem de daha doğru ve hassas sonuçlar elde edilmesi KAA'ların bundan sonra da hayatımızın farklı alanlarında karşımıza çıkacağı öngörüsünü güçlendirmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağı tasarlanırken çeşitli ağ yapıları mevcuttur. Kablosuz algılayıcı ağlarının yapısı diğer uygulamalardan farklı olduğundan genellikle yıldız, örgü ve yıldız-örgü hibrid olmak üzere topoloji kullanılmaktadır [14].

KAA oluşturulurken seçilecek mimari uygulamanın büyüklüğü ve ihtiyaçlarına göre değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla bir KAA tasarlanmadan önce ilk olarak uygulamanın sağlaması istenilen özellikler iyi tespit edilmelidir.



Şekil 1.7. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Kullanılan Topolojiler [15]

Verilen topolojiler incelendiğinde yıldız tipi topolojide uç birimlerin direkt olarak koordinatörle haberleştiği görülmektedir. Uç düğümler birbirleri arasında bağlantı kuramamakta sadece koordinatör üzerinden haberleşme gerçekleştirebilmektedirler. Bu yapı genellikle kısa mesafeli uygulamalarda tercih edilmektedir. Uç düğümler koordinatöre direkt bağlı olduğundan veri aktarım gecikmesi düşüktür [14].

Örgü (mesh) tipi topolojide ise bir düğümün kapsama alanı içinde bulunan bir başka düğüm ile haberleşmesine olanak sağlanmaktadır. Özellikle geniş alanda kurulmak istenen ağlarda örgü tipi topoloji tercih edilmektedir. Önemli bir avantajı bir düğümün kapsama alanında bulunmayan bir başka düğüme veri aktarmak istemesine olanak tanınmış olmasıdır. Bu düğümlerin birbirleri üzerinden veri ileterek sağlanmaktadır. Örneğin Şekil 1.7.'de verilmiş olan örgü ağ örneği incelenecek olursa 1 ve 9 numaralı düğümler birbirinin kapsama alanı dışındadır. Fakat bu düğümler kapsama alanları içerisinde olan 4 ve 6 numaralı düğümleri kullanarak haberleşme gerçekleştirebilmektedirler. Ayrıca bu topoloji kullanarak geniş alanlarda ağa kolaylıkla yeni bir düğüm eklenmesi ve bu düğümün diğer düğümlerle haberleşmesi sağlanabilmektedir. Yıldız tipi topolojiye göre olumsuz özelliği ise düğümlerin kendi bilgilerini göndermek dışında diğer düğümler arasında da veri alışverişinde rol oynayacaklarından güç tüketiminin daha fazla olmasıdır [16].

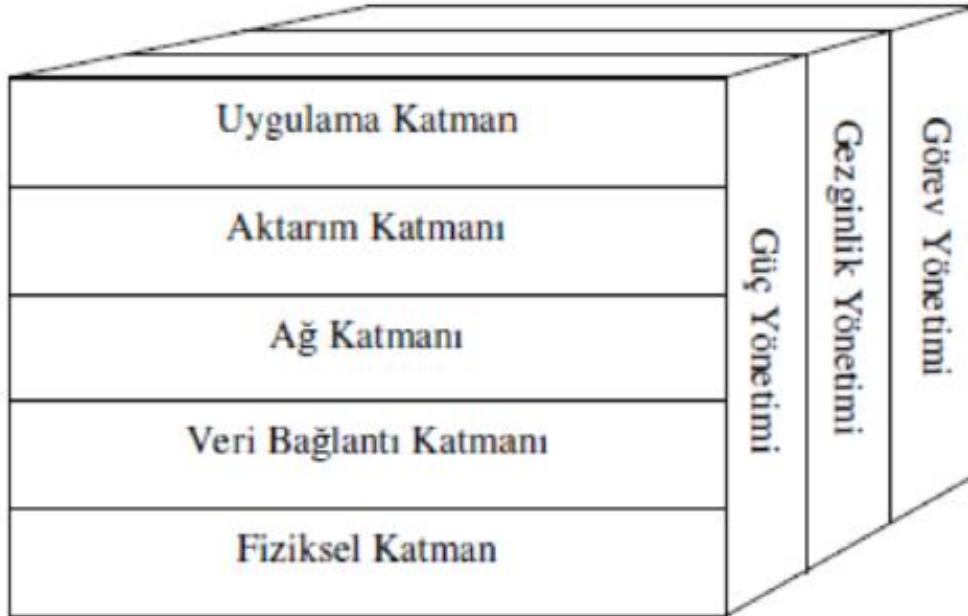
Hem yıldız hem de örgü tipinin beraber kullanıldığı hibrit topolojide ise kapsama alanının hem yıldız hem de örgü tipine göre artırılması güç tüketiminin de en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu topolojide düşük güç tüketimine sahip olması gereken düğümler sadece kendi bilgilerini aktarırken kapsama alanının artırılması için daha yüksek güç tüketebilen düğümler kullanılmaktadır. Bu sayede kapsama

alanı oldukça geniş olan bir ağda düğümlerin büyük çoğunluğunun düşük güç tüketmesi sağlanmaktadır. Birçok KAA uygulaması bu yapıyı kullanmaktadır [17].

Yukarıda verilen topolojiler uygulama ihtiyaçlarına ve alan büyüklüğüne göre birbirlerinin yerine kullanılabilirler.

1.2.Mimari

Bir kablosuz algılayıcı ağı çok sayıda algılayıcıdan ve bu algılayıcılardan gelen bilgilerin toplandığı bir düğüm noktasından oluşur. Algılayıcılar aldıkları bilgileri ya kendileri kullanabilirler ya da bir başka düğüme iletme görevini yerine getirebilirler. Bu tarz bir mimaride algılayıcıların ve düğüm noktalarının bir iletişim kuralları kümesi olması gerekmektedir [18]. Bu protokol kümesi güç ve yol atama sınırlarına duyarlı, kablosuz ortam üzerinden güç etkin olarak veri aktarımı yapabilen ve algılayıcı birimlerinin birbiri ile işbirliği yapmasını kolaylaştıran çeşitli katmanlardaki protokollerden oluşmaktadır [19]. Şekil 1.8’de algılayıcı ağlar için kullanılan iletişim kuralları kümesine yer verilmiştir.



Şekil 1.8. Algılayıcı ağlar için iletişim kuralları kümesi [19]

Algılayıcı görevlerine göre, farklı uygulama yazılımları geliştirilebilir ve bu yazılımlar uygulama katmanını kullanır. Uygulama katmanında çalışan çeşitli protokoller mevcuttur. Bunlardan bazıları SMP (Sensor Management Protocol),

TADAP (Task Assignment and Data Advertisement Protocol) ve SQDDP (Sensor Query and Data Dissemination Protocol)'dir. SMP, veri kümelemesi, özellik tabanlı isimlendirme ve algılayıcı düğümlerini kümeleme ile alakalı kuralları belirleyen, düğümlerin zaman senkronizasyonunu sağlayan, algılayıcı ağı konfigürasyonu ve düğümlerin durumlarını sorgulayan ve gerekirse yeniden konfigüre eden ve veri haberleşmesinde doğrulama ve güvenliği sağlayan protokoldür. TADAP, kullanıcıların isteklerinin algılayıcı düğümünde karşılanmasını ve daha alt katmanlarda etkin bir şekilde yönlendirme yapılmasını sağlayan protokoldür. SQDDP ise kullanıcı uygulamalarına arayüzler ile sorgu yapılmasına, sorgulara cevap verilmesine ve gelen cevapların tutulmasına olanak sağlayan protokoldür.

Aktarım katmanı, algılayıcı ağı uygulamaları ihtiyaç duyarsa veri akışının sağlanmasına yardımcı olur. Bu katman ayrıca sistemin İnternete yada başka bir ağa erişmesi istendiğinde sistem planlaması için kullanılır.

Ağ katmanı, aktarım katmanı tarafından sağlanan verinin yönlendirilmesi ile ilgilenmektedir. Ağ katmanı ile bilgi gönderim aşamasında en iyi yolun bulunması ve bu yoldan bilginin gönderilmesi sağlanmaktadır. Algılayıcı ağlarının ağ katmanı tasarlanırken güç etkinliğinin önemli olduğu dikkate alınmalı ve buna uygun yol seçimi yapılmalıdır. Ayrıca yönlendirme veri merkezli (data-centric) yaklaşıma dayanabilir. Veri merkezli yönlendirmede tüm ilgi veri üzerinde olup düğümün konumu ile ilgilenilmemektedir. Ayrıca ideal bir algılayıcı ağının özellik temelli adresleme yaptığı bilinmektedir. Özellik temelli tanımlama özelliklerin kullanılarak sorgu gerçekleştirilmesi için kullanılır. Özellik temelli tanımlama ağlar için önemli olan broadcasting, multicasting ya da anycasting yapılmasını sağlar.

Algılayıcı ağlarının ağ katmanı güç etkinliğinin önemli olduğu, algılayıcı ağlarının genellikle veri merkezli olduğu, veri kümelemesinin faydalı olduğu ve ideal algılayıcı ağlarının özellik tabanlı adresleme yaptığı yaklaşımları dikkate alınarak tasarlanır.

Veri bağlantı katmanı veri akışının çoğullanması, veri çerçeve (data frame) tespiti, ortam erişim kontrolü ve hata kontrolünden sorumludur. Algılayıcı düğümlerinin bulunduğu ortamlar gürültülü olduğundan ve bu düğümler mobil olduğundan MAC

protokolü güç açısından duyarlı ve komşu yayınlarla çakışmayı minimize edecek şekilde olmalıdır.

Fiziksel katman frekans seçimi, taşıyıcı frekans üretimi, sinyal tespiti, modülasyon ve veri şifreleme işlemlerinden sorumludur. Fiziksel katman adresleri basit olmalı fakat modülasyon, veri iletim ve alım teknikleri açısından gürbüz olmalıdır.

Ek olarak güç, gezginlik ve görev yönetimi düzlemleri, algılayıcı düğümler arasındaki güç, hareket ve görev dağıtımının izlenmesini sağlarlar. Bu alanlar, algılayıcı düğümlerin algılama görevlerini koordine etmesini ve daha düşük güç tüketilmesini sağlar.

Güç yönetimi düzlemi algılayıcı düğümlerinin güçlerini nasıl harcayacaklarını yönetir. Örneğin, algılayıcı düğümleri komşularından gelen mesajlarını aldıktan sonra alıcılarını kapatırlar. Böylece mesajların birden fazla kez alınması engellenir. Ayrıca algılayıcı düğümlerin güç seviyesi düştüğünde bir düğümden başka bir düğüme veri aktarımında güç seviyesi düşen düğümün yönlendirici olarak görev yapması engellenir, kalan güçleri ile sadece algılama yapmaları sağlanır.

Gezginlik yönetimi düzlemi, algılayıcı düğümlerin yer değiştirmesini tespit eder ve kaydeder. Böylece algılayıcı düğümler komşu düğümlerinin kim olduğunu takip eder ve yönlendirme işlemi sürekli olarak sağlanır. Bir algılayıcı düğümün komşularının kim olduğunu bilmesi gücünü ve görev yönetimini dengelemesini sağlar.

Görev yönetimi düzlemi ise belirli bir alandaki algılamaların dengelenmesini ve zamanlanmasının ayarlanmasını sağlar. Belirli bir bölgedeki tüm algılayıcı düğümlerinin aynı zamanda iş yapmasına çok fazla ihtiyaç duyulmaz. Dolayısıyla, düğümlerin güç seviyelerine bağlı olarak bazı düğümlerin diğerlerinden daha fazla işlem yapması sağlanır.

Yukarıda verilen yönetim bölümleri sayesinde algılayıcı ağları birbirleri ile güç olarak etkin bir şekilde, kaynakları paylaşarak çalışabilirler. Eğer bu bölümler olmazsa tüm düğümler birbirlerinden habersiz tek başına çalışırlar. Fakat algılayıcı düğümlerin birbirleriyle iş birliği içinde çalışması algılayıcı ağlarının ömrünü uzatarak daha etkin bir çalışma sunar.

Verilen açıklamalardan anlaşılacağı üzere KAA mimarisi OSI katmanı yaklaşımı çerçevesinde incelenebilmektedir. Ayrıca görevlerini daha etkin bir şekilde yerine getirebilmek amacıyla güç, gezginlik ve görev yönetimi düzlemlerine sahiptirler.

1.3. Protokoller

Kablosuz ağ tasarlamak için çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. Tablo 1.1’de KAA oluşturulurken kullanılacak çeşitli protokollerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 1.1. KAA protokollerinin karşılaştırılması

	Bluetooth	Wi-Fi	UWB	ZigBee	JenNet
Standart	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11a,b,g	IEEE 802.15.3	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4
Endüstri Organizasyonu	Bluetooth SIG	Wi-Fi Alliance	WiMedia Alliance	ZigBee Alliance	NXP
Topoloji	Yıldız	Yıldız	Yıldız	Örgü, Yıldız. Hibrit	Örgü, Yıldız. Hibrit
RF Frekansı	2,4 GHz	2,4 GHz, 5,8 Ghz	3,1-10,6 GHz	868/915 MHz, 2,4 GHz	2,4 GHz
Veri Oranı	723 kbits/s	11-105 Mbits/s	110 Mbits-1,6 Gbits	250 kbits/s	250 kbits/s
Mesafe Aralığı	10 m.	10-100 m.	4-20 m.	10-300 m.	10-300 m.
Güç Tüketimi	Düşük	Yüksek	Düşük	Çok düşük	Çok düşük
Düğüm Sayısı	8	32	128	1000	500

Tablo 1.1’de görüldüğü gibi en önemli KAA protokolleri Bluetooth, Wi-Fi, UWB, ZigBee ve JenNet’tir.

Bluetooth, kablosuz sistem tasarımında özellikle mobil cihazlarda kullanılan bir endüstri standardıdır. Kısa mesafede veri aktarımı uygulamalarında kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Gelişmiş entegreler ile tek bir entegre üzerinde protokol

işlemleri ve RF devre sistemi bulunur [19]. Böylelikle Bluetooth ile oldukça etkin uygulamalar geliştirmek mümkündür. Fakat Bluetooth, KAA'lerden istenen esnekliği sunmaz. Bluetooth oldukça düşük gecikmeli ve yüksek doğruluklu bir haberleşme sağlar. Bunu gerçekleştirmek için 600 μ S'lik periyotlar halinde kanal atlaması yapar. Bu bütün cihazların birkaç mikro saniyeliğine senkron olmasını gerektirir. Fakat kablosuz algılayıcı ağlarında birçok düğüm uzun periyotlarda veri göndermektedir. Dolayısıyla saatte bir veri gönderilecek bir ağ düşünüldüğünde her düğümün bir saat boyunca senkron olması gerekir. Düğümlerin bu senkronluğa zorlanması doğru bir yaklaşım değildir [20]. Ayrıca Bluetooth ile kısa iletim mesafeleri için yüksek güç tüketimi gerekmektedir. Bu özelliği de KAA'larda Bluetooth kullanılmasının önüne geçer. [21]'de Bluetooth güç tüketimi ile alakalı ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. [21]'de Bluetooth başlangıç zamanının 2 saniye olduğu ve bu süre içerisinde 20 mA akım çektiği belirtilmiştir. Daha sonrasında standby (bekleme) durumuna geçildiği ve bu durumda ortalama 2.2 mA akım çektiği gösterilmiştir. Ayrıca Bluetooth protokolünde bir düğümün etrafındaki düğümleri bulabilmek için sürekli etrafa sorgu mesajı gönderdiği sorgu ve sorgu tarama durumları bulunmaktadır. Bu durumlarda ise çekilen ortalama akım sorgu durumu için yaklaşık 70 mA ve sorgu tarama durumu için yaklaşık 42 mA'dır [21]. Bluetooth haberleşmesinde veri gönderim alımının yapıldığı bir aktif durum bulunmaktadır ve bu durumda master 21 mA slave ise 41 mA akım çekmektedir. Görüldüğü gibi KAA'lar için oldukça önem arz eden düşük güç tüketiminin Bluetooth ile sağlanması mümkün olmayacaktır. Ayrıca verilen tablodan görüldüğü üzere Bluetooth ile kullanılacak düğüm sayısı 8'dir. KAA'ların kullanıldığı birçok uygulamada ise onlar-yüzler mertebesinde düğüm bulunmaktadır. Ayrıca kapsama alanı açısından incelendiğinde en az kapsama alanına sahip olduğu görülmektedir. Birçok KAA uygulamasında ise çok daha yüksek kapsama alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Görüldüğü gibi KAA'lar için Bluetooth kullanmak çok doğru bir yaklaşım değildir [19]. Bluetooth teknolojisinin yüksek güç tüketiminin hem KAA'lar hem de mobil cihazlar gibi güç kritik uygulamalarda sorun oluşturmasından dolayı son zamanlarda Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE) üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bluetooth LE ile klasik Bluetooth'a oranla oldukça düşük güç tüketilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanından klasik Bluetooth'un sahip olduğu kapsama alanı ve veri aktarım hızında azalmaya gidildiği görülmüştür [20].

