

Robot Kolonileri için Arttırılabilir Menzil İletişim Altyapısı

Expandable Range Communication Infrastructure for Robot Colonies

Şahin Yıldırım¹, Erdem Arslan¹, Onur Öztürk²

¹Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

{sahiny, erdemarslan}@erciyes.edu.tr

²ERD Teknoloji, Kayseri, Türkiye

onur@erdtech.com.tr

Özetçe— Bu çalışmada, düşük menzilli RF transceiverler ile internet altyapısında olduğu gibi birbirleri üzerinden bağlantı kurarak kapsama alanlarını arttırabilecekleri, gerçek zamanlı olarak kullanılacak bir iletişim altyapısı geliştirilmiştir. Oldukça basit ve piyasadan ucuz bir şekilde temin edilebilen NRF24L01 RF modülü kullanılan bu çalışmada, IPV4 katmanına benzer bir yapıda yazılımsal bir katman oluşturulmuştur. Ağa bağlı cihazların listelenmesi(DHCP), düğüm etrafındaki cihazların belirlenmesi(Ping), bütün cihazlara aynı anda veri gönderilmesi(Broadcasting) gibi birçok fonksiyonun geliştirildiği bu altyapı, daha sonra robot kolonilerinde kapsama alanının genişletilmesi amacı ile yeniden düzenlenecektir.

Anahtar Kelimeler — Menzil arttırma, Atlama protokolü, Nesnelerin İnterneti, Robot Kolonileri

Abstract— In this study, a communication infrastructure that can be used in real time has been developed with low range RF transceivers, can increase their range by linking on the other as in the internet infrastructure. Quite simply and cheaply available from the market NRF24L01 RF module used in this study, a software layer in a structure similar to the IPV4 layer has been created. Many functions such as listing of network-connected devices(DHCP), Identification of devices around the node(Ping), sending data to all devices at the same time(Broadcasting) has been developed in this protocol, then it will be revised with the aim of expanding the coverage of the robot colonies.

Keywords — Range Expanding, Hopping Protocol, Internet of Things, Robot Colonies

I. GİRİŞ

Günümüzde kablosuz iletişim teknolojileri kullanıcılar açısından alternatif bir iletişim aracı olmaktan çıkmış ve hatta birçok farklı alanda yeni teknolojiler geliştirilebilmesine olanak sağlar bir hale gelmiştir. Son yıllarda ESP8266, NRF24L01 gibi kablosuz iletişim de kullanılmak üzere birçok SOC(System on a Chip) eleman piyasaya sürülmüştür. Günümüz teknolojilerinin temel yapıtaşı mikrodenetleyicilerin birbirleri ile yapacakları kablosuz iletişimde kullanılmak amacı ile geliştirilen bu ürünler, gömülü sistemlerin gelecekte akıllı bir şekilde birbirlerine

bağlanabileceğinin söylendiği[1] IoT(Internet of Things) kavramının uygulanmasında önemli bir araç olacaktır.

IoT olarak bilinen gelecekteki bütün cihazların birbirleri ile bağlı olarak çalıştırılabileceğinin önerildiği kavram ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından kullanılmıştır[2]. Nesnelerin birbirleri arasında iletişim kurabileceği ve bir ağ oluşturarak bir noktadan diğerine veri transfer edebilecekleri bir ağ olması gerektiği söylenen bu kavram ilk olarak RFID teknolojisinin geliştirilmesi ile hayata geçirilebilmiştir[3]. Cihazların kimliklendirilmesinin mümkün kılındığı bu teknoloji sonrasında, piyasada mevcut durumda bulunan transceiverler ve mikrodenetleyiciler kullanarak IoT kavramı ile kablosuz sensör ağları gibi uygulamalar geliştirilmeye başlamıştır.

