

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 İnternet Üzerinden Gezgin Robot Denetimi Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	3
1.2 Tez Çalışmasının Mevcut Altyapısı.....	7
2. GEZGİN ROBOT SİSTEMLERİNDE TERCİH EDİLEN ENDÜSTRİ STANDARDI KISA MESAFELİ TELSİZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ	9
2.1 Frekans Atlamalı Haberleşme Sistemleri	9
2.1.1 Yayılmış Spektrum Teknikleri	9
2.1.2 Doğrudan Dizi Yayılımlı Spektrum.....	9
2.1.3 Frekans Atlamalı Yayılımlı Spektrum.....	9
2.1.4 Bluetooth.....	12
2.1.5 Zigbee (802.15.4).....	13
2.1.6 Chipcon CC1010	13
3. İNTERNET ÜZERİNDEN GEZGİN ROBOT DENETİM MİMARİLERİ	14
3.1 İstemci/Sunucu Mimarisi.....	14
3.2 Uzaktan Hesaplama Mimarisi.....	15
3.3 Talebe Bağlı Kod Mimarisi	15
3.4 Gezgin Ajan Mimarisi	15
3.5 Otonom Çoklu Robot Mimarileri	15
3.5.1 ALLIANCE Sistemi	15
3.5.2 MURDOCH Sistemi.....	16
3.6 İnternet Erişimli Robot Mimarileri.....	16
3.6.1 İnternet Erişimli Tek Robot Mimarileri.....	16
3.6.2 İnternet Erişimli Çoklu Robot Mimarileri	17
4. TEZ KAPSAMINDA TASARLANARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM....	19
4.1 Radyo Modem Alt Sistemi	20
4.2 İnternet Geçit Alt Sistemi	21

4.3	Uzak Kullanıcı Alt Sistemi	21
4.4	Kısa Mesafe Radyo Haberleşmesi	21
4.4.1	Protokol Mimarisi	23
4.4.1.1	Fiziksel Katman	23
4.4.1.2	Veri Bağlantı Katmanı	24
4.4.1.2.1	Ortam Erişim Kontrol Katmanı	24
4.4.1.2.2	Mantıksal Bağlantı Kontrol Katmanı	24
4.4.1.3	Kontrol Hizmet Katmanı	26
4.4.1.3.1	Paket Biçimi	26
4.4.1.3.2	Veri Teslim Hizmeti	27
4.4.1.3.3	Erişim Kontrolü ve Veri Gizliliği	27
4.4.1.3.4	Radyo Ağı Yönetim Hizmetleri	28
4.4.2	Radyo Modem Uygulaması	30
4.4.2.1	Saydam RS 232 Haberleşme	30
4.4.2.2	Radyo Modem Donanımı	31
4.4.2.2.1	Elektronik Denetleme Sistemi	32
4.4.2.2.2	Temel Bant Alıcı-Verici Birimi	34
4.4.2.3	Radyo Modem Yazılımı	36
4.5	İnternet Geçit Sistemi	37
4.5.1	Sistem Kullanım Durumları	38
4.5.2	Sistem Yazılım Mimarisi	40
4.5.2.1	Robot Kanal Yöneticisi	41
4.5.2.2	Robot Haberleşme Yöneticisi	42
4.5.2.3	Seri Port Kontrol	42
4.5.2.4	Robot Vekili	43
4.5.2.5	Sanal Seri Port	44
4.5.3	Sistem Kullanım Durumu Senaryoları	45
5.	SONUÇ	47
	KAYNAKLAR	49
	ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGE LİSTESİ

f Frekans

T Periyot

KISALTMA LİSTESİ

ALDU	Application Layer Data Unit
API	Application Programming Interface
ATM	Automated Transaction Machine
CDMA	Code Division Multiple Access
CRC	Cylindrical Redundancy Check
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
FCC	Federal Communication Community
FHSP	Frequency Hopping Spread Spectrum
FPGA	Field Programmable Gate Array
FSK	Frequency Shift Keying
QOS	Quality Of Service
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial Scientific Medical
KHK	Kontrol Hizmetleri Katmanı
KMRHP	Kısa Mesafe Radyo Haberleşme Protokolü
MBK	Mantıksal Bağlantı Katmanı
OEK	Ortam Erişim Katmanı
PC	Personal Computer
PIN	Personal Identification Number
PSOC	Programmable System On Chip
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RPL	Robot Programlama Dili
TCP	Transmission Control Protocol
TVP	Time Variance Parameter
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	İnternet üzerinden kontrol edilebilen bahçe	5
Şekil 1.2	MOM sistemi web kullanıcı grafik ara-yüzü	6
Şekil 1.3	Gezgin robot sistemi.....	8
Şekil 2.1	Frekans atlamalı sistem terminolojisi.....	10
Şekil 3.1	Dağıtık hesaplama mimari yapıları	14
Şekil 3.2	İnternet erişimli robot mimarileri	17
Şekil 4.1	Sistem kırım ağacı	19
Şekil 4.2	Sistemin genel yapılandırması.....	20
Şekil 4.3	Radyo modem yazılım katmanları	21
Şekil 4.4	Kısa mesafe radyo haberleşme protokolü ağ yapısı	22
Şekil 4.5	KMRHP katmanları.....	23
Şekil 4.6	KMRHP genel paket biçimi	25
Şekil 4.7	Uygulama katmanı paket yapısı	27
Şekil 4.8	Öbek şifreleyicinin blok şeması	28
Şekil 4.9	Ağ üye kayıt akış şeması	29
Şekil 4.10	Kablosuz RS232 haberleşmesi	30
Şekil 4.11	Radyo modem blok gösterimi	32
Şekil 4.12	Telsiz modem ilk örnek devresi	32
Şekil 4.13	Cypress 27443 sistem mimarisi.....	33
Şekil 4.14	UART birimi blok gösterimi	34
Şekil 4.15	Alıcı verici basitleştirilmiş blok şeması	34
Şekil 4.16	Radyo modem sonlu durum makinesi	36
Şekil 4.17	İnternet geçiti genel sistem mimarisi	39
Şekil 4.18	İnternet geçit sistemi kullanım durumları	40
Şekil 4.19	İnternet geçit yazılım bileşenleri	40
Şekil 4.20	Robot kanal yöneticisi ara-yüzleri.....	41
Şekil 4.21	Robot haberleşme yöneticisi ara-yüzü	42
Şekil 4.22	Seri port kontrol ara-yüzü	43
Şekil 4.23	Robot vekili ara-yüzleri.....	43
Şekil 4.24	Sanal seri port ara-yüzleri.....	44
Şekil 4.25	Uzak kullanıcı gezgin robot ilk bağlantı senaryosu	45
Şekil 4.26	Uzak kullanıcı gezgin robot bağlantı sonlandırma senaryosu.....	45
Şekil 4.27	Uzak kullanıcıdan gezgin robota yönelik komut gönderilmesi.....	46
Şekil 4.28	Gezgin robotun sisteme kayıt senaryosu	46

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Protokol komutları.....	26
-------------------------------------	----

ÖNSÖZ

Gezgin ve otonom robotlar geçtiğimiz ve içinde bulunduğumuz yüzyılın en çok spekülasyonu yapılan bilim kurgu konularındandır. Psikolojiden, elektroniğe kaynağı farklı disiplinlerde birçok teorik bilginin bir arada kullanılması gereken teknolojinin ender uygulama alanlarından birisi olması ve gerçeğin kurguyu yakalaması adına teknik anlamda bu konuda çözülmesi gereken bir çok problemin bulunması, konuyu araştırmacılar açısından çekici hale getirmektedir.

YTÜ’de geçmişte bu konuda yapılmış çalışmaların devamı olması bakımından, İnternet üzerinden gezgin robot denetimi için gerekli tümleşik kısa mesafe radyo haberleşme ve İnternet ağı bağdaştırıcısı sistemi geliştirmeyi tez çalışma konusu olarak belirledim.

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince bana yol gösteren değerli danışmanım sayın Yrd. Doç.Dr. Tuncay Uzun’a teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

Günümüzde gezgin robotların endüstri, sağlık, askeri, uzay v.b. alanlardaki uygulamalarında, yaygın olarak kullanılan İnternet ağı altyapısı üzerinden uzaktan denetlenebilmeleri önemlidir. Bunun için gerekli radyo haberleşme sistemi ile tümleşik bir İnternet geçit sistemi önerilmiş ve bir ilk örnek uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Endüstriyel kontrol sistemlerinde denetleyici ve algılayıcılar arasında düşük bant genişliği gerektiren sayısal haberleşme için tasarlanmış bir kısa mesafe radyo haberleşme protokolü gezgin robotlar için uyarlanmıştır. Radyo ağı ve İnternet ağlarının bağdaştırılması için gerekli sistem tasarlanarak, donanım ve yazılım alt birimleri gerçekleştirilmiş ve tümleştirilmeleri ile sistemin çalıştırılabilir bir ilk örneği tamamlanmıştır.

Bu tezin kapsamında gerçekleştirilen sistem, düşük güç tüketimi ve maliyet ile İnternet üzerinden sanal bir şekilde uçtan uca haberleşme imkanı sağlaması avantajıyla, kısıtlı bütçe ile gerçekleştirilecek İnternet erişimli gezgin robot sistemlerinde haberleşme altyapısı olarak kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Gezgin robot, radyo haberleşmesi, İnternet üzerinden kontrol,uzaktan kontrol.

ABSTRACT

Nowadays, remote control of mobile robot applications in industrial, health care, military and etc. fields over the widely used Internet network backbone is an important concept. An Internet gateway system integrated to the required radio communication system is proposed and demonstration application of proposed system is also realized for this aim.

A short-range wireless communication protocol which is designed for the low bandwidth digital communication between controllers and sensors in industrial control systems is adapted to mobile robots. The hardware and software subsystems of the required system which routes radio network to Internet network, are designed and realized into an integrated working demonstration of the adapted system.

The proposed system in this thesis provides peer to peer connection over Internet with low cost and low power advantage can be used as a communication infrastructure in Internet accessible mobile robot systems which would have to be realized with limited budgets.

Keywords: Mobile robot, radio communication, control over Internet, remote control.

1. GİRİŞ

Robot kelimesi ilk defa Çek asıllı yazar K.Capek tarafından yazılan 'RUR' adlı bir oyunda kullanılmıştır. Yazar oyunda mekanik davranışlar sergileyen insanları robotlar olarak sıfatlandırmıştır. Robot kelimesini Slav dilinde iş manasına gelen 'robota' kelimesinden türetmiştir. Günümüzde endüstriyel ve gezgin robot uygulamaları oldukça popüler hale gelmeye başlamıştır. Endüstriyel robotlar genellikle sabit konumlu olup endüstriyel üretim süreçlerinin otomasyonuna hizmet ederler. Öte yanda gezgin robotlar insanlar tarafından yapılan bir takım işlerde yardımcı görevini üstlenirler. Kişisel hizmet amaçlı robotlardan uzay araştırmalarında kullanılan robotlara kadar birçok alanda gezgin robotlardan faydalanılabilir. Bu tip robotların insanlara sağladığı faydaların artırılabilmesi için otonom işlevleri yerine getirebilecek akıllı algoritmalara ihtiyaç duyulur. Robot kendi kararlarını kendisinden beklenenler ile çatışmayacak şekilde vermelidir. Günümüz teknolojisi bugün için robotların akıllı davranışlar sergilemesine olanak sağlayacak bazı yaklaşımlara sahip olmasına rağmen, tamamen otonom şekilde kendi kararlarını verebilen robotları gerçekleştirme noktasından bir hayli uzaktadır. Hareketli robotlarda kullanılan algoritmalar yeterince akıllı olmadığı için cihazların üzerlerinde çok fazla sayıda algılayıcı ve elektronik devrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ve benzeri sebeplerden ötürü, insanlara göre basit robotlara göre karmaşık sayılabilecek işlevleri yerine getirebilecek gezgin robotların maliyetleri de yüksektir. Bu maliyetleri azaltıp, robot maliyetlerini ekonomik fayda açısından kabul edilebilir sınırlara çekebilmek için gezgin robotların denetim çevrimine insanların bir miktar katkıda bulunması gerekir. İnsanların gezgin robotların denetim mekanizmasına katılması için gezgin robot ile aralarında iki yönlü bir haberleşmeye ihtiyaç duyulur. Robotların hareket kabiliyetlerini ve kullanım alanlarının sınırlamamak adına, çoğu zaman sistemin denetim çevrimine insanların uzaktan katılması hedeflenir.

Uzaktan denetlenebilme ve çalıştırılabilme yeteneklerine sahip olan sistemlerin kullanımları (*teleoperation*), eğitimden sağlık hizmetlerine kadar birçok alanda hızla yaygınlaşmaktadır. Genellikle uzaktan çalıştırılabilen sistem ile sistemin uzak kullanıcısı arasındaki iletişim, alışlagelmiş uygulamalar için önceden sınırları belli bir iletişim hizmet kalitesini (*QOS*) garantileyen *ISDN*, *ATM* gibi tahsis edilmiş veri haberleşme alt yapıları kullanılarak gerçekleştirilir. İnternet erişiminin yaygınlaşması ile bu altyapı üzerinden yürütülen veri haberleşmesinin maliyetleri de, tahsis edilmiş haberleşme altyapıları ile karşılaştırılmayacak kadar azalmıştır. İnternet, yüksek veri haberleşme maliyetlerinin kabul edilemeyeceği uzaktan eğitim gibi birçok uygulamayı ekonomik olarak cazip hale getirmiştir. Örneğin bir

üniversitenin coğrafi olarak uzak yerleşkelerinde eğitim amaçlı olarak kullanılan pahalı birden fazla robot yerine tek bir robotun Internet üzerinden paylaşımlı bir şekilde kullanılmasını sağlayarak, operatör eğitimlerinin gerçekleştirilmesi durumunda eğitim maliyetlerinden büyük oranlarda tasarruf edilebileceği açıktır. Alışlagelmiş robot uygulamaları genellikle ağır çalışma şartlarında ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunan zararlı ortamlarda çalışmak için tasarlanmışken, Internet ağı üzerinden çevrim içi olarak denetlenebilen yeni nesil robotlar, uzaktan üretim, müze rehberliği, trafik kontrolü, uzay keşfi, felaket kurtarma çalışmaları, sağlık hizmetleri, ev otomasyonu, güvenlik, reklam, pazarlama v.b. alanlara uygulanma potansiyeline sahiptirler.

Günümüzde hizmet, güvenlik ve eğitim amaçlı olarak *gezgin robotlardan* yararlanılan birçok uygulama Internet ortamında kullanıma hazır durumdadır. Internet üzerinden gezgin robotların izlenmesi ve denetlenmesi halen pratik uygulamalarında çözülmesi gereken sorunları bulunan güncel araştırma konularıdır. Konu ile ilgili literatür taraması yapıldığında, genellikle gezgin robot sistemlerinin Internet'e bakan tarafındaki üst seviyeli haberleşme, yazılım ve denetim mimarilerinin ticari hazır ve standart haline gelmiş teknolojiler kullanılarak etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine rağmen, gezgin robotların Internet ortamına açılmasını sağlayan *Internet geçiti* ile aralarındaki radyo haberleşmesini, güç tüketimi ve maliyet açısından verimli olarak ticari hazır haberleşme sistemleri ile gerçekleştirmenin mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, düşük bant genişliğinde haberleşme isterleri bulunan gezgin robotların Internet üzerinden izlenebilmesi ve denetlenebilmesi için gerekli etkin bir radyo haberleşme alt sistemini de kapsayacak şekilde, kullanıcı ve gezgin robot arasındaki iletişimi sağlayacak genel bir sistem çözümü önerilmiş ve bir ilk örnek uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tez raporunun giriş bölümünde bu konuda yapılmış önceki çalışmalar, genel kabul görmüş kavramlar ve uygulamada ortaya çıkabilecek sorunlar anlatılmıştır. İkinci bölümde, düşük bant genişliğinde haberleşme gerektiren gezgin robot sistemlerinde kullanılacak endüstri standardı kısa mesafe radyo haberleşme sistemlerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde, Internet üzerinden gezgin robotların denetlenebilmesi için kullanılacak genel kabul görmüş yazılım sistem mimarileri modelleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, gezgin robotların uzaktan denetlenebilmesine yönelik haberleşme alt yapısı sağlayan sistem çözümü anlatılmış ve sistemin gerçeklenmesinde kullanılan yazılım ve donanım alt sistemleri anlatılmıştır. Sonuç bölümünde, önerilen sistem çözümünün ilk örnek uygulamasının sonucunda belirlenen üstün ve eksik yönleri ortaya konarak sistemin geliştirilmesi için

yapılabilecek gelecek çalışmalara değinilmiştir.

1.1 İnternet Üzerinden Gezgın Robot Denetimi Konusunda Yapılan Çalışmalar

1950 ve 1960 yılları arasında uzaya ilk uyduların gönderilmesi ile birlikte uydular ve yer istasyonu arasındaki haberleşmede üç saniye gibi bir gecikmenin söz konusu olduğu görüldü. Bu gecikme uyduların uzaktan kontrolü ile ilgili aşılması gereken birçok sorunu da beraberinde getirdi. Cihazların uzaktan kontrol edilmesi ile ilgilenen bu yeni araştırma alanı ‘teleoperation’ olarak anılmaya başlandı (Ogor ve Jean, 2001). *Teleoperation* kavramı cihazlarda mevcut olarak bulunan algılayıcı ve uyarıcı yeteneklerini operatörlerden uzak bir noktaya taşımak olarak tanımlanabilir (Sheridian, 1992). Bu tanımdan yola çıkılarak gezgin robotların İnternet üzerinden denetlenebilmesi de *teleoperation* olarak düşünülebilir.

Uzayın keşfi için yürütölen uzaktan çalıştırılabilme araştırmaları sonucunda temel olarak *Doğrudan Kontrol ve Program Modu* olarak iki farklı kontrol yaklaşımı öne çıkmıştır. *Doğrudan kontrol* yaklaşımında geliştirilen strateji *hareket et ve bekle* prensibine dayandırılmıştır. Açık çevrimli yapısından dolayı komutları veren operatör açısından kullanımı oldukça zordur. Mevcut durumdan çok büyük değişikliklere yol açmayacak şekildeki komutlar bir biri ardına operatör tarafından uzaktaki robota gönderilmelidir. Bir komut gönderildikten sonra robot üzerindeki algılayıcılardan gelen veriler operatör tarafından değerlendirerek bir sonraki komut robota gönderilir. Bu tip bir yaklaşım yalnızca aradaki haberleşme bağlantısının güvenilir olduğu durumlarda işe yarayabilir. Eğer bir acil durum planı yoksa haberleşmenin kopması durumunda uzaktaki robot kaybedilebilir.