Wi-Fi, yerel alan ağı oluşturmak için IEEE 802.11 a/b/g standardını kullanan bir teknolojidir. 2.4 GHz, 5 GHz yada bazı uygulamalarda 60 GHz frekansta çalışabilir. 0,3, 0,6 yada 2 MHz bant genişliğine sahip olabilir. Bunlara ek olarak Wi-Fi teknolojisinin Bluetooth ve IEEE 802.15.4 tabanlı eş değer yaklaşımlara göre, yüksek güç tüketimine sahip olduğu bilinmektedir [20]. Birçok uygulamada KAA düğümlerinin uzun süreli olarak pilden beslenmesi beklenmektedir. Dolayısıyla bu şekilde yüksek güç tüketen bir protokolün KAA'larda kullanımı enerji kritik uygulamalar için çok mümkün olmamaktadır.

UWB, çeşitli alanlarda kullanılmakla beraber KAA oluşturmak için de kullanılan IEEE 802.15.3 standardı tabanlı bir protokoldür. Verilen tablo incelendiğinde en yüksek veri hızına sahip olan teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır. Buna paralel olarak da en yüksek çalışma frekansına sahiptir [19]. Fakat daha önce verilen açıklamalar dikkate alındığında birçok KAA uygulamasında bu kadar yüksek veri aktarım oranına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca kapsama alanı açısından incelendiğinde diğer birçok protokole göre oldukça düşük kapsama alanına sahip olduğu görülmektedir. Birçok KAA uygulamasında ise çok daha yüksek kapsama alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Verilen bilgiler ışığında birçok KAA uygulaması için UWB kullanımı gereken koşulları sağlamayacaktır.

ZigBee düşük düşük güç tüketimine sahip endüstriyel bir standarttır. IEEE 802.15.4 standardı üzerine inşa edilmiştir. Düşük veri oranlı kablosuz ağlar için fiziksel katman ve medya erişim kontrolü sağlamaktadır. 868 MHz, 902-928 MHz ve 2.4 GHz'lik iletişim bantlarını kullanmaktadır. Oldukça düşük güç tüketimine sahiptir. Sık veri aktarma ihtiyacı duymayan düşük hızlı ve küçük paket boyutuna sahip olması beklenen uygulamalar geliştirilmesi hedeflenmiştir. CSMA ile kanal erişimi, çarpışma önleme ve opsiyonel zaman dilimleme imkânı sunar. ZigBee protokolünün standardı ZigBee Alliance tarafından koruma altına alınmıştır [19]. Dolayısıyla ticari uygulamalarda ZigBee kullanabilmek için bu şirkete telif hakkı ödenmesi gerekmektedir. Bu durum, ZigBee için önemli özellikle çok sayıda düğüme sahip olacak ağlarda ciddi bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Jennet protokolü de ZigBee gibi IEEE 802.15.4 standardı üzerine inşa edilmiştir. NXP firması tarafından kendi mikrodenetleyicilerinde kullanılabilmesi amacıyla

tasarlanmıştır. NXP tarafından sunulan API ile oldukça kolay geliştirme olanağı sunar. Tüm topolojiyi destekleme özelliği bulunmaktadır. Birçok uygulama için yeterli olabilecek sayıda düğüme destek verir. Düşük güç tüketim modu ile oldukça uzun pil ömrü sunar. Kullanabilmek için herhangi bir topluluğa telif hakkı ödemek zorunda olunmaması sayesinde özellikle çok sayıda düğüme sahip olacak ağlarda ciddi bir avantaj oluşturmaktadır.

Yukarıda belirtilen ve genel amaçlı olarak KAA oluşturmak için kullanılan protokoller bulunduğu gibi ev otomasyonunda kullanılmak için geliştirilmiş ve sadece bu amaç için kullanılan protokoller de bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında X10, Z-Wave, LonWorks ve KNX hakkında bilgiler verilecektir.

X10, 1970'lerin ortasında İskoçya'da Pico Electronics tarafından geliştirilmiş en eski ev otomasyon protokolüdür. Evdeki enerji hattını kullanır, ucuz maliyetli ve kolay kullanılabilir. İlerleyen zamanlarda X10 protokolünün kablosuz olarak kullanılmasına imkan tanıyan RF protokolü de çıkarılmıştır. X10 protokolünde X10 cihazları arasındaki sayısal veri aktarımı ev içinde bulunan elektrik kabloları üzerinden yapılır. Bu sayısal veri 50 yada 60 Hz AC sinyalin sıfır geçişlerinde 120 kHz taşıyıcı ile taşınarak iletilir. Bu sayısal veri bir adres ve bir komut içerir. Bu yapı ile basit aç/kapa, akım dimmer seviyesi ve sıcaklık ya da algılayıcı okunması yapılabilir. X10 RF protokolü ile ise kablosuz klavye, uzaktan anahtarlar ya da hareket algılayıcılarının kullanımına izin verilmektedir. Amerika'da 310 MHz, Avrupa'da ise 433,92 MHz sistemler kullanılmaktadır. Uygulamada getirdiği bazı kısıtlamalardan bulunmaktadır. Kablo üzerinde sinyallerin zayıflayıp alıcıya ulaşamama sorunları, 120 V ile 240 V sistemlerin kullanıldığı yerlerde oluşan farklılıktan dolayı standartlaşma problemi, protokolün yavaş olması ve RF yaklaşımında karışımlar olması gibi çeşitli problemlerden dolayı yerini yeni teknolojilere bırakmıştır [22].

Z-Wave, son zamanlarda popüler hale gelmeye başlayan ve ev otomasyonu uygulamaları için 2008 yılında Sigma Designs tarafından tasarlanmış bir kablosuz haberleşme protokolüdür. GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) modülasyonunu kullanan 9600 bits/s, 40 kbits/s ve 100 kbits/s hızlarını destekleyen, yaklaşık kapsama alanı 30 metre olan Z-Wave 900 MHz bandını kullanır. Örgü ağ yapısını

kullandığından düğümler birbiriyle direk ya da endirekt bir şekilde haberleşebilirler. Bir Z-Wave ağında 232 düğüm bulunabilir. Z-Wave Alliance tarafından desteklenmektedir ve bu yapı içerisinde 160'dan fazla şirket bulunmaktadır [23]. Güvenli ve çift yönlü haberleşmeye imkan tanınması, girişime karşı oldukça dayanıklı olması ve kolay kurulabilir olması Z-Wave için olumlu özellikler olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat yapılan incelemelerde Z-Wave ürünlerinin şu an için pahalı olduğu görülmektedir. Örneğin, özelliklerine göre değişmekle birlikte anahtarlar 90\$ ve üzeri gibi fiyatlardadır. Ayrıca eğer Z-Wave ile kendi ürünlerinizi geliştirmek istediğinizde NDA (Non-Disclosure Agreement) imzalanması ve yaklaşık 10000\$ gibi bir tutar ödenmesi gerekmektedir [24].

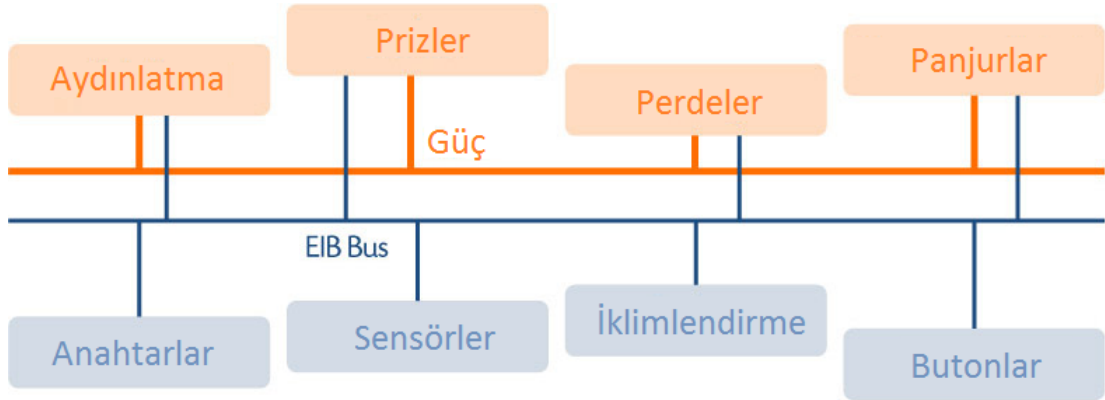
LonWorks, yerel ağ ile bağlı akıllı cihazların haberleşmesini sağlayan standartlaşmış bir veri yolu sistemidir (ANSI/CEA-709,1-B ve ISO/IEC DIS14908). Bir Amerikan şirketi olan Echelon tarafından geliştirilen açık ağ çözümüdür. Bu standart sayesinde cihazların ağ üzerinde birbirleriyle mesaj alıp göndermesini sağlayan bir iletişim servisleri kümesi sunar. Sunulan bu platform cihazlar arası ağ geçidine ihtiyaç duymayan bir düzlemsel mimariye sahiptir. Ayrıca kontrol ağı uygulamaları, değişik kurulum senaryoları veya sisteme kolay ilave için çoklu ortam desteği gerektirir. LonWorks'de bu ihtiyacı karşılayabilecek enerjili/enerjisiz sarılmış tel çifti, şebeke hattı, kızılötesi, radyo frekansı, koaksiyel kablo gibi çok sayıda fiziksel katman içerir [25]. Piyasada çeşitli geliştiricilerin LonWorks ürünleri bulunmaktadır. Ayrıca LonWorks cihazları tak&çalıştır özelliğine sahip olduklarından oldukça kolay kullanım imkanı sunarlar. Piyasada ciddi bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bununla birlikte açık bir protokol olmadığından sadece LonMark konsorsiyumuna üye geliştiriciler tarafından ürün geliştirilebilmektedir.

KNX, dünyada en yoğun kullanılan ev otomasyon protokollerinin başında gelmektedir. Özellikle son zamanlarda ev otomasyonu konusunda artan standartlaşma eğilimi ile KNX dünyanın çok çeşitli ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bükümlü kablo, güç hattı, kablosuz ve IP olmak üzere dört farklı ortamda kullanılabilen KNX hem ev gibi küçük ve orta ölçekli mekanlar hem de otel ve alışveriş merkezi gibi büyük ölçekli mekanların ihtiyacını karşılayabilecek niteliktedir. KNX ile alakalı ayrıntılı bilgiler bir sonraki bölümde verilecektir.

2. KNX TEKNOLOJİSİ

2.1. Giriş

KNX, dünya çapında ev/bina otomasyonu sanayisinde önemli bir yeri olan açık veri yolu standardıdır. Gelişen teknoloji ile beraber ev otomasyonu alanında bir standart geliştirebilmek adına 1999 yılında Brüksel’de EIBA (European Installation Bus Association), EHSA (European Home Systems Association) ve BCI (BatiBUS Club International) bir araya gelmişlerdir. Bu birlikteliğin neticesinde KNX Birliği kurulmuştur. 2006 yılında ise ev otomasyonu için uluslararası standart(ISO/IEC 14543-3) olarak kabul edilmiştir. Ayrıca Amerika(ANSI/ASHRAE 135), Avrupa(CENELEC EN50090, CEN EN 13321-1 ve 13321-2) ve Çin(GB/T 20965) standardı olarak onaylanmıştır [26]. Şekil 2.1’de örnek bir KNX ortamına yer verilmiştir.



Şekil 2.1. Örnek bir KNX ortamı [27]

Şekil 2.1’de verilen haberleşme yoluna bağlı cihazların tümünde kendilerine ait bir mikroşlemci/mikrodenetleyici bulunmaktadır. Bu sayede kişisel bilgisayar gibi bir merkezi kontrol birimine ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylece KNX hem apartman katı ya da müstakil ev gibi küçük tesisatlarda hem de oteller, yönetim merkezleri gibi büyük konumlarda kullanılabilirler [28].

KNX ile aydınlatma, iklimlendirme motorlu perde/panjur, güvenlik, enerji yönetimi gibi ev/bina otomasyonlarında kullanılan çeşitli sistemlerin bir arada çalışması sağlanabilir.

Temelde KNX sistemini oluşturan 3 bileşen bulunmaktadır. Bunlar, sistem cihazları, eyleyiciler ve algılayıcılardır. Sistem cihazları sistemin enerjisini sağlarlar ve sistemin omurgasını oluşturur. Eyleyiciler, haberleşme hattından bilgiyi alan, alınan bilgiyi işleyen ve bu bilgi doğrultusunda gerçekleştirilecek fonksiyonu yerine getiren sistem parçalarıdır. Algılayıcılar ise termostat, hareket sensörü gibi harici komut alan cihazlardır. Bu cihazlar ile alınan komutlar KNX hattında anlamlandırılacak hale dönüştürülür. Dönüştürülen bu komutlar haberleşme hattına gönderilir [29].

KNX, uluslararası bir bina kontrol standardıdır. Ev otomasyonu ve bina sistemi alanında dünyanın tek açık standardıdır. Bu, üçüncü parti cihazların KNX üzerinden birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışabileceği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla KNX gelecek vaat eden bir teknolojidir.

KNX, tek tek kontrol edilen fonksiyonları bir araya toplamaktadır. Merkezi gözlem ve kontrol imkanı ile her türlü sistemin kolaylıkla kontrol edilmesini sağlar. Cihazların işlevleri birbirinden tamamen farklı olsa bile bu cihazların bir arada çalışması sağlanır. Örneğin, bir pencere açıldığı zaman ısıtma sisteminin otomatik olarak kapanması sağlanarak verimli bir kullanım sağlar [28].

Ayrıca KNX sistemi üzerinde kolaylıkla revizyon yapılabilir ve genişletilebilir. Dolayısıyla esnek bir kullanım imkanı sunar.

KNX sisteminin önemli faydalarından biri de sağlamış olduğu tasarruflardır. KNX ile yapılabilecek aydınlatma yönetimi özellikle işletmelerde maliyetlerin ciddi oranda düşürülmesini sağlar. KNX kullanımı hem enerji hem de ekonomik olarak faydalar sağlamış olur.

KNX ayrıca basit planlama, karmaşık ihtiyaçların daha kolay yerine getirilmesi, yüksek derecede rahatlık ve daha yüksek güvenlik sağlar [30].

KNX bina kontrolü için gerekli tüm fonksiyonları sağlamaktadır. KNX ağına bağlı tüm düğümler için OSI tabanlı bir haberleşme arayüzü sunmaktadır. Şuan da Avrupa'da ev otomasyon sistemlerinde piyasanın %70'inde kullanılmaktadır [30].

2.2. KNX Konfigürasyon Modları

KNX standardı KNX cihazı geliştiren firmalara çeşitli standartlarda konfigürasyon modları sunar. Böylece firmalar geliştirecek cihaz özelliğine göre farklı modlarda cihaz üretebilirler.

Bunlardan ilki S-Mode(Sistem modu)'dur. Bu modda planlama, montaj ve devreye alma aşamasında bir bilgisayar gerekir. Üreticilerden bağımsız olan ETS yazılımı ile planlama işlemi gerçekleştirilir. Üreticiler ETS veritabanında kullanılabilecek formatta cihaz bilgilerini geliştiricilere sunar. Sunulan bu bilgiler ETS programının versiyonuna göre program veritabanında da bulunabilir sonradan da eklenebilir. Bu mod genellikle KNX sertifikalı partner'lar tarafından büyük ölçekli projelerde kullanır [28].