2007 yılında NORDIC firmasının piyasaya sürdüğü NRF24L01 transceiver elemanı üzerinde Enhanced ShockBurst™ modülü kullanması ile IoT'nin uygulanabilmesi konusunda önemli bir kilometre taşı daha atılmıştır. Enhanced ShockBurst™ modülü günümüz internet teknolojisindeki data link katmanının vazifesi ile aynı şekilde geçen verilerin doğrulanması görevini yapmaktadır. Oldukça düşük seviyede programlama gerektiren NRF24L01 bir çok ticari ürünün geliştirilmesinde kullanılmış olsa da IEEE 802.11a/b/g/n gibi gelişmiş üst protokolleri doğrudan destekleyen ESP8266 ürününün piyasaya çıkması ile IoT konusunda oldukça önemli bir yere gelinmiştir.

Her ne kadar ESP8266 ile IoT konusunda oldukça önemli bir noktaya gelinmiş olsa da, menzil genişletme amacı ile bir atlama protokolü geliştirilmeye çalışılan bu araştırmada, temel düzeyde iletişim yapılabildiğinden NRF24L01 kullanımı tercih edilmiştir.

Daha önce literatürde NRF24L01 kullanılarak yapılmış çalışmalara bakıldığında, Yu ve arkadaşları HVAC(Heating Ventilating and Air Conditioning) ekipmanları için uzaktan görüntüleme ve kontrol sağlayabilecekleri bir veri toplama sistemi geliştirmişlerdir[4]. Xu ve arkadaşları Çin'de son yıllarda büyüyen madencilik sektörüne paralel olarak artan maden kazalarının önceden tespit edilebilmesi için NRF24L01'lerin sensör ağı şeklinde çalışacağı bir algılama sistemi geliştirilebileceğini önermişlerdir[5].

Chen ve Huang biyomedikal uygulamalarda veri iletiminde problem oluşturabilecek bluetooth gibi iletişim protokollerine alternatif olarak NRF24L01 elemanı ile elektromanyetik girişim probleminin çözülebileceği bir sistem önermişlerdir[6]. Benzer bir

alanda Chen ve arkadaşları vücut içi ağlarda bu modülün kullanılabileceği bir iletişim protokolü geliştirmişlerdir[7].

Bu çalışmaların yanında Srovnal ve arkadaşları endüstriyel sistemlerde ve mobil robotlarda gerçek zamanlı kablosuz iletişimde NRF24L01'in kullanılabileceği alternatifleri göstermişlerdir[8].

Çok etmenli(Multi Agent) robotik sistemler için Silva yaptığı çalışmada NRF24L01 kullanarak yörünge takibi ve ortak görev paylaşımını merkez bir üniteden birden çok robotu kontrol ederek gerçekleştirmiştir[9]. Robot kolonilerinde kullanılmak için geliştirilen bu sisteme benzer bir şekilde Belgioioso ve Cardellini Nanodrone olarak adlandırıkları quadrokopter sürüsünün haberleşmesinde bu elemandan faydalanmışlardır[10].

Sensör ağlarında harcanan toplam gücün minimize edilmesi amacı ile Kohvakka ve arkadaşları IEEE 802.15.4 protokolünü fiziksel katmanda NRF24L01 elemanı kullanarak uygulamışlardır. Komşuluktaki cihazların aranması ve daha kısa iletişim rotalarının oluşturulması sonucunda her bir düğümde yüzde 80'e varan enerji tasarrufu sağlamışlardır[11].

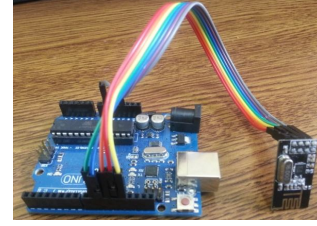
Görüldüğü üzere NRF24L01 endüstriyel ve robotik sistemlerde başta sensör ağları konusu olmak üzere kendisine birçok uygulama alanı bulabilmektedir. İletişim uygulamalarında geçmişte piyasada ticari olarak kullanılan XBEE, Zigbee, Digimesh gibi IEEE 802.15.4[12] protokolünü esas alan birçok ürün kullanılmaktadır. Fakat bu elemanlar oldukça pahalı olduğu için ucuza mal edilmesi gereken IoT kavramına uygun değildir.

