

Kablosuz Sensör Ağı Teknolojisi ve Hassas Tarım Uygulamaları İçin Örnek Bir Model

İlker ÜNAL¹, Mehmet TOPAKCI²

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bucak, Burdur

² Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Antalya
ilkerunal@mehmetakif.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 29.04.2013 Accepted (Kabul Tarihi): 08.07.2013

Özet: Hassas tarım teknolojisinde, makine performansı, toprak ve bitkilere ait özelliklerin belirlenmesi için farklı sensörlerden gelen anlık verilerin toplanması ve otomasyonun sağlanması önemlidir. Hassas tarımın gelişiminin devam ettirilmesinde ise sensör ağı teknolojisi ana teknolojilerden biri haline gelmiştir. Sensör ağları, zamansal, mekansal ve tahminsel değişkenliklerin entegrasyonunun sağlanmasında ve optimum tarımsal yönetim seçeneklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, sensörler ile merkezi kontrol ünitesi arasındaki haberleşmede kablosuz sensör ağları kullanılmaktadır. Kablosuz sensör ağları, maliyet, boyut, güç, esneklik ve dağıtılabilirlik gibi avantajları nedeniyle kablolu sensör ağlarına göre tercih edilmektedir. Ancak, tarımsal üretim uygulamalarında kullanılan birçok sensörün tamamıyla kablosuz olarak kontrol edilmesi mümkün olmayabilmektedir. Bu çalışmada, bazı kablosuz ağ teknolojileri incelenmiştir. Ayrıca, tarımsal sistemlerde ISO 11783 standardı olarak bilinen CAN ve ZigBee kablosuz sensör ağının entegrasyonu ile oluşturulan örnek bir tarımsal sensör ağı modeli tasarlanmıştır. Son olarak, tasarlanan ağ modeli içerisindeki veri trafiği açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kablosuz sensör ağları, ZigBee, ISO 11783

Wireless Sensor Network Technology and an Example of a Model for Precision Farming Applications

Abstract: In precision agriculture technology, real-time data acquisition that come from the different sensors and automation is very important to specify the characteristics of the machine, soil and plant. Wireless sensor network is a major technology that drives the development of precision agriculture. Sensor networks are used to provide integration of the variability such as temporal, spatial and predictive and the determination of the optimal agricultural management options. Recently, wireless sensor networks are used to communication between sensors and the central control unit. Wireless sensor networks are preferred due to the advantages such as cost, size, power, flexibility and deliverability, compared to wired sensor networks. However, many sensors that use in agricultural production application may not be able to control as completely wireless. In this study, some wireless sensor network technologies were surveyed. In addition, a sample agricultural sensor network model that is created with the integration of the CAN (Controller Area Network) known as ISO 11783 and ZigBee wireless sensor network was designed. Finally, the data flow within designed network model between CAN data frame and ZigBee data frame was described.

Key words: Wireless sensor networks, ZigBee, ISO 11783

GİRİŞ

Hassas tarım, zamansal, mekânsal ve tahminsel değişkenliklerin, teknolojinin imkân verdiği araçlar yardımıyla belirlenerek geniş tarım alanlarının yönetimini sağlayan bir sistemdir. Bu sistem içerisinde makine performansı, toprak ve bitkilere ait özellikler gelişmiş fiziksel, kimyasal ve biyolojik sensörler yardımıyla belirlenmektedir (Camilli ve ark., 2007). Birçok sensör tarafından elde edilen verilerin depolanması, değerlendirilmesi ve otomasyonun sağlanması sensör

ağları yardımıyla mümkün olmaktadır (Valada ve ark., 2010). Kablosuz ağ teknolojileri, edinme maliyetindeki azalmalar, sensör boyutlarının giderek küçülmesi, radyo frekans teknolojisi ve dijital devrelerdeki başarılı gelişmelerin neticesinde araştırma ve geliştirme çalışmalarının odak noktasını oluşturmaktadır (Ruiz-Garcia ve ark., 2009).

Kablolu sensör ağları, sistem içerisinde kullanılan tüm cihaz ve kontroller için güvenli ve sağlam bir iletişim imkânı sunmaktadır. Aynı zamanda veri iletim

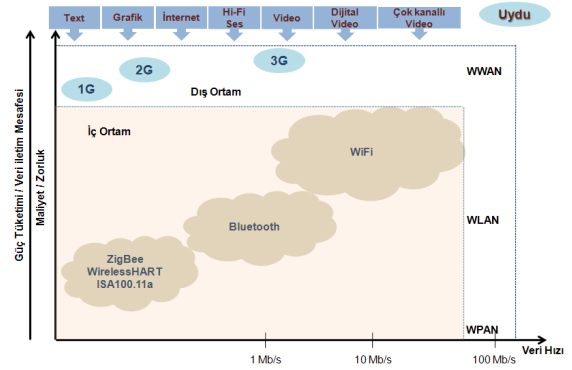
hızı, kablosuz sensörlerle karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Ancak, sistem içerisindeki kablolarda oluşabilecek kopukluklar sistemin çalışmasını durdurabilmektedir. Ayrıca, mobil haberleşme ve hareketli sistemlerden elde edilen verilerin uzak bilgisayarlara gönderilme isteği kablolu ağlar ile mümkün olmaktadır (Lehr ve Chapin, 2010). Bu noktada, kablosuz sensör ağları, maliyet, boyut, güç, esneklik ve dağıtılabilirlik gibi avantajlara sahiptir (Buratti, 2009). Ancak, veri bitlerinde oluşabilen fazla miktardaki hatalar, düşük bant genişliği ve en önemlisi veri iletimindeki gecikmeler kablosuz sensör ağlarının dezavantajları arasındadır (Bansal ve ark., 2010).