E-Mode (Easy mode), temel seviyede KNX bilgisine sahip kişiler tarafından kullanılabilecek S-Mode'a göre daha orta ölçekli yapılarda kullanılır. E-mode cihazları parametrelerinin varsayılan değerleri ile ön programlanmış şekilde kullanıcıya sunulurlar. Ayrıca bu parametreler tekrardan yapılandırılabilir. ETS programı ile başlangıç seviyesindeki kullanıcıların bu cihazlarda değişiklik yapmaları sağlanabilir [28].

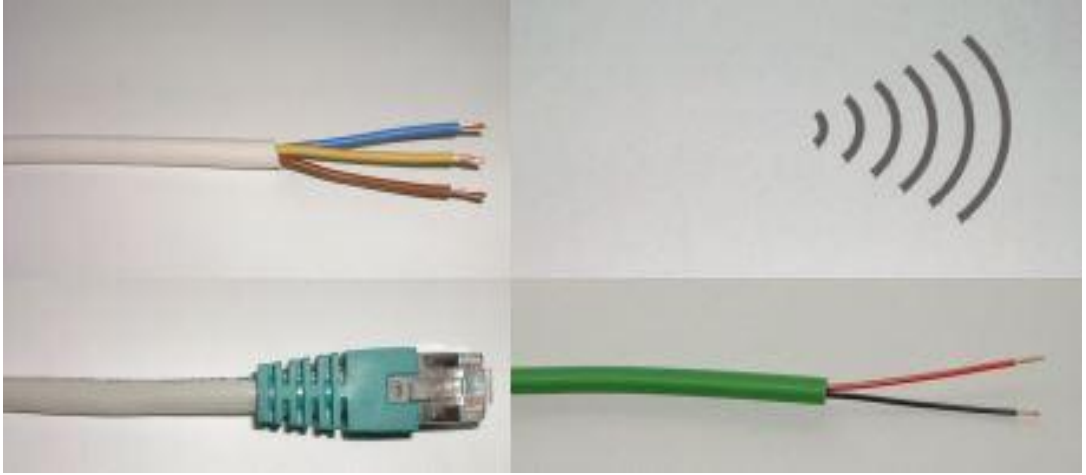
A-Mode (Automatic mode) ise genelde son kullanıcı için geliştirilmiş cihazlarda kullanılır. Bu cihazlarda herhangi bir programlama özelliği bulunmaz. Her cihaz bir işi yapmak için özel olarak tasarlanmıştır ve ağına dahil edildiğinde doğrudan bu işlerini gerçekleştirebilirler [31].

Görüldüğü gibi KNX için geliştirilen cihazlarda KNX bilgisi olmayan son kullanıcı için de KNX konusunda uzman bir kişi için de uygunlukta cihazlar bulunmaktadır. Bu cihazların kullanımı ve hangi modda cihaz kullanılacağına seçimi kullanım alanındaki ihtiyaçlara göre şekillenebilmektedir.

2.3.KNX Ortamları

Daha önce bahsedilen KNX modları dışında KNX'in kullanılabileceği farklı fiziksel ortamlar da mevcuttur.

KNX uygulama ihtiyaçları ve kurulacağı konumun durumuna bağlı olarak farklı fiziksel ortamlar sunmaktadır. Şekil 2.2'de KNX için kullanılabilecek fiziksel ortamlar verilmiştir.



Şekil 2.2. KNX ortamları [32]

Bunlardan ilki KNX'in en çok kullanıldığı bükümlü kablo (twisted pair) olan şekli KNX.TP'dir. Bükümlü kablo ortamında KNX için kullanılacak olan kontrol kablosu 230 V kabloya paralel olarak çekilir. KNX içerisindeki en yüksek güvenliğe sahip ortamdır. Özellikle sistemin kurulacağı tesis yeni inşa edilirken KNX kullanılmaya karar verildiyse tesis inşası ile birlikte kurulur. KNX'in bir başka çalışma ortamı ise mevcut olan güç hatlarının kullanıldığı KNX.PL'dir. KNX.PL'de mevcut olan 230 V enerji kablosu kullanılır ve ilave olarak bir kontrol kablosu çekilmeye ihtiyaç duyulmaz. KNX.PL özellikle yeni kablo çekmenin problem oluşturacağı ortamlarda kullanılmaktadır. KNX'in kablosuz olarak kullanılabildiği ortam ise KNX.RF'tir. Fakat ayrıntıları daha sonra açıklanacağı üzere KNX.RF güvenlik eksikliği ve mesajların bütünlük kontrolünü sağlaması noktasında yaşadığı sıkıntılardan dolayı dezavantajlara sahiptir. KNX ayrıca Ethernet ortamında KNX.IP olarak

kullanılmaktadır. KNX.IP çoğunlukla çok büyük hatlarda kullanılmaktadır. Çünkü bu tarz hatlarda çok hızlı bir iletişim gerekmektedir.

Tablo 2.1’de farklı ortam kullanımlarının karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 2.1. Farklı KNX kullanım ortamlarının karşılaştırılması

Ortam	İletim Hattı	Uygulama Alanları
Bükümlü Kablo	Ayrı kontrol kablosu	Yeni tesisatlar ve büyük çapta restorasyon alanları – yüksek düzey kablolama güvenilirliği
Güç hattı	Mevcut güç hattı	Enerji kablosunun olduğu ve ilave kablo çekmeye gerek olmayan yerler
Radyo Frekans	Kablosuz	Kablo çekmenin mümkün olmadığı veya istenmediği yerler
Ethernet	Ethernet hattı	Çok büyük hatlarda hızlı iletişim gerektiğinde

Verilen KNX ortamları tek başına kullanılabileceği gibi uygulamanın ihtiyacına göre farklı ortamlar birlikte de kullanılabilir. Örneğin, KNX.TP ile KNX.IP tek bir projede, projenin farklı bölümlerinde kullanılabilir ve birbirleri ile uyumlu bir şekilde çalışabilirler.

2.3.1. KNX.TP

KNX.TP, KNX’in en çok kullanıldığı bükümlü kablo ile gerçekleştirilen ortamdır. Bükümlü kablo ortamı KNX içerisinde TP-0 ve TP-1 olmak üzere iki farklı şekilde kullanılabilir.

TP-0, çoğunlukla BatiBUS tarafından kullanılan bir ortamdır. Genellikle Fransa’da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Cihazlar arasındaki haberleşme 4800 bits/s hızındadır. TP-0 sertifikasına sahip cihazlar birbirleri arasında aynı veri yolunu kullanarak haberleşebilir, BatiBUS sertifikasına sahip cihazlar da kendi aralarında aynı veri yolunu kullanarak haberleşebilirler, fakat aynı veri yolunu kullanarak birbirleri arasında haberleşemezler. Dolayısıyla standartlaşma eğiliminin yüksek olduğu bir alan olan ev/bina otomasyonu alanında yakın gelecekte kullanımının azalacağı ve bir süre sonra yerini TP-1’e bırakacağı öngörülmektedir [32].

TP-1 ise EIB tarafından ortaya çıkarılmıştır ve mevcutta bulunan KNX cihazlarının yaklaşık %90’ı bu ortamı kullanmaktadır. TP-1 düşük maliyetli donanımlar ile yüksek kalitede iletimi bir arada sunar. Cihazlar arasındaki haberleşme 9600 bits/s hızındadır. EIB sertifikalı cihazlar ile KNX TP-1 sertifikalı cihazlar kendi aralarında hem kendi aralarında hem de birbirlerinin sertifikasına sahip cihazlarla aynı veri yolunu kullanarak haberleşebilirler. Dolayısıyla ev/bina otomasyonu alanında bir standartlaşma getirmektedir. Bu sebeplerden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır.

2.3.2. KNX.PL

KNX.PL, KNX için yeni bir hat çekmenin mümkün olmadığı ve 230 V kablonun kullanılabilir olduğu durumlarda tercih edilen KNX ortamıdır. Ortamın bükümlü kablo çekilmesi için elverişli olmadığı durumlarda kullanılması tercih edilmektedir. KNX.TP de olduğu gibi iki farklı kurum tarafından getirilen iki farklı standarda sahiptir. Bunlar PL110 ile PL132’dir.

PL110, EIB tarafından ortaya konulmuştur. Günümüzde çok az üretici PL110 yapısını destekleyen cihaz üretmektedir fakat hala aydınlatma ve ısıtma kontrolü gibi işlevleri gerçekleştiren geniş yelpazede ürünler çıkarılmaktadır. Güç hattı üzerinden KNX haberleşmesi daha önce ifade edildiği gibi evlerde yana binalarda var olan güç dağıtım hattını kullanmaktadır. İletilecek veri 1200 bits/s hızında SFSK (Spread Frequency Shift Keying) ile modüle edilerek iletilmektedir [31].

PL132, EHS tarafından ortaya konulmuştur. Şu an birçok üretici ürettiği cihazları PL132 olarak üretmektedir. İletilecek veri 2400 bits/s hızında MSK (Minimum Shift

Keying) ile modüle edilerek iletilmektedir. Yapılan öngörülerde yakın gelecekte PL132 cihazların kullanımının azalıp daha sonra da kullanılmayacağı düşünülmektedir [31].

2.3.3. KNX.RF

KNX.RF, KNX'te oldukça yeni bir yöntemdir. Şu an sınırlı sayıdaki üretici tarafından KNX.RF destekli cihazlar üretilmektedir. Yakın gelecekte daha çok üreticinin KNX.RF destekli cihazlar üreteceği öngörülmektedir. KNX.RF, veri modülasyonu için 50 kHz'lik bir alan ayırarak merkez frekansı 868.30 MHz olan FSK (Frequency Shift Keying) modülasyonunu kullanır. 16384 bits/s hızında veri haberleşmesi gerçekleştirilir. İleride kablolu KNX ortamları ile birlikte önemli yer oynayacağı beklenmektedir [31].

KNX.RF sadece şifre kullanımına dayanan temel bir koruma sağlar. 255 farklı erişim seviyesi tanımlanmasına izin verir ve bu seviyelerin her birinin farklı öncelikleri bulunmaktadır. Her bir erişim seviyesi için 4 baytlık bir şifre belirlenir. Bu şifreler sadece haberleşmenin başlangıcında kullanılır. Ardından gerçekleştirilen haberleşme akışında ise veri güvensiz kalır. Bu özelliğinden dolayı KNX.RF veri gizliliği ve veri bütünlüğü gibi haberleşme için oldukça önemli noktalarda güvence sağlamaz. Ayrıca belirtilen şifrelerin üretilmesi, yönetilmesi ve değiştirilmesi sistemi kullanan yetkili kişi tarafından gerçekleştirildiğinden şifrelerin güvenli bir ortamda oluşturulduğunun garantisi yoktur. Her ne kadar KNX.RF'te güvenliğin artırılması için çalışmalar yapılıyor olsa da henüz standartlaşmış bir yöntem bulunamamıştır [46].

Verilen bu özellikler dikkate alındığında KNX.RF'in iletilen veri üzerinde bütünlük kontrolü eksikliği ve güvenlik problemi olduğu görülmektedir [33].

Görüldüğü gibi KNX'in kablosuz ortamda kullanılması KNX.RF ile mümkündür. Fakat KNX.RF'in yeni bir yöntem ve güvenlik ve bütünlük kontrolüne sahip olmaması gibi sebeplerden dolayı KNX kablosuz ağlarla kullanılmak istendiğinde KNX.RF yerine farklı arayışlara girilmektedir.

2.3.4. KNX.IP

KNX'in gelecekteki uygulamaları için KNX'in İnternet üzerinden kullanılması oldukça önemlidir. İnternet kullanımı ile birlikte KNX ev/bina uygulamaları açısından daha üst düzey cihazlarla kullanılabilir hale gelecektir. Bu cihazlar arasında haberleşme cihazları ve çoklu ortam cihazları bulunabilecektir. Ayrıca KNX montajı için standart bir ağgeçidi oluşturulmasına olanak tanıyacaktır.

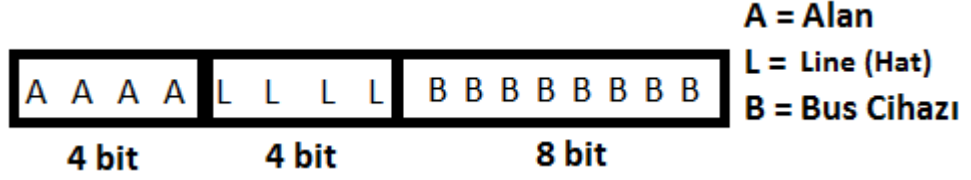
2.4. KNX Temel Çalışma Metodu

Bükümlü kablo ortamında gerçekleştirilecek bir TP1 KNX projesinde 30 V'luk bir DC besleme kaynağı, algılayıcılar, sürücüler ve iletim kablosu bulunmaktadır. Bağlantı tamamlandıktan sonra ve S-Mode tip cihazlar kullanıldığında, ETS programı vasıtasıyla uygulama programı algılayıcı ve sürücülere yüklenmeden sistem kullanıma hazır olmayacaktır. KNX projesini gerçekleştirecek mühendis, ETS programını kullanarak bazı konfigürasyon işlemlerini gerçekleştirmelidir. Bunlar algılayıcı ve sürücüler için KNX sistemindeki en temel tanımlama olan fiziksel adres tespiti, algılayıcı ve sürücüler için en uygun uygulama programının seçimi ve parametrelerin ayarlanması ve algılayıcı ve sürücüler için gerekli grup adresinin tanımlanmasıdır. Verilen bu üç adım gerçekleştirilmediği takdirde KNX projesinin çalışması mümkün olmayacaktır.

Bu konu ile alakalı detaylara girmeden önce KNX ile ilgili bazı kavramların açıklanması faydalı olacaktır. Line (hat) kavramı farklı özellikteki KNX cihazlarının bağlandığı hat anlamına gelmektedir. Yani her bir cihazın birbiri ile haberleştiği hattır. Her bir hatta bir güç kaynağı bulunmalıdır. Bir hatta bulunabilecek maksimum cihaz sayısı 64'tür. KNX'te alan kavramı ise hatlardan oluşmuş bütün yapı anlamına gelmektedir. Yani birden fazla hat bir araya gelerek bir alanı oluşturmaktadır. Bus cihazı ise hatta kullanılan cihazlara karşılık gelmektedir. Telgraf kavramı, KNX ağında iletilen mesajlar için kullanılmaktadır.

KNX projesinde her bir elemanın kendine ait bir fiziksel adresi vardır. Fakat sistemin normal çalışması sırasında fiziksel adresin etkin bir işlevi yoktur. Fiziksel adres hata tespiti ve modifikasyonu için kullanılır. Bus cihazı, üzerindeki programlama

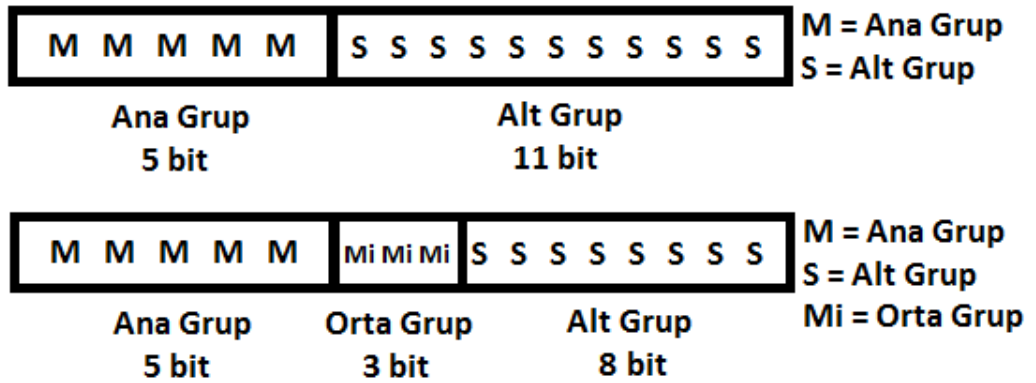
butonuna basılarak fiziksel adresi kabul edecek şekilde tasarlanmıştır. Fiziksel adres sistemin devreye alma aşamasında cihaza tanıtılır. Fiziksel adres Şekil 2.3'te gösterildiği şekilde olmalıdır.