Birinci nesil olarak da anabileceğimiz doğrudan kontrollü İnternet robot sistemlerinin uygulamaları 1994 yılına kadar uzanır. *Mercury Projesi* bu bağlamda kayda değer ilk İnternet erişimli robot uygulamalarından birisidir. Bu projede tasarlanan robot kolu çevresindeki nesnelere kaldırma ve taşıma yönelik komutlar ile yönetilir (Bottazi ve Caselli, 2002). *Mercury sistemi* robot, kamera, web sunucusunun çalıştırıldığı UNIX işletim sistemi kurulu bir bilgisayar ve robot ile kamerayı kontrol eden bir kişisel bilgisayardan oluşmuştur. Web sunucu bilgisayarı ve kişisel bilgisayarlar arasında Ethernet bağlantısı vardır. Web sunucusu kullanıcı isteklerini karşılar, kullanıcı tekil numaraları ile şifrelerin değerulamasını yapar ve fare hareketlerini kartezyen koordinatlara dönüştürerek kişisel bilgisayara gönderir, Kişisel bilgisayardan geri besleme olarak gönderilen resimleri de web kullanıcılarına geri besleme olarak gönderir. Kişisel bilgisayar ile robot kablo üzerinden seri haberleşme yaparlar. Kişisel bilgisayar, kartezyen koordinatlarını robotun anladığı komutlar haline dönüştürür ve robota

gönderir ayrıca, kamera yardımı ile yakaladığı resimleri sıkıştırarak web sunucusu bilgisayara gönderir. Robotun kullanıcıları web tarayıcılarını projeye ait web adresine yönlendirdiklerinde; ortama ait son resim ve üç kontrol düğmesinden ibaret bir web grafik ara-yüzü ile karşılaşılır. İki kontrol düğmesi ile kamera açısı kontrol edilirken üçüncü kontrol ile robotun altına monte edilmiş bir kompresörü kullanarak robotun hareket ettiği ortama hava üfleterek kumların içinde saklı bir nesne aranabilir. Kullanıcılar aynı zamanda görüntü üzerinde bir noktaya fare yardımı ile tıklayarak robotun o koordinatlara yönelmesini de sağlayabilirler.

İnternet üzerinden bakımı yapılabilen bahçede uygulaması da birinci nesil uygulamaların göze çarpan örneklerindedir. Web kullanıcıları robot kolunu yöneterek çiçek ekip, sulama gibi görevleri uzaktan gerçekleştirebilirler (Goldberg ve Gentter, 1999). Bahçe kontrol robot sistemine ait gerçek bir resim Şekil 1.1’de verilmiştir. Bir diğer popüler uygulama Şekil 1.2’de grafik ara-yüzü görülen Avustralya’daki bir laboratuvar ortamında bulunan ve beş derecelik bir açı ile hareket ettirilebilme yeteneğine sahip elektromekanik bir robot koludur (Hu ve Tsui, 2004). Benzer bir uygulama İsviçre EPFL’de geliştirilmiş dolambaç ortamında bir noktadan diğerine hareket ettirilebilen bir robottur (Ogor ve Jean, 2001). Bradford üniversitesinde geliştirilen İnternet teleskopu, uzaktan okuma amaçlı *NetroLab* sistemi, *MAX* ve benzeri uygulamalar birinci nesil İnternet robotları için kayda değer diğer örneklerdir (Liu, 2002).

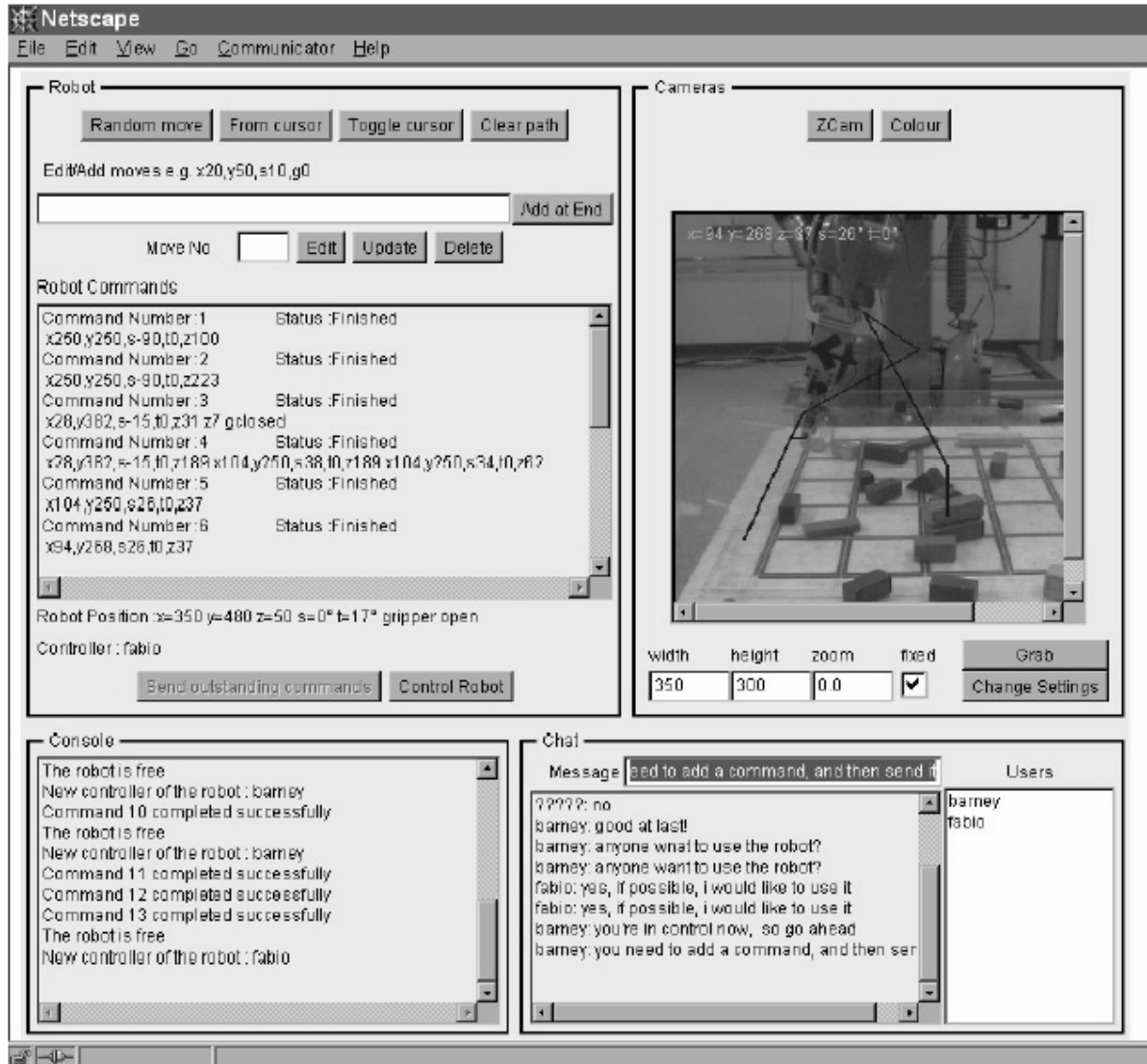
Program Modu yaklaşımı ile tasarlanan sistemlerde uzaktaki robota otonomi kazandırmak hedeflenmiştir. Operatör kontrol çevriminde *denetleyici* olarak değil *danışman* olarak görev alır. Bu strateji ile arzu edilen görevi içeren program, otonom bir şekilde görevi yerine getiren robota, uzaktan aktarılır. Haberleşmenin kısa bir süre için kesilmesi durumunda dahi kontrol çevrim süreci devam edebilir. Bu sistemde güvenlik kısıtlarından dolayı danışmana en az olacak şekilde denetleme sorumluluğu yüklenmelidir.

İkinci nesil *Program Modu* İnternet robot sistemlerinin temel özelliği otonom ve reaktif yapıları sayesinde gerçek dünyadaki belirsizlikler ve dinamik yapı ile başa çıkabilmeleridir. *Danışman* kontrolü bu nesil robotların inşasında üzerinde odaklanan anahtar kısımdır. Ancak robotlar arası yardımlaşma ve uzaktan robotları programlayabilme adına hala çözülmesi gereken problemler vardır. İnternet robotları alışlagelmiş uzaktan kontrol uygulamalarından aşağıdaki özellikleri sebebi ile farklılık gösterir:



Şekil 1.1 İnternet üzerinden kontrol edilebilen bahçe

- İnternet üzerindeki gecikme ve bant genişliği çoğu zaman önceden tahmin edilemez, geleneksel uygulamalarda gecikmeler sabittir ve önceden bilinirler.
- Web tabanlı uzaktan kontrol uygulamalarında haberleşme esnasında kaybolan paketleri tolere edebilecek bir mekanizmaya ihtiyaç duyulur.
- İnternet robotları farklı kullanıcılar tarafından değişik amaçlara yönelik kullanılacak şekilde paylaşımlı olarak çalıştırılabilmelidirler.
- İnternet robotlarının kullanıcıları sıradan kişilerdir. Geleneksel robotların kullanıcıları ise çoğu kez sistemin işletim eğitimini önceden almış operatörlerdir.
- Web kullanıcılarının davranışları, İnternet robotlarının denetim çevriminde yer almaları nedeni ile sistem tasarımında dikkate alınmalıdır.



Şekil 1.2 MOM sistemi web kullanıcı grafik ara-yüzü

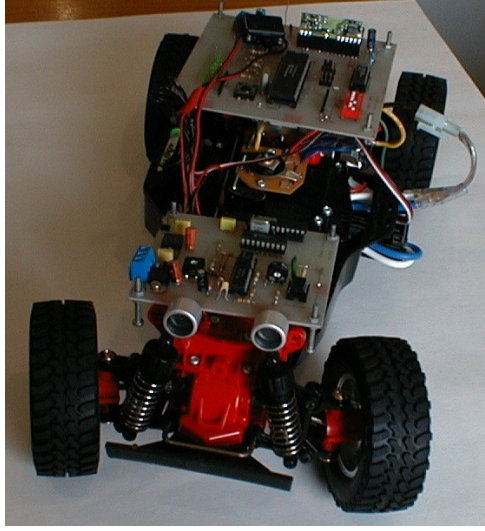
İkinci nesil Internet erişimli robot uygulamalarına da son yıllarda oldukça sık rastlanmaktadır. Dinamik ve belirsizliklerin bulunduğu bir çevrede gezinen robot uygulamaları en popüler olanlarıdır. *Xavier* bu tip robotlara güzel bir örnektir (Simmons and Fernandez, 1999). Engellerden kaçınma, yön bulma, yol çizme gibi karmaşık algoritmaları çalıştırabilme yeteneğine sahiptir. Web tabanlı ara-yüzü ile kullanıcıların bir bina içinde önceden tanımlı birçok konumdan birini seçebilmesine olanak tanır. Seçilen konuma doğru bir güzergah kestiriminde bulunduktan sonra belirlenen yere doğru hesapladığı güzergahı takip ederek ulaşır. Ara-yüz üzerinde robotun son durumunu gösteren bir resim de bulunur.

BridgePort üniversitesindeki *RISC* araştırma ekibinin proje laboratuvarında bulunan *UBROBO* da otonom yapıda uzaktan kontrol edilebilen bir robottur (Sobbh ve Sanyal, 2004). Radyo

iletişimi ile Internet'e erişen gezgin bir robotu uzaktan kontrol etmeye olanak sağlar. Web kullanıcıları *Java* destekli bir Internet tarayıcısı ile robotu kontrol etmek için gerekli *applet*'i çalıştırabilirler. Robotun bulunduğu laboratuara monte edilmiş bir web kamerası sayesinde robotun son durumuna ait resimler uzak kullanıcılara geri besleme olarak iletilir. URROBO'nun en önemli özelliği bilinmeyen ortama bir kamera yerleştirilebilmesi yardımı ile uzaktan kontrol edilebilmesidir.

1.2 Tez Çalışmasının Mevcut Altyapısı

Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği bölümünde 2000 yılından beri süregelen gezgin robot araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda, akademik çalışmalar için kullanılacak bir gezgin robot ilk örneğine ait elektronik denetim sistemi donanımı ve yazılımı tasarlanarak, uygulaması da gerçekleştirilmiştir (Uzun ve Erdoğan, 2000). Tasarlanan gezgin robotun mekanik sistemi diferansiyel sistemine sahip dört tekerlek üzerinde bulunan gezgin taban ve bu taban üzerine yerleştirilmiş beş eksenli robot kolundan oluşmaktadır. Robot kolu, kol hareketi dışında basit toplamaya ve yerleştirme uygulamalarını da yerine getirmek için kullanılabilir. Mekanik sistem elektronik denetim sistemi ile denetlenir. Elektronik denetim sistemi donanımı, sırasıyla algılayıcıların bağlanabilmesi için sayısal ve örneksel giriş ve mekanik sistemdeki motorları denetlemek için servo motor sürücü çıkış arabirimlerine sahip bir mikro-denetleyici temelli sistemden meydana gelir. RS232 standardına uygun kablo bağlantısı üzerinden robot ve bilgisayar arasındaki iletişim sağlanır. Oransal hız denetleyici gezgin tabanın hareket etmesini sağlar. Robotun önündeki nesnelere algılanması için ultrasonik algılayıcı kullanılır. Batarya, bütün bu birimlerin gerek duyduğu gücü sağlar. Gezgin robot sisteminin yazılımı kişisel bilgisayar üzerinde çalışır ve *RPL* olarak adlandırılır. Ayrıca gezgin robot üzerindeki elektronik denetim donanımını oluşturan mikro-denetleyici temelli sistem içindeki yazılım, bilgisayardan gelen komutları alan gezgin robotun fiziksel hareketini sağlayan makine dili yazılımıdır.



Şekil 1.3 Gezgin robot sistemi

Tasarlanarak gerçekleştirilen elektronik denetim donanımının uygulaması hazır olarak alınmış profesyonel ölçekli model mekaniği kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen radyo kontrollü model taşıt; dört lastik tekerlekli, süspansiyonlu, minyatür doğru akım motoru ile sürüş sağlayan arka ve ön diferansiyel dişli sistemine sahip ve konum kontrollü motor ile dümen kontrolünü sağlayan bir elektromekanik sistemden meydana gelmiştir. Ayrıca aracın hızını ve yönünü denetlemek için motor hız ve yön kontrol devreleri bulunmaktadır.

Geliştirilen gezgin robotun kablosuz bir şekilde Internet üzerinden denetlenebilmesi sağlayan sistem çözümü ve ilk örnek uygulaması, bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Takip eden bölümlerde sistem çözümüne ait mimari tasarım ve gerçekleştirme ile ilgili ayrıntılar verilmiştir

2. GEZGİN ROBOT SİSTEMLERİNDE TERCİH EDİLEN ENDÜSTRİ STANDARDI KISA MESAFELİ TELSİZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ

2.1 Frekans Atlamalı Haberleşme Sistemleri

Yayılmış spektruma sahip sistemlerin kullanımı özellikle *ISM* bandındaki uygulamalar için günden güne daha sık kullanılır hale gelmektedir. Lisans gerektirmeyen frekans bandında çalışan cihazların sayısı arttıkça cihazların haberleşmesinde girişim kaynaklı sorunlar çıkabilmektedir. Yayılmış spektrum tekniklerinin bozulmaya karşı duyarlılığının (*jamming*) az olması, güvenilir bir haberleşmenin gerçekleştirilebilmesi için lisanssız bantta kullanımlarını neredeyse zorunlu kılmaktadır.

2.1.1 Yayılmış Spektrum Teknikleri

Yayılmış spektrumun klasik dar bant ya da geniş bant uygulamalarından farkı, işaretin enerjisinin daha geniş bir frekans spektrumuna dağılmasıdır. Bu sayede işaretin güç spektral yoğunluğu azaltılarak aşağıdaki faydalar sağlanmış olur:

- Girişim olasılığı azalır, radyo frekansı işaretini algılamak zorlaşır.
- Dar bant gürültü kaynaklarına karşı daha yüksek tolerans sağlanır.
- Çoklu yol (*multi path*) yansımalarından kaynaklanan girişime duyarlılık azalır.
- *CDMA* benzeri sistemlerde aynı coğrafi bölgedeki birden fazla verici farklı frekans atlamaları yaparak aynı anda çalışabilir.

2.1.2 Doğrudan Dizi Yayımlı Spektrum

Yayılmış spektrum tekniklerinin doğrudan dizi yayımlı (*DSSS*) ve frekans atlamalı yayımlı spektrum (*FHSS*) olmak üzere iki biçimi vardır. *DSSS* prensibi ile çalışan bir verici transfer edilen veri oranının çok daha yüksek oranlarında, veriyi bir yayılım koduna bağlı olarak katlayarak (*convolution*) yayın yapar. Alıcı tarafta korelasyon tekniklerinden yararlanılarak gelen işaret ile yayılım kodları karşılaştırılarak işaretin kodu çözülür. *DSSS* tekniğinin gerçekleşmesi *FHSS* tekniğine göre daha karmaşık ve zordur. Düşük güç tüketimi arzulanan sistemleri için uygun değildir.

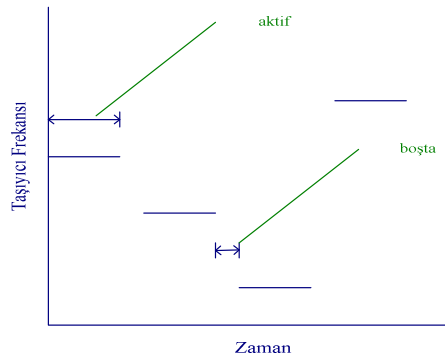
2.1.3 Frekans Atlamalı Yayımlı Spektrum

Bu teknik düşük güç tüketimi ve veri nakil oranlarına ihtiyaç duyan sistemler için uygundur.

Haberleşme sırasında taşıyıcı frekansının değiştirilmesi prensibine dayanır. Tipik bir frekans atlamalı sistemde her kanalda birkaç bit gönderildikten sonra frekans değiştirilir. Pratikte saniyede elli ila birkaç yüz defa frekans atlama gerçekleştirilir. Frekans atlama gerçekleştirilirken sistemin yapısına bağlı olarak bir gecikme söz konusudur. Bu boş zamana boşta kalma aralığı (*blanking interval*) denir. Her kanalda harcanan zamana ise aktif zaman (*dwell time*) denir.

Yayımlı spektrum teknolojisinin kökeni askeri uygulamalardır. Terminolojisinde en sık kullanılan terimlerden biri kanal karıştırıcıdır (*jammer*). Ticari sistemlerde bilinçli olarak kanal karıştırılması söz konusu değildir. Çoğu zaman girişim yapan işaret aynı frekans bandını kullanmaya çalışan başka bir cihazdan kaynaklanır. Bu cihazlar özellikle karıştırma yapmadıkları için güvenlik ihtiyacı askeri uygulamalarda olduğu kadar fazla değildir. Ticari uygulamalarda dar bant karıştırıcılarının yanı sıra, çoklu yol yansımasından kaynaklanan girişimde haberleşmeyi bozucu etki yapar. Bu tip yansımalar işaretin gücünde frekansa ve cihazın bulunduğu konuma bağlı olarak büyük düşüslere yol açabilir. Frekans atlamalı sistemler çoklu yol yansımalarına karşı frekans çeşitliliği sağladıkları için az duyarlıdır.

Frekans atlamalı sistemlerin en büyük tasarım zorluğu alıcı ve verici cihazlar arasındaki eşzamanın sağlanmasıdır. Bunu gerçekleminin birden fazla yolu vardır. Literatürde bahsi sıklıkla geçen korelasyon yöntemlerinin mikro-denetleyici temelli küçük sistemlere uygulanması zordur. Pratikte daha basit yöntemlerden yararlanılarak eşzamanlılık sağlanır.