Günümüzde, traktör, biçerdöver ve bağlı makinalar üzerinde bulunan elektronik sistemlerin yanı sıra değişken oranlı uygulamalara imkân sağlayan fiziksel, kimyasal ve biyolojik sensörlerin bir haberleşme ağı yardımıyla merkezi bir sunucu üzerinde yönetilmesi gerekli olabilmektedir. Hâlihazırda, traktör ve bağlı makinalar üzerindeki elektronik sistemler arasındaki kablolu haberleşme, ISO 11783 standardı olan CANBUS ağı ile sağlanmaktadır (Fellmeth, 2003). Ancak, tarımsal amaçlı kablosuz sensör teknolojisindeki gelişmeler dikkate alındığında, bu sensörlerin mevcut CAN sistemine uyarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, mevcut kablolu ağ sisteminin güvenilirlik, sağlamlık ve hızlı veri iletimindeki avantajları ile maliyet, boyut, güç, esneklik ve mobil haberleşme gibi avantajlara sahip olan kablosuz sensör ağlarının bütünleşik olarak kullanılması tarım makinalarının otomasyonuna önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada, güncel olarak kullanılan kablosuz sensör ağları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, geniş çaplı kablosuz ağların daha düşük maliyet ve güç tüketimi ile oluşturulmasına imkân sağlayan ZigBee teknolojisi ile CAN teknolojisinin beraber kullanıldığı, hassas tarım uygulamalarında kullanılabilecek örnek bir sensör ağı modeli önerisinde bulunulmuştur.

Kablosuz Sensör Ağları

Endüstriyel otomasyonda kablosuz haberleşme IEEE (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) 802.11 ve IEEE 802.15 kodlarıyla standardize edilerek WPAN (Kablosuz Kişisel Alan Ağı), WLAN (Kablosuz Yerel Alan Ağı) ve WWAN (Kablosuz Geniş Alan Ağı) ağları ile yapılandırılmıştır. IEEE 802.11 tabanlı standartlar, IEEE 802.15 tabanlı standartlara oranla yüksek veri iletim hızlarına imkan vermektedirler.

Ancak, IEEE 802.11 teknolojisi, yüksek oranda güç tüketimi nedeniyle kablosuz haberleşmenin limitlerini sınırlandırmaktadır (Christin ve ark., 2010). Bir sensör ağında bulunan sensör düğümleri ya akümülatör ile ya da pille beslenmektedir. Güç tüketiminin yoğun olduğu IEEE 802.11 teknolojisi ile kablosuz sensör ağı oluşturmak, sistemin kesintisiz şekilde uzunca bir süre çalışmasına engel olmaktadır. Bu sebeple, güç tüketiminin önemli olduğu kablosuz sensör ağlarında IEEE 802.15.1 ve IEEE 802.15.4 tabanlı teknolojiler kullanılmaktadır. Şekil 1’de güç tüketimi, veri iletim hızı ve maliyet konularını da tanımlayan kablosuz ağ mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 1. Kablosuz ağ mimarisi

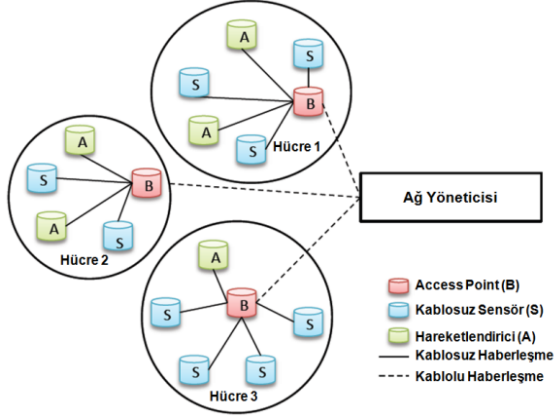
Bu çalışmada, günümüzde endüstriyel otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan 4 farklı kablosuz sensör ağı teknolojisi hakkında bilgiler verilmiştir. Bunlar;

- Wireless Interface for Sensor and Actuators (WISA)
- Wireless HART
- ISA100.11a
- ZigBee

Wireless Interface for Sensor and Actuators (WISA)

WISA, 2003 yılında ABB firması tarafından, IEEE 802.15.1 standardı içerisinde Bluetooth olarak bilinen teknolojiyi kullanan bir kablosuz sensör ağıdır (Scheible ve ark., 2007). Sistem, 2,4 GHz çalışma frekansına, 1 Mbps veri iletim hızına sahiptir. WISA, maksimum 3 hücreye sahip "hücresele star topolojisi"ne göre tasarlanmıştır (Şekil 2). Her bir hücre içerisindeki maksimum 120 adet sensör ve hareketlendirici tek bir baz istasyonuna (Access Point) kablosuz

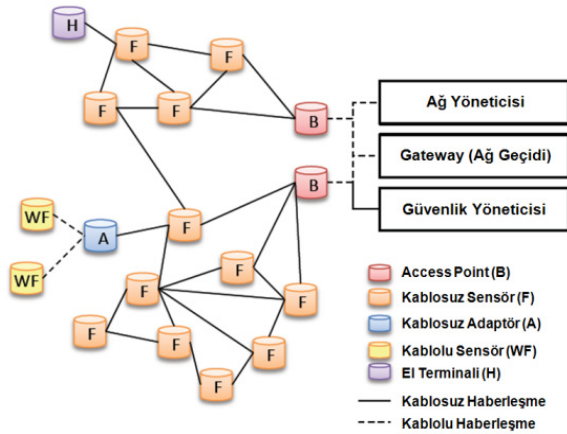
olarak bağlanmaktadır. Baz istasyonu ise topladığı verileri "kablolu fieldbus" (CAN, ModBus, DeviceNet v.s.) yoluyla ağ yöneticisine (Network Manager) iletmektedir (Steigman ve Endresen, 2009).