Bu çalışmada hedeflenen robot koloni robot uygulamalarında kullanılan robotların otomatik olarak birbirleri üzerinden bağlantı kurarak merkez ile iletişim kurabilecekleri bir iletişim altyapısının oluşturulmasıdır. Her ne kadar Digimesh, XBEE gibi piyasada hali hazırda çözümler mevcut olsa da, gelecekte çalışmayı planladığımız otomatik olarak en kısa atlama rotasının bulunması, toplamda iletişim için harcanan enerjinin minimize edilmesi gibi çalışmalar için böyle bir altyapının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Çalışmanın 2. bölümünde, geliştirilen iletişim platformu ve basit bir robot koloni uygulamasının yapıldığı robotlar tanıtılacaktır. 3. Bölümde iletişim için önerilen dosya paket yapısı ve tüm istasyonlarda kullanılacak özdeş programın durum diyagramından bahsedilmiştir. 4. bölümde gelecekteki çalışmalarda kullanılmak üzere geliştirilen temel iletişim fonksiyonları tanıtılacaktır. 5. Bölüm ise çalışmanın sonuç kısmını oluşturmaktadır.

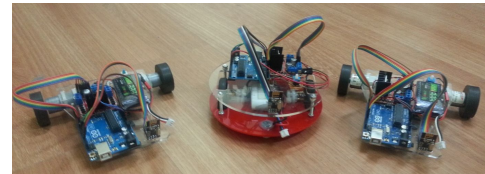
II. İLETİŞİM PLATFORMU

Kurgulanan genişleme protokolünün test edilmesi için ortaya çıkarılan iletişim altyapısı, PC'ye seri port üzerinden bağlı merkez iletişim modülü ve 3 adet ayrı mobil robottan oluşmaktadır. Mobil robotlar birbirleri ile ve merkez ile olan iletişimlerini NRF24L01 modülü üzerinden sağlamaktadırlar. Şekil 1'de robotlarla ve merkez istasyon ile iletişimin sağlanması için kullanılan Arduino UNO ve bağlantısı yapılmış NRF24L01 transceiver modülü görülmektedir.



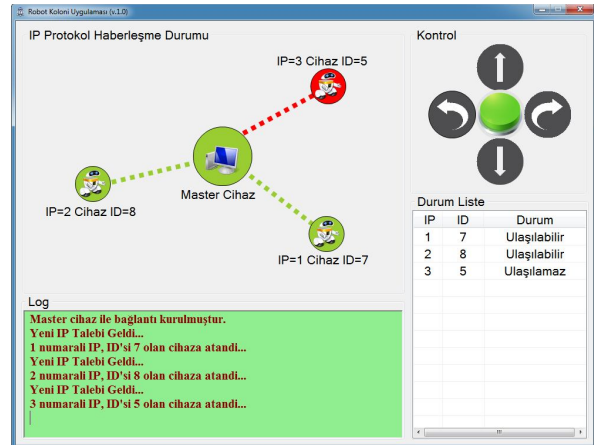
Şekil 1. Arduino UNO ve NRF24L01 transceiver modülü.

Uygulamada kullanılan mobil robotlar iki tekerli olup sağ ve sol motorların hızları üzerlerinde bulunan mikrodeneetleyici tarafından kontrol edilmek sureti ile hareket ettirilmektedirler. Çalışmanın esas amacı mobil robot geliştirmek olmadığı için bu tasarımlar için fazla bir önem gösterilmemiş, elde bulunan çizgi izleyen robotların sensörleri çıkarılıp yeniden programlanmış ve buna ek olarak sisteme NRF24L01 modülleri bağlanmıştır. Atlama protokolünün denenmesinde kullanılan 3 adet mobil robot Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Atlama protokolünün denenmesinde kullanılan 3 mobil robot.