Şekil 2.1 Frekans atlamalı sistem terminolojisi

Alıcı ve verici cihazlarda kullanılacak frekanslara dair bir çizelge tutulabilir. Kullanılacak kanal sayısı uygulamadan uygulamaya değişiklik arz edebilir. Örneğin, FCC 1 Watt çıkış gücünün 902-928 Mhz bandında kullanılması durumunda kullanılması gereken en az kanal sayısını 50 olarak belirlemiştir. Kanal sayısı ve frekansları belirlendikten sonra yapılacak iş

alıcı ve verici cihazların kanallar arasında nasıl atlama yapacağını belirlemektir. Frekans atlamalı sistemden yararlanmayı en çoklamak için bu sıçramanın bağıl olarak rasgele gerçekleşmesini sağlamak gerekir. Alıcı ve verici aynı kök değerini kullanarak rasgele sayı üretici yardımı ile atlanacak kanalı belirlerler. Rasgele sayı üretici kullanılmaması durumunda verici cihaz, sonraki adımlarda atlayacağı birkaç kanalı alıcı cihazlara bildirmelidir. Bu sayede alıcı cihaz bir veri paketini kaçırırsa bile, verici cihazı izleyebilir. Eşzamanlılığı gerçekleştirme işini iki ayrı faz olarak düşünebiliriz. Önce alıcı vericiyi saptamalı, daha sonrada onu izlemelidir.

Alıcı tarafından vericinin saptanması evresinde, alıcı öncelikle vericinin yayın yaptığı kanalı bulmalıdır. Bu amaçlı birkaç farklı yaklaşım kullanılabilir. İlk akla geleni önceden belirli birkaç kanalı *kazanım kanalı* olarak kullanılmasıdır. Eğer bu kanallarda bir karışma söz konusu ise sıkıntıya yol açabilir. Diğer bir kabul görmüş yaklaşım ise alıcı cihazın vericiye oranla çok daha yavaş olarak kanallar arasında zıplamasıdır. Alıcının bir kanalda aktif dinleme süresi *ads*, vericinin bir kanalda aktif yayın süresi *ays* ve *n* kanal sayısı olmak üzere:

$$ads = ays \times n \quad (2-1)$$

bağıntısından alıcının bir kanalda dinlemesi gereken süre hesaplanabilir. Alıcı tarafından bir kanal dinlenirken geçerli veriler alınmaya başlarsa, alıcı ve verici eşzamanlı hale gelmiş demektir. Alıcı bundan sonra vericiyi takip etmelidir.

Vericinin izlenmesi evresinde de eşzamanlılık korunmalıdır. Karmaşayı azaltmak adına bazı varsayımlarda bulunulmalıdır. Örneğin kanal geçiş sürelerinin sabit olması zamanlamayı kolaylaştırır. Çoğu frekans atlamalı sistem sabit bir kanal geçiş oranı kullanır. Alıcı ve verici, bitleri sayarak ne zaman geçiş yapmaları gerektiğine karar verebilirler. Çoğu zaman bu bitlerin sayılması donanımsal olarak gerçekleşir.

Frekans atlamalı sistemlerde en önemli unsurlardan birisi protokol tasarımıdır. Eşzamanlılık isterlerinden ötürü frekans atlamalı bir sistem protokolü alışlagelmiş haberleşme protokollerinden daha karmaşık olma durumundadır. Frekans atlamalı sistemleri kullanmanın arkasında yatan ana sebep daha güvenilir haberleşme gerçekleştirebilmektir. Bu yüzden protokol kapsamında veri hata saptaması ve düzeltilmesi algoritmalarının da bulunması gerekir. Yetenekli bir protokol gürültülü kanallardan kaçınma gibi bir çok akıllı mekanizmaya sahiptir. Bu tip protokollerin kullanıldığı sistemlere adaptif frekans atlamalı sistemler denir. Verinin birkaç kanala birden yayılması ve bir kanalın bozulması durumunda bile diğer kanaldan sağlıklı şekilde veri alınabilmesi de haberleşmenin kalitesini arttıracaktır.

başka bir etkidir. *Reed-Solomon Kodlaması* gibi ileriye yönelik hata düzeltme algoritmaları dan da faydalanılabilir.

Protokol tasarımcısı algoritmaların karmaşası ile azaltılan hata oranı arasında bir denge kurmak zorundadır. Bu dengeyi kullanılan mikro-denetleyici, yazılımın karmaşası, güç tüketimi, beklenen girişim kaynaklarının parametreleri gibi birçok faktör etkileyebilir. Batarya ile beslenen bir haberleşme cihazında veri göndermeden önce her defasında kazanım evresine girilebilir. Dolayısı ile böyle bir sistemde kazanım evresinin çok hızlı olması gerekir. Bu süreyi azaltmak için kullanılan frekans kanallarının sayısını sınırlanarak, zıplama oranını arttırılır.

2.1.4 Bluetooth

Bluetooth düşük güç harcayan gezgin cihazlar için endüstri standardı olarak tasarlanan bir kısa mesafe kablosuz haberleşme sistemidir. Ticari hazır olarak radyo frekansı devrelerinin ve alt seviye haberleşme protokolünün yürütülmesini işlevlerini tek bir tüm-devrede sunan ticari hazır ürünlere, temel bant tüm-devreleri denir. Bu tip devreler Bluetooth protokolünün yüksek verimlilikle gerçekleştirilebilmesini sağlarlarken kablosuz gezgin robotlar için gerekli esnekliğe sahip değildirlir.

Bluetooth esas anlamı ile kablolu haberleşmenin yerini alırken çok az bir gecikme ile haberleşme yapılabilmesini de destekler. Gecikmenin az veri akışının yüksek oranlarda olabilmesi için 600 μ s'lik periyotlar ile haberleşme kanalları arasında sıçrama gerçekleştirir. Bu şekilde ağdaki tüm cihazlar birbirlerine birkaç μ s'lik tolerans ile eşzaman olmalıdırlar. Gezgin robot sistemleri de yapıları gereği radyo üzerinden veri haberleşmesine ihtiyaç duyarlar. Ortamdan canlı görüntü aktarımı yapan bir robot ile yalnızca gerektiğinde resim gönderen bir robotun veri haberleşmesindeki bant genişliği ihtiyacı oldukça farklıdır. Ana amaç gezgin robotları olabildiğince akıllı yapmak olduğu için haberleşme kanalından akan verinin oranının ve dönemlerinin mümkün olanın en azı olması hedeflenir. Bluetooth ağına eşzaman kalabilmek için gösterilen çaba, düşük veri oranları ve periyotları ile haberleşen gezgin robotlar için işlem gücü ve güç tüketimi açılarından verimsizliğe yol açabilir. Yalnızca gerektiği zaman Bluetooth ağına eşzaman olmaları da, ağa dahil olmak için ortalama 2.4 saniye gibi bir zamana ihtiyaç duyulduğu göz önüne alındığında çoğu uygulama için kabul edilemezdir. Bluetooth haberleşme sistemi her ne kadar düşük güç tüketimi göz önüne alınarak tasarlansa da, gezgin robotlara pratikte uygulanması açısından en büyük sıkıntı, Bluetooth haberleşmesi gerçekleştirmek için sarf edilen gücün gezgin robotun güç

tüketimindeki verimlilik oranını azaltmasıdır.

2.1.5 Zigbee (802.15.4)

Zigbee, çok düşük güç sarfiyatı ile çalışma isterleri bulunan kablosuz sistemlerde kullanılmak üzere, endüstrinin kendi bünyesinde oluşturduğu bir şirketler birliği tarafından standart olarak tasarlanan veri bağlantı katmanında yer alan bir haberleşme protokolüdür. Bu şirketler birliği oluşturulmasındaki ana neden, mevcut haberleşme protokollerinin çok düşük güç ihtiyacı bulunan uygulamalar için uygun olmamasıdır.

Zigbee veri bağlantı katmanı, hiyerarşik yapıda IEEE 802.15.4 fiziksel haberleşme katmanının üzerinde yer alır. IEEE 802.15.4, DSSS yapısı ile 868 Mhz, 902-928 Mhz ve 2.4 GHz frekans bantlarında çalışmak üzere tasarlanmıştır. DSSS yapıdaki haberleşme sistemlerinde *frekans atlama* sistemlerdeki gibi haberleşmeden önce bir senkronizasyona gerek duymaz. Bu sayede düşük dönemli veri haberleşme ihtiyacı bulunan sistemlerin güç tüketimi açısından Bluetooth sistemine kıyasla önemli bir avantaj elde edilmiş olunur.

2.1.6 Chipcon CC1010

Birkaç radyo haberleşme tüm-devre üreticisi, temel bant haberleşmesini sağlayan devreler ile genel amaçlı bir mikro-denetleyiciyi tümleştirerek, çok işlevli haberleşme tüm-devrelerini pazara sunuyorlar. Bunlardan en popüler olanlarından biri *Chipcon* firmasının *CC1010* tüm-devresidir. Bu tüm-devrenin içerisinde Intel 8051 mikro-denetleyici çekirdeği ve *CC1000* temel bant almaç ve göndermeç devresi kullanıma hazır durumdadır. Bu tip bir tüm-devrenin kullanılması fiziksel alan ve maliyetten tasarruf etmeye imkan sağlar. Ancak bu tipte tüm-devreler kullanılarak tasarlanan haberleşme sistemlerinin alt katman protokollerini geliştirmek, ayrıca bir çaba gerektirmektedir.

3. İNTERNET ÜZERİNDEN GEZGİN ROBOT DENETİM MİMARİLERİ

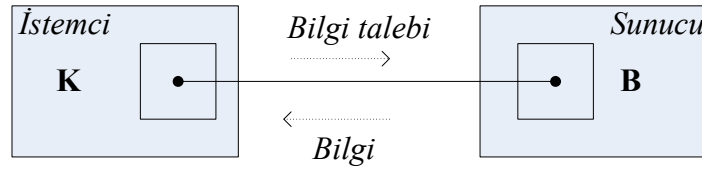
Dağıtık hesaplama yapan sistemlerde değişik mimariler kullanılabilir (Cragg ve Hu, 2003). En çok rastlanılan yapılar aşağıdaki paragraflarda anlatılmıştır.



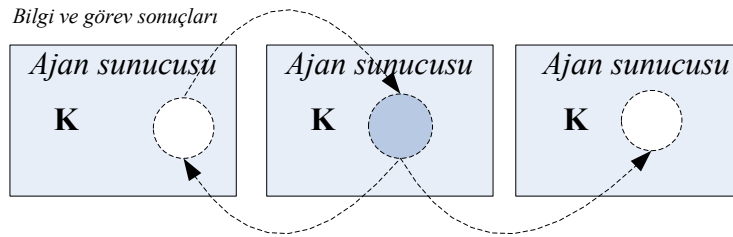
(a) İstemci/sunucu mimarisi



(b) Uzaktan hesap mimarisi



(c) Talebe bağlı kod mimarisi



(d) Gezgin ajan mimarisi

Şekil 3.1 Dağıtık hesaplama mimari yapıları

3.1 İstemci/Sunucu Mimarisi

Şekil 3.1.a'da görüldüğü üzere, istemcide bir görevi yerine getirmek için (B) bilgisi ve (K) kaynağı yoktur. Bir sunucu ise görevi tamamlamak için gerekli bilgi ve kaynaklara sahiptir. İstemci sunucuya bir görevin yürütülmesi ve sonucunun kendisine bildirilmesi için mesaj gönderir. Sunucu kendi yerel kaynaklarını ve bilgisini kullanarak görevi yerine getirdikten

sonra sonucunu istemciye iletir.

3.2 Uzaktan Hesaplama Mimarisi

Şekil 3.1.b’de görüldüğü gibi, istemci (B) bilgisine sahip ancak (K) kaynağından yoksundur. Sunucu da ise bunun tam tersi olarak (K) kaynağı mevcut, (B) bilgisi ise bulunmamaktadır. İstemci bir görevin yürütülmesi ile ilgili olarak (B) bilgisini sunucuya iletir. Sunucu kendi kaynaklarını ve edindiği bilgiyi kullanarak görevi tamamlar ve sonucunu istemciye iletir.

3.3 Talebe Bağlı Kod Mimarisi

Şekil 3.1.c’den de anlaşılacağı üzere, istemci (K) kaynağına sahip ancak (B) bilgisinden yoksundur. Sunucu da ise (B) bilgisi bulunur ancak (K) kaynağı eksiktir. İstemci bir görevi yürütebilmek için sunucudan (B) bilgisini kendisine göndermesini ister. Sunucudan gelen bilgiyi ve yerel kaynaklarını kullanarak görevi tamamlar ve sonucu yerel olarak elde eder.

3.4 Gezgin Ajan Mimarisi

Şekil 3.1.d’de görüldüğü gibi, bir *ajan sunucusu* gezgin ajan için ev sahibi gibi davranır. *Gezgin ajan* daha önceki görevlerden elde ettiği sonuçlara ve bilgilere sahiptir ancak yeni bir görevi yerine getirmek için gerekli kaynaklardan yoksundur. Bir başka *ajan sunucusu* ise gezgin ajanının yürütmek istediği görev için gerekli kaynaklara sahiptir. Görevin yerine getirilmesi için gerekli bilgi ve sonuçları ajan sunucusuna iletmek yerine kendisi kaynağa ulaşmak için diğer bir ajan sunucusuna yönelir. Görevi yerine getirdikten sonra ilk çıktığı ajan sunucusuna ya da bir başkasına yönelebilir.

3.5 Otonom Çoklu Robot Mimarileri

Birden fazla robotun bir görevi yerine getirmek için yardımlaşmalarını sağlamak üzere değişik mimari yaklaşımlar söz konusudur. Bunlardan iyi bilinen iki tanesi *ALLIANCE* ve *MURDOCH* yaklaşımlarıdır.

3.5.1 ALLIANCE Sistemi

Bu yaklaşımın benimsendiği mimari tasarımlarda görev atanması suni olarak dayatılır. Robot takımının elemanlarında robotların davranışlarını belirleyen bazı suni isteklilik parametreleri bulunur. Suni isteklilik robotun algılayıcılarından gelen geri besleme bilgisi, çalışan robotun karakteri ve diğer robotların karakterlerinden etkilenir. Her robotun bir giriş karşısında kendi davranışına karar vermesinde diğer robotların davranışlarının çok büyük etkisi vardır.

Robotlar birbirlerini *Robotlar arası iç haberleşme* mekanizmasını kullanarak o anki eylemlerinden haberdar ederler. Bu sayede robotların farklı görevler seçebilmelerini ve aynı anda yürütülmesi gereken görevleri bir robot takımı arasında paylaşabilmelerini sağlar. *ALLIANCE*, dağıtık ve heterojen yapıdaki robot takımlarında kullanılabilen, tek yönlü yayın yapan bir haberleşme mekanizmasına sahiptir ve haberleşmenin kopması ya da robotların bazılarının bozulması durumlarında dahi çalışmaya devam edebilir. İstenildiği zaman takıma yeni robotların katılmasına izin vererek, dinamik ortamlarda adaptif olarak eylem seçimini destekler. Haberleşmenin olduğu yerlerde aynı görevin birden fazla birim tarafından yürütülmesi gibi faydasız tekrarların önüne geçer (Parker, 1998).

3.5.2 MURDOCH Sistemi

Görevleri paylaşımından sorumlu bir robot tarafından takım üyelerine eylem temelli görev paylaşımı yapılır. Takımdaki robotlar bu göreve ne kadar uygun olduklarının değerlendirmesini önceden belirli kriterler ışığında yaparlar ve sonucunu eşgüdümünden sorumlu robota iletirler. Eşgüdüm sorumlusu robot geri beslemelerin sonucu olarak hangi robotun hangi görevi yürüteceğine karar verir ve görevin yürütülmesi evresini de takip eder.

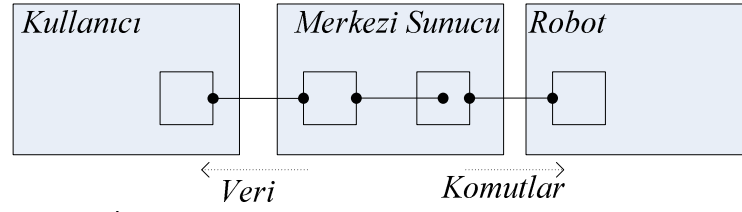
Görevlerin atanması merkezi bir yerden yürütülebileceği gibi hatalara karşı toleranslı olmak anlamında robotlardan birine de bu sorumluluk verilebilir. *MURDOCH*, dağıtık ve heterojen robot takımlarında kullanılabilir. Robotlar arası haberleşmeyi destekler. Haberleşme sırasında mesajların kaybolması ve bazı robotların devre dışı kalması durumunda bile işlemeye devam eden bir sistemdir (Gerkey ve Mataric, 2002).

3.6 İnternet Erişimli Robot Mimarileri

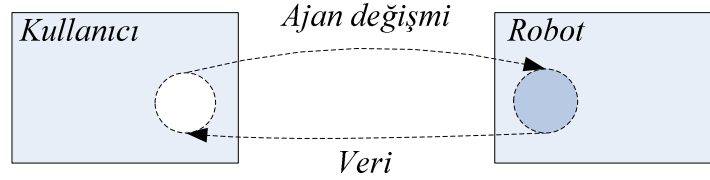
İnternet erişimli robot sistemleri, kullanıcıların İnternet'e ait haberleşme alt yapısını kullanarak robotları uzaktan yönetebilmesine olanak sağlar. Bu amaç için genellikle tercih edilen üst seviyeli haberleşme protokolü TCP/IP'dir.

3.6.1 İnternet Erişimli Tek Robot Mimarileri

Tek kullanıcı ve tek robotun söz konusu olduğu çoğu İnternet erişimli robot sistemlerinde benimsenen mimari Şekil 3.2.a'da blok gösterimi verilen İstemci/Sunucu mimarisidir. Bu tip bir mimaride, kullanıcı uzaktaki bilgisayara (*merkezi sunucu*) komutlar gönderir. Merkezi sunucu görevini yürüten bilgisayar bu komutları robot bilgisayarına gönderir. Çoğu gezgin robot uygulaması için merkezi sunucu ile robot bilgisayarı arasındaki haberleşme kablosuz şekilde gerçekleştirilir. Robot bilgisayarı da ürettiği verileri merkezi sunucu üzerinden



(a) İstemci/sunucu tek kullanıcı/tek robot mimarisi



(b) Gezgin ajan tek kullanıcı/tek robot mimarisi

Şekil 3.2 İnternet erişimli robot mimarileri

kullanıcıya gönderir (Simmons ve Fernandez, 1999).

Çoğu tek robotlu ve tek kullanıcıli sistemlerde, İnternet haberleşmesinden kaynaklanan gecikmeler göz ardı edilerek, uzaktaki kullanıcının inisiyatiline bırakılır. Bazı sistemlerde ise gecikmenin oranına bağlı olarak robot kontrol mekanizmasına kendisi müdahale edebilir (Liu, 2002).

Şekil 3.2.b'de gösterilen gezgin ajan yaklaşımı da tek kullanıcıli/tek robotlu sistemlerde kullanılabilir. Gezgin ajan uzaktaki bir robota İnternet üzerinden yüklenir. Planlanan bir dizi eylemi yerel olarak gerçekleştirdikten sonra sonuç verilerini kullanıcıya geri gönderir. Sistem komutlar arasındaki muhtemel gecikmenin önüne tüm komutları robota bir kerede ileterek geçmiş olur.

3.6.2 İnternet Erişimli Çoklu Robot Mimarileri

İnternet üzerindeki tek bir kullanıcının çok robotu kontrol etmesi ya da çok kullanıcının birden fazla robotu kontrol etmesine göre uygulamada farklılık gösterir. Genel yaklaşım kullanıcının bir robotu alt seviye kontrol komutları ile yönetirken diğer robotların otonom bir şekilde yapılan işe katılmasıdır (Tsui ve Hu, 2002).