Şekil 2. WISA Ağ Elemanları (Christin ve ark., 2010)

Wireless HART

Wireless HART, 2007 yılında HART İletişim Vakfı tarafından proses ölçüm ve kontrol uygulamaları için tasarlanmış olan IEEE 802.15.4 tabanlı bir kablosuz sensör ağıdır (De Biasi ve ark., 2008). Sistem 2,4 GHz çalışma frekansına, 250 kbps veri iletim hızına sahiptir. WirelessHART, "mesh topolojisi"ne göre tasarlanmıştır (Şekil 3).

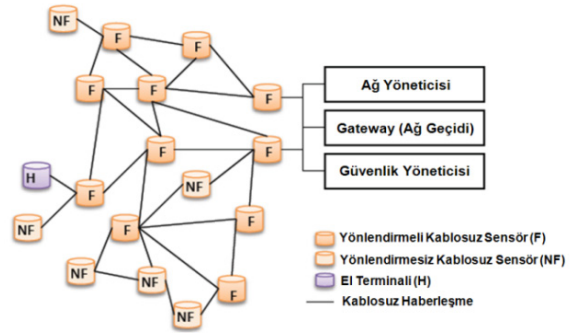


Şekil 3 Wireless HART ağ elemanları (Christin ve ark., 2010)

ISA100.11a

ISA100.11a, Uluslararası Otomasyon Derneği'nin (ISA) bir parçası olan ISA100 standartlar komitesi tarafından 2009 yılında endüstriyel otomasyon uygu-

lamaları için geliştirilmiş olan IEEE 802.15.4 tabanlı bir kablosuz sensör ağı teknolojisidir (ISA, 2009). ISO100 ağı 2,4 GHz frekansında çalışmakta olup 100 ms gibi hızlı bir tepki süresine sahiptir (Willig, 2008). Ağ sistemi, "star" ve "mesh" gibi farklı ağ topolojilerine imkan vermesinin yanı sıra birçok kablosuz ağ teknolojisi ile birlikte çalışabilmektedir. Şekil 4' de ISA100.11a ağ mimarisi ve elemanları gösterilmiştir.



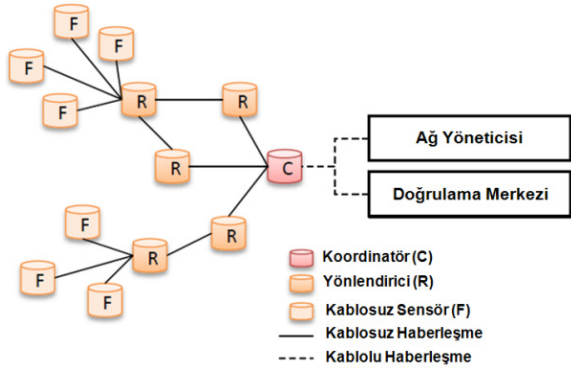
Şekil 4. ISA100.11a ağ elemanları (Christin ve ark., 2010)

ZigBee

ZigBee, 2007 yılında ZigBee Alliance tarafından geliştirilen endüstriyel otomasyon amaçlı, düşük maliyetli ve düşük güç tüketimine sahip IEEE 802.15.4 tabanlı bir kablosuz sensör ağı teknolojisidir (Baronti ve ark., 2007). Sistem, 2,4 GHz çalışma frekansına ve 250 kbps veri iletim hızına sahiptir. Ağ topolojisi olarak "star", "tree" ve "mesh" topolojilerini kullanmaktadır. ZigBee ağı, toplam 65536 ağ düğümünü adresleyebilmektedir (Heile, 2009). ZigBee, WPAN ağlarında kullanılan cihazlar arasında belirli miktar veri transferi için kullanılması, ağ ile yapılan ölçüm, tespit, izleme ve uygulamaların kontrol edilmesiyle ilgilenir. Fakat WiFi veya Bluetooth gibi büyük boyutlu dosya transferi için elverişli değildir (Scheible ve ark., 2007). ZigBee, basit ağlar üzerinden daha az güç tüketimi ve maliyet oluşturacak bir biçimde çalışarak, daha az bant genişliği istekleri ile iletişim sağlayabilmektedir (Karasulu ve ark., 2009).