Şekil 2.3. Fiziksel adres gösterimi

Algılayıcı ve sürücüler için uygulama programının seçimi ve parametrelerin ayarlanması projeyi tasarlayan mühendis tarafından belirlenmektedir. Örneğin bir butonun açma kapama işlemi için mi yoksa herhangi bir cihaz için dimmer işlevi mi göreceği bu aşamada belirlenir. Bu aşamada projeyi geliştiren mühendis ya da teknik personel ETS programından uygun bileşeni seçer ve yine ETS programı üzerinden bu bileşene uygun görevi atar.

Grup adresleri ise cihazlar arasındaki haberleşmeyi sağlama görevini yerine getirirler. Grup adresleri 2 düzey (Ana grup / Alt grup) veya 3 düzey (Ana grup / orta grup / alt grup) yapısında seçilebilirler. Yapı düzeyinin belirlenmesi ETS üzerinden gerçekleştirilmektedir. 2 seviyeli ve 3 seviyeli örnek grup adresleri Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. İki ve üç düzeyli grup adres gösterimi

Seviyelerin nasıl kullanılacağına proje mühendisi karar verir. Örneğin bina katı gibi fonksiyonel alanlar ana grup olarak seviyelendirilir. Ana grupta tanımlanan fonksiyonların aç-kapa ya da dimmerleme gibi yöntemi ise orta grupta tanımlanır. Mutfak aydınlatması, yatak odası penceresi gibi cihazlar ya da cihaz grupları ise alt grup olarak seviyelendirilir. Bu seçilen grup yapılanmasının tüm proje içinde aynı şekilde kullanılması gerekir. Her bir grup adresi, proje içinde nerede olduğuna bakılmaksızın cihazlara tanımlanır.

Sürücüler birden fazla grup adresine cevap verebilirler. Algılayıcılar ise telgraf başına yalnızca tek bir grup adresine bilgi gönderebilirler.

3. HİBRİT EV OTOMASYONU

3.1. Giriş

Ev otomasyon sistemleri 1980'li yılların sonunda üreilmeye başlanmış ve yaygın olarak kullanımı 1990'ların başını bulmuştur. Bu yıllarda piyasaya sürülen ürünler aydınlatma kontrolü, yangın ve hırsız alarmı gibi uygulamaları desteklemekteydi. 1990'lı yıllarda birçok üretici ev otomasyonu için çeşitli ürünler ortaya koymuştur. 1990'lı yılların sonunda ise ev otomasyonunda kullanılan cihazların İnternet üzerinden gözlem ve kontrolünün sağlanması için çeşitli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [34].

İlk başlarda ev otomasyonu uygulamaları maliyetinden dolayı geniş kesimlere ulaşamamıştır. Daha sonra teknolojinin gelişmesi ile birlikte maliyetler düşmüştür. Özellikle 2000'li yıllardan sonra azalan maliyetler ile birlikte daha çok evde ev otomasyon sistemleri kullanılmaya başlanmış ve son yıllarda bu kullanım iyice artmıştır.

Son yıllarda hem akademik alanda hem de ticari alanda ev otomasyonu alanında önemli çalışmalar yapılmaktadır.

[35]'de ev otomasyon ağları için çeşitli özellikler açısından bir inceleme yapılmıştır. Bu kapsamda ağ katmanı seçenekleri, haberleşme modları, cihaz tipleri, güvenlik, uygulama boyutu gibi özellikler ZigBee, 6LoWPAN, Z-Wave, INSTEON ve Wavenis gibi yaklaşımlar için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

[36]'da bina otomasyonu hakkında bir çalışma yapılmış ve binada bulunan kablosuz algılayıcı ağına bağlı cihazların enerji tüketimi kontrol edilmiştir. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağından TCP/IP temelli veri/görüntü iletimi üzerinde durulmuştur.

[37]'de IEEE 802.15.4 tabanlı bir aydınlatma kontrol sisteminden bahsedilmiştir. Kablosuz algılayıcı ağının pilli kontrol birimlerinin düşük güç tüketimine sahip olduğu ve ortalama 4 μ A tükettiği ifade edilmiştir.

[24]'de ev otomasyon sistemi için ZigBee ve Wi-Fi sistemlerinin bir arada kullanıldığı bir yapı önerilmiştir. Buna göre ev içerisindeki düşük hızlı haberleşmeye sahip cihazlar için ZigBee, uzaktan kontrol için ise Wi-Fi bağlantısı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ZigBee ağında kullanıcı komutlarının işleme süresinin 1 saniyeden daha kısa bir süre olduğu gösterilmiştir.

[39]'te ZigBee tabanlı bir aydınlatma kontrol uygulaması verilmiştir. Buna göre sistemde aydınlatma ayarı için ZigBee özellikli aydınlatma sensörü ve PIR kullanılmaktadır.

[40]'da ZigBee tabanlı ağ yaklaşımı kullanan bir priz gerçekleştirilmiştir. IR vericiden alınan komutlar merkezi bir ZigBee işlemcisi tarafından işlenmekte ve ZigBee özellikli prize bu komutlar iletilerek AC girişin çıkışa anahtarlanması sağlanmaktadır.

[41]'de ev otomasyonu uygulamaları için geliştirilmiş kablosuz algılayıcı ağı ile TCP/IP arasında ağ geçidi işlevi gören bir sistem tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen bir bilgisayar programı vasıtasıyla kablosuz algılayıcı ağın uç birimlerine istenen komutlar gönderilmekte ve bu birimlerden gelen komutlar bilgisayara iletilebilmektedir.

[42]'de kablosuz algılayıcı ağlarına internet üzerinden erişim için bir ağ geçidi tasarımı önerilmiştir. Buna göre önerilen sistem internet erişimi için web servis tabanlı bir yaklaşım kullanılmaktadır.

[43]'te yapılan çalışmada ev / bina otomasyonu için telefon üzerinden kontrol edilebilen mikrodenetleyicili bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem telefon hattı üzerinden cihazlara sağlanan gücü kontrol etmek için tasarlanmıştır. Tuş takımı ile komutların gönderildiği bu otomasyon sistemi, DTMF (Dual Tone Multiple Frequency) telefon sistemini kullanan herhangi bir telefonla erişilip

kullanılabilmektedir. Sistemin erişimi sabit telefon hattı üzerinden yapılmaktadır. Bu sisteme internet üzerinden erişim bulunmamaktadır. Grafikselle kullanıcı arayüzü (GUI) olmaması, özellikle yeni kullanıcıların sisteme erişim numarasını ve hangi tuşla hangi cihazı çalıştıracaklarını hatırlamakta güçlük çekmesi bu sistemin dezavantajlarından biridir.

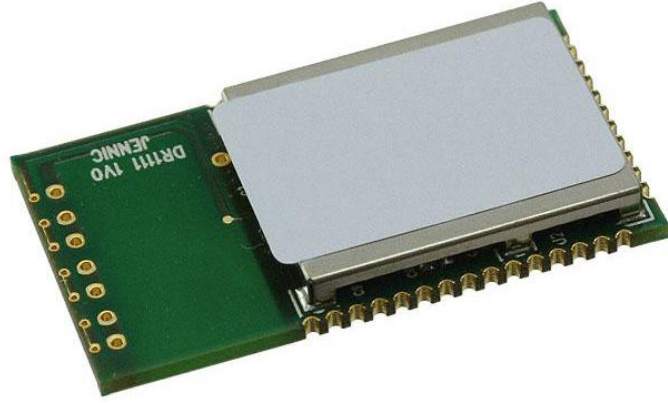
3.2. KAA'ların Gömülü Gerçekleşmesi

İlk bölümde anlatıldığı gibi KAA oluşturmak için çeşitli protokoller mevcuttur. Aynı zamanda bu protokolleri destekleyen çeşitli mikrodenetleyiciler bulunmaktadır.

KAA'ların tasarımında kapsama alanı, güç tüketimi, veri aktarım oranı gibi çeşitli parametrelere dikkat edilmektedir. KAA'larda özellikle uç birimler çoğu durumda pilli üniteler olmaktadır. Dolayısıyla birçok KAA uygulamasında güç tüketiminin oldukça düşük olması istenmektedir. KAA'lar genellikle çok hızlı veri aktarımına ihtiyaç duymamaktadırlar. Kapsama alanlarının ise mümkün olduğunca geniş olması beklenmektedir.

Yukarıda verilen açıklamalar göz önüne alınarak yapılan değerlendirmelerde düşük güç tüketimi ve geniş kapsam alanı özelliği ile ön plana çıkan NXP firmasının JN5148 model numaralı SoC'si kullanılmaya karar verilmiştir. JN5148, geniş hafızası ve güçlü mikrodenetleyicisi ile uygulama ve ağ işlemlerini aynı cihazda çalıştırmak için ihtiyaç duyulan performansı sağlar [44].

JN5148, farklı ihtiyaçlara göre kullanılmak üzere üç farklı çeşide sahiptir. Bunlardan ilki JN5148-001-M00 modelidir. Dahili anteni sayesinde az hacim kaplamaktadır. Şekil 3.1'de JN5148-001-M00 modülüne yer verilmiştir.

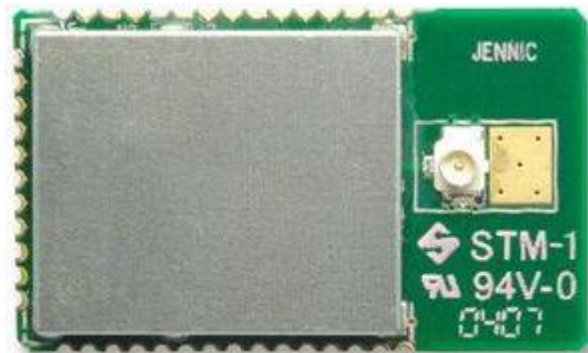


Şekil 3.1. JN5148-001-M00 [44]

JN5148-001-M00 ile ilgili bazı önemli bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Dahili anten
- +2.5dBm data gönderim gücü
- -95dBm alıcı hassasiyeti
- 15mA data gönderim akımı
- 17.5mA data alma akımı
- 2.3-3.6V arasında çalışabilme
- 18x32mm boyutunda

JN 5148'in bir başka modeli ise JN5148-001-M03'tür. Bu modül bir öncekine oranla daha yüksek kapsama alanı ile dikkat çekmektedir. Şekil 3.2'de JN5148-001-M03 modülüne yer verilmiştir.



Şekil 3.2. JN5148-001-M03 [44]

JN5148-001-M03 ile ilgili bazı önemli bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Harici anten ile 1km'ye kadar kapsama alanı
- +2.5dBm data gönderim gücü
- -95dBm alıcı hassasiyeti
- 15mA data gönderim akımı
- 17.5mA data alma akımı
- 2.3-3.6V arasında çalışabilme
- 18x30mm boyutunda

JN 5148'in bir başka modeli ise JN5148-001-M04'tür. Bu modül diğer modüllere oranla daha yüksek kapsama alanına sahiptir fakat güç tüketimi olarak daha yüksek güç tüketmektedir. Şekil 3.3'te JN5148-001-M04 modülüne yer verilmiştir.



Şekil 3.3. JN5148-001-M04 [44]

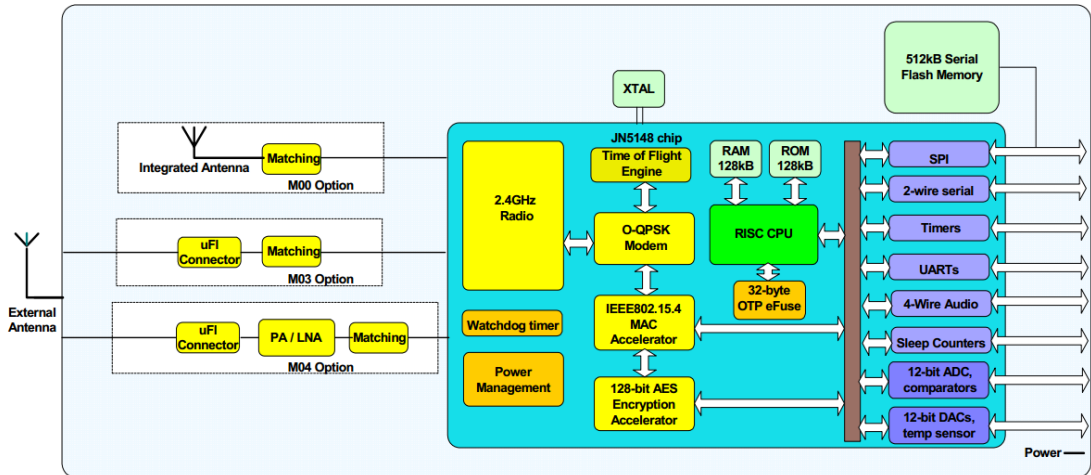
- Harici anten ile 4km'ye kadar kapsama alanı
- +20 dBm data gönderim gücü
- -98dBm alıcı hassasiyeti
- 110 mA data gönderim akımı
- 23mA data alma akımı
- 2.7-3.6V arasında çalışabilme
- 18x41mm boyutunda

Ev otomasyon uygulamalarında kapsama alanını etkileyen önemli parametrelerden biri de ev içinde bulunan duvarlardır. Bilindiği gibi bu tip engeller kablosuz sinyalin zayıflamasına neden olur. Ev otomasyonu uygulamalarında kablosuz verinin genellikle üç duvar arkasından alınabilmesi istenmektedir.

Geliştirilen sistemde koordinatör ev / bina içerisinde bir adet bulunacağından dolayı geniş kapsama alanına sahip olması istenmektedir. JN5148-001-M00 modelinin dahili anteni ile sahip olduğu kapsama alanı koordinatör için yeterli olmayacağından kullanılması doğru bir tercih olmayacaktır. JN5148-001-M04 modeli ise oldukça yüksek güç tüketimine sahiptir. Ayrıca boyutları diğer modüllere oranla daha büyük olduğundan PCB tasarımı ve kasa tasarımı açısından kısıtlamalar getirecektir. Dolayısıyla koordinatör tasarlanırken JN5148-001-M03 modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Geliştirilen sistemde tasarlanan uç birimler için en önemli kısıt güç tüketimidir. Özellikle pilli uç birimlerin pil değişimi ihtiyacı olmadan uzun süre çalışabilmeleri istenmektedir. Dolayısıyla diğer modüllere oranla oldukça yüksek güç tüketimi olan JN5148-001-M04 modelinin uç birimlerde tercih edilmesi doğru olmayacaktır. Ayrıca uç birimlerin kullanılacağı kutular genellikle küçük alana sahip olacağından harici bir anten kullanmak istenen bir durum değildir. Bu sebeplerden dolayı uç birimlerde dahili antenli modül olan JN5148-001-M00 modelinin kullanımı tercih edilmiştir.

Şekil 3.4'te JN5148 modüllerinin iç yapısı verilmiştir.



Şekil 3.4. JN5148 modüllerinin iç yapısı [44]

JN 5148, RISC tipi bir işlemciye sahiptir. Pil ile beslenen uygulamalar için düşük güç tüketimi, kompleks uygulamalar ile kablosuz haberleşmenin aynı anda yüksek

performans ile gerçekleştirilmesi ve C gibi yüksek seviyeli diller ile etkili kodlama yapabilmek üzere dizayn edilmiştir.

Modül ROM, RAM, OTP eFuse hafızası içermektedir. Modülde 128 kByte'lık bir ROM bulunmaktadır. İşlemci 1 saat darbesinde ROM'a erişebilmektedir. Ayrıca ROM çalışma zamanında harici flash hafızadaki içeriği RAM'e yüklemek için içerisinde bootloader bulundurmaktadır. JN5148'te 512kB seri Flash hafıza bulunmaktadır. Bu hafıza ile modül enerjisi kesildiğinde program kodunun ve kalıcı olarak tutulması istenen veriler tutulmaktadır.

JN5148 128 kByte yüksek hızlı RAM içerir. Hem kod hem de veri saklamak için kullanılabilir ve RAM'e işlemci tarafından 1 saat darbesi süresinde erişilebilir.

JN 5148, çeşitli haberleşme protokollerinin donanımsal olarak gerçeklemesini sağlamak için üzerinde 1 tane SPI ve 2 tane UART modülü bulundurmaktadır. Ayrıca zamanlama işlemlerini gerçekleştirebilmek için 3 adet Timer modülüne sahiptir.