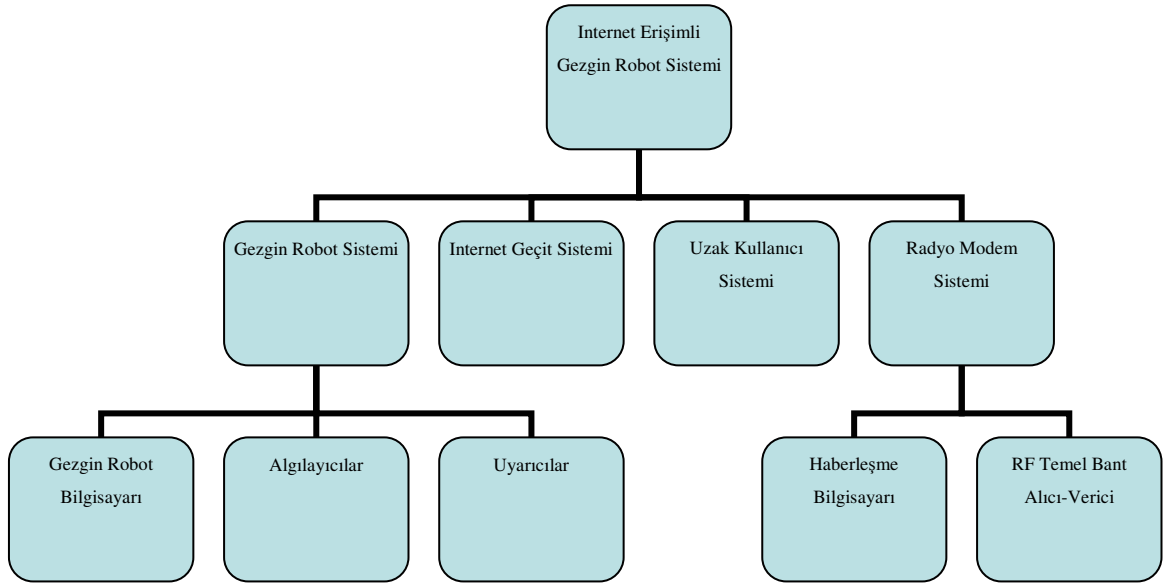
İnternet robot sistemlerinin önemli bir çoğunlu *istemci/sunucu tek kullanıcı/tek robot* mimarisine göre tasarlanmışlardır. Bu mimari yaklaşımdaki robotların davranışları çok karmaşık değildir. Robotlar ile haberleşme kısa mesajların İnternet haberleşme alt yapısı kullanılarak gerçekleştirilir. Çoğu sistem geliştiricisi karmaşık robot işlevselliğinden ziyade,

web tarayıcısı üzerinden kontrol komutlarının merkezi sunucuya ve robota iletilmesi için gerekli donanım ve yazılım işlevselliğini inşa etmek üzere odaklanmışlardır.

4. TEZ KAPSAMINDA TASARLANARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM

Mevcut durumda, YTÜ’de geliştirilen gezgin robot bilgisayarının sistem yazılımı, robotun kişisel bilgisayar ortamından kontrol edilebilmesini sağlamak üzere geliştirilen özgün bir yazılım ile haberleşir. Robot programlama dili olarak adlandırılan özel bir script dili robot kontrol ara-yüz amaçlı olarak tasarlanmıştır (Uzun ve Erdoğan, 2000).

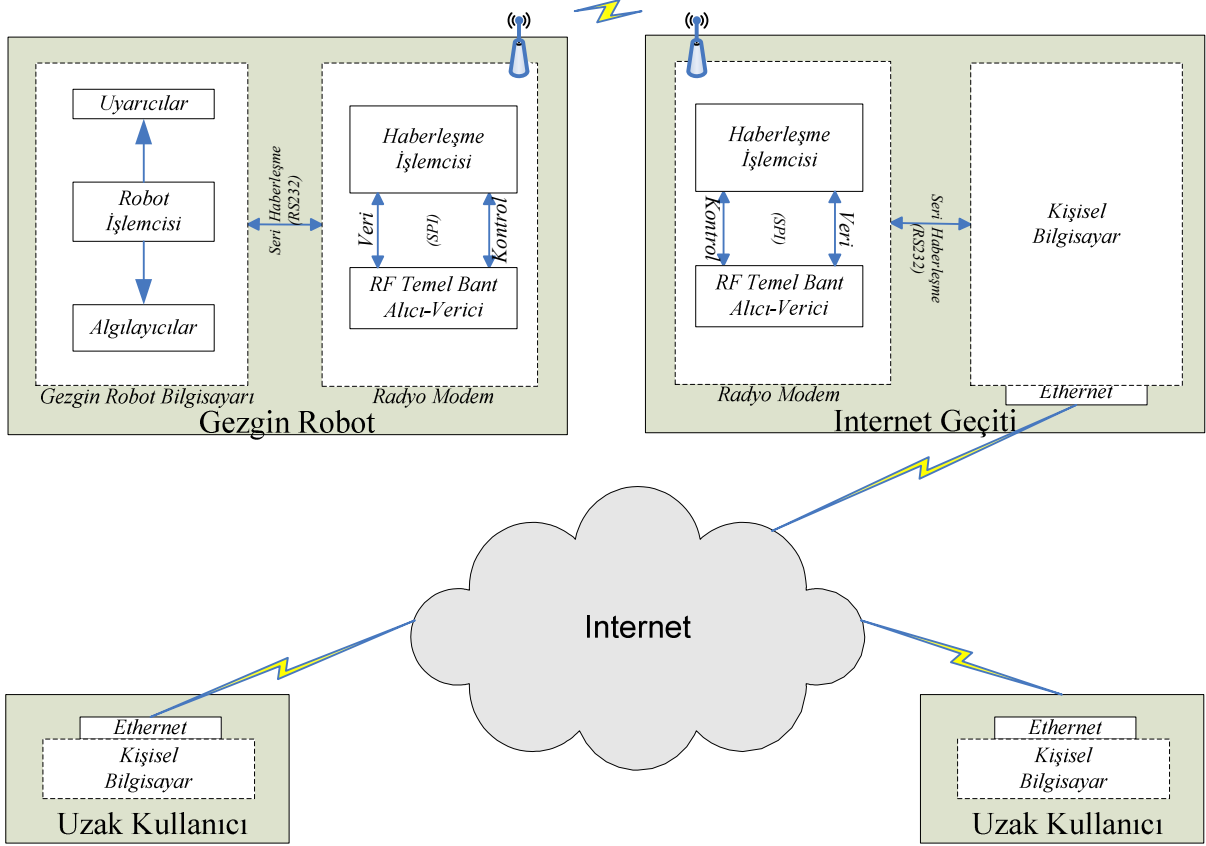
Geliştirilen gezgin robot sistemi üzerinde en az değişiklikle Internet üzerinden denetim imkanı sağlanabilmesi, bu tezin kapsamında önerilen Internet erişimi sistem çözümünün en önemli özelliğidir. Bu gayeye hizmet edecek en uygun mimari istemci/sunucu mimarisidir. Sistem kırınım ağacı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Sistem kırınım ağacı

Sistem, *Gezgin Robot*, *Internet Geçit*, *Radyo Modem* ve *Uzak Kullanıcı* alt sistemlerinden oluşmaktadır. Gezgin robot sistemi, kablosuz haberleşmeyi sağlamak için bir radyo modem sistemi ile tümleştirilmiştir. Radyo modem ve Internet geçit sistemleri, gezgin robot ile uzak kullanıcılar arasında *saydam bir ara-yüz* oluştururlar.

Bir başka anlatımla gezgin robot sistemi, uzak kullanıcı ile arasındaki haberleşme sisteminin ayrıntılarından habersizdir. RS232 seri ara-yüzü üzerinden *RPL script diline* uyumlu alt seviyeli robot kontrol komutlarını kabul eder ve komutların sonuçlarını yine aynı kanal



Şekil 4.2 Sistemin genel yapılandırması

üzerinden benzer şekilde uzak kullanıcı terminaline gönderir. İnternet erişimi ve kablosuz haberleşmenin getirdiği alt ve üst seviyeli protokollerin yürütülmesi görevleri ise *radyo modem ve İnternet geçit sistemlerinin* sorumluluğundadır.

Uzak kullanıcı, yerel terminalinde çalıştırdığı özgün bir istemci programını kullanarak, kontrol etmek istediği robot ile arasında sanal bir seri bağlantı oluşturur. Bu bağlantı *İnternet geçit alt sisteminde* çalışan özgün bir sunucu programı üzerinden sağlanır. Sunucu programı İnternet kullanıcılarının isteklerini yanıtlarken, robotlar ile radyo modem alt sistemini kullanarak uçtan uca kablosuz haberleşmeyi de eşzamanlı olarak gerçekleştirir.

4.1 Radyo Modem Alt Sistemi

Radyo modem alt sistemi haberleşme bilgisayarı üzerinde koşturulan yazılım katmanları Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

RS 232 Emülatörü
Kısa Mesafe Radyo Haberleşme Protokolü

Şekil 4.3 Radyo modem yazılım katmanları

Radyo modem sistemi, gezgin robot sistemine *RS232 seri haberleşme* ara-yüzü sunar. Gezgin robot sistemi tarafından bakıldığında görülen ara-yüz; bir seri kablo üzerinden yapılan kişisel bilgisayar bağlantısından ibarettir. Radyo modem seri haberleşme yolu ile aldığı verileri, *KMRHP* yönetiminde paketleyerek, radyo frekanslarında yayın yapmak sureti ile iletir. Benzer şekilde kablosuz ortamdan yakaladığı geçerli paketlerin kod çözümünü yapar ve kendisine adreslenmiş olanları, RS232 asenkron seri haberleşme protokolüne uygun olarak gezgin robot bilgisayarına iletir.

4.2 İnternet Geçit Alt Sistemi

İnternet geçiti, sistemin en önemli kısmıdır. Uzaktan erişilecek gezgin robotlar ile kısa mesafede kablosuz haberleşme yapabilecek kadar yakın mesafelerde konumlandırılması gerekir. İnternet geçit sistemi, kablosuz robot ağı ile kablolu İnternet arasında köprü vazifesini görür. Bizim tasarımıımızda gezgin robot bilgisayar sistemi İnternet protokollerini doğrudan desteklemediği için aynı zamanda bir protokol dönüştürücü görevini de üstlenmiştir.

4.3 Uzak Kullanıcı Alt Sistemi

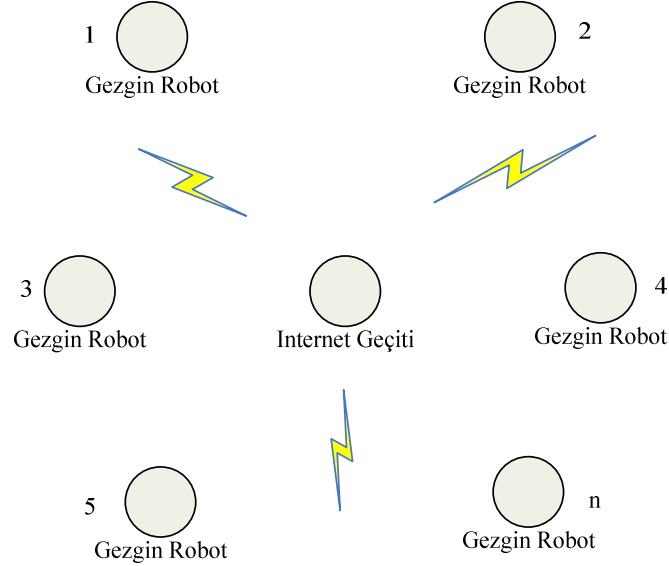
Uzak kullanıcı alt sistemi bu teze altyapı oluşturan, YTÜ’de geliştirilmiş gezgin robot sisteminin kişisel bilgisayar tarafında çalıştırılan ve kullanıcı grafik ara-yüzüne sahip olan kontrol programıdır. Uzak kullanıcı alt sisteminin çalıştırıldığı bilgisayardaki işletim sistemine, aktif gezgin robotları temsilen sanal seri portlar eklenerek, İnternet geçit sisteminin parçası olarak aynı yerel sistemdeki sanal seri portları dinleyen bir ajan yazılımı sayesinde, tez kapsamında geliştirilen sisteme tümleştirilir.

4.4 Kısa Mesafe Radyo Haberleşmesi

Kısa mesafe radyo haberleşme protokolleri genellikle kullanım amaçlarına göre en uygulanmışlardır. Ticari standart haline gelmiş protokollerin pratik uygulamalarında

çoğunlukla yüksek veri iletim oranları hedeflenmiştir. Yüksek veri iletim oranları sağlayan sistemlerin, düşük veri iletim oranları sağlayan haberleşme sistemlerine göre daha fazla işlem gücüne ihtiyaç duyacakları düşünüldüğünde güç tüketimlerinin ve maliyetlerinin daha yüksek olması beklenebilir. Düşük bant genişliğine sahip bir haberleşme sisteminin gezgin robotların uzaktan kontrolüne yeterli olduğu durumlarda, ticari hazır standart haberleşme protokollerine dayanan sistemlerin kullanılmasının sistemin verimliliği üzerinde olumsuz etkileri olacağı açıktır. YTÜ’de geliştirilen gezgin robotun kablosuz olarak Internet üzerinden kontrolü için maliyet ve güç tüketimi açısından etkin bir radyo haberleşme protokolü seçilerek kısmi olarak ilk örneği gerçekleştirilmiştir (Tsang ve K.F., 2003).

Haberleşme protokolleri uygulama amaçlarına yönelik olarak en uygunlaştırıldıkları için düşük bant genişliği gerektiren robot kontrol sistemlerindeki haberleşme isterlerini saptamak gerekir. Internet üzerinden robot kontrol sistemini ele alırsak; Internet geçiti ve gezgin robotlar arasındaki haberleşmenin küçük veri paketleri ile gerçekleştirilebileceğini öngörebiliriz. Robot kontrol sistemi için tasarlanacak radyo haberleşme protokolünün, basit ve kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra veri güvenliğini ve bütünlüğünü garantileyen bir yapıya da sahip olması gereklidir.



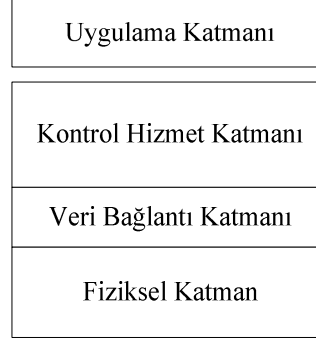
Şekil 4.4 Kısa mesafe radyo haberleşme protokolü ağ yapısı

KMRHP kapsamında tanımlanan ağ hiyerarşisinde, bir önceki bölümde söz edilen *Internet geçit sistemi* radyo ağı yöneticiliği görevini yüklenirken, gezgin robotlara biçilen rol ağ üyeliği ile sınırlıdır. Radyo ağı yöneticisi kendini ağını kurar ve doğru şekilde çalışmasını sağlar. Radyo ağının ilk tesisi sırasında, öncelikle uygun bir frekans kanalı saptar ve diğer ağ

üyeleri ile bu kanal üzerinden veri alışverişinde bulunulur. Radyo ağı yöneticisi tesis ettiği ağa, ağ üyelerinin kayıtlarını yapmak ve kayıtlarını silmekten, her birine tekil birer ağ numarası atamaktan ve erişilemeyen ağ üyelerini saptamaktan sorumludur. KMRHP’de bir radyo ağına aynı anda dahil olabilecek üye sayısı 254 ile sınırlandırılmıştır.

4.4.1 Protokol Mimarisi

Protokol katmanları Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 KMRHP katmanları

Protokol üç ana katmandan oluşmuştur. En altta bulunan fiziksel katman, radyo frekans kanal tahsisi ile veri haberleşmesi esnasındaki kodlama ve kod çözümlenme işlerinden sorumludur. Ortadaki katman olan veri bağlantı katmanı, *OEK* ve *MBK* olarak adlandırılan iki ayrı işlevsel kısımdan meydana gelir. Ortam erişim kontrolü için *CSMA/CA* tekniği tercih edilmiştir. *MBK* katmanı ise radyo kanalından veri paketlerin alınması, gönderilmesi, adreslenmesi, hataların saptanması ve hatalı paketlerin tekrar gönderilmesi isteği gibi işlerin yürütüldüğü yerdir. Protokol yığnında en üstte bulunan *KHK* bir radyo ağına kayıt olmak, kayıttan düşmek, radyo terminallerinin varlıklarını saptamak ve yetkilendirilmeleri için gerekli hizmetleri sağlar. Bunların yanı sıra protokolda tanımlı farklı çalışma modları için gereken *API’leri* uygulama katmanının kullanımına sunar.

4.4.1.1 Fiziksel Katman

Protokolde fiziksel katmanın görevi iletilecek bilginin kodlanarak iletme hazır hale getirilmesi ve benzer şekilde radyo kanalından alınan ham verilerin tersine çözümünün yapılarak bilginin elde edilmesidir. Fiziksel katman önceden tanımlı frekans bandındaki kanallardan birinde protokole uygun bir şekilde çalışır. Mesajların kodlanması ve kodlarının çözülmesi için *FSK* modülasyon tekniği kullanılmıştır. *FSK*’nın oldukça iyi bilinmesi ve robot kontrol ortamına uygun özellikleri olmasının yanı sıra, birçok üretici firma tarafından

ticari hazır tüm-devrelerinin de piyasaya sunulmuş olması, pratikte maliyet ve uygulanabilirlik açısından avantaj sağlar.

Protokol, frekans bandı olarak kısa mesafeli haberleşmeye uygun 433–459 Mhz frekans bandının kullanımını öngörmüştür. Bu bant genişliği 200Khz'lik 130 tane frekans kanalına bölünür. Kanallar 0'dan 129'a kadar numaralanmıştır. Protokol, 0, 128 ve 129 numaralı kanalları kendi kullanımı için ayırmıştır. 1'den 127'e kadar olan kanallar ise radyo ağ yönetici cihazlarının kendi radyo ağlarını kurabilmeleri için ayrılmıştır.

4.4.1.2 Veri Bağlantı Katmanı

OEK ve MBK alt katmanlarından meydana gelir.

4.4.1.2.1 Ortam Erişim Kontrol Katmanı

CSMA/CA mekanizması birçok radyo haberleşme protokolünde uygulama basitliğinden dolayı tercih edilen bir yapıdır. Tez kapsamında kullanılan gezgin robotlara gönderilen alt seviyeli kontrol komutlarının kısa mesajlar şeklinde olduğu bilindiği için CSMA/CA yapısı sayesinde kanaldaki haberleşme trafiğinin etkin bir şekilde izlenerek çakışma durumlarından kaçınabileceği öngörülmüştür. Bu yapının gezgin robot sistemi ile tümleştirilmesi diğer radyo protokollerine göre daha basittir. Haberleşmeye yönelik işlem yükünün daha az olacağı ve radyo kanallarından daha verimli şekilde yararlanılabileceği düşünülmüştür.