Merkez iletişim modülünün bağlı olduğu PC'de hem ağda bulunan robotların görüntülenmesi hem de bu robotların uzaktan kontrol edilebilmeleri için C# dili kullanılarak bir arayüz geliştirilmiştir. Geliştirilen bu arayüz Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Master iletişim modülü arayüzü.

Cihazlar arasında yapılan iletişimin gerçek zamanlı olarak görüntülenebilmesi ve master olarak iletişime dâhil olan cihazın çıkarmış olduğu ağ topolojisinin gösterilebilmesi için standart bir PC'den faydalanılmıştır. Master cihaz her durum değişikliğinde seri porttan PC'ye bir veri göndermekte ve seri porttan gelen bu veriler neticesinde master tarafından sahip olunan adres ulaşım ve IP adres tablosu gibi tüm değişkenler gerçek zamanlı olarak ekran üzerinde gösterilmektedir. Ayrıca bu arayüz üzerinden ağa bağlı robotların hareketlerinin kontrol edilebileceği bir bölüm oluşturulmuştur.

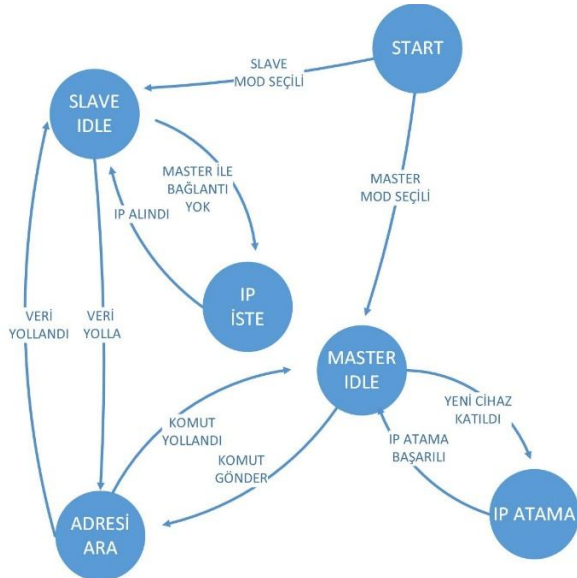
Ara yüzde emir verilmek istenen robot seçildikten sonra gönderilen ileri, geri, sağ, sol gibi komutlar seri port üzerinden önce master cihaza gönderilmektedir. Daha sonra ise bu emirler master cihaz tarafından protokolün gerektirdiği paket yapısına göre hazırlanmakta ve emirin gideceği slave cihaza gönderilmektedir. Ağa bağlı cihazların durumları master cihaz tarafından sürekli kontrol edilmekte ve kapsama alanında olup olmadıkları sürekli olarak kontrol edilmektedir. Master tarafından kapsama alanında olan cihazlar listesi sürekli olarak seri port üzerinden PC'ye gönderilmektedir. Kapsama alanında olan cihazlar yeşil renk kapsama alanı dışında olan cihazlar ise kırmızı renkle gösterilmektedir.

III. İLETİŞİM PROTOKOLÜ

NRF24L01 iletişim modülünün mikrodenetleyici ile arasında yaptığı iletişimde SPI protokolü kullanılmaktadır. Yüksek hızlarda gürbüz bir iletişim sağlanabilen bu iletişim protokolünde saniyede 2 Mbit'lik bir veri iletişimi yapılabilir. NORDIC firmasının bu cihaz için özel olarak geliştirdiği SHOCKBURST™ olarak adlandırılan kablolu veri doğrulama protokolü sayesinde tıpkı internet altyapısında kullanılan TCP protokolünde olduğu gibi gerekli olması durumunda paket otomatik olarak tekrarlı bir şekilde doğru veri iletilene kadar gönderilmektedir.

