

ZIGBEE - IEEE 802.15.4 STANDARTI TEMELLİ KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI

Levent TOKER *Bahadır KARASULU*

Serdar KORUKOĞLU

*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 35100, Bornova-İzmir.*

bahadir.karasulu@ege.edu.tr

levent.toker@ege.edu.tr

serdar.korukoglu@ege.edu.tr

Inet-tr 2009 – Aralık 2009

İçerik

- **Zigbee Teknolojisi Ve IEEE 802.15.4 Standartı**
- **IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı**
 - **ZigBee Teknolojisi Teknik Altyapısı**
- **ZigBee Teknolojisinin Endüstride Kullanıldığı Alanlar**
- **Diğer WSN Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması**
- **Sonuç**

Giriş

- IEEE 802.15.4 standardı temelli bir Kablosuz Algılayıcı Ağı (Wireless Sensor Network, WSN) teknolojisi olan ZigBee, bu standartın belirlediği fiziksel radyo frekanslarının tüm avantajlarını kullanmaktadır.
- ZigBee teknolojisi, uzaktan izleme, kontrol ağları uygulamalarında ve geniş çaplı kablosuz ağların daha düşük maliyet ve güç tüketimi ile oluşturulmasında kullanılabilir.
- Uzun yıllar boyunca ZigBee-temelli cihazlar üzerlerindeki pilleri ile çalışarak verilen izleme görevini yerine getirebilmektedirler.
- ZigBee teknolojisi güçlü mesh ağı teknolojilerini de desteklemektedir.
- Bu teknoloji ev, askeri, zirai, tıbbi ve ticari uygulamalarda kullanılabilir ve sismik, termik, manyetik ve görsel algılayıcıları kapsar.
- Bu çalışmada ZigBee-temelli ağların teknik altyapısı, kullanım alanları incelenmekte ve diğer benzer kablosuz teknolojiler ile karşılaştırılmaktadır.

Genel Bilgiler

- Kablosuz Algılayıcı Ağları (Wireless Sensor Network, WSN) kavramı ilk kez 1980'lerin başlarında karşımıza çıkmıştır.
- Mikro elektro-mekanik (MEMS) sistemlerdeki gelişmeler ve kablosuz haberleşme sistemlerindeki ilerlemelerle birlikte 1990'lı yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmeye başlamıştır.
- İlk zamanlarda askeri alanda kullanılan kablosuz algılayıcı (sensör) ağları; zamanla maliyetlerinin düşmesi ve gelişen algılayıcı teknolojisi sayesinde algılayıcı kabiliyetlerinin artması ile çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1].
- Algılayıcı ağları, nem, sıcaklık, basınç, ses, ışık ve hareketlilik gibi durumsal değişiklikleri takip edebilecek yapıdaki termik, sismik, manyetik ve görsel gibi bir çok farklı tipte algılayıcı içerebilir. Bu ağların uygulama alanları askeri, çevre, sağlık, ev ve diğer ticari alanlar olmak üzere sınıflandırılabilir [2].

Genel Bilgiler

- Askeri alanda, özellikle savaş alanlarında mevcut donanım bilgisine ulaşmak, düşman askerinin hareketlerini izlemek ve savaş hasarı ile ilgili bilgi toplamak için, çevresel uygulamalarda hayvanların hareketlerini izlemek, kimyasal ve biyolojik tespitlerde bulunmak, orman yangınlarını ve sel felaketlerini tespit etmek için, sağlık uygulamalarında ise hasta takibi için kullanılabilir [2].
- Ev uygulamalarında da elektrik süpürgesi, mikrodalga fırın gibi cihazların içine yerleştirilirken ticari uygulamalarda binaların havalandırma ve ısıtma sistemlerinde veya araba hırsızlıklarının tespiti gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [2, 3, 4, 5].
- Özellikle bina içi ortamlar için kablosuz haberleşme sistemleri yaygın bir teknoloji haline gelmiştir. Teknolojik yönden sık sık batarya değişimi pratik olmadığından oldukça düşük güç tüketimine gerek duyulmaktadır [6].
- Bluetooth sistemi kabloyu ortadan kaldıran bir sistem olmasına karşın yüksek karmaşıklığa sahiptir. Bu tarz üniteler, ZigBee'ye göre daha sık batarya değişimine gerek duymaktadır. Bu yüzden IEEE 802.15.4 (ETSI'nin adlandırmasıyla ZigBee) standardı düşük güç ve düşük maliyet ilkesi üzerine tasarlanmıştır.

ZIGBEE Teknolojisi ve IEEE 802.15.4 standardı

- WSN'ler endüstride günümüzün en etkileyici teknolojilerinden biridir.
- ZigBee ismini, arıların çiçekten çiçeğe dolaşırken izledikleri zig-zag şeklindeki yoldan almıştır.
- Bu dolaşım sırasında, diğer arıların bu kaynaklara (çiçeklere) nasıl (nereden) ulaşmış oldukları bilgisiyle hareket ederler.
- Kablosuz bağlanabilirlik için yeni bir standart olan ZigBee, IEEE tarafından duyurulan IEEE 802.15.4 standartını temel alır ve ZigBee Alliance (Birlikteliği) ilk genel standartını uygulamalarda kullanılmak üzere sağlamıştır.
- ZigBee Alliance; Ivensys, Honeywell, Mitsubishi Electric, Motorola ve Philips gibi 200 kadar firmadan oluşmaktadır [10].