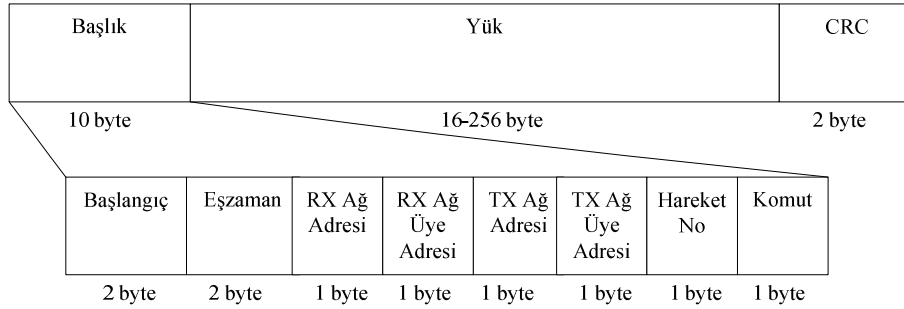
4.4.1.2.2 Mantıksal Bağlantı Kontrol Katmanı

Adresleme ve verilerin paketlenmesi işlerinin yürütüldüğü katmandır. Paketlerin nakli esnasında oluşabilecek hataların saptanması ve tekrar nakil edilmesi işleri bu katmanın görevi olarak tanımlanmıştır.

Protokolde donanım ve ağ adresi olmak üzere iki tip adres tanımlanmıştır. Donanım adresi radyo haberleşme cihazlarının birbirlerinden ayırt edilebilmesini olanak veren 6 bayt'lık statik olarak atanan bir sayıdır. Radyo ağ adresi ise, kayıt esnasında radyo ağ yöneticisi cihaz tarafından belirlenen 3 bayt'lık bir sayıdır. Radyo ağ adresi; *Frekans kanal no*, *Ağ no* ve *Ağ üye no* olarak adlandırılan üç alanın birleşiminden meydana gelmiştir. Frekans kanal no, 128 tane frekans kanalından birini işaret eder. Radyo frekans kanallarının tümünün birden dolu olması durumunda, aynı frekans kanalında birden fazla radyo ağ yöneticisi cihazı kendi ağlarını kurabilirler. Bu durumda radyo ağlarının birbirlerinden ayrılmasını *ağ no'su* sağlar. Ağ üye no'su ise diğer iki sayı ile adreslenen radyo ağına kayıtlı 253 radyo terminalinden birini adresler. Kısa mesafeli radyo haberleşmesinin 100 mt gibi bir menzilde

gerçekleştirileceği düşünüldüğünde, 128 frekans kanalının tamamının dolu olması olasılığı oldukça düşüktür. Radyo terminallerinin bir başka deyişle radyo ağı potansiyel üyelerinin herhangi bir ağa kayıt olmadan önceki varsayılan ağ no'ları 0, radyo ağ yöneticisi cihazlarınınki ise 1 olarak atanır.

Protokol kapsamında radyo ağı üyelerinin ağ yöneticisi cihazlar ile doğrudan haberleşmesine izin verilmiştir. MBK katmanı, radyo frekans kanalı üzerinden veri ve ağ yönetim mesajlarının nakil edilebilmesi için gerekli paket biçimini tanımlamıştır. Her paket Şekil 4.6'de görüldüğü gibi *Başlık*, *Yük* ve *CRC* alanlarından oluşmuştur. Başlık kısmında adres ve kontrol bilgisi, yük kısmında üst katmandan alınan ya da iletilen mesaj, CRC kısmında ise, haberleşme hatalarının saptanabilmesi için paketin içeriğine bağlı olarak hesaplanan özel bir kontrol sağlama sayısı bulunur.



Şekil 4.6 KMRHP genel paket biçimi

Başlık kısmındaki başlangıç ve eşzaman alanları, haberleşme sırasında eşzamanlılığının sağlanabilmesi için eklenmiştir. RX ağ ve üye adresleri alıcı, TX ağ ve üye adresleri ise verici radyo terminallerine ait adresleri tanımlamak için kullanılmıştır. Komut alanında paketin tipi belirlenmiştir. Komutlar ve açıklamaları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Paket alışverişinde bir hata oluşması durumunu yakalayabilmek için paketlerin sonuna 2 bayt uzunluğunda CRC kodu eklenmiştir. CRC bilgisi, başlangıç ve eşzaman verileri hariç kendinden önce gelen verilere bağlı olarak hesaplanan bir sayıdır. CRC sayısının hesaplanması için aşağıdaki polinom kullanılmıştır:

$$g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad (4-1)$$

KMRHP kapsamında radyo ağı üyeleri ortak bir frekans kanalını paylaşırlar. Bir radyo ağı üyesi frekans kanalını boş bulduğu anda iletileceği paketi yayımlar ve alıcı üyeden paketin hatasız alındığına dair onayın kendisine gönderilmesini bekler. Eğer onay önceden belirli bir

zaman içerisinde gelmez ise paketin hedefe ulaşmadığını varsayar ve paketi tekrar gönderir.

Çizelge 4.1 Protokol komutları

Komut (Hex sayı)	Anlamı
0x00	16 bayt veri yönetim paketi
0x01	64 bayt veri paketi
0x02	256 bayt veri paketi
0x08	16 bayt şifreli veri yönetim paketi
0x09	64 bayt şifreli veri paketi
0x0A	256 bayt şifreli veri paketi
0x10	Onay
0x11	Uyandırma isteği
0x12	Uyanma onayı

Başlıktaki hareket numarası, bir paketin birden fazla kere gereksiz şekilde alıcı tarafından kayıt edilmesini önlemek amacı ile gönderilir.

4.4.1.3 Kontrol Hizmet Katmanı

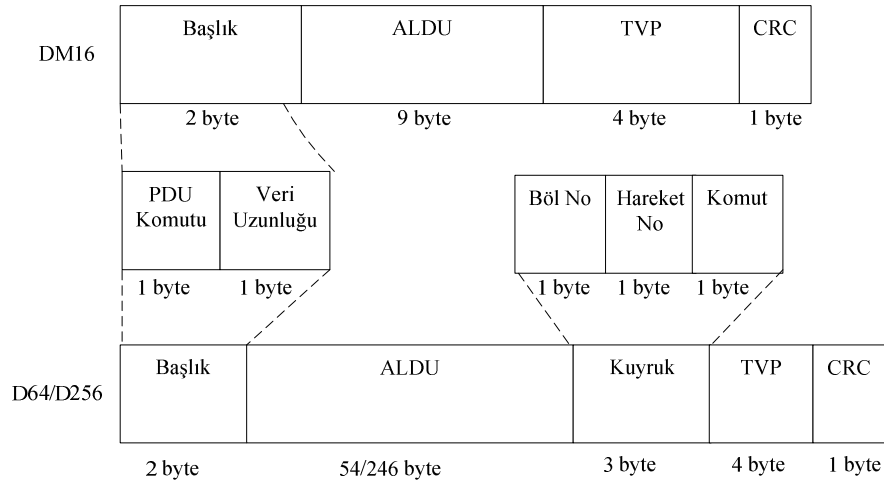
Bu katmanda radyo ağı üyesinin farklı çalışma modları tanımlanmıştır. Veri bağlantı katmanı üzerinde verinin teslimi, erişim kontrolü, gizliliği ve radyo ağı yönetim hizmetleri de bu katman tarafından yürütülür. Radyo ağı yönetim hizmetleri, kayıt olma ve kayıttan düşme gibi işlerin yürütülmesidir.

4.4.1.3.1 Paket Biçimi

DM16, D64 ve D256 olarak anılan üç tip paket tanımlanmıştır. Şekil 4.7’de yapısı verilen DM16; *Başlık*, *ALDU*, *TVP* ve *CRC* alanlarından oluşmuştur. D64 ve D256 paket biçimlerinde ise ALDU ve TVP arasına *Kuyruk* alanı eklenmiştir. Gönderilecek verinin uzun olması durumunda parçalara ayrılarak gönderilmesi söz konusudur. Kuyruk alanında verinin parçalara ayrılması ile ilgili kontrol bilgisi bulunur.

Paket içinde nakil edilecek yük uygulama katmanından gönderilen mesajlar ya da protokole özgün kontrol mesajlarından oluşabilir. *PDU komutu* pakette taşınan yükün (mesaj) uzunluğunu ve içeriğini belirtmek için kullanılmıştır.

ALDU alanı uygulama katmanına ait kısa mesajlar için ayrılan yük alanıdır. Bu alana gömülen mesajın uzunluğu, başlık kısmında belirtilmiştir.



Şekil 4.7 Uygulama katmanı paket yapısı

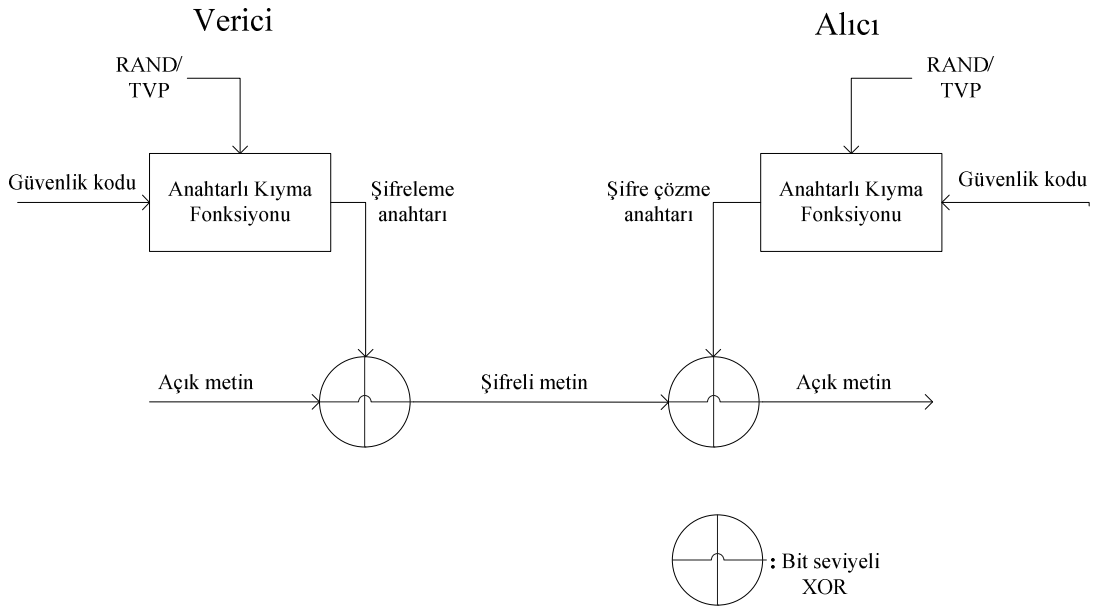
4.4.1.3.2 Veri Teslim Hizmeti

Veri teslim hizmetleri KHK tarafından uygulama katmanının kullanımına sunulmuştur. Uygulama katmanı bu hizmetten yararlanarak protokole uygun veri alışverişinde bulunur. Sıradan işler DM16 paket yapısı kullanılarak gerçekleştirilir. Akış halinde iletilebilecek verinin maksimum uzunluğu 60 KByte ile sınırlıdır. Bu uzunlukta bir veri nakli söz konusu olduğunda veri D256 paketlerine parçalanarak gönderilir. Parçalara ait numaralandırma kuyruk alanında bulunur. Alıcı tarafta parçalara ayrılmış bir veri paketi ile karşılaşıldığında parçalar bütünü oluşturan kadar blok olarak alma işlemi devam eder. KHK alınan veri parçalarını birleştirdikten sonra uygulama katmanına bütün olarak iletir.

4.4.1.3.3 Erişim Kontrolü ve Veri Gizliliği

Bu hizmetler için harcanan işlemci gücünün en az olabilmesi amacı ile *anahtarlı kıyıcı fonksiyonlu yakınsamış tek kullanımlı öbek şifresi* tekniğinden yararlanılmıştır. Şekil 4.8'de şifrelemenin nasıl gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Kıyıcı işlevi, güvenlik kodu ve rasgele bir sayıyı (genellikle TVP) kullanarak, 128 bitlik şifreleme anahtarını oluşturur. Radyo ağı yönetici ve üyesi cihazlar arası haberleşmenin güvenli bir şekilde yürütülmesi için 128 bitlik

bir *PIN* kodu bulunur. Radyo ağı yönetici cihazı, radyo ağı üye cihazına kayıt sırasında *PIN* kodunu kullanarak kimliğini ispat etmek zorundadır. Geleneksel sorgu-yanıt yetkilendirme tekniklerinde, sorgulanan uç kendisine yöneltilen soru kelimesi ile sorgulayanın bildiği gizli anahtarı kullanarak ürettiği yanıtı, kimlik kontrolü yapan uca gönderir. KMRHP’de ise yanıt verme kısmı iptal edilmiştir. Yerine, hem sorgulayan hem de sorgulanan uçlar sorgu kelimesini ve gizli anahtarı kullanarak bir şifreleme anahtarı oluştururlar. Yetkilendirilmeye tabi olan uç bu anahtarı kullanarak şifrelediği verileri diğer uca gönderir. Yetkilendirmeyi yapan uç aldığı verilerin şifresini çözebiliyorsa yetkilendirme işlemi başarılı olmuştur.



Şekil 4.8 Öbek şifreleyicinin blok şeması

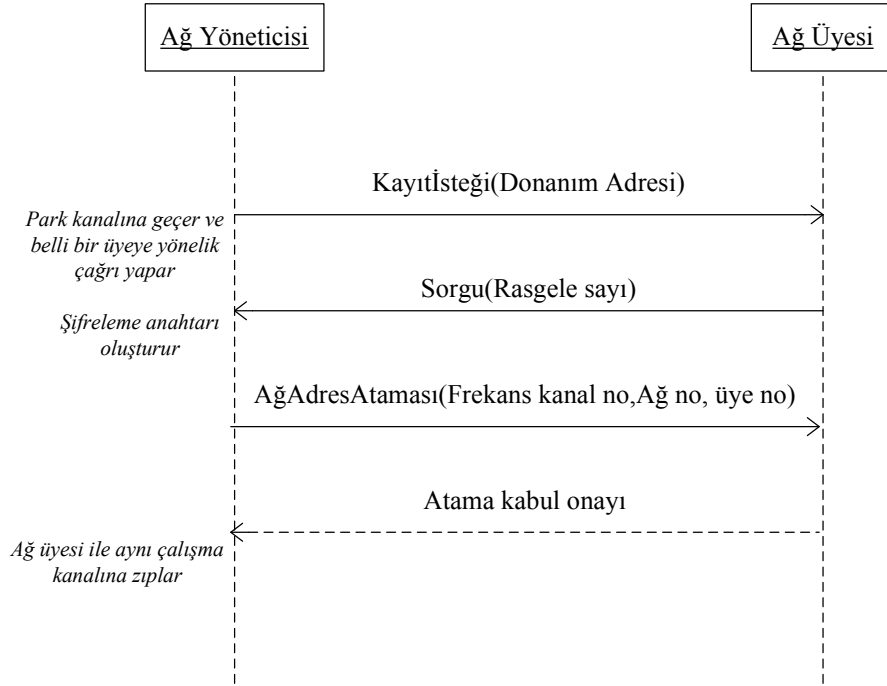
Bu yöntem ile aradaki gereksiz el sıkışma prosedüründen kaçınılmış olur.

4.4.1.3.4 Radyo Ağı Yönetim Hizmetleri

Ağın yönetimi ile ilgili hizmetler; kurulum, kayıt, ayrılma ve her hangi bir radyo ağı üyesi ile sağlıklı haberleşme imkânının sorgulanması olarak özetlenebilir. Radyo ağı yöneticisi, sistemi ayağa kaldırmadan önce boş bir radyo frekans kanalını tespit eder. Radyo ağı yönetici cihazı ilk defa çalışmaya başladığında radyo ağı adresi varsayılan olarak 0x0101 atanır. Radyo ağı yöneticisi önceden bilinen radyo frekans kanallarını tarar ve boş bir kanal tespit etmesi durumunda yerleşir. Bir radyo frekans kanalına yerleştikten sonra kanal üzerinde ağ arama mesajını yayınlar ve yanıt bekler. Eğer kanalda başka bir radyo ağı yönetici cihazı yerleşik ise ağ arama yanıt mesajı ile karşılık verir. Bunun üzerine radyo ağı yöneticisi başka bir kanala atlar. Boş bir radyo frekans kanalı bulduğuna emin olduktan sonra kendi ağını tesis

etmeye çalışır. Radyo ağı yöneticisinin boş kanal arama algoritması ikili arama işlevine dayanır. Bu sayede değişik ağlar arasındaki çakışma riski azalır.

Bir radyo ağı üyesinin ilk çalışmaya başladığı anda varsayılan *frekans kanal no'su 0x00*, *ağ no'su ise 0x00* dır. Radyo ağı üyesi ilk açıldığında bu radyo frekans kanalı üzerinden gelen ağ bağlantı isteklerini dinler. Radyo ağı yöneticisinden kendisine yönelik bir çağrı aldığında ağ yöneticisine ait *frekans kanal, ağ ve üyelik no'larını* kayıt eder.



Şekil 4.9 Ağ üye kayıt akış şeması

Radyo ağ üyesi frekans kanal no'suna bağlı olarak ilgili kanala atlar ve kayıt isteğinde bulunur. Üyelik kaydına ait akış şeması Şekil 4.9'daki gibidir.

Bazı radyo ağı üyeleri zaman içerisinde ağın kapsama menziline dışına çıkabilirler, bu duruma düşen radyo ağı üyelerinin saptanması için radyo ağı yöneticisi dönemsel olarak sorgulama gerçekleştirir. Menzil dışına çıkılması durumu tespit edildiğinde uygulama katmanı uyarılır.

Radyo terminal cihazlarının *normal* ve *tasarruf* olarak iki farklı çalışma modu tanımlanmıştır. Normal modta çalışan cihazlar her zaman veri alabilir durumdadır. Tasarruf modunda çalışan cihazlar ise yalnızca veri gönderip alırken aktif duruma geçerler. Tasarruf modunda KHK

radio ağı üyesini dönemsel olarak uyandırır. Radyo ağı yöneticisi bu moda çalışan bir üyesine veri göndermeden önce *uyandırma istek* komutunu devamlı olarak gönderir. Radyo ağı üyesi uyandığı ve bu mesajı aldığı zaman, ağ yöneticisine cevaben *uyandırma onay* mesajını gönderir. Veri alışverişi tamamlandıktan sonra ağ üyesi tekrar uykuya yatar.

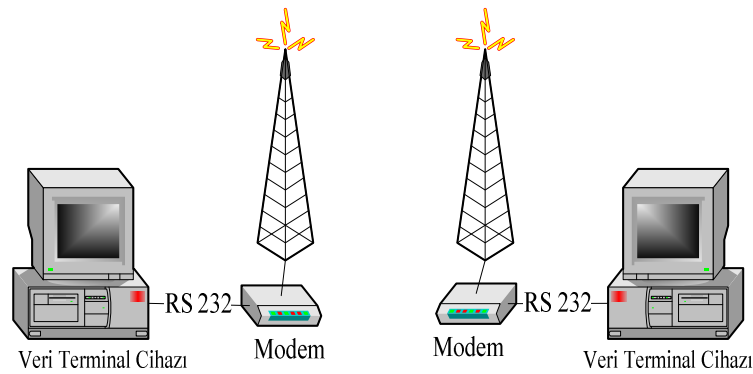
4.4.2 Radyo Modem Uygulaması

YTÜ’de geliştirilen *Gezgin robot sistemi* ile *Internet geçit* alt sistemi arasındaki kablosuz veri iletimi gerçekleştirebilmek amacı ile ara-yüzü RS232 standardına uygun bir radyo modem cihazı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir (Ovalı ve Uzun, 2005). Gerçeklenen radyo modem üzerinde KMRHP’nin uygulanması da mümkündür. Tez çalışması kapsamında KMRHP’nin geliştirilen radyo modem üzerinde kısmi bir uygulaması yapılmıştır.

