

# Yönlendirici Robot Kullanımı ile Robotların Operasyon Alanının Genişletilmesi Extension of Robot's Operation Range with Utilization of Router Robots

Cengiz Toğay, Utku Bayram

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi  
ctogay@comu.edu.tr, ubayram@comu.edu.tr

## Özet

Uzaktan kontrol edilebilen araştırma/kurtarma robotları, enerji ve iletişim mesafesine bağlı olarak kullanılabilirler. Daha önce geliştirmiş olduğumuz araştırma robotu uzaktan kontrol edilebilmekte ve ortamdan aldığı görüntüleri Zigbee modem üzerinden merkez bilgisayara aktarabilmektedir. Bu çalışmada, araştırma robotunun etkin mesafesini arttırmak için, sürü zekası kavramını yönlendirici robotlara uyguladık. Geliştirilen yönlendirici robotlar, merkez ile araştırmacı robot arasında yerde bulunan çizgiler üzerinde veri paketlerini transfer etmek için RSSI (Received Signal Strength Indicator) değerlerine bağlı olarak ileri-geri hareket etmektedirler. Bu çalışmada tamamen otonom yönlendirici robotlar sayesinde, araştırma robotunun daha uzun mesafelerde kullanılması mümkün olmuştur.

## Abstract

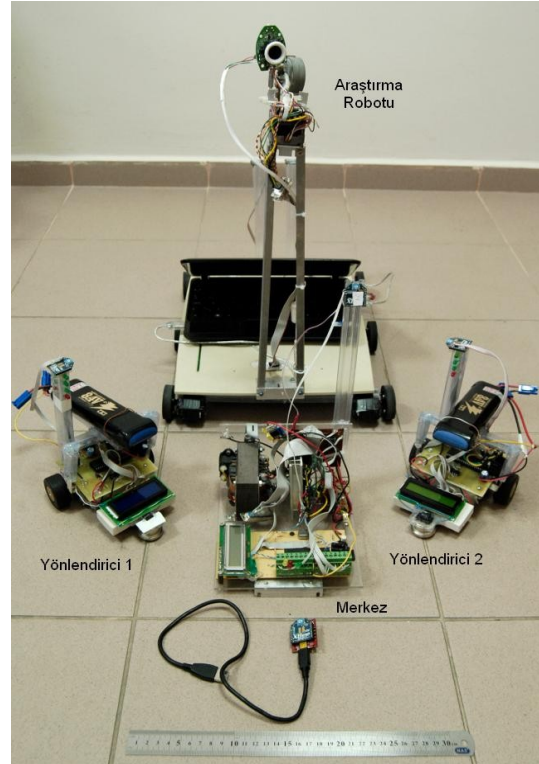
Teleoperated explorer/rescue robots can be used depending on energy requirements and communication range. Our previously developed explorer robot can be remotely operated and can send pictures to base station through a Zigbee Modem. To extend efficient range of the explorer robot, in this study, we have applied swarm intelligence concept to router robots. Our developed router robots move forward and backward on a line drawn on the floor between base station and the explorer robot depending on RSSI (Received Signal Strength Indicator) values to transfer packets. In this study, the explorer robots can be used longer distances based on the completely autonomous router robots.

## 1. Giriş

Araştırma/kurtarma robotu uygulamalarında, ortamın kablolu iletişim için uygun olmadığı durumlarda kablosuz bağlantı kullanılmaktadır. Ancak kablosuz iletişim içinde, ortamdan kaynaklanan iletişim problemleri ortaya çıkabilmektedir. Ortamda bulunan gürültü kaynakları ya da engelleyici unsurlar, bağlantının zaman zaman sekteye uğramasına ya da tahmin edilen mesafenin çok altında bir iletişim mesafesine neden olabilmektedir. Bu tip problemler için önerilen yöntemlerden bir tanesi yönlendirici robot kullanımıdır. Yönlendirici robotlar aldıkları mesajları sonraki robota ya da hedefe ulaştırırlar. Ancak kullanılan yönlendirici robot sayısının, gerekli olduğu düşünülen miktardan her zaman fazla sayıda olmasında iletişim kalitesi açısından fayda sağlamaktadır. Bahsi geçen gürültü ortamları, robotların arızalanması ya da askeri uygulamalarda yönlendiricilerin

hedef olması her zaman mümkündür. Oluşturulan ağın bahsedilen problemlerden dolayı kendi kendine iyileştirme özelliğinin olması gerekmektedir. Ağa her zaman yeni bir robotun dahil olabilmesi, çıkarılabilmesi ya da sinyalin farklı bir kanal üzerinden gönderilebilmesi sağlanabilmelidir.