ZigBee Teknolojisi Tarihçesi

- PAN'ler (Personal Area Networks) için geçtiğimiz senelere kadar iki ana teknoloji/standart bulunmaktaydı, bunlar: “Bluetooth” ve “WiFi” (yani IEEE 802.11.x) olarak adlandırılırlar.
- Endüstri de kullanılan uygulamaların ana görüşü, kablosuz iletişimin düşük bandgenişliğinde daha az karmaşıklık ve bir çok durumda pil ömrünün neden olduğu sorunlara çözüm getirmesiydi. Bununla beraber, eğer düğümler pil ile beslenir ise düşük güç tüketimi mümkün olabilmekteydi [11].
- WiFi ve Bluetooth bu isterleri karşılamakta (bazılarını karşılasalar da hepsini değil) zorlanmaktaydılar. 1999'da “FireFly” çalışma grubu, bugün ZigBee olarak bilinen teknolojiyi tasarlamaya başladı.
- Gelişim olarak, önce IEEE 802.15.4-2003 temel alınarak ve daha sonra ZigBee Alliance 'in Aralık 2004'te bu işe el atmasıyla süreç gelişti. Böylece ZigBee resmen PAN ağlarından birisi haline geldi [12].
- 2004 yılı ile 2006 yılları arasında pek büyük bir gelişme olmadığı görülmektedir.
- Algılayıcılar ve kontrol birimlerinin yüksek bandgenişliği isterlerinin olmaması, düşük güç tüketimleri yüzünden ZigBee'nin Bluetooth ve WLAN'a göre ön plana çıkmasına neden olmuştur. Buna düşük maddi maliyet de (bir algılayıcı en çok beş dolar civarı olarak alınırsa) eklenince ZigBee kaçınılmaz olarak göz bebeği olmuştur (burada kastedilen low power - low cost RF-IC'lerdir) [12].

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- ZigBee, IEEE 802.15.4 standardı tarafından tanımlanan güçlü radyo (fiziksel katman, PHY) ve Ortam Eklenme Kontrolü (Medium Attachment Control, MAC) katmanları üzerine kuruludur.
- Bu yüzden öncelikle IEEE 802.15.4 standardını incelemekte yarar vardır.
- IEEE 802.15.4-2003 standardı bir Personal Area Network (PAN)'da ki radyo iletişimi ile ara-bağlantılandırılmış cihazları ve temel alınan protokolü tanımlar.
- Standart CSMA/CA ortam erişimi mekanizmasını kullanır ve star, peer-to-peer (eşler arası) gibi topolojileri destekler.
- Ortam erişimi "contention" temellidir.
- Bir IEEE 802.15.4 (ve ZigBee) ağı en azından bir tane tam fonksiyonlu cihaza ağ yöneticisi olarak ihtiyaç duyar, fakat endpoint cihazları sistem maliyetini düşürmek için fonksiyonelliği azaltılmış cihazlar olabilmektedirler.
- Tipik iletim mesafesi, kapalı mekan'da (indoor) görüş alanında olmayan farklı ortamlar arası için 30 metre, görüş alanı için 80 metreden fazla olarak rapor edilmiştir.

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- IEEE 802.15.4, üç adet lisanssız frekans bandını tanımlamıştır.
- İlk band, 2.4 GHz frekans bandını (Industrial, Scientific, Medical (ISM) bandı) kullanır ve 16 kanala sahiptir.
- İkinci band, 902-928 MHz frekans bandını 10 kanalla kullanır.
- En sonuncusu ise 868-870 MHz frekans bandını sadece bir kanal ile kullanır.
- Bu frekans bandlarının kapasiteleri sırasıyla 250 kb/s, 40 kb/s, 20 kb/s 'dir [7, 10,11].
- IEEE 802.15.4 standardı temel olarak iki katmanı (PHY ve MAC) tanımlamıştır. PHY katmanında üç farklı frekans bandında radyo iletişimi yapılabilmektedir. Uygulama için bunlardan sadece birinde çalışabilmesi yeterli olmaktadır.
- Bunlardan 2.4 GHz (2450 MHz) PHY bir onaltılı quasi-ortogonal modülasyon tekniği kullanır. Her bir veri sembol periyodunda, dört bilgi bit'i, 16 yakın ortogonal sözde-rasgele gürültü (**pseudo-random noise, PN**) dizisinden birini, iletilmesi için seçmekte kullanılır.
- PN dizileri bitleştirilmiş ardışık veri sembolleridir ve toparlanmış chip dizisi, **offset-quadrature phase-shift keying (O-QPSK)** kullanan taşıyıcı (carrier), modüle edilmiş durumdadır. Temelde bu modülasyon formatı, O-QPSK kodlaması olarak düşünülebilir ve tipik olarak bir look-up tablosu ile iletici maliyetini azaltan kanal sembollerinin yaratımı için gerçekleştirilir [10, 11].

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

Tablo 1: IEEE 802.15.4 genel karakteristikleri-modülasyon parametreleri.

PHY (MHz)	Frekans bandı (MHz)	Yayılm parametreleri	
		Chip oranı (kchip/s)	Modülasyon
868 & 915	868-868.6	300	BPSK
	902-928	600	BPSK
2400	2400-2483	2000	O-QPSK
Veri parametreleri			
Bit oranı (kb/s)	Sembol oranı (ksymbols/s)	Semboller	
20	20	Binary	
40	40	Binary	
250	62.5	16'lı ortogonal	

Tablodaki kısaltmalar:

BPSK: Binary Phase-Shift Keying

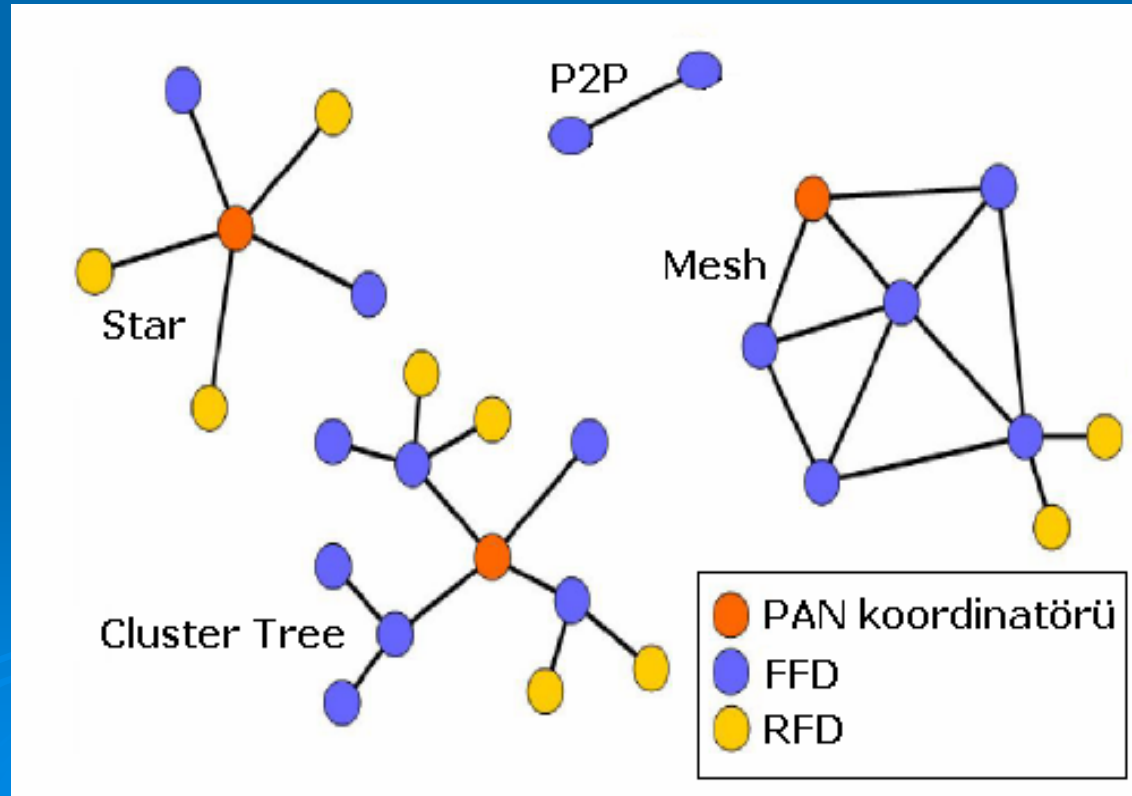
O-QPSK: Offset-quadrature Phase-Shift Keying

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- Tablo 1'de gösterilen frekans bandları [11, 21], 868 MHz – Avrupa için, 902-928 MHz – Kuzey Amerika için, 2.4 GHz – dünya çapında ki uygulamalar için düşünülmüştür.
- Farklı frekans bandlarındaki birkaç kanal spektrum içerisinde tekrar konumlandırmayı mümkün kılar. Bu standart, dinamik kanal seçimine izin verir, bir tarama fonksiyonu beacon aramasında desteklenen kanallar listesini adım adım, alıcı enerjisi tespiti, bağlantı kalite göstergesi, kanal anahtarlama gibi olgularla kontrol eder.
- Düşük frekanslar daha uzak mesafeleri daha düşük yayılım kayıpları nedeniyle sağlarlar. Düşük oran, daha iyi hassasiyet ve büyük kapsama alanına çevrilebilir [11, 21].
- Tüm bandlarda, modülasyon şeması doğrudan dizi yayılım spektrumu'dur (**Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS**). Burada 868 ve 902-928 MHz bandlarında transmitter'in **BPSK (Binary Phase-Shift Keying)** kullandığını belirtmek gerekir.
- 2.4 GHz bandında transmitter offset-QPSK kullanır [7, 10, 11].
- Chip Stream'inin kendisi O-QPSK modülasyonlu olduğundan buna yarım-sinüs pulse-shaping denilmektedir. Bu modülasyon formatı ayrıca **Minimum Shift Keying (MSK)** olarak bilinir.
- Tek ve Çift chip stream'leri standart QPSK için yaratılırlar, fakat O-QPSK bir chip periyodu tarafından shift edilir. PHY katmanı özellikleri olarak radyo alıcısının aktivasyon veya deaktivasyonu ve enerji tespiti veya bağlantı kalite göstergesi, kanal seçimi, temiz (boş) kanal atanması gibi özellikler sayılabilir [7, 13, 14].

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- ZigBee teknolojisi dört temel topolojiyi kullanır: Peer-to-Peer (P2P), Star, Mesh ve Cluster Tree.
- Bunlar Şekil 1 'de görülebilmektedir.
- Topoloji, bir ağın ele aldığı probleme ve ağ şemasına bağlıdır. Her bir topolojinin kendine has avantaj/dezavantajları vardır.
- Şekil 1 'deki **FFD**, Tam Fonksiyonlu Cihaz (**Full Function Device**) ve **RFD** ise İndirgenmiş Fonksiyonlu Cihaz (**Reduced Function Device**) olarak verilmiştir [21].