Ayrıca Şekil 3.4.'te görüldüğü üzere IEEE802.15.4 standartları ile uyumlu 2450MHz radyo frekansı bandında 250kbps'de dijital gönderme ve alma işlemleri için gerekli fonksiyonları ve modülasyonları gerçekleyen bir modem bulunmaktadır.

JN5148 kablosuz ağda gönderilen verilerin AES ile şifrelenmiş bir şekilde gönderilmesine izin vermektedir. Yüksek işlem gücü gerektiren şifreleme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için 128-bit AES şifreleme ve şifre çözme işlemlerini gerçekleştiren bir ön işlemci bulunmaktadır.

JN5148'in en önemli özelliklerinden biri de sunduğu çeşitli güç yönetimi modları ile oldukça düşük güç tüketiminde uygulamalar geliştirilmesine izin verebilmesidir. JN5148'de aktif işletim modu, uyku modu ve derin uyku modu olmak üzere 3 adet güç yönetim modu bulunmaktadır.

Aktif işletim modu, varsayılan durumda kullanılan moddur. Tüm çevresel birimler açıktır ve güç tüketmektedirler. JN5148 bu modda güç tüketimini azaltmak için

“CPU Doze” adı verilen bir yaklaşıma izin vermektedir. Bu yaklaşımda çevresel birimler çalışmaya devam ederken işlemci kendini kapatarak güç tüketimi azaltılmaktadır. İşlemcinin aktif olarak kullanılmasına gerek duyulmayan durumlarda bu mod kullanılabilir.

Uyku modu, dahili fonksiyonların çoğunun güçten tasarruf etmek için kapatıldığı moddur. Uyku moduna yazılımsal olarak girilebilmektedir. Uyku modundan çıkmak için JN 5148’de donanımsal olarak bulunan uyandırma zamanlayıcısı, pinlerin durumunun değişmesi, karşılaştırıcı girişindeki analog sinyalin belli bir değerin altına inmesi yada üstüne çıkması, darbe sayıcısına bağlı sinyalin istenilen darbe sayısına gelmesi gibi olayların gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu modda ağla alakalı yapılan konfigürasyonlar kapatılmadığından ağdan bir veri geldiğinde bu konfigürasyonlar kullanılarak ağ isterleri karşılanabilmektedir. Bu modda işlemcinin uyku akımı 2.6 μA ’dır.

Derin uyku modu ise en az güç tüketilen çalışma modudur. Bu modda çekilen uyku akımı 1.3 μA ’dır. Çünkü bu modda işlemci ve tüm çevresel birimler kapalıdır. Bu moddan çıkmak için modülün gücü kesilebilir, donanımsal olarak resetlenmesi sağlanabilir veya giriş/çıkış pinlerinin durum değiştirmesi gerekmektedir. Bu modda ağ ile birimler de kapatılacağından ağ ile alakalı bir değişiklik olması durumunda tüm konfigürasyonların yeniden yapılması gerecektir. Bu durum bu tez kapsamında geliştirilen uygulama için istenen bir durum değildir. Çünkü ağ ile ilgili konfigürasyonların tekrar yapılması yaklaşık 7-8 saniyeyi alacaktır.

JN5148, tüm modlarda veri gönderme esnasında 15 mA, veri alma esnasında ise 17.5 mA akım çekmektedir.

Ev otomasyonu uygulamaları düşünüldüğünde geliştirilen cihazların güçlerinin büyük çoğunluğunu boşa kaldıkları sürede harcayacağı görülmektedir. Dolayısıyla uyku modunda çekilen akım cihazın pil ömrünü belirleyen önemli bir kriterdir. Bu noktada JN5148 sunmuş olduğu güç modları ile pil ile uzun süre çalışan cihazların tasarlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca JN5148 sahip olduğu özellikler ile KAA

yaklaşımı ile gerçekleştirilmiş ev otomasyonu uygulamalarında kullanılmak için gerekli özellikleri taşıdığını göstermektedir.

3.3. Kullanılan Protokol

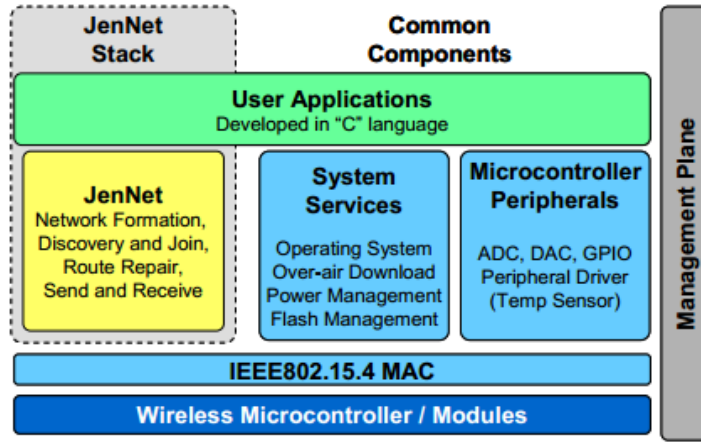
Bir önceki bölümde bahsedilen JN5148 SoC'si sahip olduğu özelliklerle KAA uygulamalarında kullanılmak için iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. JN5148, KAA operasyonlarını yerine getirebilmek için farklı protokolleri desteklemektedir. Bunlar IEEE 802.15.4 tabanlı ZigBee Pro ve JenNet'tir. ZigBee Pro ve JenNet IEEE 802.15.4 standardı üzerine inşa edilmişlerdir. JN5148 ile ZigBee Pro ve JenNet kullanılmadan direk olarak IEEE 802.15.4 yığın katmanına erişilebilmektedir [44]. Tablo 3.1'de JN5148 ile kullanılan ZigBee Pro ve JenNet protokollerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.1. JN5148 ile Kullanılabilen Protokoller

Kriter	ZigBee Pro	JenNet
Topolojiler	Örgü	Ağaç / Yıldız / Lineer
Maksimum ağ boyutu	50 düğüm	500 düğüm
Ağ onarımı	Kendini onarma	Kendini onarma
Geliştirme Karmaşıklığı	Düşük	Düşük
Uyumlu standart	IEEE 802.15.4 üzerine inşa edilmiş, ZigBee standart ağ katmanı vardır	IEEE 802.15.4 üzerine inşa edilmiş, özel ağ katmanı vardır.
Lisans ücreti	ZigBee birlik üyeliği ve ürün onay ücreti	Serbest

Tablo 3.1’de görüldüğü gibi geliştirme karmaşıklığının düşük olması, lisans ücreti ödenmesine gerek olmadan uygulama geliştirilebilmesi ve yüksek sayıda düğüm desteklemesi ile büyük uygulamaların geliştirilmesine imkan sağlaması gibi özelliklerinden dolayı bu tez çalışmasında kapsamında JenNet protokolü kullanılmıştır.

NXP firması tarafından düşük güç tüketimli, telif hakkı olmayan JenNet ağ protokol yığını geliştirilmiştir. Şekil 3.5’te JenNet protokol yığını verilmiştir.



Şekil 3.5. JenNet ağ protokol yığını [42]

JenNet, IEEE 802.15.4 standardına dayanan, 2.4 GHz bandını kullanan, KAA'ların kolaylıkla oluşturulabilmesini ve yönetilebilmesini sağlayan ve karmaşık ağ topolojilerini destekleyen bir protokoldür.

JenNet arayüzü ile C programlama dili arayüzü kullanılarak erişilebilmektedir. Bu arayüz ile tüm ağ ve mikroişlemci fonksiyonlarına kolaylıkla erişilebilmektedir.

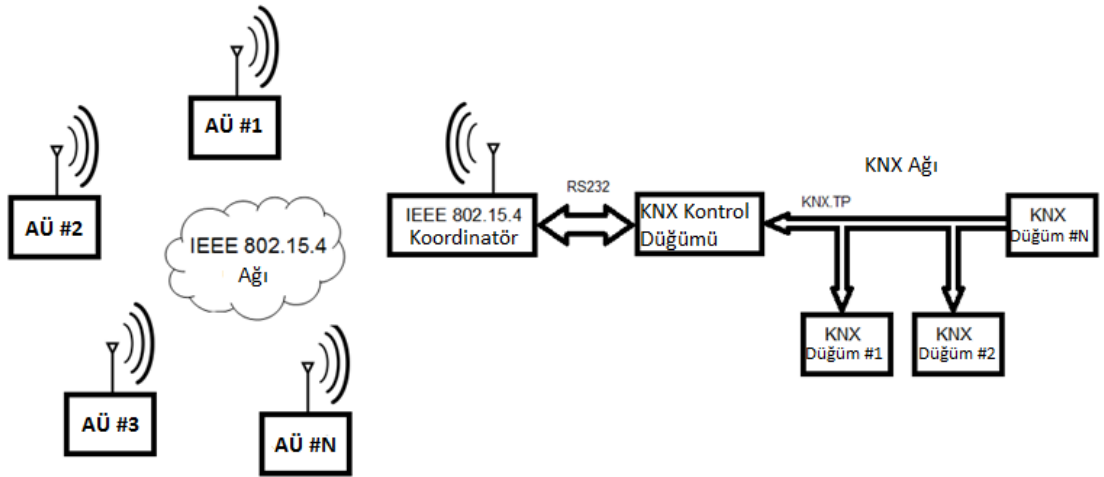
JenNet, lisanslı olmayan 2.4 GHz bandında 16 kanal kullanmaktadır. Veri oranı 250 kbps olabilmektedir. Daha önce bahsedilen tüm ağ topolojilerini desteklemekte ve 500 düğümün ağı kullanmasına izin vermektedir. Ek olarak, veri akışındaki tıkanıklığı önlemek için ağ yükünün dengelenmesi ve ağ derinliğini azaltmak için ağın yeniden şekillendirilmesi işlemlerini yapılabilmektedir. Ayrılan düğümlerden geri bildirim alınması sağlanarak ağın durumu hakkında bilgili olunması sağlanmıştır.

JenNet ağ katmanı ağ kurulması, yönlendirmesi, ağa katılması ve tamiri ile komşu düğümlerden paketlerin alınması ya da komşu düğümlere paketlerin iletilmesi işlemlerini yürütmektedir.

Aynı zamanda 128-bit AES şifreleme ile ağ üzerindeki verilerin güvenli bir şekilde iletilip alınmasını sağlamaktadır.

3.4. Geliştirilen Sistem

Bu çalışma kapsamında ev otomasyonu uygulamalarında kullanılabilecek bir kablosuz algılayıcı ağı ve bükümlü kablo ortamında bulunan KNX hattının entegrasyonu ile geliştirilmiş bir hibrit ev otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem blok diyagramı Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6. Geliştirilen sistem diyagramı

Geliştirilen sistem diyagramından görüldüğü üzere temelde 3 bölümden oluşmaktadır. Bunlar IEEE 802.15.4 tabanlı KAA, KNX.TP ortamında çalışan KNX ağı ve KAA ile KNX ağının haberleşmesini sağlayan ağgeçididir.

Sistemde KAA için IEEE 802.15.4 tabanlı bir ağ kullanılmıştır. Bu ağı yöneten bir koordinatör bulunmaktadır. Koordinatör ağın oluşturulmasını ve ağdaki değişimlerin KNX hattına iletilmesini sağlamaktadır. Ağda bulunan anahtarlama üniteleri (AÜ) ise pilli ve şehir şebekesi ile çalışan model olmak üzere iki ayrı model olabilmektedir. Bu anahtarlama üniteleri koordinatör üzerinde bulunan röleleri açıp

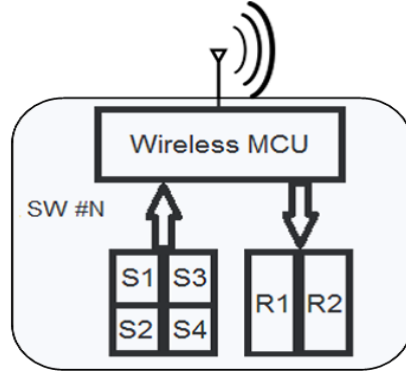
kapayabildiği gibi KNX hattında bulunan cihazların kontrol edilmesini de sağlayabilmektedir. Aynı zamanda KNX hattında bulunan cihazlarla koordinatör üzerindeki rölelerin durumlarının değişmesi sağlanabilmektedir. Ağ oluşturulması, uç birimlerin ağa katılması ve veri gönderip alınması ile ilgili işlemler için yine NXP firması tarafından geliştirilen ve JN5148 SoC'leri ile kullanılan JenNet protokolü tercih edilmiştir.

Kablosuz ağın koordinatöründe kablosuz ağın oluşturulmasını sağlayacak JN5148-M03 model numaralı SoC bulunmaktadır. Aynı zamanda KNX hattı ile haberleşmeyi sağlayacak RS232 arayüzü bulunmaktadır.

Kablosuz ağın uç birimlerinde de kablosuz ağa katılmayı sağlayacak JN5148-M00 model numaralı SoC bulunmaktadır. Aynı zamanda kablosuz düğümler aydınlatma uygulaması için hem algılayıcı hem de eyleyici fonksiyonu görmektedir. AÜ'de bir butona basıldığında, ilgili dahili röle aydınlatmanın açılıp/kapanmasını sağlar. Ek olarak, bu bilginin alındığını haber vermek amacıyla koordinatöre iletilmektedir.

Ayrıca KNX ağı kullanılarak AÜ'deki devindirici de kontrol edilebilmektedir. KNX düğümünden (mesela KNX dokunmatik kontrol paneli) gelen bir komut ilk olarak KNX.TP arayüzü kullanılarak KNX Kontrol Düğümü'ne gönderilir. Daha sonra, bu bilgi yorumlanacağı koordinatöre gönderilir. Koordinatör uygun AÜ düğümünü bulmak için başvuru çizelgesini (look-up table) kontrol eder ve daha sonra gerekli komutu ilgili düğüm/düğümlere iletir. KNX ve 802.15.4 ağları arasında adres dönüşümlerini içeren look-up table özel öğrenme modunun kullanımıyla kurulum zamanında oluşturulmaktadır.

Kablosuz düğümlerin dahili blok diyagramı Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. AÜ blok diyagramı

Şekilde gösterildiği gibi, anahtarlama ünitesi kablosuz bir mikrodenetleyici, 4 anahtar ve 2 röleden oluşmaktadır. S1-S2 ve S3-S4 çiftleri sırasıyla R1 ve R2 rölelerinin kontrolü (açma/kapama) için kullanılmaktadır.

Geliştirilen sistemde bulunan KNX ağı Viko by Panasonic firması tarafından sağlanmıştır. Sağlanan sistem Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Sistemde kullanılan KNX ağı

Sistemde kullanılan KNX ağında iki adet line (hat) bulunmaktadır. Aynı zamanda bu hatların beslenmesi için gerekli iki adet g¼c kaynağı bulunmaktadır. Sistem üzerinde aydınlatmalar için gerekli LED ve ampuller, bu aydınlatmaların anahtarlanması için gerekli farklı butonlar ve benzeri şekilde ev içerisinde bulunabilecek ve dimmer ile kontrol edilebilecek birimler bulunmaktadır. Aynı zamanda t¼m sistemi kontrol edecek ve KAA ile haberleŖecek sistem kontrol¼r¼ bulunmaktadır. Projenin KNX tarafındaki t¼m donanım ve yazılım Viko by Panasonic firması tarafından sağlanmışır. Sistemin KAA ile entegrasyonu San-Tez projesi kapsamında Viko by Panasonic ve Kocaeli niversitesi'nin ortak alıŖması ile gerekleŖtirilmiŖtir.

3.4.1. Kablosuz ev otomasyon ağı

KAA'lar açıklandığı üzere bir koordinat¼r, gerekli ise y¼nlendiriciler ve birden fazla uç birimden oluŖurlar. Bu alıŖmada geliŖtirilen sistemde ihtiyaç duyulmadığından y¼nlendirici bulunmamaktadır.