Çalışmada kurulan ağ, kısa mesafeli iletişim özelliği olan modemlerden meydana gelmektedir. Kısa mesafeli iletişimin enerji sarfıyatı konusunda da olumlu etkisi bulunmaktadır. Askeri uygulamalar açısından uzun mesafeli modemlerde dinlenilmesi, yerlerinin tespiti ve sinyallerinin karıştırılması gibi problemler doğabilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği üzere, oluşturulan ağda, bir araştırma robotu, iki adet yönlendirici robot, merkezde kullanılan bir istasyon ve bir zigbee modem kullanılmıştır.



Şekil 1: Uygulamada yer alan donanımlar.

Hareketli yönlendiriciler [1] yerine sabit yönlendiricilerin kullanılması da mümkündür ancak kapsamaya çalıştığımız

alan arttıkça kullanılması gereken yönlendirici sayısı da artmalıdır. Örneğin 40 metre yarı çaplı iletişim alanı sağlayan modemler ile 120 metre çaplı alanı kapsamaya çalışmak için hareketli yönlendiricilerden optimum olarak üç tane yeterli iken sabitlerden on adetten fazlasına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru sayının gürültülü ortamlar için belirlenmesi ayrı bir problem olarak değerlendirilebilir [2]. Hareketli yönlendirici sayısı, sabit yönlendirici sayısına oranla sadece belirli bir bölgenin kısa süreliğine kapsanması gereksinimi nedeni ile avantaj sunmaktadır. Hareketli yönlendiricilerin bir diğer avantajı ise iletişimin kalitesinin üst düzeylerde tutulması için yönlendiricilerin dinamik olarak konum alabilmesidir. Örneğin koridorda bir köşenin dönülmesi ya da bir gürültü kaynağına göre konum alınması imkanı bulunmaktadır. Sabit yönlendiriciler deprem gibi afetlerin ardından yıkıntı içerisinde daha önceden yerleştirilmemiş olmaları yada afet sonrasında çalışmama risklerinden dolayı kullanılmasında problemler ortaya çıkmaktadır. Bu iki yaklaşımın beraber kullanıldığı bir diğer yaklaşımda da, araştırma robotu belirli aralıklar ile sabit yönlendiricileri ortama bırakabilmektedir. Burada, konulan yönlendiricilerin ziyan olması, araştırma robotunun yeterli sayıda yönlendirici ile donatılmaması olmasından kaynaklı olarak hedefe ulaşmaması, ya da konulan yönlendiricilerden birinin bir şekilde bozulması durumunda araştırma robotu ile olan irtibatın kesilmesi gibi durumlar söz konusu olabilmektedir. Bu çalışmada, hareketli yönlendiricilerin sinyal gücüne bağlı olarak merkez ve araştırma robotu arasında yerel bilgilere göre karar verdiği bir yaklaşım uygulanmıştır.

Doğal yaşamda bazı böceklerin (karınca, arı, termit) bireysel olarak başaramayacakları pek çok görevi birlikte başardıkları gözlemlenmektedir [3]. Bu çalışmada da tek başına belirli bir iletişim kapasitesine sahip yönlendirici robotların uzun mesafeli iletişim için bir araya gelmeleri ile daha uzun mesafelerde iletişim imkanı sunmaktadırlar. Geliştirmiş olduğumuz robotlar tamamen otomatik olarak yerel bilgilerden (mevcut ortam ve komşuları ile olan iletişim sonrası elde edilen sinyal güç göstergesi) yararlanarak merkeze doğru ya da araştırma robotuna doğru yol alabilmektedir.