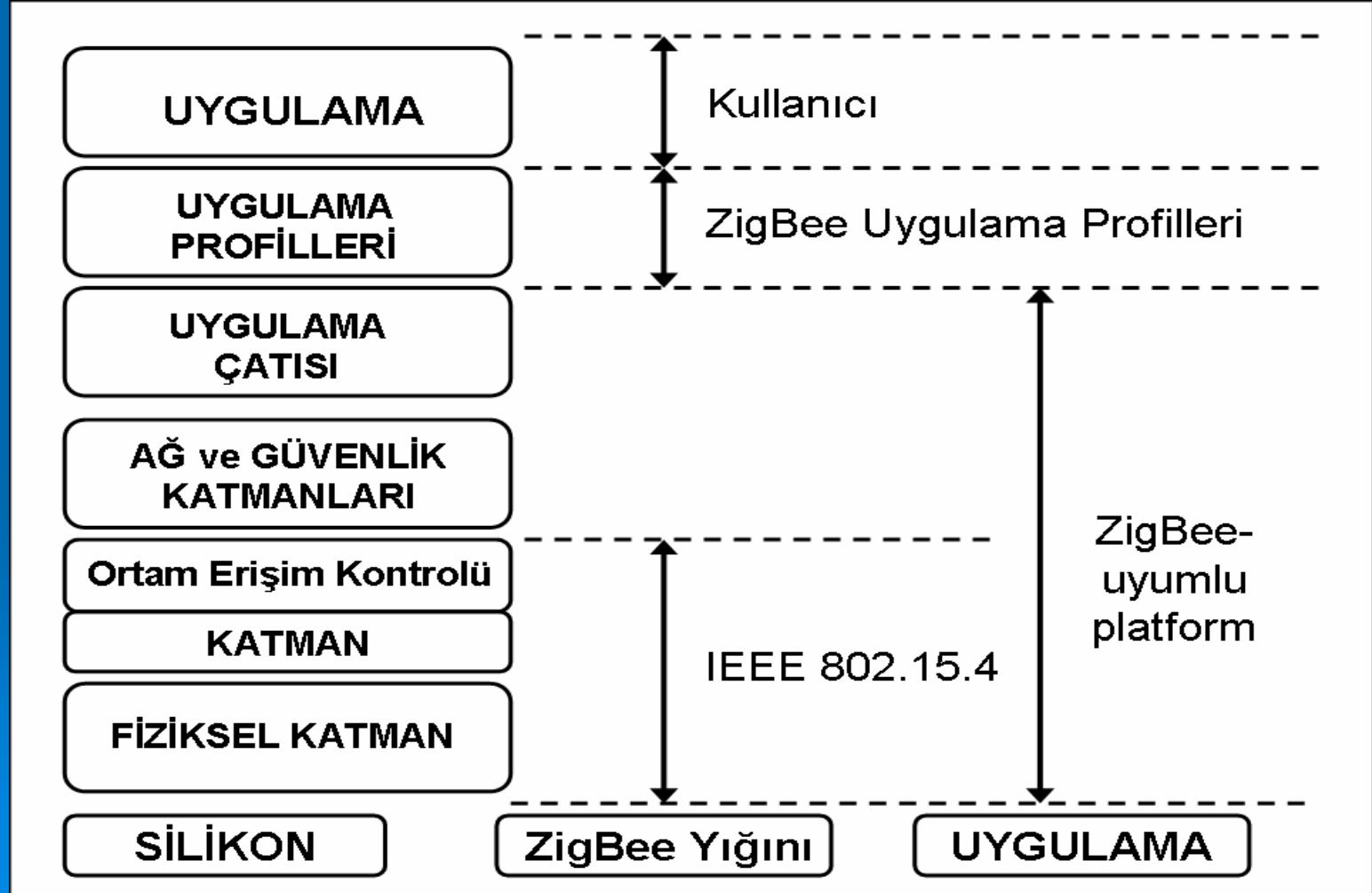


IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- ZigBee Alliance, IEEE 802.15.4 'ü temel alan bir yapılanma izlediği için ilk iki katman (OSI modeline göre PHY ve Data-link (MAC) katmanı) pek bir değişikliğe uğramamıştır.
- ZigBee, IEEE 802.15.4 standartının beacon tekniği kullanır, yani bir düğüm komşusuna devamlı olarak kendisinin ağ'da var olduğunu belirten küçük paketler yollar.
- İki veya daha fazla düğüm bir ağ biçiminde bağlanmışsa, daha sonra diğer düğümler tarafından aralarına (birlik oluşturma) alınabilirler[13].
- ZigBee, “routing discovery” protokolü üzerinden çalışır. Düğümler bir diğeri ile iletişime geçmek istediklerinde bir “route-request” paketini broadcast iletişimi biçiminde yayınlılar.
- Yoldaki düğümler (yol üzerindeki) yol pointer'larını hazırlar ve yol tablosuna onları yazarlar. Daha sonra paket gönderilir. Düğüm bir paketi alır ve yol tablosunu kontrol eder ve paketi başka bir düğüme doğru iletir (yol tablosunda depolanmış bir pointer'ı, hedef düğüme ulaşıncaya kadar kontrol eder) [14]. Hedef düğüme kadar bu işlem devam eder.
- ZigBee ağ'ındaki düğüm, pil ile beslenen veya yüksek enerji tasarrufu yapan, var olan ağları arayabilen, gerekince uygulamasından veri transferi yapabilen, verinin alınıp alınmadığını tanımlayabilen, ağ koordinatöründen veri isteyebilen, uzayan periyodlar için uykuya yatabilen bir yapıda tasarlanmıştır.

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- Aşağıdaki Şekil 2'de ZigBee protokol yığını (katmanları) görülmektedir [15].



IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- IEEE tarafından iki fiziksel cihaz tipi düşük sistem maliyeti için tanımlanmıştır.
- Bunlardan ilki, diğer cihazlarla konuşabilen, ağ koordinatörü yeteneğine sahip olan, herhangi bir topoloji de fonksiyon gösterebilen (çalışabilen) Full Function Device (FFD) 'dir.
- Reduced Function Device (RFD) ise star topolojisi ile sınırlandırılmıştır ve koordinatör olamaz, çok basit bir uygulaması vardır ve sadece bir ağ koordinatörü ile konuşabilir [16].
- Bir ZigBee/IEEE 802.15.4 ağı en azından bir FFD'yi ağ koordinatörü olarak gerektirir, fakat endpoint cihazları RFD olabilir, böylece sistem maliyeti azaltılır. ZigBee ağı dinamik ağ formasyonu, adresleme, routing ve bir hop (sıçrama) yakınındaki komşusunu keşfetmeyi destekler. Ağ adresinin büyüklüğü 16 bit'tir.
- ZigBee, 65535 adet ağı (18.45 x 1018 adet cihazı, IEEE 64 bit adres sayesinde) kabul edebilecek yeteneğe sahiptir. Ağ adresleri ağaç yapısında atanır.
- ZigBee star topolojisi yanısıra mesh gibi topolojileri de desteklediği için, herhangi bir cihaz PAN koordinatörü dışında diğer bir cihazla da iletişime geçebilir, bu yüzden ağ yüksek ölçeklenebilirlik ve esnekliğe sahiptir.
- Kendiliğinden-formasyon ve kendini-iyileştirme özellikleri ZigBee'yi ilgi çekici hale getirmiştir.
- ZigBee cihazları (düğümleri) otomatik olarak ağı oluşturabilirler ve cihazların ağa katılıp/ayrılması otomatik olarak ağ konfigürasyonuna yansıtılır [16].