3.4.1.1.Uygulama donanımı

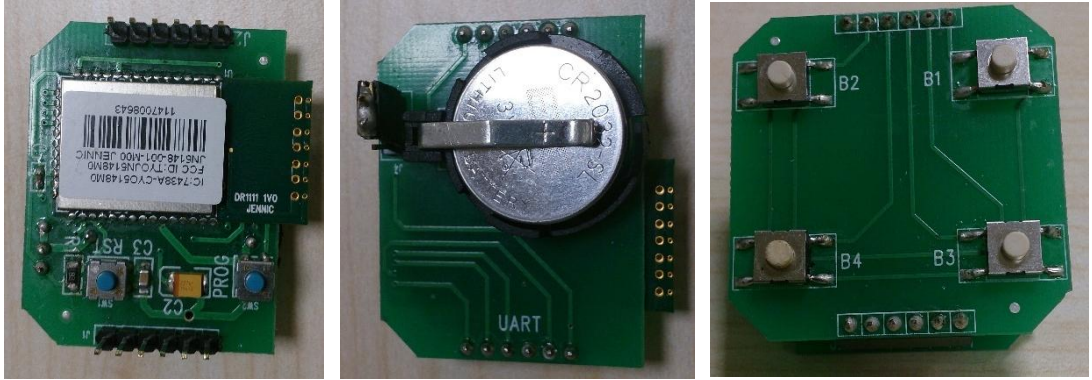
Bu alıŖma kapsamında koordinat¼r için tek mod¼l bulunmaktadır. Uç birim için ise iki eŖit mod¼l bulunmaktadır. Ŗekil 3.9'da bu sistemde kullanılan koordinat¼r birim verilmektedir.



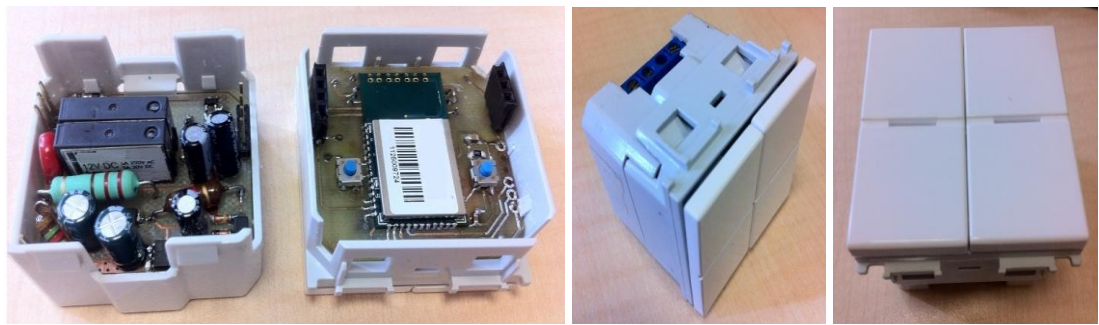
Ŗekil 3.9. Sistemde kullanılan koordinat¼r

Verilen şekilden görüldüğü gibi koordinatör modüle bir adet JN5148, KNX ağıyla haberleşebilmek için RS232 çıkışı ve hem KNX ağından gelecek hem de uç birimlerden gelecek istekleri gerçekleştirebilmek için 4 adet röle bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan uç birimler iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Bunlardan ilkinde uç birim pil ile çalışmaktadır. Üzerinde bulunan butonlar ile hem koordinatör üzerinde bulunan rölelerin hem de KNX ağında bulunan cihazların durumlarının değişmesi sağlanmaktadır. İkinci tip uç birimde ise devreler 220 V şehir şebekesi ile beslenmektedir. Bu uç birimlerin üzerinde açma / kapama işlemlerini sağlayacak röleler bulunmaktadır. Böylece KNX ağından ya da koordinatör üzerinden rölelerin durum değiştirmesi sağlanabilmektedir. Şekil 3.6'da pilli model uç birimler, Şekil 3.10'da ise röle içeren uç birimlere yer verilmektedir.



Şekil 3.10. Pilli model uç birimler



Şekil 3.11. Röleli model uç birimler

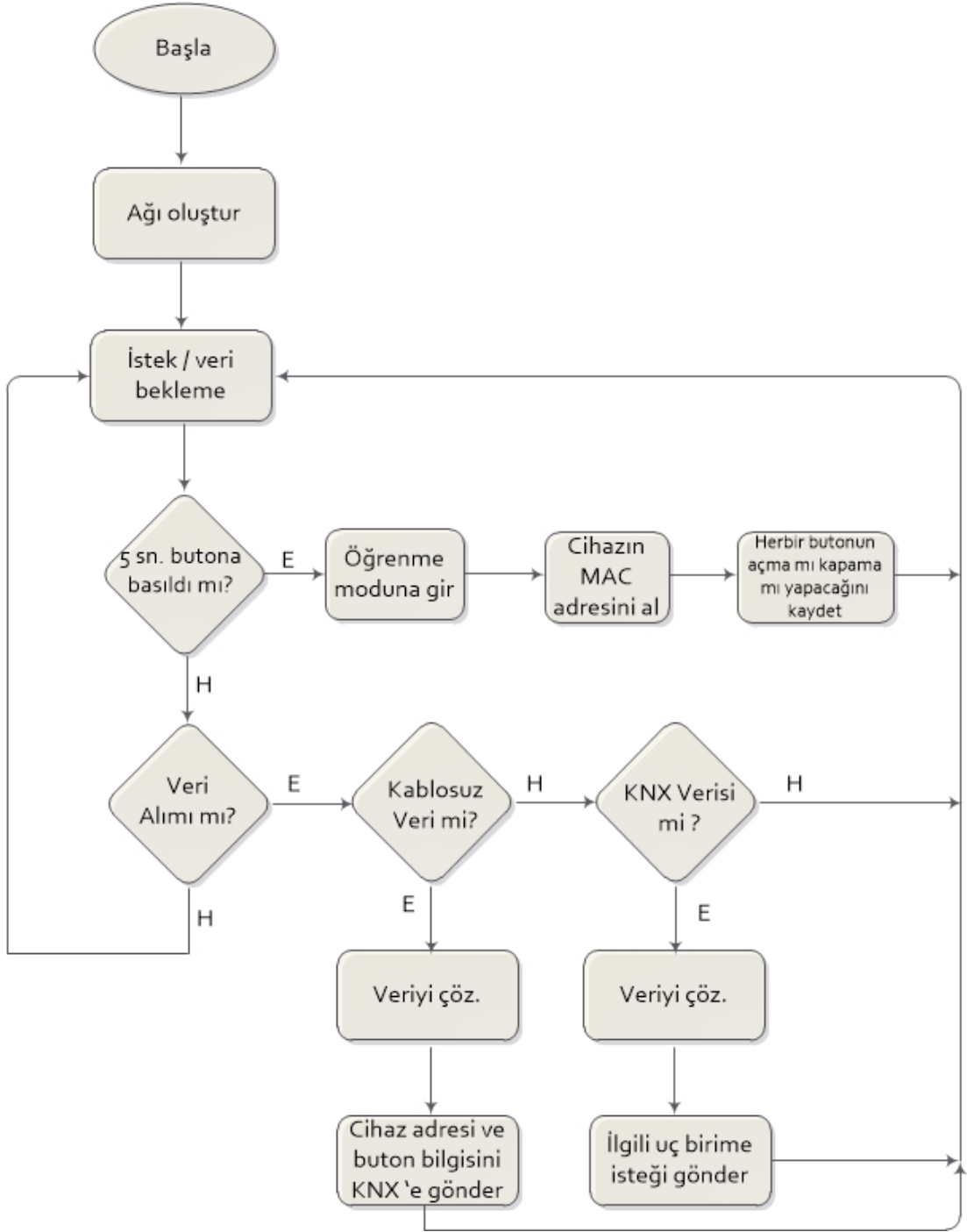
İki farklı uç birim olduğundan dolayı uç birimler için iki farklı senaryo uygulanmıştır. Pilli uç birimler için pilin uzun süre kullanılabilmesi adına düşük güç tüketimi önem arz ettiğinden dolayı işlemciler uyku modunda kullanılmaktadır. Bu

birimlerde sadece pin kesmeleri aktif edilmektedir. Röleli uç birimler gücünü 220 V Şehir Őebekesinden aldığından dolayı g kritik değildir ve dolayısıyla uyku modu kullanılmamaktadır. Bu birimlerde röle olduğundan dolayı pin kesmesi ile butona basıldığı algılandıktan sonra bu rölelerin durum değişimlerinin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

3.4.1.2. Uygulama yazılımı

Koordinatör, ağı kurmak, yönetmek ve uygun uç birimlerin ağa dahil edilmesini sağlamakla görevlidir. Aynı zamanda uç birimler üzerinden KNX ağında değişiklik yapılmak istendiğinde verilerin uygun Şekilde KNX ağına aktarılması ve KNX ağından gelen verilerin ağın isteyeceği Şekle dönüŐtürülmesinden sorumludur.

Şekil 3.12’de koordinatör yazılımının akış diyagramı verilmiştir.



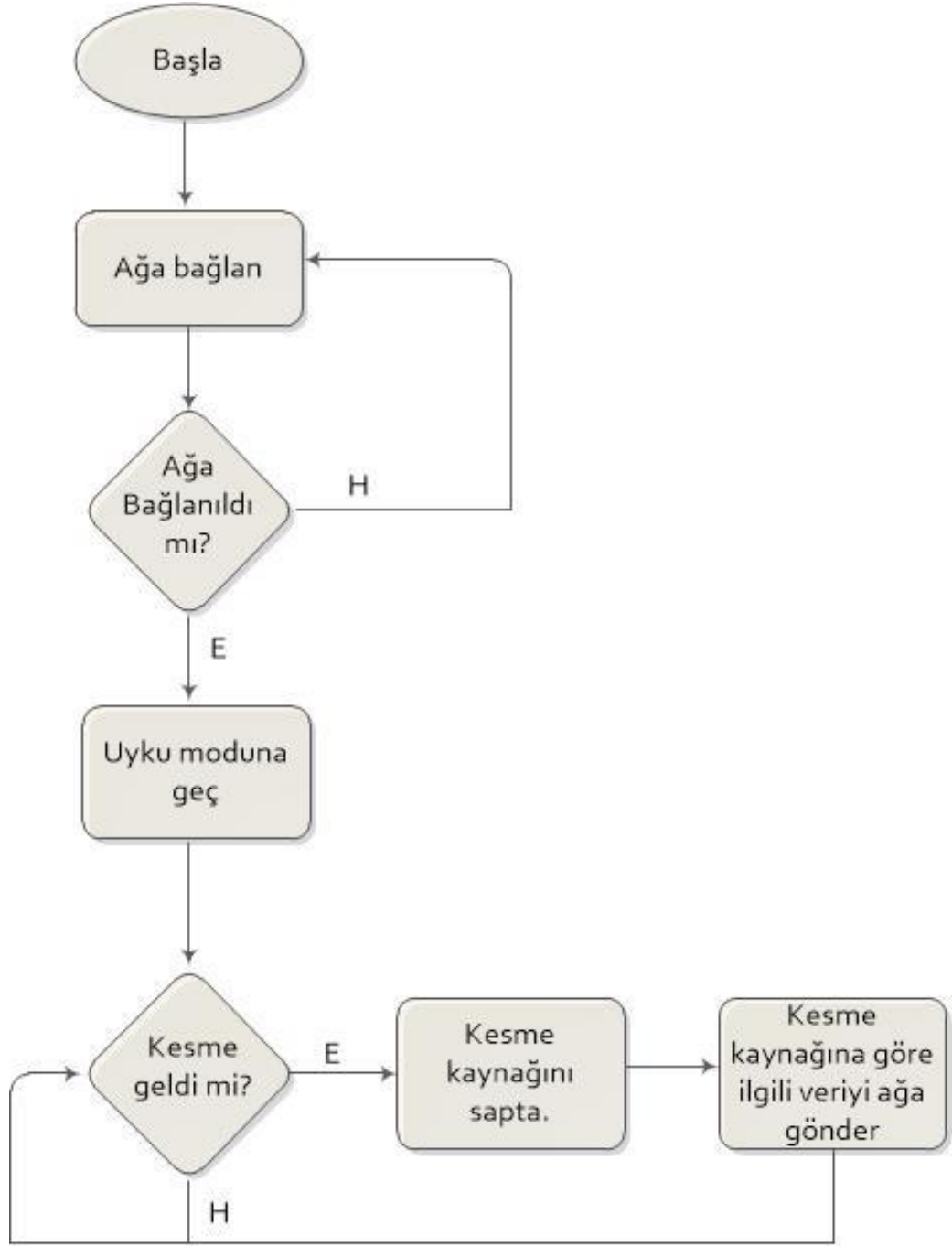
Şekil 3.12. Koordinatör yazılımı akış diyagramı

Akış diyagramından da görüldüğü gibi koordinatör ilk olarak ağı kurmakta, daha sonrasında ise hem kablosuz ağdan hem de seri porttan veri gelmesini beklemektedir. Veri geldiğinde gelen veri çözümlenmektedir. Eğer gelen veri kablosuz ağdan ise veri çözümlendikten sonra ilgili verinin hangi cihazdan ve hangi butondan geldiği

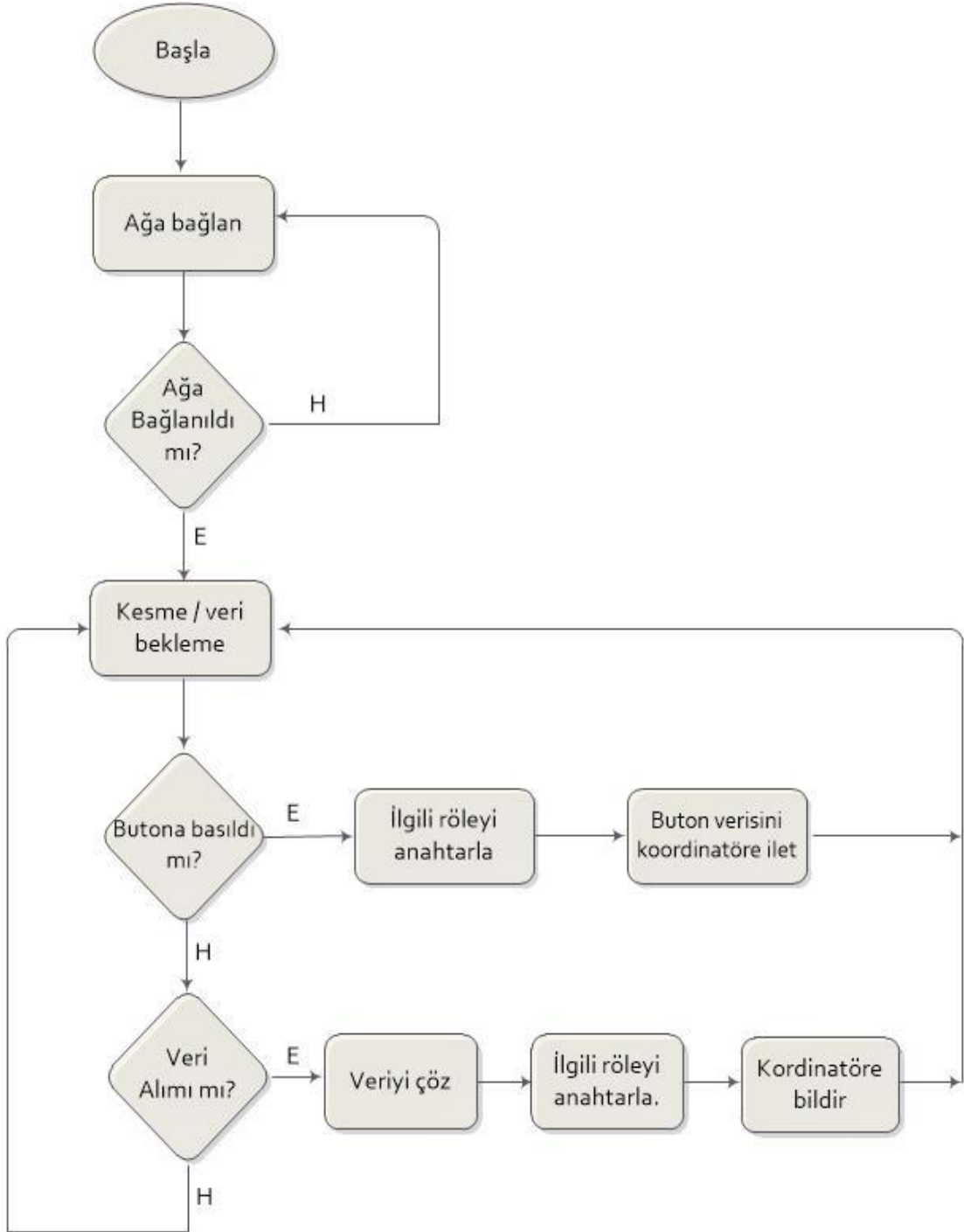
seri port üzerinden KNX ağına aktarılmaktadır. Eğer gelen veri seri porttan ise gelen veri çözümlendikten sonra ilgili veri gereken işlemi gerçekleştirecek uç birime kablosuz olarak gönderilmekte ve yeni verinin gelmesi beklenmektedir.