4.4.2.1 Saydam RS 232 Haberleşme

Geliştirilen radyo modem cihazı RS232 standardında tanımlı kablo üzeri haberleşmeyi, kablosuz şekilde radyo frekans kanallarını kullanarak gerçekleştirmek için özelleştirilmiştir. Radyo modem, *veri terminal cihazı* (gezgin robot bilgisayarı) ile RS232 fiziksel bağlantısı üzerinden haberleşir. Radyo modem iletmesi için gönderilen verileri seri kanal üzerinden okur ve özgün bir protokol (KMRHP) çerçevesinde biçimlendirerek radyo frekans kanalı üzerinden hedef veri terminal cihazına gönderir. Modem, radyo frekans kanalı üzerinden veri aktarması yapmadığı durumlarda kanaldan gelen geçerli veri paketlerini yakalar.

Protokole bağlı olarak kendi cihaz kodu adreslenerek gönderilmiş geçerli bir veri paketi alındığında, paketin içerisindeki ham veri ayıklar ve bağlı bulunduğu veri terminal cihazına RS232 ara-yüzü üzerinden iletir. Gezgin robot uygulaması için alınan mesajlar alt seviyeli robot kontrol komutlarıdır.



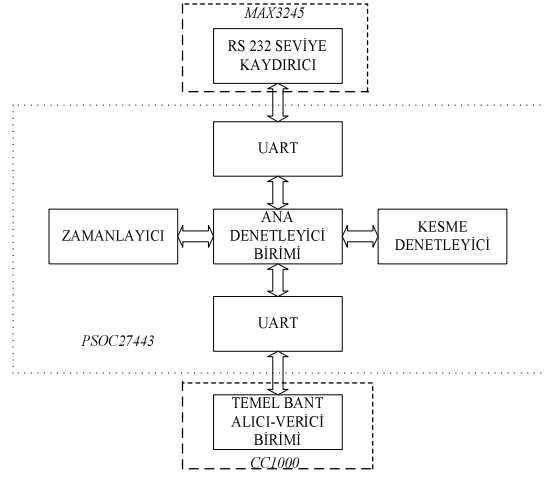
Şekil 4.10 Kablosuz RS232 haberleşmesi

RS232 standardında haberleşme iki yönlü olarak tariflenmiştir. Ancak tasarlanan radyo modem, radyo frekans kanalı üzerinden tek yönlü olarak iletişim yapabilmektedir. RS232 terminal cihazının gönderdiği verilerin ezilme olasılığına karşın, veri akışı denetlenmelidir. Radyo modem RS232 terminal cihazına, *donanım akış denetimi* kullanarak ne zaman veri göndermesi gerektiğini bildirir.

Radyo modemler haberleşme amaçlı olarak kullanılmadan önce, çalışma parametreleri en az bir defa olmak üzere uygun şekilde yapılandırılmalıdır. Modemlerin ağ yöneticisi ya da üyesi olarak tanımlanmaları, eşleştirilmeleri, frekans, güç ve benzeri parametrelerinin ayarlanması, kişisel bilgisayar ortamı için geliştirilen grafik ara-yüzüne sahip bir yazılım kullanılarak gerçekleştirilir. Yapılandırılan parametrelere ait değerler, radyo modem denetim sistemi kalıcı hafızasında saklanır. Eşleştirilmiş radyo modemler çalıştırılıp bir radyo ağı kurulduktan sonra, bağlı buldukları veri terminal cihazları arasında (*gezgin robot ve Internet geçidi*) RS232 haberleşmesi için kullanılan kabloya ihtiyaç kalmadan radyo kanalı üzerinden seri haberleşme gerçekleştirilebilir. Veri terminal cihazları tarafından bakıldığında farklı bir ara-yüze ihtiyaç duyulmaz.

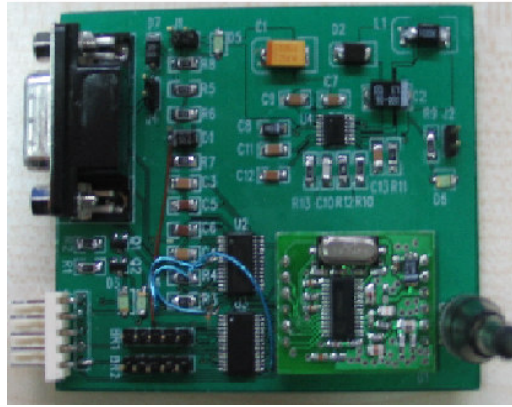
4.4.2.2 Radyo Modem Donanımı

RS232 ara-yüzüne sahip radyo modemin, donanım alt sistemlerine ait blok gösterimi Şekil 4.11'deki gibidir. Radyo modeme ait seri alma gönderme birimi ile veri terminal cihazının seri alma gönderme birimi arasındaki haberleşmenin kablo üzerinden sağlanabilmesi için (mantık) gerilim genlik seviyelerindeki gerekli dönüşümler, *Seviye Kaydırma* birimi tarafından gerçekleştirilir. Radyo modemin çekirdeğini, *tüm-devre üzeri sistem* olarak anılan, içerisinde yapılandırılabilir analog ve sayısal bloklar bulunan, özel olarak tasarlanmış bir tümleşik geliştirme ortamı kullanılarak programlanabilen, esnek ve ölçeklenebilen bir donanım mimarisine sahip *FPGA* benzeri bir tüm-devre oluşturur. Tümleşik devre, radyo modem uygulaması için merkezinde 8 bit bir mikroişlemci olmak üzere, kesme denetleyicisi, seri haberleşme birimleri, zamanlayıcı gibi donanımsal çevre birimlerini de içerecek şekilde yapılandırılarak, radyo modem elektronik denetleme sistemini oluşturur.



Şekil 4.11 Radyo modem blok gösterimi

Temel bant alıcı-verici birimi, ana denetleyici yönetiminde, önceden belirlenen frekans bantlarında, atmosfer üzerinden veri iletimi yapabilen ve dinamik olarak programlanabilen elektronik haberleşme düzeneğidir. Mesaj işareti, *Frekans Kaydırmalı Anahtarlama* modülasyon yöntemi kullanılarak yüksek frekanslara taşınır. Elektronik düzenek, içerisindeki demodülör yardımı ile taşıyıcı işaretinden mesaj işaretini ayırt edebilme yeteneğine de sahiptir. Tasarlanan radyo modem ilk örnek devresinin resmi Şekil 4.12’da verilmiştir.

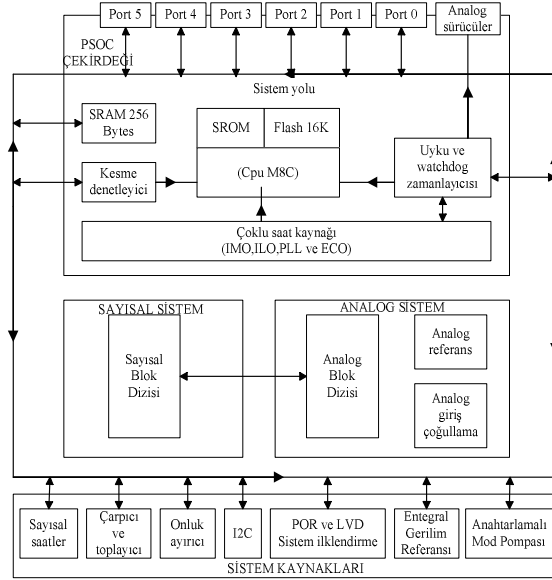


Şekil 4.12 Telsiz modem ilk örnek devresi

4.4.2.2.1 Elektronik Denetleme Sistemi

Radyo modem denetleme sistemi, Şekil 4.11’de noktalı çizgi ile gösterilen blok içerisindeki alt birimlerden oluşmaktadır. Denetleme sistemi, *Cypress Semi Conductor* firmasının, *PSOC* olarak adlandırdığı FPGA benzeri yarı iletken ailesinden, *Cypress 27443* tüm-devresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan denetleme sisteminin gerçekleşmesinde, PSOC

ailesinin tercih edilmesinin başlıca nedenleri, bu ailenin geleneksel mikro-denetleyicilere kıyasla, esnek ve ölçeklenebilir mimariye sahip olması ve harici çevre birimlerine çoğu zaman ihtiyaç duymadığı için güç tüketiminin de oldukça düşük olmasıdır.



Şekil 4.13 Cypress 27443 sistem mimarisini

PSOC tüm-devre mimarisi, Şekil 4.13’de görüldüğü gibi çekirdek, sayısal sistem, analog sistem ve sistem kaynaklarından oluşmaktadır. PSOC 27443 tüm-devresi, sekiz analog, on iki sayısal bloğa erişim olanağını bulunan, ortak analog ve sayısal yollara bağlı beş adete kadar giriş/çıkış birimini destekler. PSOC çekirdek bölümü, saat frekansı 24 Mhz olan, 4 mips (million instruction per second) hızında, 8 bit *harvard* donanım mimarisine sahip bir mikroişlemci ile bellek ve programlanabilir saat birimlerinden oluşur. Mikroişlemci, gerçek zamanlı olayları idare edebilmek için on yedi vektörlü bir kesme denetleyicisinden faydalanır. İşlemci üzerinde program yürütme zamanlarının denetimi için dahili olarak bulunan *uyku ve emniyet* zamanlayıcıları kullanılır. İşlemci program alanı için *16 K baytlık flash*, veri alanı için ise *256 baytlık SRAM* bellekler dahili olarak bulunur. Flash belleğin 2 K baytlık kısmı *EEPROM benzetimi* için ayrılmıştır.

Radyo modem denetleyicinin veri terminal cihazı ara-yüzü bir *UART* seri haberleşme birimi ile sağlanır. Mikroişlemciden paralel olarak yazılan bir baytlık veri, 'de blok gösterimi verilen *UART* birimine uygulanan saat frekansının 1/8’i hızında seri olarak *TX (transmit)* hattına yazılır.

Benzer şekilde veri terminal cihazının *TX* hattından, *UART* biriminin *RX (receive)* hattına

Alçak frekanslara taşınan işaret tekrar kuvvetlendirilerek *demodülatör* devresi sürülür ve çıkışından sayısal biçimdeki bilgi işareti elde edilir. CC1000'nin verici katında, radyo frekansındaki taşıyıcı işaret, bir gerilim kontrollü osilatörün çıkışındaki işaretin güç kuvvetlendiricisi ile kuvvetlendirilmesi ile elde edilir. Radyo frekanslı çıkış işareti, tüm-devrenin giriş olarak kabul ettiği sayısal biçimdeki bit dizisi ile *frekans kaydırmalı* olarak anahtarlanır. Tüm-devre içinde bulunan alıcı/verici anahtarlama devresi, CC1000'in anten ara-yüzünü ve eşleştirmesini basitleştirir. Frekans üretici faz detektörü, şarj pompası, gerilim kontrollü osilatör, frekans bölücüler ve harici bir kristal osilatörden meydana gelir. Gerilim kontrollü osilatör harici bir bobinin CC1000'e bağlanmasını gerektirir. Frekans üretici alıcı olarak çalışırken karıştırma devresine gerekli yerel osilatör işaretini üretir. CC1000'e harici olarak bağlanan bir kondansatör ve bobin yardımı ile alıcının giriş eşleştirme katı tamamlanır. Bobin aynı zamanda ince ayar için kullanılan bir doğru gerilim kısıyıcısı görevini de görür. Yine tüm-devreye harici olarak bağlanan iki kondansatör ve bir bobin yardımı ile verici katıda 50 ohm empedansa eşleştirilir. Temel bant alıcı-verici birimi ile besleme devresini yalıtım için düşük değerlerde yalıtım kondansatörleri kullanılır.

CC1000'in içerisinde 28 adet 8 bitlik yapılandırma yazmacı bulunur. Her bir yazmaç 7 bit ile adreslenir. Kalan 1 bit ise işlemin yazma ya da okuma olduğunu ayırt etmek için kullanılır. Yapılandırma hızı PCLK bağlantı yoluna uygulanan saat sinyalinin frekansına bağlıdır. Uygulanabilecek en yüksek saat frekansı 10 Mhz ile sınırlıdır. CC1000'un tüm yazmaçlarının ayarlanması 46 mikro saniyeden daha kısa bir zamanda tamamlanabilir. CC1000 üzerinde üç bağlantı yoluna sahip bir ara-yüz bulunur. PDATA, PCLK ve PALE bağlantıları mikroişlemci ile gerekli yapılandırma ara-yüzünü oluştururlar. Mikroişlemci ile veri alışı ise DIO ve DCLK bağlantıları üzerinden sağlanır. DIO her iki yönde veri transferi için kullanılan bağlantıdır. DCLK ise bu yol üzerinden gerçekleşen senkron haberleşmeye ait saat sinyalidir ve CC1000 tarafından üretilir.

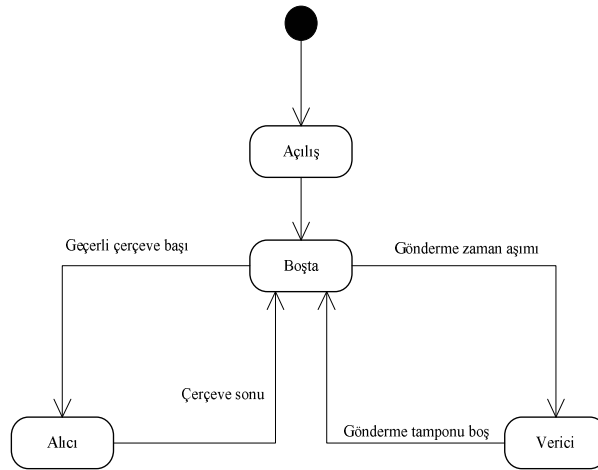
CC1000'un *Senkron NRZ, Manchester kodlama ve Asenkron mod* olarak adlandırılan üç farklı veri aktarma biçimini kullanacak şekilde yapılandırılabilir. Senkron NRZ modunda çalıştırıldığında, CC1000 veri saatini DCLK bacağına hazır eder ve DIO bağlantısı üzerinden aktaracağı veriyi okur. Mesaj verisi radyo frekanslarına kodlamadan modüle edilir. Bu modtaki veri aktarım hızları en az 0.6 Kbit/s, en fazla 76.8 Kbit/s oranlarında yapılandırılabilir. Alıcı olarak çalıştırıldığında demodülasyon sonucu elde edilen veri, CC1000 tarafından üretilen DCLK bağlantısındaki saat işareti ile birlikte, DIO bağlantısında hazır edilir. CC1000 senkron *manchester kodlaması* modunda çalışırken, en fazla 38.4 kbits/s

hızında haberleşme yapılabilir. Manchester kodlama ve kod çözümü CC1000 tarafından gerçekleştirilir. CC1000 *asen kron* modda çalıştırıldığında mikroişlemci ile CC1000 arasındaki saat eşlemesi olmadan, mesaj verisi doğrudan taşıyıcı işaretini modüle etmek için kullanılır.

Radyo modem prototiplerinde yapılandırma ile ilgili varsayılan değerler; haberleşme merkez frekansı 433.3 Mhz, frekans ayırımı 64 khz, çıkış gücü 10 dBm, 1.2Kbits/s Manchester kodlama olacak şekilde programlanmıştır.

4.4.2.3 Radyo Modem Yazılımı

Cypress 27443 tüm-devresi *PSoC Designer 4.2 tümleşik grafik geliştirme ortamı* kullanılarak programlanmıştır. Tümleşik geliştirme ortamı içerisinde tüm-devre içi donanım blokları yapılandırılabilirdiği gibi mikroişlemci için *C* ya da *Assembler* dilleri kullanılarak programlama da yapılabilir.



Şekil 4.16 Radyo modem sonlu durum makinesi

Radyo modem yazılımı '*super loop*' olarak anılan yazılım biçimine uygun şekilde geliştirilmiştir. Yazılımda yüksek önceliğe sahip görevler (*ön plan görevler*), kesme hizmet alt yordamları içerisinde gerçekleştirirken, düşük öncelikli görevler (*arka plan görevler*) program ana bloğundaki sonsuz döngünün altında gerçekleştirilmişlerdir. Radyo modem sonlu durum makinesi Şekil 4.16'de verilmiştir. Durumlar arası geçişlere yol açan olaylar ön plan görevler tarafından tetiklenir. Olayların işlenip durum geçişlerinin koordinasyonu ise arka plan görevleri tarafından yürütülür.

Yazılım da üç arka ve üç ön plan görev mevcuttur. Veri terminal cihazından bir baytlık

verinin seri biçimde donanımsal olarak okunması durumunda mikroişlemci UART biriminin ürettiği bir kesme ile uyarılır. Veri terminal cihazından sorumlu ön plan görevi bu kesmeyi yakalar ve ilgili bayrak değişkeninin değerini değiştirerek, arka plan görevlerinden hizmet isteğinde bulunur. Arka planda koşturulan ilgili görevin çalışma sırası kendisine gelmesi ile bir baytlık veri seri haberleşme donanımına ait tampon yazıcıdan çekilerek, radyo kanalı giden veri kuyruğuna atılır. Radyo kanalı üzerinden veri nâkili dönemsel olarak gerçekleştirilir. Bu dönemlerin süresi bir zamanlayıcı tarafından tutulur. Önceden belirlenen zaman aşımı olayı oluşması durumunda, zamanlayıcı kesme yolu ile mikroişlemciyi uyarır. İlgili ön plan görevi arka planda çalışan durum geçişlerinden sorumlu göreve, bir bayrak değişkeni kullanarak telsiz modemin verici olarak çalıştırılması isteğinde bulunur. İlgili arka plan görevi isteği algıladığında, radyo kanalından alma işlemi ile meşgul değil ise CC1000'i verici olarak çalışacak şekilde yapılandırır. Radyo giden kuyruğunda gönderilmeyi bekleyen veriler paketlenerek belirlenen radyo kanalı üzerinden yayınlanır. CC1000 ara-yüzünden sorumlu ön plan görevi CC1000 tarafından üretilen saat sinyalinin yükselen kenarında tetiklenen bir kesme hizmet alt yordamı içerisinde yürütülür. Bu ön plan görevi saat sinyali ile birlikte çok sık tetikleneceği için kesme hizmet alt yordamı içinde en az makine kodu çalıştırılacak şekilde ara-yüze özel bir sonlu durum makinesi tasarlanarak kodlaması gerçekleştirilmiştir.