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

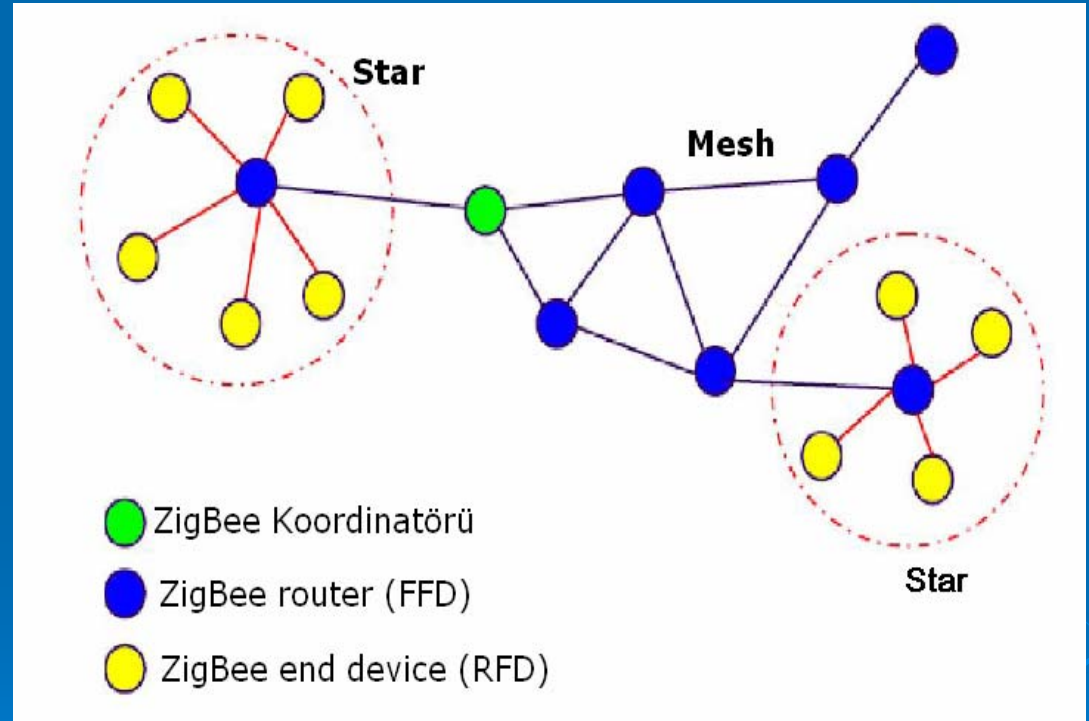
- ZigBee'nin sağladığı routing protokolleri (yönlendirme için), “tree-routing” ve “table-driven routing” sağlarlar.
- Tree routing, blok adres ayırımı mekanizması temellidir buna “**Cskip**” denilir.
- Bunun için her bir cihaz bir adres uzayına sahiptir ve bunu çocuklarına (alt üyelerine) dağıtır.
- Bir cihazın “routing” tablosu ve “route discovery” tablosu yeteneği olmadığı durumda, hiyerarşik ağaçta (bu ağacı takip ederek) hedefinin adresi ile ağacın dallarındaki adresleri karşılaştırma yoluyla, hedefinin konumunu bulabilir.
- Tree routing'in en önemli yararı, onun basitliği ve kaynakların limitli kullanımını sağlamasıdır. Diğer yandan, table-driven routing temelde **Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV)** (Gelişigüzel isteğe bağlı mesafe vektörü) routing protokolüdür.
- Bu protokol genel multi-hop Ad hoc ağ içindir. Oysa tree routing oldukça basittir ve etkin olmayan bir yönlendirmedir, table-driven routing (tablo-ile-sürülen yönlendirme) hedefe olan optimal yolu sağlar [16].
- ZigBee ağında üç tip modül kullanılır, bunlar: PAN koordinatörü, FFD'ler ve RFD'lerdir.

IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

- Aşağıda Şekil 3'de [21] ZigBee için örnek bir ağ modeli görülmektedir.

ZigBee, DSSS modülasyonunu, karışım yapılmış mesh'lerde, star, peer-to-peer (P2P) topolojilerde (buna cluster tree de dahildir) kullanır.

Böylece seçimlik onay mesajları (optional acknowledgements) ile güvenilir bir veri teslimatı sağlar.



Her bir düğüm için nominal mesafe 10 metre'dir, fakat popüler uygulamalarda bu ek bir hop mesafesi için görüş alanındaki düğüm başına 100 metreye kadar çıkar [12, 18, 19].

ZigBee Teknolojisinin Endüstri'de Kullanıldığı Alanlar

- ZigBee WSN'lerini endüstriyel uygulamalarda (otomasyonlar da) kullanmak için Zheng'in çalışmasında bahsettiği [19] şu sorunların ilk etapta çözümlenmiş olması gerekmektedir:
 - **Güvenirlilik**
 - **Gecikme**
 - **İletişim mesafesi**
 - **Güç tüketimi**

Bunların detaylarına kısa kısa bakacak olursak;

ZigBee Teknolojisinin Endüstri'de Kullanıldığı Alanlar

➤ Güvenirlik :

- Endüstriyel ölçüm ve kontrol uygulamaların ticari uygulama ürünlerinden daha yüksek güvenilirliğe ihtiyacı vardır.
- Bunun yanında endüstriyel uygulamaların çok farklı güvenilirlik isterleri vardır.
- Güvenirliğin iyileştirilmesi anlamı ile geleneksel kablolu sistemlerde bu doğruluk/ tamlık olarak etki eder, fakat bunlar oldukça pahalı sistemlerdir.
- ZigBee/IEEE 802.15.4 ağlarının en ilgi çekici özelliklerinden birisi mesh ağlarının yapısıdır.
- Bir mesh ağı, P2P iletişim fonksiyonunun düğümler arasında kullanılabildiği esnek bir ağ'dır.
- Bu ağın gerektirdiği en önemli teknoloji, routing fonksiyonunun gerçekleştirimidir, böylece en karmaşık sistemde bile uygun yol bulunabilmektedir [19].