Ayrıca akış diyagramında ağı yeni bir cihaz tanıtımı yapılabildiği de görülmektedir. Kurgulanan senaryo uyarınca ağı yeni bir cihazın katılımının sağlanması için koordinatör üzerinde bir buton ayrılmıştır. Bu butona 5 saniye boyunca basıldığı takdirde cihaz öğrenme moduna girmektedir. Öğrenme modu, kablosuz ağı ya da KNX ağına yeni bir cihaz katıldığında aktif hale getirilmelidir. Öğrenme moduna girildiğinde kablosuz ağı ya da KNX ağına yeni tanıtılan cihazın MAC bilgisi koordinatörün kalıcı belleğine kaydedilir. Ayrıca koordinatör üzerinde bulunan LEDler vasıtasıyla yeni tanıtılan cihazların koordinatör üzerindeki hangi röleye iş yaptırabileceği gösterilmektedir. Öğrenme modu esnasında yeni cihazların her bir butonuna teker teker basılarak bu cihazların hangi butonu ile hangi rölenin çekileceği ve hangi butonu ile rölenin bırakılacağı koordinatöre öğretilmekte ve öğrenme modu tamamlandığında bu bilgiler koordinatörün kalıcı belleğine kaydedilmektedir. Öğrenme modu ile ağı tanıtılmamış bir cihaz ağına bağlansa bile ağıda hiçbir şekilde değişiklik yapılmasına izin verilmemektedir. Böylece ağıda istenmeyen cihazların kullanımının önüne geçilmektedir.

Şekil 3.13'te pilli uç birimler için kullanılan akış diyagramı, Şekil 3.14'de ise röleli uç birimler için kullanılan akış diyagramı verilmiştir.



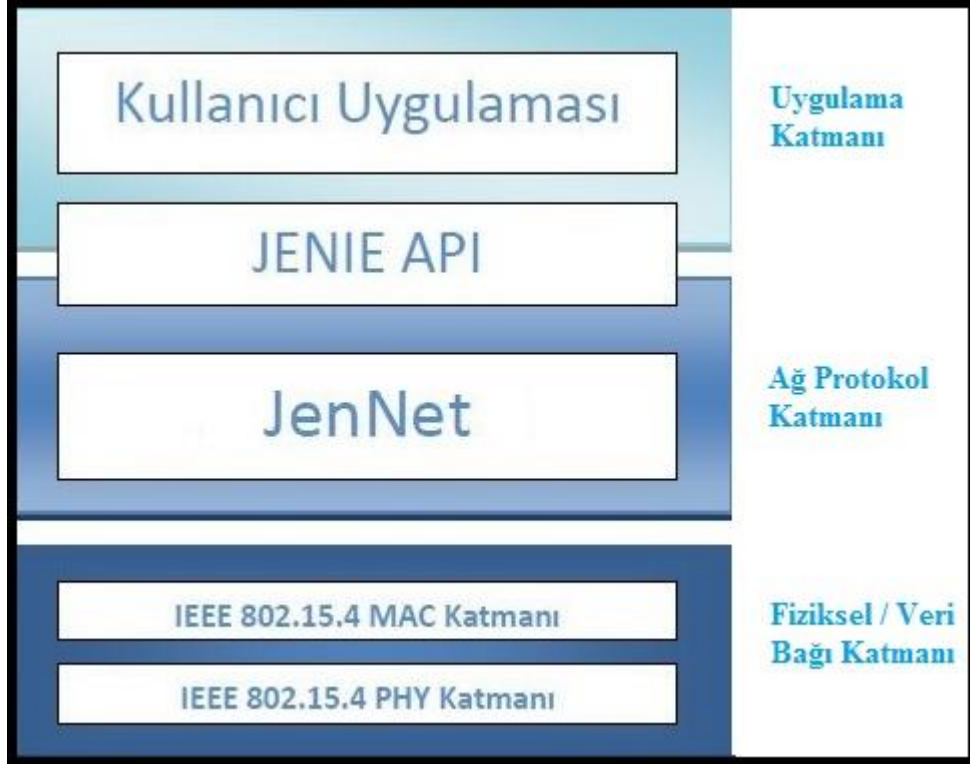
Şekil 3.13. Pili uç birim akış diyagramı



Şekil 3.14. Röleli uç birim akış diyagramı

Verilen blok diyagramlardan görüldüğü üzere her iki uç birim de öncelikle koordinatör tarafından kurulan ağa bağlanmaktadır. Ardından ise beklemeye geçmekte ve butonlardan gelecek kesmeleri beklemektedir.

JN5148 ile yazılım geliştirmek için NXP tarafından Jenie API ve JenNet API sunulmuştur. Jenie API, kullanıcı uygulamasının JenNet yığıını ile etkileşimini sağlayan temel fonksiyonları içeren kütüphanedir. JenNet API ise JenNet yığın yazılımı ile etkileşmeyi sağlayan yüksek seviyeli kullanıcıların ihtiyaç duyacağı düşük seviyeli fonksiyonları içeren ikinci dereceli kütüphanedir. Şekil 3.15’de detaylı JenNet yazılım mimarisi verilmiştir.



Şekil 3.15. Detaylı JenNet yazılım mimarisi [46]

Uygulama katmanı, düğümler tarafından gerekli servislerin kullanımını sağlayan kullanıcı uygulamalarını içerir. Kullanıcı uygulamaları Jenie API üzerinden ağ ile etkileşim kurarlar [46].

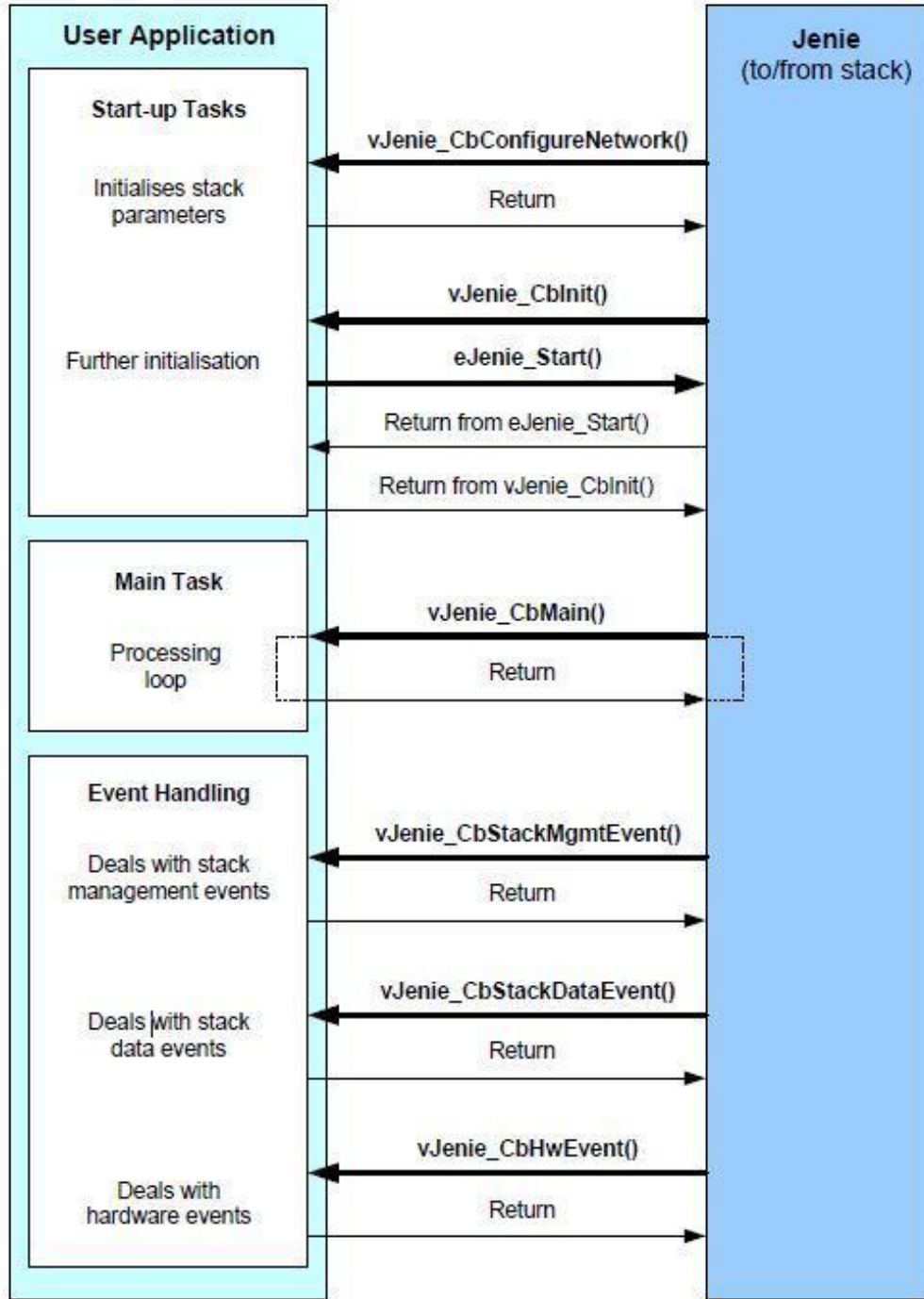
Ağ protokol katmanı, aynı zamanda JenNet ağ katmanıdır. Bu katman ağ adreslemesi ve yönlendirmesini sağlar. IEEE 802.15.4 katmanında çağrılan eylemler tarafından yakalanmasını bu görevleri gerçekleştirir. Ağ katmanı aynı zamanda ağın başlatılması, ağdan bir cihazın ayrılması ya da ağa yeni bir cihazın eklenmesi, mesajların ilgili hedefe yönlendirilmesi ve gönderilen mesajların güvenliğinin sağlanması görevlerini de yerine getirir [46].

Fiziksel / Veri bağı katmanı ise IEEE.802.15.4 standardını yerine getirir. Fiziksel katman ve Veri bağı katmanı olmak üzere iki ayrı katmandan oluşmaktadır. Veri bağı katmanı, IEEE 802.15.4 MAC katmanına karşılık gelmektedir. Hem mesaj iletiminden hem de iletilecek veri çerçevelerinin birleştirilmesinden ve alınan çerçevelerin ayrıştırılmasından sorumludur. Fiziksel katman, IEEE 802.15.4 PHY katmanına karşılık gelmektedir. Fiziksel iletim ortamı arayüzüyle ilgilidir. Hem veri bitlerinin iletilmesi hem de bir üst katmana aktarılmasını bu katman sağlamaktadır [46].

Jenie API, kullanıcı uygulamalarının JenNet yazılım yığını ile etkileşmesini sağlayan temel yapıyı sağlamaktadır. API, C programlama dili fonksiyonlarını içerir ve kablosuz ağlarda uygulama geliştirebilmek için kolay kullanılabilen kaynaklar sunar. Jenie API uygulamadan yığına ve yığından uygulamaya yani geribildirim fonksiyonları olmak üzere iki çeşit farklı tip fonksiyon içerir. Uygulamadan yığına olan fonksiyonlar JenNet yazılım yığını ile etkileşebilmek için uygulamada çağrılırlar. Geribildirim fonksiyonları ise uygulama ile etkileşebilmek için JenNet yazılım yığından çağrılırlar. Prototipleri Jenie API’de tanımlanmıştır fakat içeriğini uygulama kodunu geliştiren kişi ihtiyaçlara göre geliştirme esnasında tanımlamalıdır. Ayrıca Jenie API ağ yönetim görevlerini, veri transfer görevlerini ve genel sistem görevlerini yerine getirecek fonksiyonları içermektedir [46]. Görüldüğü gibi Jenie API vasıtasıyla JN5148 ile rahat bir şekilde kablosuz ağ ve uygulamalarını geliştirebilmek mümkündür.

JenNet API, ağ hakkında Jenie API’nin sunduğu imkanlardan daha fazlasını sunan daha üst düzey kullanıcılar için JenNet yığın katmanının erişim özellikleri ile Jenie API’nin birleştirilmesinden oluşmuştur. API, C programlama dili fonksiyonlarını içerir ve ağa nasıl katılacağı ile ağ arasındaki haberleşme konusunda ek kontroller sunar.

Jenie API farklı işlevleri yerine getirmek için çok çeşitli fonksiyonlar içermektedir. Şekil 3.16’da Jenie API ile başlangıç işlemleri, ana görev ve olay yakalama ile alakalı temel yazılım fonksiyonları verilmiştir.



Şekil 3.16. Uygulama fonksiyonları [43]

Şekil 3.16’da görülen 6 fonksiyon ile JenNet uygulamasının çekirdeği oluşmaktadır. Bu fonksiyonlar kullanılarak JenNet tabanlı uygulamaların çatısı oluşturulmaktadır.

vJenie_CbConfigureNetwork, fonksiyonu soğuk başlatma durumunda çağrılır. Bu fonksiyonda cihazın yönlendirme özelliğinin olup olmayacağına karar verilir ve ağ kimliği(Network ID), kişisel alan adı kimliği (PAN ID) ve kullanılmak istenilen kanal belirtilir.

vJenie_CbInit(bool_t bWarmStart), fonksiyonu hem soğuk hem sıcak başlatmada genellikle uygulamayı ilklendirmek için kullanılır. Bu fonksiyon içerisinde kullanılacak giriş / çıkış pinlerinin, zamanlayıcı ve UART modülü gibi uygulamaya özgü modüllerin konfigürasyonu yapılır. Bu fonksiyon içinde en son olarak eJenie_Start() fonksiyonu çağrılır.

vJenie_CbMain, fonksiyonu düzenli olarak JenNet yığını tarafından uygulamanın ana işlemlerini yapması için çağrılır.

vJenie_CbStackMgmtEvent fonksiyonu ağa katılım veya ağ kopması gibi ağı ilgilendiren olayların oluşması durumunda çağrılır.

vJenie_CbStackDataEvent fonksiyonu ağdan herhangi bir veri gelmesi yada veri ile ilgili bir bilgilendirme(örneğin verinin gönderilen tarafta alındığına dair alındı bilgisi) gelmesi durumunda çağrılır.

vJenie_CbHwEvent fonksiyonu JN5148'in çevresel birimlerinde bir olay meydana gelmesi durumunda çağrılır.

Yukarıda verilen fonksiyonlar geri bildirim(callback) fonksiyonlarıdır ve JenNet tarafından uygulama çalışmaya başladığında ya da uygulama çalışırken ilgili durum oluştuğunda otomatik olarak çağrılır. Uygulama geliştirici sadece bu fonksiyonlar çağrıldığında kendine uygun işlemi yapmakla sorumludur.

Verilen geri bildirim fonksiyonları dışında Jenie API kullanıcının uygulama ihtiyacına göre kullanabileceği çok çeşitli fonksiyonlar sunmaktadır. Burada sadece modülün kullanım modunun nasıl seçildiği, ağa verinin nasıl gönderildiği ve ağdan gelen verinin nasıl yakalandığı ile alakalı birkaç kullanıcı fonksiyonundan bahsedilecektir.

Açıklandığı üzere işlemcinin aynı işlemcinin hem koordinatör hem yönlendirici hem de uç birim olarak kullanılabilmesi mümkündür. Bu, Jenie API içerisinde bulunan eJenie_Start fonksiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Bu fonksiyon eJenie_CbInit fonksiyonu içerisinde çağırılır. Fonksiyon parametresine göre JenNet'te koordinatör olarak belirlendiyse yeni bir ağ oluşturması, yönlendirici ya da uç birim olarak belirlendiyse katılabilmek için bir ağ aranması sağlanır. Geri çağırım fonksiyonları yığından uygulamaya doğru iken eJenie_Start fonksiyonu uygulamadan yığına doğrudur.