Bu çalışmada fiziksel katmanda SPI yoluyla kablolu olarak yapılan bu veri transferi için master-slave şeklinde iletişimin sağlanabileceği bir üst yazılım katmanı geliştirilmiştir. Robot koloni uygulamalarında genelde robotlar tek bir merkezden yönetildikleri için böyle bir yapı tercih edilmiştir.

Bu protokolün daha stabil çalışması için, mikrodenetleyiciler üzerinde çalışan yazılımsal katman, durum tabanlı programlama tekniklerine göre tasarlanmıştır. Şekil 4'te geliştirilen protokole dair durum diyagramı görülmektedir.



Şekil 4. İletişim protokolü durum diyagramı.

Bu diyagramda hem master hem de slave durumu için aynı yapı kullanılmaktadır. Bu sayede aynı cihaz hem master hem de slave modunda kullanılabilir. Bu işlemin amacı gelecekte menzil artırma için yapılacak çalışmalarda, her cihazın kendi kapsama alanında bulunan cihazları tespit edebilmesi için zaman zaman master moduna geçmesinin planlanmasıdır.

Bu protokolde kullanılan her bir cihaz, aynı ağ kartlarının MAC adresinde olduğu gibi emsalsiz bir ID değerine sahiptir. Programlama esnasında modül içerisine bu değer sabit şekilde yazılmaktadır.

Master modunda seçilen bir cihaz sadece iki farklı hizmet verebilmektedir. Bu hizmetlerden birincisi daha önce ağa katılmamış bir cihaza ID erişim tablosuna göre yeni bir IP adresi vermek(DHCP), ikincisi ise master tarafından gönderilecek veri için ağda ulaşılmak istenen ID'ye hangi zıplama rotasından ulaşılabileceğini belirlemektir.

Slave modundaki cihazlar aynı şekilde sadece iki farklı işleme olanak sağlamaktadırlar. Bunlardan birincisi komşuluğunda bulunan master cihazdan ip talebinde bulunmak ikincisi ise kendisinden talep edilmesi durumunda mastera doğru, veri göndermektir.

Şu ana kadar geliştirilen iletişim protokolü half-duplex bir yapıda çalışabilmektedir. Bu yapıda hem master hem de slave aynı anda veri gönderememektedir. Fakat multiceiver özelliğine sahip NRF24L01 altı farklı kanaldan aynı anda iletişim yapmaya olanak sağladığından gelecekte geliştirilen modele ek kanallar eklenmesi ile aynı anda iki tarafında haberleşebileceği full-duplex bir yapıda iletişim yapılabilir.

Ağda bulunan cihazlar arasında yapılan iletişim, sadece master ile slave arasında yapılabilir. Bu sebepten dolayı ağda iki farklı slave arasında iletişim yapılmak istenirse master üzerinden yönlendirme(routing) işlemi yapılmalıdır.

İletişimde kullanılan paket yapısı 30 byte büyüklükte olacak şekilde tasarlanmıştır. Paketin en başında giden emir okuma, yazma, güncelleme gibi komutu bulunmaktadır. Daha sonra sırası ile gönderici ID değeri, gönderici IP değeri, alıcı IP değeri, verinin geçeceği zıplama rotası ve 16 byte bir veri paketi oluşturmaktadır. Tablo 1.'de iletişim altyapısında kullanılan paketin formatı verilmiştir.

Tablo 1. Protokol için oluşturulmuş paket formatı

KOMUT	ID	IP	ALICI ADRESİ	ZIPLAMA ROTASI	VERİ
1B	1B	1B	1B	10B	16B

Endüstriyel iletişim sistemlerinde bir verinin gerçek zamanlı olarak kabul edilebilmesi için 40ms'de verinin yerine ulaştırılması gerekmektedir[13]. Bu sebepten dolayı robotlara gönderilen verilerin gerçek zamanlı olarak gönderilebilmesi için böyle küçük boyutlu bir paket yapısı tercih edilmiştir.