ZigBee Teknolojisinin Endüstri'de Kullanıldığı Alanlar

➤ Gecikme :

- Kablosuz ağların gerçek zamanlı performansında gecikme oluşmaktadır. ZigBee/ IEEE 802.15.4 ağlarının gecikmesi, hop sayısına bağlı olarak oldukça fazla değişkenlik gösterebilmektedir.
- Bunun yanında, tek bir hop iletişimde bu gecikme oldukça düşüktür (birkaç milisaniye mertebesinde), fakat multi-hop bir yolda, neredeyse hop sayısı ile orantılı olarak gecikme artmaktadır.
- Maksimum gecikme süresi ne ZigBee ne de IEEE 802.15.4 tarafından spesifikasyonlarında belirtilmemiştir.
- Gerçek sistemlerde hop'lar arası gecikmeler yüz milisaniyeler mertebelerine ulaşabilmektedir.
- ZigBee ağların gecikmesi'nin uygulamaların izlenmesinde ve onların yüksek hızlı idaresinde sorunlar yaratacağı sonucu ortaya çıkmaktadır, özellikle kontrol döngüsü bir saniyenin altındaysa bu iş oldukça zor olmaya başlayacaktır [19].

ZigBee Teknolojisinin Endüstri'de Kullanıldığı Alanlar

➤ İletişim mesafesi :

- Radyo çıkış gücü 1mW (0 dBm) olacak şekilde ticari IEEE 802.15.4 RF çip'inin built-in amplifier'ı sayesinde bu güç mevcuttur. Bu sayede 30 metre in-door (bina içi), 100 metre out-door (açık mekan) genişliğinde bir kapsama alanına sahiptir.
- Bunun endüstriyel otomasyon için yeterli olduğu söylenemez. Yerleşim yeri olarak büyük kapsamlı fabrikalar uzak mesafeli iletişimde bulunmak istemektedirler.
- Multi-hop iletişim teknolojisi kullanılırsa, maksimum radyo çıkış gücü arttırılmadan mesafe genişletilebilir.
- Çoklu kaynaklar, gecikme ve güvenilirlik gibi konular göz önüne alındığında maksimum hop sayısı beş civarında olan iletişim genelde çalışmalar için tavsiye edilmektedir [19].

ZigBee Teknolojisinin Endüstri'de Kullanıldığı Alanlar

➤ Güç tüketimi :

- Kablosuz algılayıcılar arası iletişim için kablolama gerekmemektedir.
- Sinyal hat kablolarının kaldırılması yanı sıra güç hattı kablolarının da kaldırılması gerekebilmektedir.
- Endüstriyel bileşenler (algılayıcı, eyleyici gibi) için pil değişimi olmaksızın yıllarca sürecek çalışma süreleri gerekebilmektedir.
- Güç tüketimi adına kablosuz bileşenlerin iletişim olmadığı sürece uykuda kalmasının sağlanması buna bir çözüm olmaktadır.
- İyi tasarlanmış bir IEEE 802.15.4 RF modülü için uyku modu akımı birkaç mikroamper seviyesinde olmaktadır.
- Kullanılabilir pil ömrü, pil kapasitesi, veri oranı (iletilen) gibi olgulara bağlıdır.
- Sıradan kuru pilleri kullanarak bile bu tarz kablosuz bileşenlerin çalıştırılabilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır [19].