4.5 İnternet Geçit Sistemi

İnternet geçit sistemi gezgin robotlar ve uzak kullanıcıları arasında adeta köprü görevi gören bir alt sistemdir. Robotların gezgin olabilmesi için kablosuz haberleşme yapabilmeleri bir zorunluluktur. Bu amaçla önceki bölümde ayrıntıları ile anlatılan kısa mesafe radyo haberleşme protokolü önerilmiş ve bu haberleşme sisteminin uygulanabileceği özgün bir radyo modem cihazı geliştirilmiştir. Ancak radyo modem cihazları ve gezgin robotların tümleştirilmesi, robotların İnternet üzerinden kontrol edilebilmeleri için yeterli değildir. Gezgin robotlar için önerilen radyo haberleşme ağının İnternet açılımını sağlayacak bir protokol dönüştürücüsüne ihtiyaç vardır. İdeal olan radyo haberleşme protokolünün İnternet'in doğal protokolü olan TCP/IP yığınının en altta kalan fiziksel ve veri bağlantı katmanlarını gerçeklemesi ve IP protokol katmanına ara-yüz sağlamasıdır. Böyle bir yapılandırma IP ve TCP protokol katmanlarının gezgin robot sistemi tarafında gerçekleşmesini gerektirir. Bu protokol katmanlarının da radyo modem cihazının içinde gerçekleşmesi mümkündür. Ancak böyle bir tasarımın modüler ve esnek bir mimari sağlamamasının yanı sıra radyo modem cihazının sorumluluğunu gereğinden fazla artırması

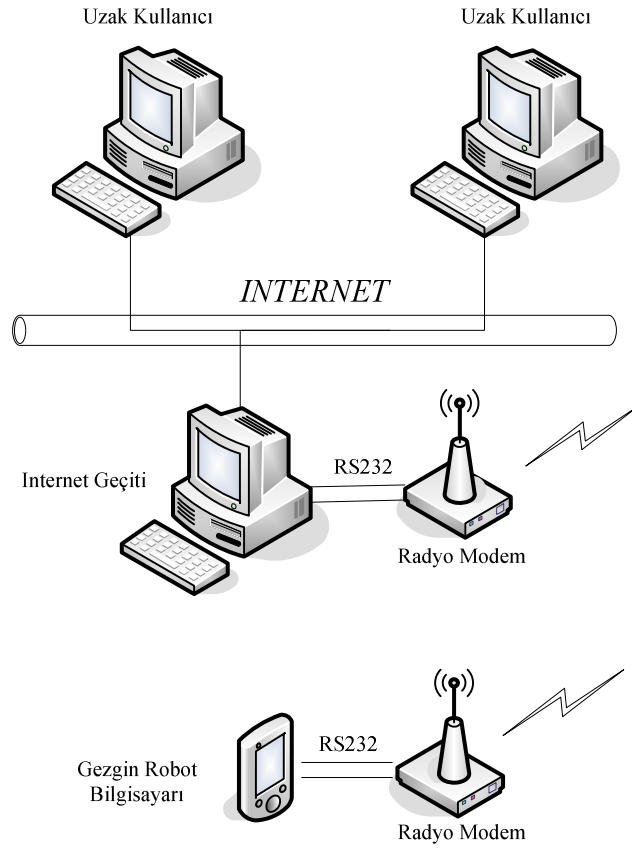
sonucunda maliyet ve güç tüketimi açılarından da olumsuz etkileri söz konusu olacaktır. Doğru olan yaklaşım IP ve TCP protokol katmanlarının gezgin robot sistemine ait bilgisayar sistemi tarafından yürütülmesi ve bu sayede arı bir Internet gezgin robotu elde edilmesidir. Bu şekildeki mimarinin bir avantajı da geliştirilen radyo modem sistemlerinin jenerik yapıları sayesinde farklı robot uygulamalarında hiçbir değişiklik yapmadan kullanılabilmesidir.

Tez kapsamındaki çalışmada, YTÜ’de geliştirilen gezgin robotun donanım ve yazılım yapısına müdahale etmeden Internet erişimi sağlamak söz konusu olduğu için yukarıda bahis edilenlerden farklı bir anlayış ile Internet erişimi sağlanmıştır. Maliyet ve güç tüketimi açısından avantajları olan bu Internet erişim sisteminde, Internet protokollerinin getireceği fazladan yük *Internet Geçiti* olarak anılan alt sistem tarafına kaydırılmıştır. Internet geçit sistemi Internet erişimi olan kişisel bilgisayar ve radyo modem cihazından oluşur. Radyo modem cihazı kısa mesafe radyo haberleşme protokolünde tanımlandığı gibi ağ yöneticisi olarak çalışacak şekilde yapılandırılmıştır. Böylelikle geçit bilgisayarına bağlı olan radyo modem cihazının kuracağı ağa bağlanan üyeler yani gezgin robotlar ile geçit bilgisayarı arasında bir haberleşme tesis edilmiştir. Geçit bilgisayarının bir bacağının Internet ağında olması sayesinde de uzak kullanıcılar ile geçit bilgisayarı arasında haberleşme yapılabilir. Tasarlanan Internet Geçitinin genel sistem yapılandırılması Şekil 4.17’deki gibidir. Internet geçidi hem radyo hem de Internet ağına bağlıdır.

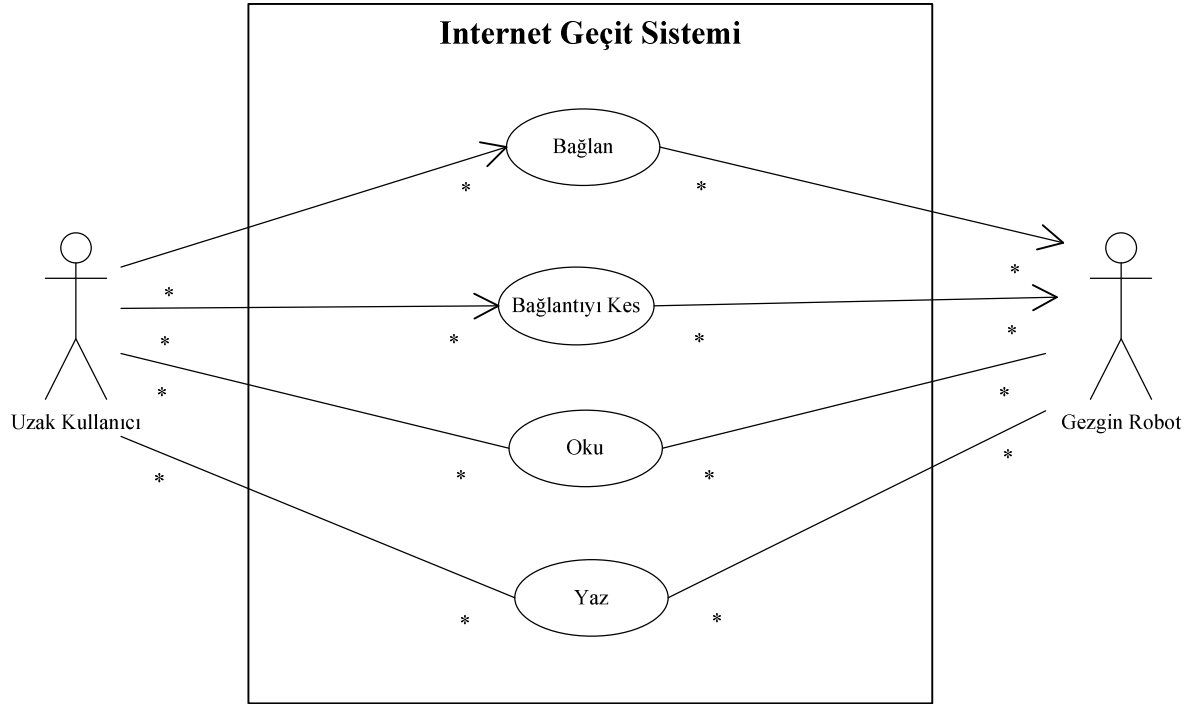
Geçit bilgisayarı üzerinde haberleşme ağları arasında bağdaştırıcı görevini üstlenen bir yazılım geliştirilmiştir. Bu köprü yazılım, uzak kullanıcılara gezgin robotlar ile aralarında uçtan uca sanal bir seri bağlantı kurma imkanı sağlamıştır. Böylelikle YTÜ’de geliştirilen gezgin robot sistemi ile sistemi kişisel bilgisayar üzerinden kontrol etmeye yarayan kullanıcı grafik ara-yüzüne sahip üst seviyeli kontrol yazılımı hiçbir değişiklik yapılmadan Internet üzerinden robot kontrolü için kullanılabilirler. Aşağıdaki paragraflarda yazılımın tasarımı ve gerçekleşmesi ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

4.5.1 Sistem Kullanım Durumları

Internet geçit sistemi aktörleri gezgin robot ve uzak kullanıcı için sistem kullanım durumları Şekil 4.18’deki gibidir. Internet geçit sisteminin ana işlevi, uzak kullanıcı ile gezgin robot arasında uçtan uca bir haberleşme kanalı kurarak bu kanal üzerinden karşılıklı veri alışverişi yapılabilmesini sağlamaktır. Gezgin robot sisteminin kontrolü ile ilgili işlevsek sağlayan sistem bu tezin kapsamı dışında YTÜ’de önceki yürütülen çalışmalarda sağlanmıştır (Uzun, ve Erdoğan, 2000).



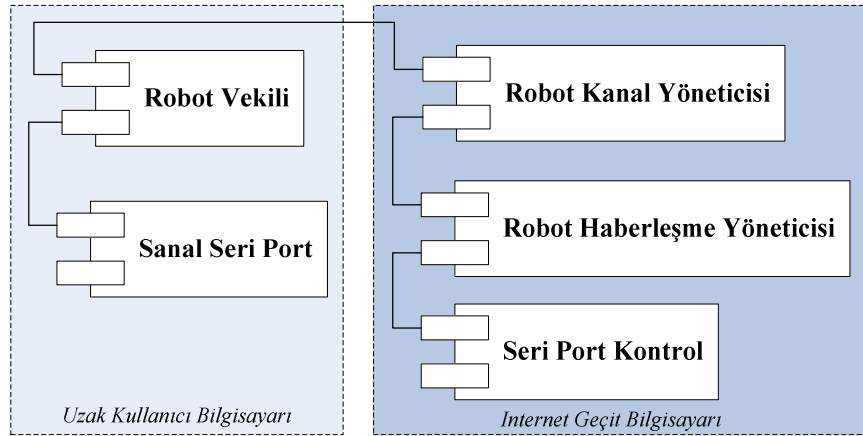
Şekil 4.17 Internet geçiti genel sistem mimarisi



Şekil 4.18 Internet geçit sistemi kullanım durumları

4.5.2 Sistem Yazılım Mimarisi

Şekil 4.19’de Internet geçit yazılımının uçtan uca sanal seri haberleşme alt yapısını sağlamak üzere ayrıldığı alt bileşenler gösterilmiştir.



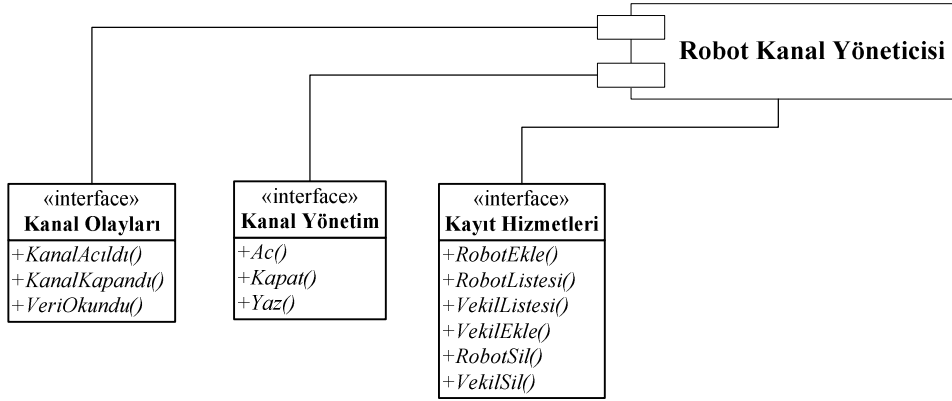
Şekil 4.19 Internet geçit yazılım bileşenleri

Internet geçit yazılım sistemi dağıtık bir mimaride tasarlanmıştır. *Robot vekili* ve *Sanal seri port* bileşenleri uzak kullanıcının bilgisayarında arka planda çalıştırılacak yazılımlardır. *Robot kanal yöneticisi*, *Robot haberleşme yöneticisi* ve *Seri port kontrol* bileşenleri Internet

geçit bilgisayar ortamında işbirliği içinde çalışan yazılım bileşenleridir.

4.5.2.1 Robot Kanal Yöneticisi

Robot vekillerinden gelen sanal seri kanal tesisi isteklerini alarak, kanal kurulmasına bir engel olmadığı durumlarda, robot haberleşme yöneticisi üzerinden ilgili gezgin robot ile robot vekili arasında uçtan uca mantıksal bir haberleşme kanalı kurar. Robot vekil ile arasındaki iletişimin kopması ya da sonlanması durumlarını sezerek ve robot haberleşme yöneticisini, haberleşme kanalını sonlandırması için uyarır.



Şekil 4.20 Robot kanal yöneticisi ara-yüzleri

Robot kanal yöneticisi bileşeni, *Kanal Yönetim*, *Kanal Olayları* ve *Kayıt Hizmetleri* ara-yüzlerini sunar.

Kayıt hizmetleri ara-yüzü robot vekiller ve robot haberleşme yöneticisi tarafından kullanılır. Uzak kullanıcıları temsilen robot vekiller bu ara-yüzü kullanarak haberleşme sistemine dahil olurlar. Benzer şekilde gezgin robotlar adına robot haberleşme yöneticisi menzil içindeki gezgin robotları sisteme kayıt eder. Robotların ve vekillerinin kayıtları otomatik olarak sistemden düşebildiği gibi ara-yüz kullanılarak da düşürülebilirler.

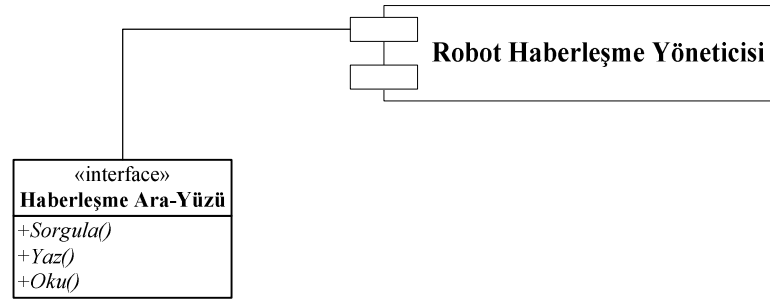
Kanal yönetim ara-yüzünü, robot vekiller, uygun durumda bulunan robotlar ile aralarında uçtan uca bir haberleşme kanalı kurmak için kullanırlar. Kanal tesis edildikten sonra kanala veri yazmak ve okumak için de aynı ara-yüzü kullanırlar. Benzer şekilde robot haberleşme yöneticisi gezgin robotlardan gelen veri akışını bu ara-yüzü kullanarak yönlendirir.

Kanal olayları ara-yüzü, robot kanal yöneticisi yazılım bileşeninde oluşan olaylara kayıt olmak için kullanılır. Örneğin bir gezgin robottan veri akışı olması durumunda, robot haberleşme

yöneticisi kanal yöneticisi tarafından listesi tutulan kanala bu veriyi yazar. Hemen sonrasında kanal yönetici bileşeni ilgili kanalın *VeriOkundu* olayını tetikler. Bu sayede, kanal olayları ara-yüzüne abone olmuş robot vekilde, kanalda kendisine doğru olan veri akışından haberdar olur.

4.5.2.2 Robot Haberleşme Yöneticisi

Radyo modem alt sistemi içerisinde yürütülen *Kısa Mesafe Radyo Haberleşmesi Protokolü'nün* uygulama katmanı bu bileşen tarafından yürütülür. Radyo modem cihazı ile arasındaki seri veri haberleşmesini *seri port kontrol bileşeni* üzerinden yürütür. Robot kanal yöneticisinin sunduğu ara-yüzleri kullanarak, yeni bir gezgin robotun kapsama alanına girmesi durumunda robot listesini günceller. Gezgin robotlara mesaj gönderme ve okumak için gerekli ara-yüzü de sağlar.

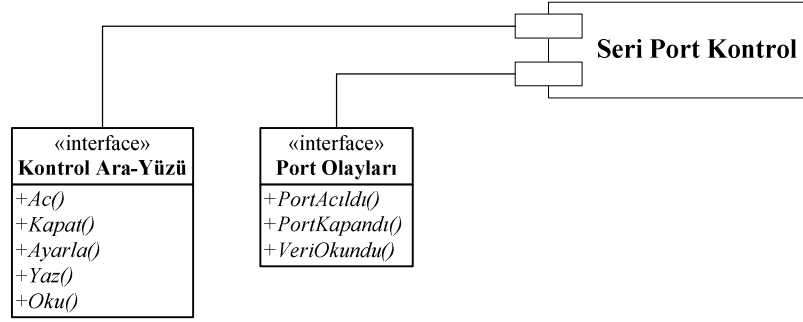


Şekil 4.21 Robot haberleşme yöneticisi ara-yüzü

Haberleşme ara-yüzü robot kanal yöneticisi tarafından kullanılan ara-yüzdür. Robot kanal yöneticisi katmanında kurulan sanal kanala robot vekilleri tarafından yollanan verileri gezgin robotlara adreslemek için kullanılır. Bir gezgin robotun radyo ağına eklenmesi ve eksiltilmesi işleri otomatik yürütülmesine rağmen bu ara-yüz yardımı ile de kontrol edilebilir.

4.5.2.3 Seri Port Kontrol

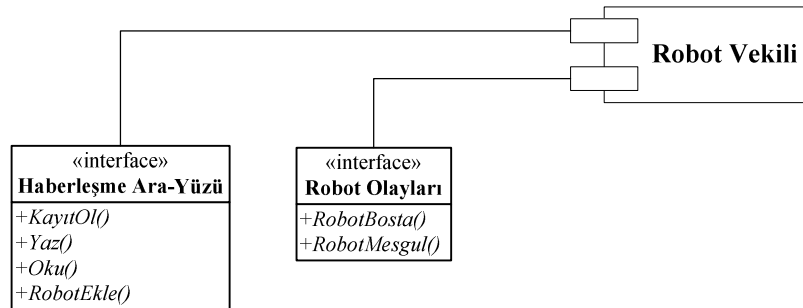
Veri terminal cihazı seri port donanımı ile haberleşen ve işletim sistemi sistem çağrılarının karmaşasını saklayan bileşendir. Seri port kontrol bileşeninin sağladığı ara-yüz üzerinden Internet geçit bilgisayarının radyo modem cihazına bağlandığı seri portu kontrol etmek mümkündür. Porta veri yazma ve okuma aynı ara-yüz üzerinden yapılabilir. Seri port bileşeninin kullanıcısı robot haberleşme yöneticisi bileşenidir. Kısa mesafeli radyo haberleşme protokolünün tanımladığı ara-yüze bağlı olarak seri port üzerinden radyo modem cihazını kontrol eder.