ZigBee kablosuz sensör ağ donanımları temel olarak üç eleman üzerine kurulmaktadır. Bu elemanlar, ağın kurulması ve ağ üzerindeki iletişimin sürdürülmesi için gerekli işlemleri otomatik olarak yerine getirmekle görevlidirler. Temel bir ZigBee kablosuz sensör ağına bulunan elemanlar; Yönetici (Coordinator), Yönlendirici (Router) ve Uç cihazlar'dır (End

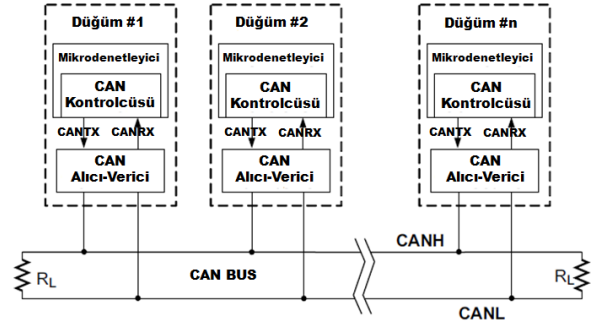
Devices) (Şekil 5). Yönetici, belirlenen frekansta ve uygun kanalda iletişimi başlatan ve ağı yöneten cihaz olarak tanımlanır ve ZigBee ağından gelen verileri başka platformlara seri port, ethernet, Wi-Fi gibi yollarla aktarmak için kullanılır. Yönlendirici, belirlenen frekansta ve uygun kanalda yayın yapan yönetici cihazlara doğrudan bağlanmaktadır. Ağ üzerindeki cihazlardan gelen veya kendi oluşturdukları veri paketlerini otomatik olarak hedefe iletmekle görevlidirler. Uç cihazlar ise, sensör cihazları veya ihtiyaca bağlı ayarlanmış özel donanımlardır.



Şekil 5. ZigBee ağ elemanları (Galeev, 2004)

CAN (Controller Area Network)

Günümüzde, traktörler, biçerdöverler ve diğer bazı makinaların üzerinde bulunan sensörlerin veri ve kontrol bilgileri, CAN hattı üzerinden merkezi elektronik kontrol ünitesi (ECU) ile haberleşmektedir (Darr ve ark., 2003). Yaygın olarak otomotiv ve otomasyon alanlarında kullanılan CAN protokolü, hem kullanım kolaylığı hem de ucuz maliyeti ile günümüzde popülaritesini artırmıştır (Lawrenz, 1995). CAN Protokolü, yüksek hızda bir seri ara yüze sahip olması, ucuz iletim hattını kullanması, kısa data uzunluğu, hızlı etkileşim zamanı, çoklu "master" ve "peer to peer" haberleşme olanağı tanınması gibi üstün özellikleri sebebiyle kullanıcılara büyük avantajlar getirmektedir. Haberleşme topolojisi olarak "bus", "star", "ring" topolojilerinden herhangi birini kullanmasına rağmen, hat topolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır. CAN protokolü, maksimum 1 Mbit/saniye haberleşme hızına sahiptir. Tabii ki bu hız farklı iletim mesafelerine göre değişebilmektedir (Tindell ve ark., 1995). Şekil 6' da tipik bir CAN hattının yapısı gösterilmiştir.



Şekil 6. CAN düğümleri (Ünal, 2006)

CAN düğümleri, CAN hattı üzerinden gelen mesajlara göre hareket eden elektronik yapılardır. Basit bir CAN ağı içerisinde bulunan CAN alıcı-verici, hat üzerindeki elektriksel sinyali lojik seviyeye çevirmek için kullanılmaktadır. Bu eleman yardımıyla, CAN kontrolcüsü ve CAN hattı arasında bir bağlantı sağlanır. CAN entegresi olarak bilinen CAN kontrolcüsü, kullanıcı bilgilerini CAN mesaj çerçevesi içerisinde iletim kanalı üzerinden gönderilen fiziksel bitlere çevirmektedir (Microchip, 2003).

Hassas tarım uygulamalarında, GPS, nem, sıcaklık, basınç, tork vb sensörlerinden anlık verilerin alınması ve bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Her bir sensörden gelen kablonun bilgisayar ortamına bağlanması, karmaşık bir kablo yapısını ortaya çıkarmaktadır. CAN veri iletim ortamında ise tek bir kablo tüm sensörleri ve bilgisayarı birbirine bağlayarak basit bir elektronik ağ oluşturmaktadır. Bu anlamda, hassas tarım uygulamalarında birden fazla sensör kullanılması durumunda en güçlü ve güvenli seri veri iletim ortamı CAN olarak karşımıza çıkmaktadır.

CAN ve ZigBee

CAN, otomotiv ve endüstriyel otomasyon uygulamaları için gerekli olan yüksek veri iletim hızı ve bütünlüğünü karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde CAN, sistem içerisinde kullanılan devre elemanlarındaki düşük maliyeti nedeniyle genel otomasyon uygulamalarında "fieldbus" olarak kullanılmaktadır. Tarımsal mekanizasyonda, traktör ve bağlı ekipmanlar üzerinde bulunan bilgisayar, hareketlendirici, sensörler ve diğer akıllı cihazlar arasında veri aktarımını oluşturmak için ISO 11783 standardı olarak bilinen kablolu CAN teknolojisi kullanılmaktadır (Strauss ve ark., 1999). Ancak, günümüzde kablosuz sensör ağı teknolojilerindeki gelişmeler ile kablosuz