## 2. İlgili Çalışmalar

### 2.1. Alınan Sinyal Güç Göstergesi

RSSI (Received Signal Strength Indicator) değeri, alınan bir mesajdan çıkartılan bir değerdir. Bu çalışmada RSSI değerini kullanmayı tercih etmemizdeki nedenlerden bir tanesi pek çok kablosuz cihaz (Bluetooth, Zigbee modemleri, Wi-Fi, vb.) tarafından destekleniyor olması ve hesaplanma maliyetinin düşük olmasıdır. RSSI değerleri kullanılarak konum belirleme ve mesafe ölçme gibi pek çok çalışma yapılmıştır [4, 5-15].

### 2.2. Zigbee Modemleri

Şekil 2'de gösterilen Zigbee modemleri [16] düşük maliyet, düşük veri oranı, düşük enerji tüketimi ve kısa mesafeli iletişim için tercih edilen bir modemdir. Daha çok ev uygulamaları ve konum belirleme gibi çalışmalarda kullanılmak üzere tasarlanmışlardır [9]. Zigbee modemleri RSSI uygulamalarını desteklemekte ve çoklu robot iletişimi [17, 18], gözetim robotu [19], konum tespiti [5, 8-14], araba içi sensörleri [20], mobil robotlar ile davetsiz misafir tespiti [21], VOIP (Voice Over IP) [22] ve ev otomasyon

uygulamaları gibi çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Her modem 16 kanal ve CSMA/CA (Carrier sense multiple access with collision avoidance) ile iletişim kurma yeteneğine sahiptir. Her modemin 64 bitlik IEEE adresi ve 16 bitlik bir ağ adresi vardır. 16 Bitlik adres ağ içi iletişimde kullanılmaktadır. Her modem bir koordinatör, yönlendirici ya da cihaz olarak kullanılabilir fakat bu şekilde kullanılmaları için modemlere firmware yüklemesi yapılması gerekmektedir. Ağ üzerinde en az bir tane koordinatör modemin yer alması gerekmektedir. Zigbee modemlerin kendi kendine iyileşen bir ağ kurma yetenekleri vardır. Bozulan bir modemin yerine yenisi eğer ortamda var ise kullanılabilir, ağa her zaman yeni bir modemin dahil edilmesi imkanı bulunmaktadır. Mesajlar en uygun yolu bularak hedefe ulaştırılır. Zigbee modemler, RS232 ile iletişim kurabilmektedir. Ayrıca bu modemler uzaktan kablosuz bir şekilde de programlanabilmektedir.



Şekil 2: Zigbee Modem.

## 3. Uygulama

Bu çalışmada merkez konumunda bir masa üstü bilgisayar, iki adet yönlendirici robot ve bir araştırma robotu kullanılmıştır. Yönlendirici robot sayısı, Zigbee modemlerin ağa bağlı aygıt sayısı sınırı olan yaklaşık 65000'e kadar artırılabilir. Sadece merkez ve araştırma robotunda ikişer adet Zigbee modem yer almaktadır. Bunlardan bir tanesi merkez ile araştırma robotu arasındaki iletişim için kullanılırken diğeri robotların iletişim kalitesini sağlamaları için kullanılmaktadır. Zigbee modemlerin kendisi ile RS232 aracılığıyla bağlantı sağlanabilmektedir. Modemlerin iki farklı iletişim protokolü bulunmaktadır. Bunlardan AT modunu PIC16F877 mikroişlemcisi ile iletişim için kullanılabilmektedir. Bu şekilde modemlerin programlanması ve AT değerlerinin alınması mümkün olmaktadır. API Modu ise daha karmaşık (merkez ile araştırma robotu arasındaki) veri yığınlarının gönderilmesinde kullanılmaktadır. Normalde Zigbee modemler büyük veri yığınlarını aktarmak için geliştirilmemişlerdir. Mevcut bir açık kaynak kodlu kütüphane [24] API formatında modemler arasında iletişime olanak vermektedir. Ancak büyük görüntü gibi veri yığınlarının transferi için kütüphanede tarafımızdan bir takım geliştirme çalışmaları yapıldı. Genişletilmiş kütüphane, merkez ve araştırma robotunda yer alan bilgisayarlarda kullanılmaktadır.