IV. TEMEL İLETİŞİM FONKSİYONLARI

Şu ana kadar çalışmanın tamamlanan kısmında sadece bir master çevresinde bulunan cihazlar ile gerçek zamanlı bir iletişim sağlanabilmektedir. Bir master, çevresinde bulunan cihazlardan IP alma talebi geldiğinde, kendi IP adres tablosu üzerinde yeni bir IP adresi atamaktadır. Tablo 2'de masterdaki IP-Adres tablosunda 5,7 ve 8 nolu ID'lere atanan IP değerleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Master tarafında bulunan IP-Adres tablosu

IP	ID
1.	7
2.	8
3.	5

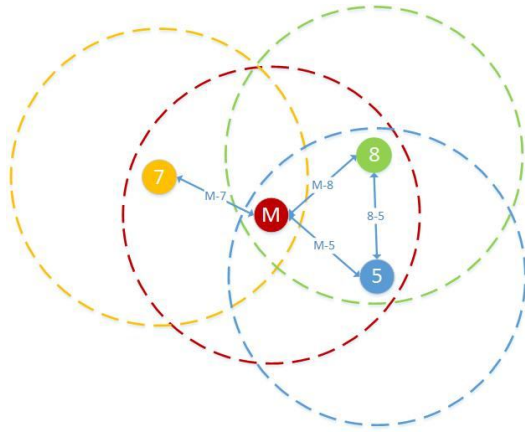
Otomatik olarak her yeni bağlanan cihazın ID değerine göre IP atamasının yapıldığı bu fonksiyon internet altyapısında çalışan DHCP server ile aynı işlemi yapmaktadır. Bu fonksiyonun yanı

sıra, ağda bir cihazın kapsama alanında olup olmadığının algılanabilmesi için PING fonksiyonu oluşturulmuştur. Hem cihazın kapsama alanında olup olmadığının algılanması hem de yanıt süresine göre cihaza ne kadar sürede erişilebildiğinin ölçüldüğü bu fonksiyon, gelecekte STP(Sparkling Tree Protocol) protokolü gibi ağda en kısa atlamanın bulunması amacı ile kullanılacaktır. Gelecekte geliştirilen her modül çalışma esnasında zaman zaman master moduna geçerek komşuluğunda bulunan cihazları ve bunlara ulaşım sürelerini belli bir tablo üzerine kaydedecektir.

Bu adres erişim tabloları çevresinde bulunan tüm slavelere iletilecek ve bu sayede ağda bulunan bütün cihazlar, bu cihaz ve çevresindeki modüllere ulaşım süresi gibi bilgilere sahip olacaktır. Tablo 3'de ve Şekil 5'te verilen örnek topolojiye göre oluşturulmuş adres ulaşım tablosu örneği verilmiştir.

Tablo 3. Master tarafında bulunan IP-Adres tablosu

ID	Ulaşım süresi	Komşuluktaki cihazlar
7	2ms	M
8	2ms	5-M
5	2ms	8-M



Şekil 5. Örnek iletişim için Mesh topolojisi

Gelecekteki çalışmalarda ağda bulunan bütün cihazların düzenli olarak bu adres ulaşım tablolarını birbirlerine gönderecekleri bir yapı oluşturulacaktır. Bu sayede master dâhil bütün cihazlardaki adres ulaşım tablolarının gerçek zamanlı olarak güncellenmesi planlanmaktadır. Şekil 4'te verilen durum diyagramı üzerindeki adres arama işlemi veri gönderilmek istendiğinde, güncellenen bu tablo üzerinden gönderilecek adres için en uygun atlama rotasını belirleyecektir. Elde edilen bu rota Tablo 1'de belirtilen yapıdaki formata uygun şekilde atlama rotası bölümüne eklenecek ve sonuçta göndermeye hazır veri paketi elde edilmiş olacaktır.