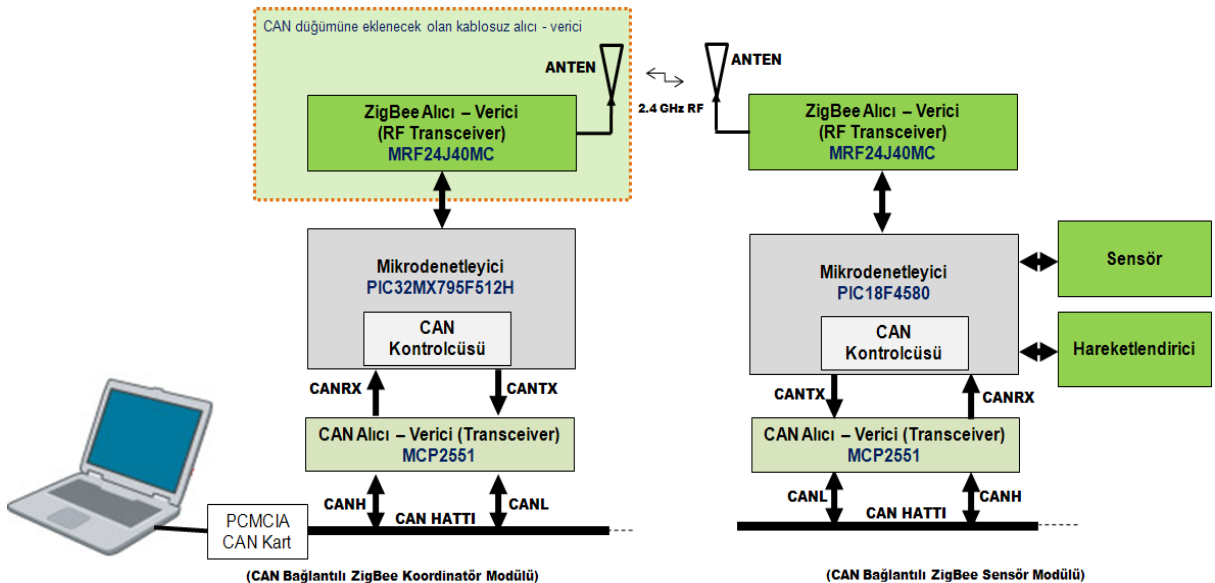
uzaktan izleme sistemlerinin oluşturulması mümkün olmaktadır. Bu durum, traktörler üzerinde bulunan CAN ağı içerisine kablosuz sensör ağlarının entegre edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde birçok kablosuz sensör ağı teknolojisi olmasına rağmen, uygulamalarda genel kabul görmüş olan WISA, WirelessHART, ISA100.11a ve ZigBee ön plana çıkmaktadır. Özellikle tarımsal uygulamalarda ağ esnekliği sağlaması, düşük güç tüketimi ve özellikle aynı anda 65536 sensör ağını kontrol edebilmesi nedeniyle ZigBee ağının kullanımı birçok araştırmacı tarafından önerilmiştir (Baker, 2005; Jedermann ve ark., 2006; Ruiz-Garcia ve ark., 2009; Wang ve ark., 2006;). Bu nedenle yapılan çalışmada, kablolu CAN ile kablosuz ZigBee ağının entegre edildiği tarımsal bir sensör ağı modeli tasarlanmıştır.

TARIMSAL SENSÖR AĞI MODELİ

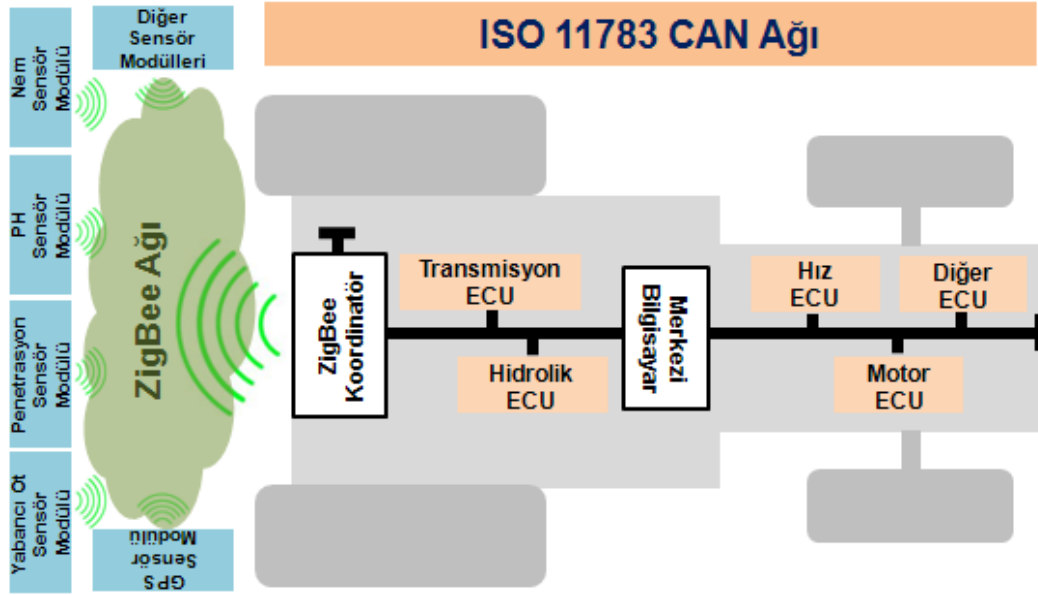
Bu çalışmada, traktör kullanılarak yapılan veri toplama ve değişken oranlı uygulama işlemleri için CAN-ZigBee tabanlı tarımsal sensör ağı modeli tasarlanmıştır. Ayrıca, tarımda kullanılan sensör ve hareketlendiriciler ile traktör üzerinde bulunan merkezi bilgisayar arasındaki veri akışı açıklanmıştır. Sensör ve hareketlendiricilerin bağlı olduğu ZigBee sensör modülü ile elde edilen veriler, CAN hattına kablolu

olarak bağlı olan ZigBee koordinatörüne gönderilmektedir. ZigBee koordinatörü ise, kablosuz sensör modüllerinden gelen verileri merkezi bilgisayara, bilgisayardan gelen verileri ise ilgili sensör modülüne yönlendirmektedir. Burada kullanılan merkezi bilgisayar Traktör Bus sistemi içerisindeki merkezi kontrol ünitesi veya CAN bağlantılı bir taşınabilir bilgisayar da olabilir. Şekil 7'de tasarlanan tarımsal ZigBee koordinatör modülü ile ZigBee sensör modülüne ait blok şema gösterilmiştir.