ZigBee Teknolojisinin Endüstri'de Kullanıldığı Alanlar

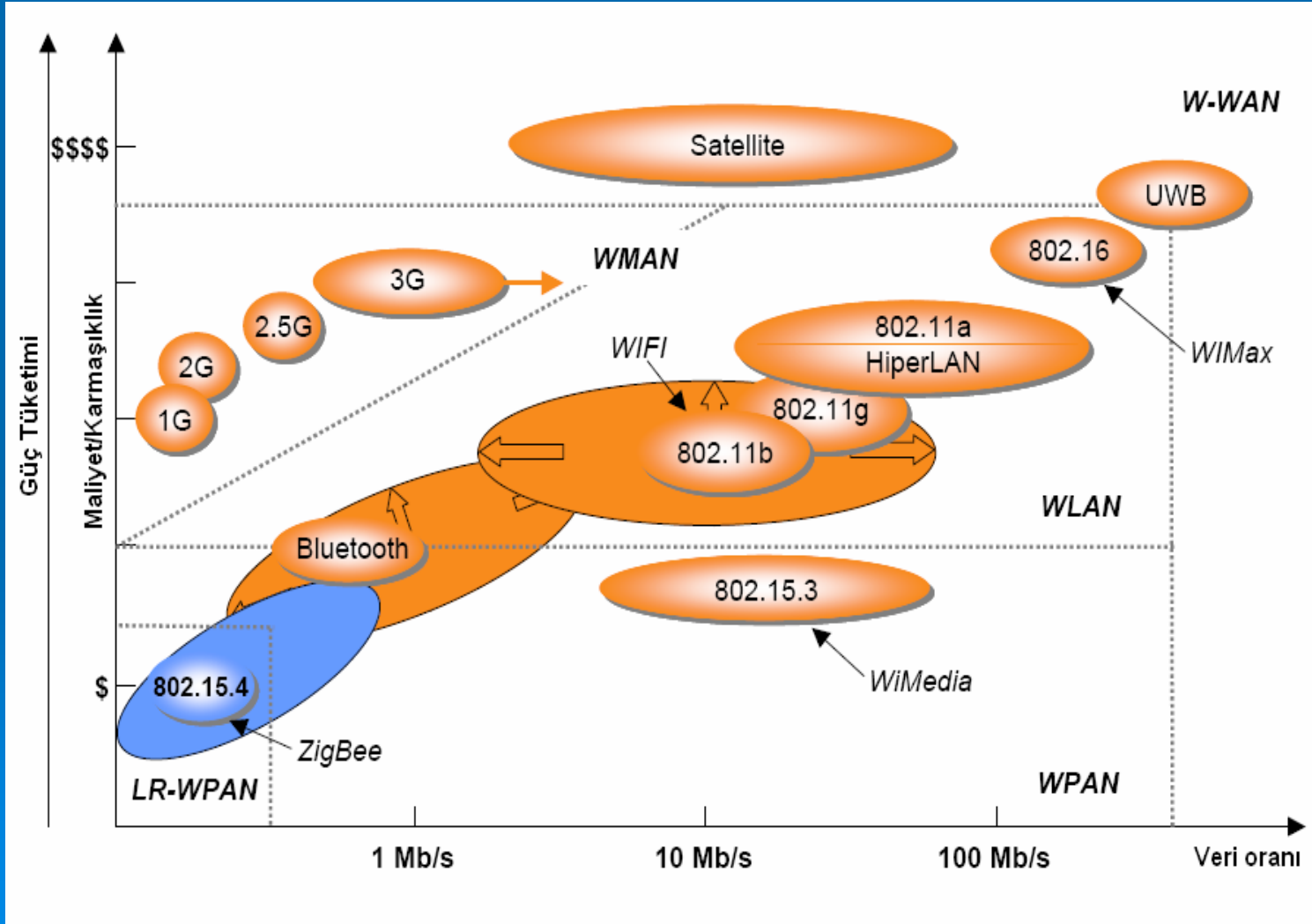
- Endüstride ZigBee ağ'larının kullanımı oldukça yaygın olarak bulunmaktadır, bunları sayacak ve örneklerine de bakacak olursak;
 - Ticari bina otomasyonu (süpermarket stok takibi, ortam ısı takibi, enerji seviyesi kontrolü vs.), Ev Otomasyonu (Yangın, ev içi ısı ve nem kontrolü, vs.), Ev eğlencesi (Akıllı ışıklandırma, film ve müzik ses-görüntü sistemlerinin ayarlamaları vs.),
 - Hayvancılık sektörü (Süt ineklerinin veriminin takip edilmesi, ağıl içindeki eksik hayvan tespiti vs.), Ziraat ve tarım bitkileri koruma (Bitki boyu, yaprak büyüklüğü ölçümleri vs.),
 - Mobil uygulamalar (m-payment, m-monitoring ve kontrolü, m-security ve erişim kontrolü, m-healthcare ve tele-assist vs.),
 - AMR (Otomatik Ölçüm Okuma), kablosuz telemetri, Kimya/Boya/İlaç sektörü (Kimyasal süreçlerin izlenilmesi, ürün kalite-kontrolü vs.), Su arıtma/Atık temizleme (Devasa su arıtma tesislerinde algılayıcıları her bir pompanın olduğu bölüme ekleyerek kontrol odasına gerçek-zamanlı ölçüm verilerinin gönderilmesi)
- gibi konulardır.

Diğer WSN Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması

- ZigBee, personal (küçük) alan ağlarında kullanılan cihazlar arasında belirli miktar veri transferi için kullanılması, ağ ile yapılan ölçüm, tespit, izleme ve uygulamaların kontrol edilmesi ile ilgilenir.
- Fakat WiFi veya Bluetooth gibi büyük boyutlu dosya transferi için elverişli değildir.
- WiFi ve Bluetooth'dan sonra, ZigBee bir PAN veya küçük alan ağı içerisinde cihazlar arası veri transferi için kullanılan teknolojilere ek olarak, ağ algılamasının, WiFi ve Bluetooth'un geçerli veri transferini kontrol altında tutma yaklaşımlarından daha çok uygulamaların kontrol altında tutulduğu, bir teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır.

Diğer WSN Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması

- Diğer low-rate WPAN (LR-WPAN) teknolojileri (Bluetooth vb.) ve diğer bazı kablosuz teknolojiler ile ZigBee teknolojisini [20] Şekil 4'de karşılaştırılması olarak gösterilmektedir.



- ZigBee, WiFi veya Bluetooth'un, birden çok cihazlar arasındaki iletişim yaklaşımına benzemeyen bir biçimde, basit ağlar üzerinden daha az güç tüketimi ve maliyet oluşturacak bir şekilde çalışarak, daha az bandgenişliği istemeleri ile iletişim sağlayabilmektedir.
 - Tablo 2'de detaylar görülmektedir [12, 18, 21].

Özellik		ZigBee	
Odaklanma alanı		İzleme ve Kontrol	
Sistem Kaynağı		4-32 Kb	
Pil Ömrü (gün)		100- 1000+	
Ağ Boyutu		~ Sınırsız (2^{64})	
Ağ veri genişliği (kb/sn)		100- 1000+	
Kapsama Alanı (metre)		1 - 100+	
Başarş alanları		Dayanıklılık, maliyet, güç tüketimi	
Özellik	GPRS/GSM	Wi-Fi	Bluetooth
Odaklanma alanı	Geniş alan ses ve veri	Web, email, Video	Kablo yerine
Sistem Kaynağı	16 Mb+	1 Mb+	250Kb+
Pil Ömrü (gün)	1-7 Gün	0.5-5	1-7
Ağ Boyutu	16 Milyon birim+	32	7
Ağ veri genişliği (kb/sn)	64 - 128+	11000-54000	720
Kapsama Alanı (metre)	1000+	1-100	1-10+
Başarı alanları	Ulaşılabilirlik, kalite	Hız, esneklik	Maliyet, rahatlık