Ağda bir noktadan bir başka noktaya veri göndermek için eJenie_SendData fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon 64 Bitlik MAC adresi bilinen hedef düğüme(cihaza) veri göndermek için kullanılır. Bu fonksiyon ile fonksiyonun bir parametresi olan kaynak adresi kısmına "0" girilerek ve fonksiyonun diğer bir parametresi olan u8TxFlags kısmına da TXOPTION_BDCAST değeri verilerek tüm yönlendiricilere veri yayını yapılabilir. Maksimum gönderilebilecek veri boyutu gönderim tipine ve güvenlik durumuna bağlıdır. Bu fonksiyon ağ ayağa kalkana kadar çağrılmamalıdır. Çağrılrsa dahi işlevini yerine getiremez. Eğer fonksiyonu kullanarak veri yolladıktan sonra JenNet yığını tarafında bize verinin gönderilme durumu ile ilgili bir olay üretilmesini istemiyorsak TXOPTION_SILENT bayrağını aktifleştirmeliyiz. Eğer TXOPTION_BDCAST bayrağını set ederek tüm düğümlere veri gönderdiysek zaten yığın tarafında herhangi bir olay oluşturulmayacaktır. Burada olaydan kasıt yığın tarafından bizim için verinin gönderilip gönderilmediğine dair oluşturulacak kesmedir.

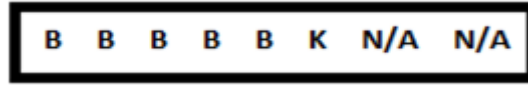
Ağdan gelen bir verinin alınması durumunda ise daha önce açıklaması verilen vJenie_CbStackDataEvent geri bildirim fonksiyonu uygulamada çağırılır. Bu sayede ilgili konumun içeriği okunarak ağdan hangi veri geldiği yakalanabilir ve gelen veriye işlem gerçekleştirilebilir.

Verilen Jenie API fonksiyonları dışında JN5148'e ait donanım tabanlı bazı fonksiyonlar da bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar ile modülün çevresel birimlerinin ilklendirilmesi, kesmelerinin yapılandırılması ya da saat işaretinin ayarlanması mümkündür.

3.4.1.3. Deneysel sonuçlar

Geliştirilen ev otomasyon sistemi ile uç birimler vasıtasıyla hem koordinatör üzerinde bulunan rölelerin hem de KNX ağında bulunan cihazların durumları değiştirilmiştir. Ayrıca KNX ağından gelen veriler ile de koordinatör üzerindeki rölelerin durumunun değişmesi sağlanmıştır. Koordinatör üzerindeki rölelere LED bağlanarak doğru röle ya da rölelerin durumlarının değiştiğinin testleri yapılmıştır.

Kablosuz uç birimlerde bulunan butonlara basıldığında koordinatöre bir baytlık bir mesaj gönderilmektedir. Bu mesajın ilk beş bitinde hangi butona basıldığı altıncı bitinde ise açma işlemi mi yoksa kapama işlemi mi yapılacağı belirtilir. Butonun adreslenmesi için beş bit ayrıldığından dolayı bu sistem ile 32 adet farklı buton yapılandırmasına izin verilmektedir. Bu bir çok uygulama için yeterli bir sayı olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3.17’de 1 baytlık veriye yer verilmiştir.



Şekil 3.17 Haberleşmede kullanılan veri

Şekil 3.17’de B ile gösterilen bitler buton adresine, K ile gösterilen bit açma mı yoksa kapama mı yapılacağına karşılık gelen komuta, N/A ise bitlerin kullanılmadığına karşılık gelmektedir. Hem KAA içerisindeki haberleşmede hem de KAA ile KNX ağı arasındaki ağgeçidindeki haberleşmede aynı veri yapısı kullanılmaktadır.

Koordinatör bu mesajı aldığı anda ilgili butonun kendi üzerinde bulunan röleler ile mi yoksa KNX ağında bulunan bir cihaz ile mi alakalı olduğunu öğrenme modunda kalıcı hafızasına kaydettiği bilgiler doğrultusunda kontrol eder. Eğer mesaj röleler ile alakalı ise ilgili röle çekilerek ya da bırakılarak röleye bağlı bulunan aydınlatmanın açılıp / kapanması sağlanır. Eğer uç birimden gelen mesaj KNX ağı ile ilgili ise mesaj RS232 üzerinden KNX ağına aktarılır. Hem rölelerin çekilip bırakılması hem de KNX ağına veri aktarımında koordinatör tarafından uç birime alındı mesajı göndermektedir.

KNX ağı üzerinde bulunan butonlar ile koordinatör üzerinde bulunan rölelerin çekilip bırakılması sağlanmaktadır. Bunun için KNX ağından koordinatöre, uç birimlerden gelen mesaj ile aynı yapıda bir mesaj gelmektedir.

KNX ağı ile KAA arasında mesaj aktarımı doğrudan gerçekleştirilemez. Arada bulunan bir ağgeçidi vasıtasıyla KNX ağı tarafından anlaşılacak şekle dönüştürölür. Arada kullanılan ağgeçidi San-Tez projesi kapsamında bu çalışma için Viko by Panasonic tarafından sağlanmıştır.

Geliştirilen KAA güç tüketimi açısından oldukça etkin bir çözüm sunmuştur. Bu uygulamada pilli bir uç birimin gücünü esas harcadığı kısım hiç bir işlem yapmadan beklediğı kısımdır. Dolayısıyla bu bekleme süresince çekilen akım güç hesabında en kritik noktayı oluşturmaktadır. Bu uygulamada pilli uç birimler kullanılan uyku modu ile bekleme durumunda 2,6 μA akım çekmektedir. Butona basılma süresi veri gönderilme süresi yaklaşık 100 μs olduğunda ve bir butona günde 100 defa basılabileceğinden hareketle yapılan hesaplamalar neticesinde pilli bir uç birimin 5 yıl boyunca pil değışimine gereksinim duymadan çalışabileceğı görölmüştür.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında kablosuz algılayıcı ağı yaklaşımı ve dünya çapında ev otomasyonu konusunda kabul gören bir standart olan KNX kullanılarak hibrit bir ev otomasyonu uygulaması geliştirilmiştir.

Geliştirilen kablosuz algılayıcı ağının hem geniş kapsama alanına sahip olması hem de düşük güç tüketimi ile uzun süreli çalışabilecek uç birimler sağlaması sayesinde ev otomasyonunda sıklıkla kullanılan aydınlatma uygulamaları için oldukça uygun bir çözüm olduğu görülmüştür. KNX altyapısı olmayan ortamlarda kullanılabilmesi gibi KNX entegrasyonunun sağlanması ile hali hazırda KNX kullanan yapılarda da kullanılabilir olması sistemin önemli avantajlarından biri olarak görülmektedir.

Geliştirilen sistemin ürünleştirilmesi aşamasında var olan PCB'lerin kullanıcının daha rahat kullanabileceği kumanda benzeri yapılara dönüştürülmesi durumunda pazarda daha çok talep göreceği öngörülmektedir.

Bu çalışma sayesinde elde edilen bilgi birikim ile yapılacak gelecek çalışmalarda bit hata oranı, ağın tıkanmadan çalışma süresi gibi çeşitli analizler yapılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network, (Ziyaret tarihi: 18 Aralık 2014).
- [2] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E., Wireless sensor networks: a survey, *Elsevier Computer Networks*, 2002, **38**, 393–422.
- [3] Wang C., Xiao L., Locating Sensors in Concave Areas, *25th Annual Conference of IEEE Infocom*, Barcelona, Spain, 23-29 April 2006.
- [4] <http://ab.org.tr/ab12/bildiri/4.pdf>, (Ziyaret tarihi: 18 Aralık 2014).
- [5] Ata O., Balık H. H., Kablosuz Algılayıcıların Güncel Kullanım Alanları, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 2009, **6**, 107-127.
- [6] <http://uatrobotics.blogspot.com.tr/2010/03/towards-smart-dust.html>, (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2014).
- [7] Mainwaring A., Culler D., Polastre , Robert Szewczyk, and John Anderson, Wireless sensor networks for habitat monitoring, *ACM WSNA '02*, USA, 28 September 2002.
- [8] Werner-Allen G., Deploying a wireless sensor network on an active volcano, *IEEE Internet Computing*, 2006, **10**(2), 18-25.
- [9] <http://artificialretina.energy.gov/>, (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2014).
- [10] <http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue>, (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2014).
- [11] Kim Y., Schmid T., Charviwala Z. M., Friedman J., Srivastava M. B., NAWMS: Nonintrusive Autonomous Water Monitoring System, *6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Syatems*, Ryleigh, USA, 4-7 October 2008.
- [12] Akyildiz I. F., Vuran M. V., *Wireless Sensor Networks*, 1st ed., A John Wiley and Sons Ltd. Publication, Chichester, 2010.
- [13] Townsend C., Arms S., *Wireless Sensor Networks: Principles and Applications*, 1st ed., Elsevier, New York, 2004.
- [14] Raludi R., *Building Wireless Sensor Networks*, 1st ed., O'Reilly, USA, 2011.
- [15] <http://www.ni.com/white-paper/10789/en/>, (Ziyaret tarihi: 18 Aralık 2014)

- [16] Okdem S., Karaboga D., Routing in Wireless Sensor Networks Using an Ant Colony Optimization (ACO) Router Chip, *Sensors* 2009, 2009, **9**, 909-921.
- [17] Bhattacharyya D., Kim T., Pal S., A Comparative Study of Wireless Sensor Networks and Their Routing Protocols, *Sensors* 2010, 2010, **10**, 10506-10523.
- [18] Bekçibaşı U., Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile Çocuk Oyun Alanı Güvenliği, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2011, 295951.
- [19] Hill J. L., System Architecture for Wireless Sensor Networks, Harvard Üniversitesi, <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/course/cs263/papers/jhill-thesis.pdf>, (Ziyaret tarihi: 22 Aralık 2014).
- [20] Pothuganti K., Chitneni A., A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee and Wi-Fi, *Advance in Electronic and Electric Engineering*, 2014, **4**(6), 655-662.
- [21] Cano J-C., Cano J-M., Gonzalez E., Calafate C., Manzoni P., How does Energy Consumption in Bluetooth?, *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 2007, **35**(3), 7-9.
- [22] <http://www.hometoys.com/emagazine.php?url=/htinews/oct99/articles/rye/rye.htm>, (Ziyaret tarihi: 30 Aralık 2014).
- [23] <http://www.eeherald.com/section/newss/nwss201201173.html>, (Ziyaret tarihi: 3 Ocak 2015).
- [24] <http://www.homeautomationgeek.com/signal-relay/z-wave/z-wave-pros-and-cons/>, (Ziyaret tarihi: 3 Ocak 2015).
- [25] Güney M., ZigBee Tabanlı Ev Otomasyon Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 270259.
- [26] http://www.siemens.com.tr/i/assets/content/brosur/synco_living_rb_tr_low.pdf, (Ziyaret tarihi: 1 Ocak 2015).
- [27] <http://www.casadomotiv.com/en/knx/>, (Ziyaret tarihi: 23 Aralık 2014).
- [28] KNX Derneği, KNX Sistem Argümanları Notları, İstanbul, 2010.
- [29] Erkan Yalım, KNX Bina Otomasyon Haberleşme Sistemi Notları, Schneider Electric, İstanbul, 2012.
- [30] Gökbayrak A. B., Kılıvan S., Akın S., Çelebi A., Urhan O., KNX Ev-Bina Otomasyon Sisteminin Kablosuz Algılayıcı Ağı Temelli Bir Yaklaşımla Genişletilmesi, *Gömülü Sistemler ve Uygulamaları Sempozyumu(GÖMSİS) 2014*, İstanbul, Türkiye, 3-4 Aralık 2014.

- [31] http://www.weinzierl.de/download/company/Knx_Info.pdf(Ziyaret tarihi: 28 Aralık 2014).
- [32] Kyselytsya Y., Weinzierl T., Implementation of the KNX Standard, *Weinzierl Engineering GMBH*, 2006.
- [33] Reinisch C., Granzer W., Neugschwandtner G., Praus F., Kastner W., Wireless communication in KNX/EIB, *KNX Scientific Conference*, Vienna, Austria, 9-10 Kasım 2006.
- [34] Gomez C., Paradells J., Wireless Home Automation Networks: A Survey of Architectures and Technologies, *IEEE Commun. Magazine*, 2010, **48**, 92-101.
- [35] Bo S., Wu C., Meng T., Chengxi G., Yunzhou Z., A Data/Image Transmission Device Based on TCPIP Protocol, *8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, Shanghai, China, 21-23 September 2012.
- [36] Baykal B., Hacıhamzaoğlu A. T., Kılıvan S., Urhan O., Ertürk S., Düşük Güçlü Kablosuz Algılayıcı Ağı ile Aydınlatma Kontrol Sistemi, *Gömülü Sistemler ve Uygulamaları Sempozyumu(GÖMSİS) 2012*, İstanbul, Türkiye, 29-30 Kasım 2012.
- [37] Gill K., Yang S., Yao F., Lu X., A ZigBee-Based Home Automation System, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, **55**(2), 422-430.
- [38] Han D-M, Lim J-H, Smart Home Energy Management System using IEEE 802.15.4 and ZigBee, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, **56**, 1403-1410.
- [39] Han J., Choi C-S., Lee I., More Efficient Home Energy Management System Based on ZigBee Communication and Infrared Remote Controls, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2011, **57**, 85-89.
- [40] Gökbayrak A. B., Divarlı S., Urhan O., Ev Otomasyonu Uygulamaları için Kablosuz Algılayıcı Ağı Ağgeçidi Tasarımı, *IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları(SIU) 2014*, Trabzon, Türkiye, 23-25 Nisan 2014.
- [41] Wang W., Zou Y-X., Shi G., Zhu Y., A Web-Service Based Gateway Architecture for Wireless Sensor Networks, *11th International Conference Advanced Communication Technology(ICACTION)*, Gangwon-Do, Kore, 15-18 Şubat 2009.
- [42] Ardam H., Coşkun I., A Remote Controller for Home and Office Appliances by Telephone, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1999, **44**(4), 1291-1297.
- [43] NXP Laboratories, Data Sheet: JN5148-001-Myy JenNet, ZigBee PRO and IEEE 802.15.4 Module, UK, 2010.

- [44] NXP Laboratories, Product Brief – JenNet Wireless Network Protocol Stack, UK, 2010.
- [45] NXP Laboratories, JenNet Stack User Guide JN-UG-3041 Revision 2.0, UK, 2010.
- [46] Granzer W., Secure Communication in Home and Building Automation Systems, Doktora Tezi, Viyana Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Destekli Otomasyon Enstitüsü – Otomasyon Sistemleri Grubu, 2010.

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

- [1] **Gökbayrak A. B.**, Kılıvan S., Akın S., Çelebi A., Urhan O., KNX Ev-Bina Otomasyon Sisteminin Kablosuz Algılayıcı Ağı Temelli Bir Yaklaşımla Genişletilmesi, *Gömülü Sistemler ve Uygulamaları Sempozyumu (GömSis 2014)*, İstanbul, Türkiye, 5-6 Aralık 2014.
- [2] **Gökbayrak A. B.**, Divarcı S., Urhan O., Ev Otomasyonu Uygulamaları için Kablosuz Algılayıcı Ağı Ağgeçidi Tasarımı, *22. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU2014)*, Trabzon, Türkiye, 23-25 Nisan 2014.
- [3] Duvar R., **Gökbayrak A. B.**, Aytekin H. S., Güllü M. K., Urhan O., Ertürk S., Lastik Profillerinin Bilgisayarda Görü Yaklaşımı ile Gerçek Zamanlı Kontrolü, *20. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU2012)*, Muğla, Türkiye, 18-20 Nisan 2014.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Kocaeli’de doğdu. İlköğretim eğitimini Derince Turgut Reis İlköğretim Okulu, lise eğitimini Merkez Bankası Derince Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. 2008 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 2012 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2015 yılında mezun olma durumundadır. 2014 Mart ayından itibaren Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.