ZigBee ağlarında ağ topolojisine bağlı olarak koordinatör, yönlendirici ve uç cihaz (sensör) olarak 3 eleman kullanılmaktadır. Eğer sistem "star" topolojisi kurularak tasarlanacak ise ağ içerisinde yönlendirici kullanılmayabilir. Tasarlanan tarımsal sensör ağı modeli "star" topolojisine göre tasarlanmıştır. CAN-ZigBee tabanlı tarımsal sensör ağının oluşturulabilmesi için CAN bağlantılı ZigBee koordinatör modülünün dizayn edilmesi gerekmektedir. Koordinatör modülü kablolu olarak Traktör CANBUS sistemine bağlanmaktadır. Tarımsal işlemlerde kablolu ya da kablosuz farklı sensörler kullanılmaktadır. Bu sebeple tasarlanan sistemde her sensör için ayrı bir sensör modülü dizayn edilmesi gerekmektedir. Tasarlanan sensör modülleri, uç cihaz olacak şekilde oluşturulmalıdır. Tasarlanan tarımsal sensör ağı modeli Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Tarımsal ZigBee koordinatör ve sensör modülleri



Şekil 8. Tasarlanan tarımsal sensör ağı modeli

ZigBee sensör modülleri, topladıkları sensör verilerini IEEE 802.15.4 standardındaki ZigBee veri paketleri ile ZigBee koordinatörüne göndermektedir. Standart bir ZigBee veri paketi Şekil 9'da gösterilmiştir. Veri paketinin boyutu maksimum 127 byte olup içerisinde bulunan bazı değişken alanların durumuna göre bu değer azalabilmektedir. Veri paketi içerisindeki en önemli alan adresleme alanıdır. ZigBee ağlarında, kurulan sistemin topolojisine göre maksimum 65536 adet düğüm oluşturulabilir. Her düğüm içerisine maksimum 240 sensör modülü yerleştirilebilir (Elahi ve Gschwender, 2009). Burada, ZigBee ağ numarası (PAN ID) oluşturulan ağ düğümüne verilen 16 bitlik numaradır. Eğer kurulan ağ sisteminde tek bir düğüm var ise bu ağın numarası 0 (0x0000) olur. Veri paketi içerisindeki hedef ve kaynak adresler, gönderici ve alıcı modüllerin MAC (Media Access Control) adreslerini tanımlamaktadır. Bu adres, ağ içerisindeki modüllerin birbirlerini tanımasını sağlayan 48 bitlik numaralardır (IEEE, 2001). ZigBee ağı adres tabanlı bir haberleşme ortamıdır.

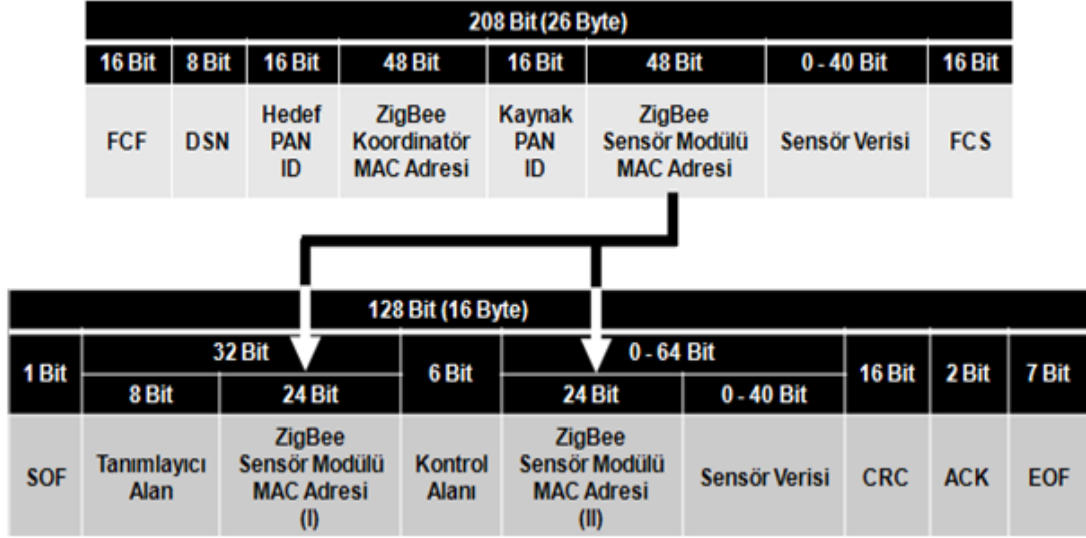
1016 Bit (127 Byte)							
16 Bit	8 Bit	16 Bit	0 - 64 Bit	16 Bit	0 - 64 Bit	0 - 816 Bit	16 Bit
FCF	DSN	Hedef PAN ID	Hedef Adres	Kaynak PAN ID	Kaynak Adres	Veri Alanı	FCS