SONUÇ

- Kablosuz Algılayıcı Ağları, son günlerde popülerliğini arttırmış bir konudur.
- Özellikle askeri alanda, mayın tespiti, ülke sınırlarından geçen kaçakların/ saldırganların tespiti vb. gibi konularda yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Ayrıca günlük hayatı kolaylaştırmak için bazı alanlarda (ev, küçük işyerleri, fabrika, okul, hastane vs.) kullanılmaktadırlar.
- Etki alanı tartışması ve bu alanların genişletilmesi açısından alan içindeki cihaz sayısına bakıldığında ZigBee diğer benzer teknolojilere (en azından LR-WPAN alanında) göre daha tutarlı bir durum sergilemektedir.
- WiFi'nin kapsama alanı hotspot'lar arası düzeyde oldukça geniş olabilse de, ağ'a yeni cihaz ekle/çıkar işlemi ZigBee kadar kolay ve zahmetsiz olamamakta ve bu ölçeklenebilirliğe oldukça kötü yönde etki etmektedir.
- ZigBee (Bluetooth da dahil) gibi bu tarz teknolojilerin ISM frekans bandında çalışmaları nedeniyle bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır.

Kaynakça

1. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., "Wireless Sensor Networks-A Survey", *Elsevier Computer Networks*, Vol. 38, 393-422, Mart 2002.
2. Alaybeyođlu, A., Kantarcı, A., Erciyes, K., "Telsiz Duyarga Ağlarında Hedef İzleme Senaryoları", Akademik Biliřim 2009 konferansı, Bildiri No: 69, Harran Üniversitesi, şanlıurfa, 11 - 13 şubat 2009.
3. Ahmed, N., Salil Kanhere, S., Jha, S., "The Holes Problem in Wireless Sensor Networks: A survey", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review (MC2R)*, Sayı 9, No 2, Nisan 2005, 4-18.
4. Li, M., Yang, B., "A Survey on Topology Issues in Wireless Sensor Networks", *ICWN*, Las Vegas, Nevada, USA, Haziran 2006.
5. Pathan, A.S.K., Hyung-Woo L., Choong S. H., "Security in wireless sensor networks: issues and challenges", *The 8th International Conference on Advanced Communication Technology*, ICACT, Cilt 2, 20-22, 2006.
6. Tekin, U., "Kablosuz Duyarga Ağlarında Etkili Yönlendirme Ve Enerji Problemleri", Seminer Raporu, 12.06.2006, GYTE Bil. Müh. Bölümü, Gebze, Türkiye, 2006.
7. Kahveci, S., Türk, K., Kaya, İ., "IEEE 802.15.4 Zigbee Standardının 2.4 GHZ ISM Bandında Kapasite Analizi", *URSI (Union Radio Science Internationale) Türkiye Ulusal Komitesi, URSI-TÜRKİYE'2004 Bilimsel Kongresi*, P.170-172, 8-10 Eylül 2004 Bilkent Üniversitesi-Ankara.
8. Shen, C., Srisathapornphat, C., Jaikaeo, C., (2002), "Sensor information networking architecture and applications", *IEEE Personal Communications*, pp. 52-59, August 2002.
9. Nagar, N., Biagioni, E. S., "Open Issues in Routing Techniques in Ad Hoc Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications*, Vol. 4, pp 1867-1873, 2002.
10. IEEE, (2008), "IEEE Wireless Standards Zone", (<http://standards.ieee.org/wireless/overview.html>)

Kaynakça

11. Callaway, E., Gorday, P., Hester, L., Gutierrez, J. A., Naeve, M., Heile, B., Bahl, V., "Home networking with IEEE 802.15.4 : A developing Standard for low-rate wireless Personal Area Networks", *Communication Magazine*, IEEE, Vol. 40, No. 8, Aug. 2002.
12. ZigBee Birlikteliği (ZigBee Alliance) websitesi, (2008), (Çevrimiçi : <http://www.zigbee.org>)
13. ZigBee Birlikteliği (ZigBee Alliance) Tutorial, (2008), (<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/03/15-03-0305-00-0040-zigbee-tutorial.ppt>).
14. Coates, M., Rabat, M., (2008), "Sensor Networks Part 2: ZigBee and IEEE 802.15.4", (<http://www.ece.mcgill.ca/~coates/publications/shortcourse-part2.pdf>).
15. Benkic, K., Planinsic, P., Cucej, Z., "Custom Wireless Sensor Network based on ZigBee", *49th International Symposium ELMAR-2007*, pp. 259-262, 12-14 September 2007, Zadar, Croatia, 2007.
16. Kim, T., Kim, D. Park, N., Yoo, S., Lopez, T.S., "Shortcut Tree Routing in ZigBee Networks", *Wireless Pervasive Computing - ISWPC 2007, 2nd International Symposium*, p. 42-27, 2007.
17. IEEE Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for LowRate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
18. Kinney, P., "ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works", *Technical-White Paper, (published 2003)*, Kinney Consulting LLC, Chair of IEEE 802.15.4 Task Group, Secretary of ZigBee BoD, Chair of ZigBee Building Automation Profile WG, pat.kinney@ieee.org.
19. Zheng, L., "ZigBee Wireless Sensor Network in Industrial Applications", *SICE-ICASE International Joint Conference*, p.1067-1070, (2006).
20. Gutierrez, J. A., "IEEE Std. 802.15.4. Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks", Eaton Corp., *Graduate Seminar on Sensor Actuator Networks - Tutorial Slides on Berkeley Uni. (Eğitim sunumu)*, 2005, (www.eecs.berkeley.edu/~prabal/teaching/cs294-11-f05/slides/day21.pdf).
21. Safaric, S., Malaric, K., "ZigBee wireless standard", *48th International Symposium ELMAR-2006*, p.259-262, Zadar, Croatia, 07-09 June 2006.

Teşekkürler

➤ Sorular ? ? ?

İletişim:

bahadir.karasulu@ege.edu.tr

levent.toker@ege.edu.tr

serdar.korukoglu@ege.edu.tr

Adres:

*Ege Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Üniversite Cad., 35100, Bornova, İzmir.*