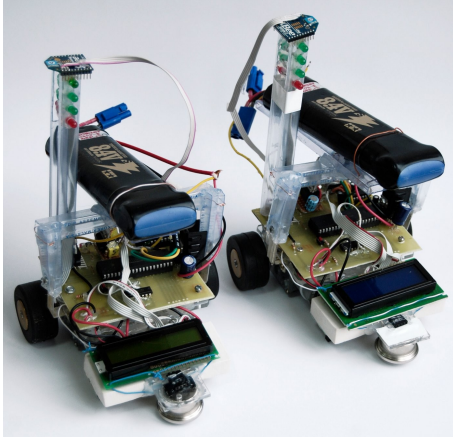
### 3.1. Merkez

Merkez konumundaki istasyon, araştırma robotundan anlık bir görüntü alabilmekte ve istenilen yöne gerek robotun gövdesini gerekse de kamerasını yönlendirebilmektedir. Merkezde yer alan AT modundaki modem PIC16F877 mikroişlemcisi üzerine Çizelge 1'deki algoritmayı icra etmektedir. Burada amaç merkezden belirli aralıklarla bir iletişim protokolünü başlatmak ve böylece yol üzerindeki tüm modemlerin komşu

modemlere ait RSSI değerlerini elde edebilmelerini sağlamaktır.

### 3.2. Yönlendirici Robotlar

Çalışmada Şekil 3'de yer alan eş yönlendirici robotlardan iki adet kullanılmıştır. Yönlendirici robotlar Çizelge 2 ve 3'de yer alan komutları icra ederler. Robotlarımız QRD1114 sensörleri ile algıladıkları çizgi üzerinde ileri ve geri hareket edebilme kabiliyetine sahiptirler.



Şekil 3: Yönlendirici Robotlar.

Çizelge 1: Merkez İstasyon Algoritması

| Adım | Açıklama                                                                                                         |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Yönlendirici 1'in Destination High ve Destination Low değerleri ayarla.                                          |
| 2    | Yönlendirici 1'e "Merkez" mesajı gönder.                                                                         |
| 3    | 45 saniye boyunca Yönlendirici 1'den "Yönlendirici_1" mesajı bekle eğer mesaj zamanında gelmez ise adım 1'e git. |
| 4    | Adım 2'ye git.                                                                                                   |

Çizelge 2: Yönlendirici 1 Robotunun Algoritması

| Adım | Açıklama                                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | "Merkez" mesajını bekle                                                                                             |
| 2    | RSSI değerini modemden öğren ve merkezDB olarak kaydet                                                              |
| 3    | Yönlendirici 2'nin Destination High ve Destination Low değerleri ayarla.                                            |
| 4    | "Yönlendirici_1" mesajını yönlendirici 2'ye gönder.                                                                 |
| 5    | 35 saniye boyunca Yönlendirici 2'den "Yönlendirici_2" mesajı beklenir eğer mesaj zamanında gelmez ise adım 1'e git. |
| 6    | RSSI değeri modemden öğrenilir ve yönlendirici2DB olarak kaydedilir.                                                |
| 7    | Eğer merkezDB büyüktür yönlendirici2DB ise merkeze doğru hareket et. Değilse aksi yönde hareket et.                 |
| 8    | Merkezin Destination High ve Destination Low değerleri ayarla.                                                      |
| 9    | "Yönlendirici_1" mesajını merkeze gönder.                                                                           |
| 10   | Adım 1'e git.                                                                                                       |

Tamamen otonom olarak, yönlendiriciler önceki ya da sonraki Zigbee modemlerden hangisine RSSI değeri açısından daha uzak ise ona doğru hareket etmektedirler. Çizelge 1'de bir nolu yönlendirici robota ait algoritma ve Çizelge 2'de ise iki nolu yönlendirici robota ait algoritma yer almaktadır. Yönlendirici 1, Merkez ile Yönlendirici 2 arasında mesajın aktarılmasından sorumludur. Yönlendirici 2 ise Yönlendirici 1 ile Araştırma robotu arasındaki mesajın aktarılmasından sorumludur. Her iki robot, daha önce bahsedildiği üzere RSSI değerleri açısından kötü olan tarafa doğru hareket ederek mesafeyi RSSI değeri açısından eşik değerin altında ve mümkün olduğunca eşit miktarda tutmaya çalışmaktadırlar.