Şekil 9. ZigBee veri mesajı yapısı

CAN ağı, mesaj tabanlı bir haberleşme ortamı sunmaktadır. Mesaj gönderme işlemi modüllerin adreslerine göre yapılmamaktadır (Farsi ve ark.,1999). Mesajın içerisinde içerik ve öncelik bilgisi bulunmaktadır. Ancak, mesajın gideceği modülün adresi bulunmamaktadır. Sistem içerisinde bulunan her modül, bus üzerinden gönderilen her mesajı alır. Bu noktadan sonra, modüller gelen mesaja bakarak kendilerine ait ise kabul ederler, değil ise reddederler (Ekiz ve ark., 1996). Bir mesaj, sistemin dizayn şekline göre ya belirli bir modüle ya da birçok modüle gönderilebilir.(Lawrenz, 1997; Hopkins, 2003) Mesaj tabanlı haberleşmede, sistem içerisine yeni bir modül bağlandığında diğer modüllerin takılan bu modülü tanımaları için yeniden programlanmalarına gerek yoktur. Yeni modül, sisteme takılır takılmaz diğer modüllerden gelecek olan mesajları almaya başlar ve kendi üzerindeki programa ve gelen mesajın tanımlama bilgisine göre mesajı kabul eder veya reddeder (Ekiz ve ark., 1996). Şekil 10'da bir CAN veri mesajının yapısı gösterilmiştir.

128 Bit (16 Byte)						
1 Bit	32 Bit	6 Bit	0 - 64 Bit	16 Bit	2 Bit	7 Bit
SOF	Tanımlayıcı Alan	Kontrol Alanı	Veri Alanı	CRC	ACK	EOF

Şekil 10. CAN veri mesajı yapısı



Şekil 11. ZigBee-CAN veri paketi geçişi

Tasarlanan tarımsal sensör ağı içerisindeki mesaj trafiğinin düzenlenebilmesi için standart ZigBee ve CAN mesaj yapılarının yeniden tanımlanarak birbirlerine uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, tarımsal sensör ağı için önerilen ZigBee – CAN veri paketi geçişi Şekil 11’de gösterilmiştir.

Tasarlanan tarımsal ağ modeli “star” topolojisine göre tek bir düğümden oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı ZigBee mesaj yapısı içerisindeki hedef ve kaynak PAN ID numaraları aynı olmalıdır. Ağ modelinde amaç, sensörlerin topladığı anlık verilerin ZigBee koordinatör modülüne gönderilmesidir. Bu sebeple, standart ZigBee mesaj yapısı içerisindeki hedef adres ZigBee koordinatör modülünün MAC adresi, kaynak adres ise ZigBee sensör modülünün MAC adresi olması gerekmektedir. Sensör modülü tarafından gönderilen mesaj koordinatör tarafından merkezi bilgisayara CAN hattı üzerinden gönderilecektir. Ancak, burada temel problem ZigBee mesajının adres tabanlı, CAN mesajının ise mesaj tabanlı olmasıdır. Çünkü CAN mesajı içerisinde gönderici veya alıcının MAC adresi bulunmamaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılması için ZigBee mesajı içerisinde bulunan sensör modülüne ait 48 bitlik MAC adresi iki parçalanarak ilk 24 bit CAN mesajı içerisinde bulunan 29 bitlik tanımlayıcı alanın son 24 bitine, son 24 bit ise CAN mesajı içerisindeki 64 bitlik sensör veri alanının ilk 24 bitine gömülmüştür. Burada, ZigBee mesajının içerisindeki sensör verisi ile CAN mesajı içerisindeki sensör verisi alanlarının maksimum 40 bit olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, sensör modülünün

maksimum 40 bitlik sensör verisi gönderecek şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir.