Bu fonksiyona ek olarak ağda bulunan tüm cihazlara toplu veri göndermek için Broadcasting fonksiyonu oluşturulmuştur. Bütün cihazlara bir anda veri göndermek için kullanılacak bu fonksiyonun, protokolde düzenli olarak her bir modül tarafından dağıtımı yapılacak adres erişim tablolarının iletiminde kullanılması öngörülmektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, robot kolonilerinde düşük güçlü transceiverler kullanıldığında, transceiverlerin birbirleri üzerinden bağlantı

kurarak menzillerini arttırılabilecekleri bir iletişim protokolü geliştirmek için ihtiyaç duyulan altyapı oluşturulmuştur.

Ortaya koyulan bu altyapı üzerine, gelecekte farklı protokollerin geliştirilmesi planlanmaktadır. Geliştirilecek atlama senaryoları ve full-duplex yapıda iletişim sağlayabilecek iletişim protokolleri sayesinde kapsama alanı içerisinde bulunmayan cihazlara da ulaşım sağlanabilecektir. Gelecekteki çalışmalarda ağdaki en kısa atlama rotasının bulunması ve toplam iletişim için harcanan gücün minimize edilmesi gibi amaçlar doğrultusunda bu altyapıya eklemelerin yapılması planlanmaktadır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, and I. Chlamtac, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 10, pp. 1497-1516, 2012.
- [2] E. Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues," *Computer Communications*, vol. 54, pp. 1-31, 2014.
- [3] Y.-J. Joung, "RFID and the Internet of Things," ed. Taiwan University, 2007.
- [4] H. Yu, J. Zhang, L. Zhao, and X. Li, "Wireless Data Acquisition System Development and Application on HVAC Equipment," *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 2006-2013, 2015.
- [5] X. Zhao-long, Y. Jie, C. Shan, and L. Xiao-zhi, "Detecting Robot System for Mine Disasters," in *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE)*, 2010 International Conference on, 2010, pp. 1-4.
- [6] A.-j. Chen and Y.-j. Huang, "Research on Medical Wireless Frequency Hopping Communication by nRF24L01," in *Mechanical Engineering and Technology*, vol. 125, T. Zhang, Ed., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 735-740.
- [7] C. Zhurong, H. Chao, L. Jingsheng, and L. Shoubin, "Protocol architecture for Wireless Body Area Network based on nRF24L01," in *Automation and Logistics*, 2008. ICAL 2008. IEEE International Conference on, 2008, pp. 3050-3054.
- [8] V. Srovnal, Z. Machacek, and V. Srovnal, "Wireless Communication for Mobile Robotics and Industrial Embedded Devices," in *Networks*, 2009. ICN '09. Eighth International Conference on, 2009, pp. 253-258.
- [9] P. B. e. Silva, "Collective Behavior on Multi-Agent Robotic Systems using Virtual Sensors," MSc., Pontificia Universidade Catolica Do Rio De Janeiro, 2012.
- [10] M. Belgioioso and A. Cardellini, "Programming Abstractions for Nano-drone Teams," MSc., POLITECNICO DI MILANO, 2015.
- [11] M. Kohvakka, J. Suhonen, M. Kuorilehto, V. Kaseva, M. Hännikäinen, and T. D. Hämäläinen, "Energy-efficient neighbor discovery protocol for mobile wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 7, pp. 24-41, 2009.
- [12] T. Volscko, V. Moucha, and V. Kan, "A Wireless Communication Interfaces for Small Unmanned Systems," in *Proceedings of the International Scientific Conference Modern Safety Technologies in Transportation*, Zlata Idka, Slovakia, 2015, pp. 200-205.
- [13] B. M. Wilamowski and J. D. Irwin, *Industrial Communication Systems*: CRC Press 2011.