Şekil 4.22 Seri port kontrol ara-yüzü

4.5.2.4 Robot Vekili

Robot vekil bileşeni uzak kullanıcının bilgisayarında çalışacak ajan bileşendir. Bu yazılım bileşeni Internet geçit bilgisayarı üzerinde çalışan robot kanal yöneticisine kayıt olarak, sistemde tanımlı bulunan gezgin robotların listesini alır. Gezgin robotların boşa olanları için sanal seri port bileşenin sunduğu ara-yüzü kullanarak işletim sistemi seviyesinde sanal seri portlar oluşturur ve bu portları dinler. Bir gezgin robotun başka bir uzak kullanıcı tarafından kullanılıyor olması durumunda oluşturduğu sanal portu sistemden kaldırır. YTÜ’de geliştirilen robot kontrol programı bu sanal portlardan birini kullanacak şekilde çalıştırıldığı takdirde robot vekili hemen bu portla ilişkili gezgin robot için Internet geçit sistemi üzerinden bir kanal kurmaya çalışır. Bu kanalın kurulması durumunda sanal seri portun açılmasına izin verir. Sanal seri port açıldıktan sonra robot vekili sanal seri porta kontrol programı tarafından yazılan verileri okur ve Internet geçiti üzerinden kurulan kanala gönderir. Benzer şekilde kanaldan gelen veri akışını da sanal seri porta yönlendirir. Kontrol programı

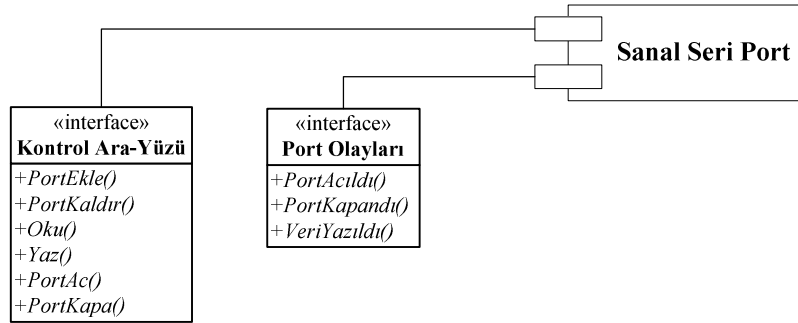


Şekil 4.23 Robot vekili ara-yüzleri

ile sanal seri port arasındaki ara-yüz standart seri portlar ile aynıdır. Bu yüzden kontrol programı üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmasına ihtiyaç duyulmaz.

4.5.2.5 Sanal Seri Port

Uzak kullanıcı bilgisayarında işletim sistemi seviyesinde sanal seri haberleşme portları oluşturan yazılım bileşenidir. Oluşturulan seri haberleşme portlarının kullanıcıları açısından gerçeklerinden hiçbir farkı yoktur, ancak sanal seri portlar donanım ile ilişkilendirilmemiştir. Bu seri portları dinleyen yazılımların amaçlarına bağlı olarak farklı işlevler için kullanılabilir. Robot vekili tarafından sisteme kayıtlı her bir gezgin robot için sanal seri port bileşeninin kontrol ara-yüzü kullanılarak sanal seri portlar oluşturulur. Kontrol programı bu portları açmaya çalıştığında devreye robot vekili girerek ilgili gezgin robot ile arasında bir haberleşme kanalı kurmaya çalışır ve başarılı olması durumunda sanal seri portun açılmasına izin verir. Port açıldıktan sonra robot kontrol programı tarafından porta yazılan her veri robot vekil tarafından okunarak kanala yazılır. Benzer şekilde kanaldan gelen her veri de porta gönderilir. Bu sayede robot kontrol yazılımı üzerinde hiç bir değişiklik yapmadan, kablo üzerinden haberleşmeyi canlandırarak istenilen gezgin robotun kontrolü Internet üzerinden sağlanmış olur.

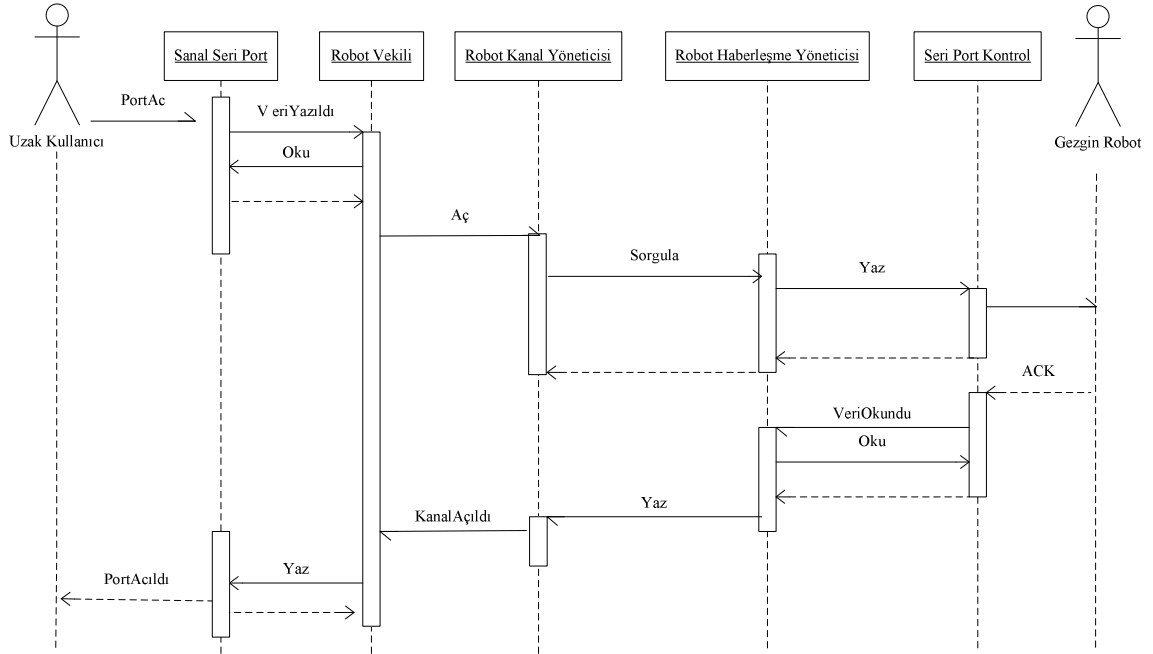


Şekil 4.24 Sanal seri port ara-yüzleri

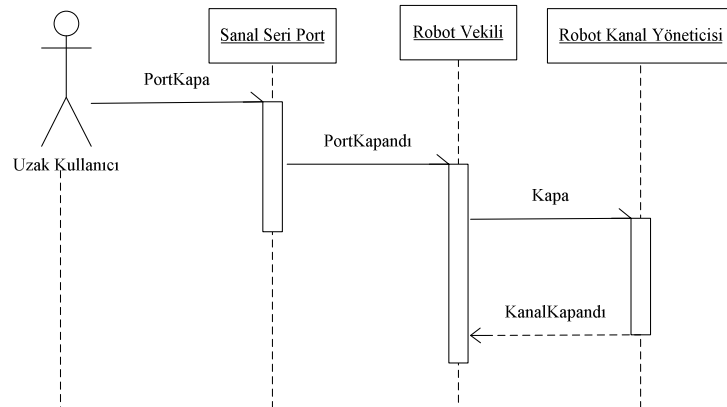
Sanal seri port bileşeninin *Kontrol* ve *port olayları* için iki ara-yüzü bulunur. Kontrol ara-yüzü robot vekili tarafından sisteme yeni portlar eklenmesi için kullanılır. Port olayları ise açılan sanal portlar üzerindeki aktivitelerden robot vekilini haberdar etmek için kullanılan olay mekanizmasının ara-yüzüdür.

4.5.3 Sistem Kullanım Durumu Senaryoları

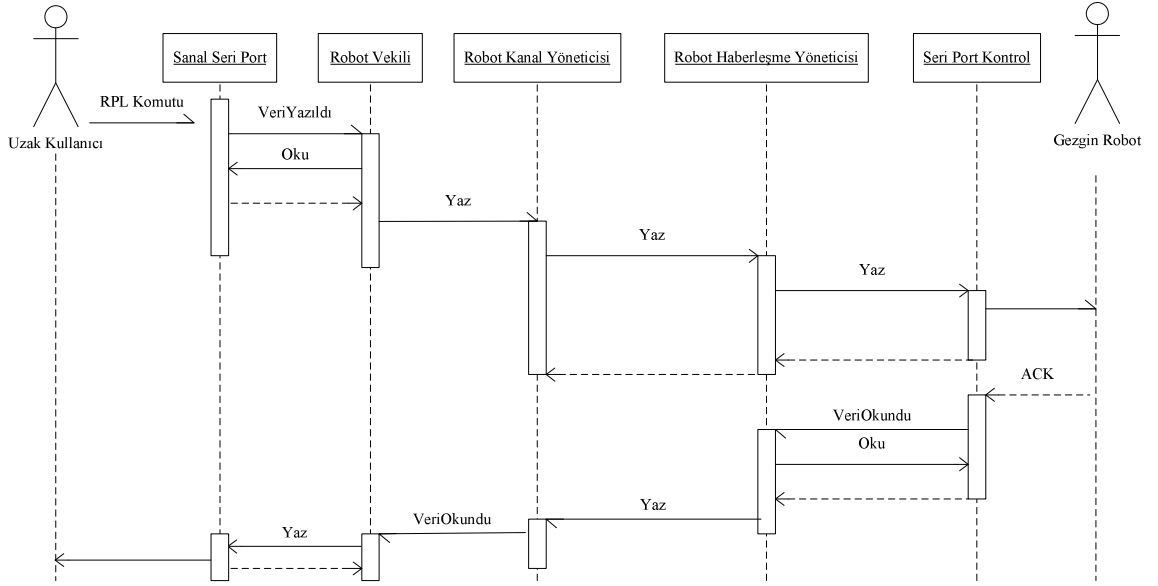
Sistem kullanım durumlarına ait ana senaryoların Internet geçit sistem tasarımında belirlenen alt yazılım bileşenleri kullanılarak gerçekleştirilmesi ile ilgili *seri şemalar* aşağıda verilmiştir.



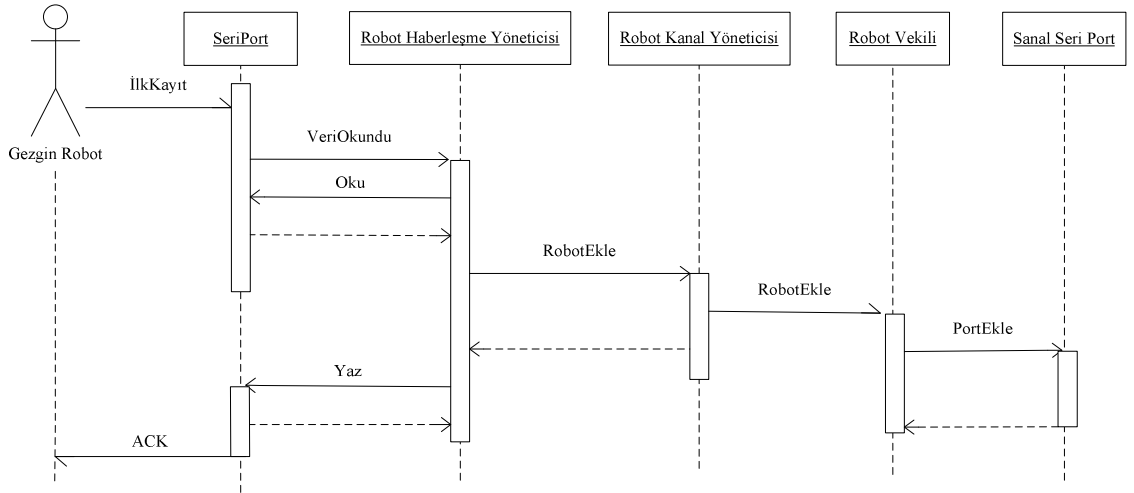
Şekil 4.25 Uzak kullanıcı gezgin robot ilk bağlantı senaryosu



Şekil 4.26 Uzak kullanıcı gezgin robot bağlantı sonlandırma senaryosu



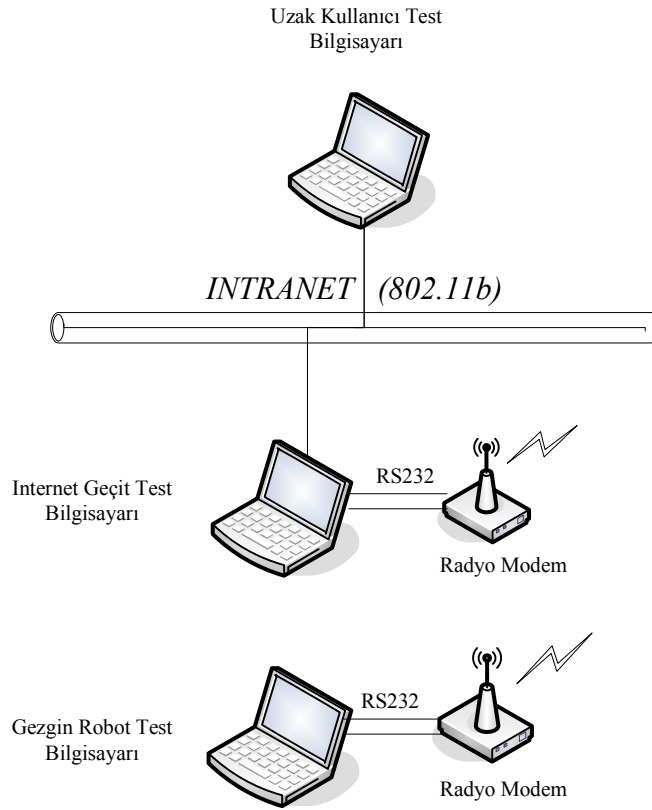
Şekil 4.27 Uzak kullanıcıdan gezgin robota yönelik komut gönderilmesi



Şekil 4.28 Gezgin robotun sisteme kayıt senaryosu

5. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, düşük bant genişliğinde haberleşme isterleri bulunan gezgin robotların Internet üzerinden izlenebilmesi ve denetlenebilmesi için gerekli etkin bir kısa mesafe radyo haberleşme protokolünü de kapsayacak şekilde, kullanıcı ve gezgin robot arasındaki iletişimi sağlayacak genel bir sistem çözümü önerilmiş ve bir ilk örnek uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem test edilerek sistemin istenilen özelliklerde çalıştığı görülmüştür.



Şekil 5.1 Gerçekleştirilen Sistemin Test Düzenegi

Kısa mesafe radyo haberleşmesi için önerilen protokolün üzerinde çalışabileceği bir radyo modem tasarlanarak ilk örnek üretimi gerçekleştirilmiştir. Radyo modem sayesinde birden fazla gezgin robot aynı radyo kapsama menzili dahilinde denetlenebilir hale gelmiştir. Kısa mesafe radyo haberleşme protokolü basitçe uygulanabilirliği, esnekliği, düşük güç tüketimi ve maliyet özellikleri ile ticari standart olarak hazır olan yayımlı spektrum haberleşme sistemlerine göre daha üstündür. Düşük bant genişliği ve girişime karşı duyarlılığının daha yüksek olması ise bu aşamadaki eksiklikleridir.

Gezgin robotların kurduğu radyo ağı ile Internet ağı arasında köprü görevi gören ve uzak

kullanıcılar ile robotlar arasında uçtan uca sanal seri haberleşme bağlantıları kurulmasına olanak tanıyan Internet geçit sisteminin, gezgin robotların ve bunların uzaktan kontrolünü sağlayan yazılım sistemlerinin iç yapısından bağımsız saydam bir haberleşme ara katmanı olarak tasarlanması sayesinde, birbirlerinden çok farklı gezgin robot sistemlerinin Internet üzerinden aynı geçit sistemi kullanılarak denetlenebilmelerine olanak sağlanmıştır. Böylelikle mevcut geliştirilmiş gezgin robot sistemleri ve kişisel bilgisayar tarafındaki kontrol ara-yüzleri üzerinde en ufak bir değişiklik yapma ihtiyacı duyulmadan robotlara Internet üzerinden denetlenebilme yeteneği kazandırılmış olur.

Bu tez çalışması sonucunda ilk örnek uygulaması ortaya konan sistemin iyileştirilmesi ve eksik yönlerinin ortadan kaldırılmasına yönelik gelecekte çalışmalar yapılması düşünülmektedir. Öncelikli olarak önerilen radyo haberleşme sisteminin güç ve maliyet avantajlarını koruyarak daha yüksek bant genişliğinde haberleşebilmesi ve gürültülü kanallardan kaçınabilmek için gerektiğinde frekans atlama yapabilmesi yeteneklerinin sisteme kazandırılması hedeflenmiştir. Ayrıca radyo ağının kendi kendine organize olabilme yeteneğine kavuşturulması ile Internet geçit sisteminin radyo ağını da organize eden yapısını ortadan kaldırılarak geçit özelliği olan bir uç gibi çalışması sağlanacak ve böylelikle geçit sistemi için donanım kaynak gereksinimi azaltılarak sistemin ilk kurulum maliyetlerinden tasarruf edilebilecektir.

KAYNAKLAR

Bottazi, S., Caselli, S., (2002) "A Software Framework Based On Real-Time CORBA for Telerobotic Systems", IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'02, September 2002, Lausanne/ Switzerland,

Cragg, L., Hu, H., (2003) "Application of Mobile Agents to Robust Teleoperation of Internet Robots in Nuclear Decommissioning", Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology - ICIT'03, 10 - 12 Dec. 2003, Maribor/Slovenia

Gerkey, B.P., Mataric, M.J., (2002), "Sold!: Auction Methods for Multi-Robot Coordination", IEEE Transactions on Robotics and Automation

Goldberg, K., Gentter, S., (1999), "The Mercury Project: A Feasibility Study for Internet Robots", IEEE Robotics and Automation Magazine. Special Issue on Internet Robotics

Hu, H., Tsui, P.W., (2004), "Agent Architecture for Multi-robot Cooperation over Internet", International Journal of Integrated Computer-Aided Engineering, Vol.11, No.3, pp. 213-226

Liu, P.X., (2002), "A Study of Internet Delays for Robot Teleoperation using Biologically Inspired Approaches", International Journal of Robotics and Automation

Ogor, P., Jean, L., (2001) "Control A Robot On Internet", 6th IFAC Symposium on Cost Oriented Automation, October 2001, Berlin/Germany

Ovalı, B., Uzun, T., (2005) "Bir Radyo Modem Aracılığı İle Kablosuz RS232 Haberleşmesi", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı, 22-25 Eylül 2005, İstanbul

Parker, L.E., (1998), "An Architecture for Fault Tolerant Multi-Robot Cooperation", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.14, No.2

Sheridan, T.B., (1992), "Telerobotics, Automation and Human Supervisory", MIT Press

Simmons, R., Fernandez, J., (1999), "Xavier: An Autonomous Mobile Robot on the Web", Robotics and Automation Magazine

Sobh, T., Sanyal, R., (2004) "Remote Surveillance via Wireless-Controlled Mobile Robots", In proceedings of the 9th International Symposium on Robotics and Applications (ISORA '04), June 2004, Seville/Spain,

Taylor, K., Barney, D., (1997) "Issues in Internet Telerobotics", International Conference on Field and Service Robots, 8-10 Dec. 1997, Canberra/Australia

Tsang, K.F, Lee, L.T., (2003), "A Novel Communication Protocol for Wireless Short Command", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.49, No.4

Tsui, P.W., Hu, H., (2002) "A Framework for Multi-robot Foraging over the Internet", Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology

Uzun, T., Erdoğan, G.T., (2000) "Bir Gezgin Robot İçin Elektronik Denetim Donanımının Tasarımı ve Uygulaması", Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 8-12 Kasım 2000, ELECO'2000, 318, Bursa

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 07.11.1974

Doğum yeri Bandırma

Lise 1989-1992 Bandırma Kemal Pireci Anadolu Lisesi

Lisans 1993-2000 Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fak.
Elektronik Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

1995-1996 Boys Elektronik Ltd Şti.

1997-1999 Metro Bios Ltd. Şti.

2001-D.ediyor TÜBİTAK BTE