SONUÇ

Kablosuz sensör ağları, güvenilirlik, esneklik, maliyet verimliliği ve özellikle düşük güç tüketimleri nedeniyle son zamanlarda yapılan çalışmalarda yoğun ilgi görmektedir. Mevcut kablolu ağların çalışmasının mümkün olmadığı yerlerde kullanılabilmesi de geniş bir yelpazede rahatlıkla kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca, mekânsal, zamansal ve tahminsel değişkenlikler gibi birçok faktörün etkisi altında olan tarım sektörüne, kablosuz sensör ağlarının değişkenliklerin belirlenmesi, toplanması ve değerlendirilmesi konularında yardımcı olabilecektir. Ancak, tarımsal mekanizasyonda, ISO 11783 standardı olarak bilinen kablolu bir CAN ağı bulunmaktadır. Bundan dolayı, tarımsal sensör ağlarının tamamen kablosuz olarak yeniden dizayn edilmesi değil, mevcut kablolu sistemin üzerine entegre edilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada, güncel olarak kullanılan bazı kablosuz sensör ağları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, bazı avantajlarından dolayı araştırmacıların önerdiği kablosuz ZigBee ağı ile kablolu CAN ağı uyumlu, tarımsal bir sensör ağ modeli önerisinde bulunulmuştur. Önerilen ağ modeli içerisindeki veri trafiğinin nasıl olması gerektiği açıklanmaya çalışılmıştır. Tasarlanan tarımsal ağ modelinin benzer konularda çalışma yapan araştırmacılara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Baker, N. 2005. ZigBee and bluetooth - Strengths and weaknesses for industrial applications. *Comput.Control. Eng.* 16: 20-25.
- Bansal, R.K., Gupta, V., Malhotra, R. 2010. Performance Analysis of Wired and Wireless LAN Using Soft Computing Techniques- A Review. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 10(8): 67-71.
- Baronti, P., Pillai, P., Chook, V.W., Chessa, S., Gotta, A., Hu, Y.F. 2007. Wireless Sensor Networks: A Survey on the State of the Art and the 802.15.4 and ZigBee Standards. *Computer Communications*, 30, 1655-1695.
- Buratti C, Conti A, Dardari D, Verdone R. 2009. An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution. *Sensors*. 9(9):6869-6896.
- Camilli, A., Cugnasca, C. E., Saraiva, A. M., Hirakawa, A. R., Correa, P. L. P. 2007. From Wireless sensor to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58: 25-36.
- Christin, D., Mogre, P.S., Hollick, M. 2010. Survey on Wireless Sensor Network Technologies for Industrial Automation: The Security and Quality of Service Perspectives. *Future Internet*. 2(2):96-125.
- Darr, M.J., T.S. Stombaugh, J.K. Ward, and M.D. Montross. 2003. Development of a Controller Area Network Based Handheld Data Acquisition System for Identity Preservation. ASAE Paper No. 031103. Annual International Meeting, Riviera Hotel and Convention Center, Las Vegas, Nevada, July 27-30.
- De Biasi, M., Snickars, C., Landerns, K., Isaksson, A.J. 2008. Simulation of Process Control with WirelessHART Networks Subject to Packet Losses. In Proceedings of the Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Washington, DC, USA.
- Ekiz, H., Kutlu, A., Baba, M.D., 1996. Performance Analysis of a CAN / CAN Bridge, International Conference on Network Protocols (ICNP '96), 181-188.
- Elahi, A., Gschwender, A. 2009. ZigBee Wireless Sensor and Control Network. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 07458.
- Farsi, M., Ratcliff, K., Barbosa, M., 1999. An Overview of Control Area Network, IEE Computing and Control Engineering Journal, 10(3): 113-120.
- Fellmeth, P. 2003. CAN-based tractor – agricultural implement communication ISO 11783. *CAN Newsletter* September 2003.
- Galeev, M. 2004. Home Networking with ZigBee. <http://www.embedded.com/design/connectivity/4006430/Home-networking-with-Zigbee> (Erişim: Nisan 2013).
- Heile, B. 2009. ZigBee Smart Energy: The New Frontier for Energy Efficiency. <http://docs.zigbee.org/zigbee-docs/dcn/09-4841.pdf> (Erişim: Nisan 2013).
- Hopkins, A., 2003. Controller Area Networks, Computer Science Seminar Spring, Minnesota.
- IEEE, 2001. Get IEEE 802: Local and Metropolitan Area Network Standards. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802-2001.pdf> (Erişim: Nisan 2013).
- ISA, 2009. ISA-100.11a-2009, Wireless Systems for Industrial Automation: Process Control and Related Applications. <http://www.isa.org> (Erişim: Nisan 2013).
- Jedermann, R., Behrens, C., Westphal, D., Lang, W. 2006. Applying autonomous sensor systems in logistics - Combining sensor networks, RFIDs and software agents. *Sens. Actuat. A-Phys.*, 132: 370-375.
- Karasulu, B., Toker, L., Korukoğlu, S. 2009. ZigBee - IEEE 802.15.4 Standartı Temelli Kablosuz Algılayıcı Ağları, INET-TR Konferansı, İstanbul, 2009.
- Lawrenz, W., 1995. World-wide Status of CAN- Present and Future. *proc. ICC'95 2. International CAN conference*, 0-12 0-25.
- Lawrenz, W., 1997. CAN System Engineering : From Theory to Practical Applications, Springer-Verlag, New York.
- Lehr, W. and Chapin, J., 2010. On the convergence of wired and wireless access network architectures, *Information Economics and Policy*, 22(1):33-41.
- Microchip Inc., 2003. High Speed CAN Transceiver Datasheet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21667f.pdf> (Erişim: Nisan 2013).
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., Robla, I. 2009. A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors*, 9, 4728-4750.
- Scheible, G., Dzung, D., Endresen, J., Frey, J.E. 2007. Unplugged but Connected - Design and Implementation of a Truly Wireless Real-time Sensor/Actuator Interface. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 1, 25-34.
- Steigman, R., Endresen, J. 2009. Introduction to WISA and WPS. <http://www.abb.com> (Erişim: Nisan 2013).
- Strauss, C., Cugnasca, C.E., Saraiva, A.M., Hirakawa, A.R. 1999. Application of the CAN and ISO 11783 protocols to a Planter Monitor In: 3th International Multiconference on Circuits, Systems, communications and Computers-IMACS/IEEE, Atenas, 1999.
- Tindell, K., Burns, A., Wellings, A., 1995. Calculating Controller Area Network, (CAN) Message Response Time, *Control Engineering Practice*, 3(8):1163-169.
- Unal, İ. 2006. CAN (Control Area Network) Üzerinden PIC Programlama, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Valada, A., Kohanbash, D., Kantor, G.A. 2010. Design and Development of a Wireless Sensor Network System for Precision Agriculture. Technical Report: CMU-RI-TR-10-21, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, USA.
- Wang, N., Zhang, N.Q., Wang, M.H. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry – Recent development and future perspective. *Comput. Electron. Agric.*, 50: 1-14.
- Willig, A. 2008. Recent and emerging topics in Wireless industrial communication. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 4(2): 102-124.