Çizelge 3: Yönlendirici 2 Robotunun Algoritması

| Adım | Açıklama                                                                                                           |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | "Yönlendirici_1" mesajını bekle                                                                                    |
| 2    | RSSI değerini modemden öğren ve yönlendirici1DB olarak kaydet                                                      |
| 3    | Araştırma'nın Destination High ve Destination Low değerleri ayarla.                                                |
| 4    | "Yönlendirici_2" mesajını gönder                                                                                   |
| 5    | 20 saniye boyunca Araştırma'dan "Araştırma" mesajı beklenir eğer mesaj zamanında gelmez ise adım 1'e gidilir.      |
| 6    | RSSI değeri modemden öğrenilir ve araştırmaDB olarak kaydedilir.                                                   |
| 7    | Eğer araştırmaDB büyüktür yönlendirici1DB ise araştırmaya doğru hareket edilir. Değilse aksi yönde hareket edilir. |
| 8    | Merkezin Destination High ve Destination Low değerleri ayarlanır.                                                  |
| 9    | "Yönlendirici_2" mesajını yönlendirici 1'e gönder.                                                                 |
| 10   | Adım 1'e git.                                                                                                      |

### 3.3. Araştırma Robotu

Bu projede kullanılan araştırma robotu daha önceki çalışmalarımızda [23] kullandığımız ancak bu uygulama için çeşitli uyarlamalar yaptığımız Şekil 1'de görülmekte olan robotumuzdur. Robotumuzun üzerinde yer alan bir netbook merkezden ZigBee modem üzerinden aktarılan komutları yerine getirmektedir. Netbook üzerinde çalışmakta olan program, RS232 üzerinden modemlerle bağlantı kurabilmektedir. Robot üzerinde iki adet PIC16F877 mikroişlemci yer almaktadır. Bir tanesi Netbook'ta yer almakta olan programdan gelen komutlar doğrultusunda robotun hareketini sağlarken, diğeri RSSI değerlerinin hesaplanması için Çizelge 4'de yer alan algoritmayı gerçekleştirmektedir.

Çizelge 4: Araştırma Robotunun Algoritması

| Adım | Açıklama                                                                                          |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Yönlendirici 2'nin Destination High ve Destination Low değerleri ayarla.                          |
| 2    | "Yönlendirici_1" mesajını bekle.                                                                  |
| 3    | RSSI değeri modemden öğrenilir ve yönlendirici2DB olarak kaydet.                                  |
| 4    | Eğer yönlendirici2DB değeri belirli bir eşik değerinin üstünde ise robotun ileri gitmesi engelle. |
| 5    | Adım 2'ye git.                                                                                    |

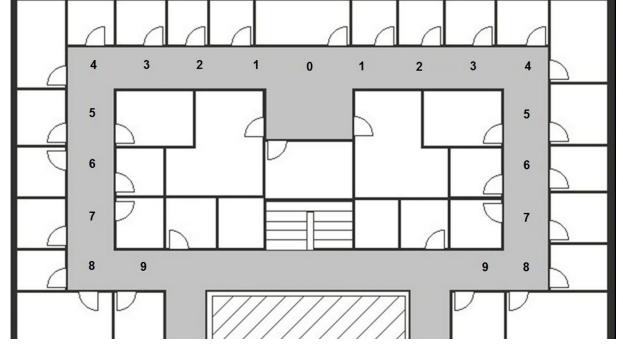
#### 4. Sonuçlar

Test ortamı olarak Şekil 4'de yer alan ortam kullanılmıştır. Şekilde yer alan noktalar test yapılan ölçüm noktalarını ifade etmektedir. Noktalar arası mesafe 3.5 metredir. Şekil 5'de sıfır noktasının sağında yer alan noktalardaki RSSI ölçüm değerleri gösterilmektedir. Aynı şekilde Şekil 6'da ise sol taraftaki RSSI değerleri gösterilmektedir. Şekillerde yer alan barlar, ilgili noktada alınan değer aralıklarını göstermektedir. Örneğin Şekil 5'de görüldüğü üzere nokta 3'de çok geniş aralıklı değerler ölçülmüştür. Çizgiler ise her noktada alınan yirmi adet ölçüm değerinin aritmetik ortalamalarından geçmektedir. Çalışmalarımız sırasında 85 dB'nin üstündeki değerlerde iletişimde kopmalara neden olabildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle 85 dB eşik değeri olarak kullanılmıştır. Şekil 5 ve 6'dan da görüldüğü üzere yönlendirici robotlar olmaksızın, verilen harita için sadece 6 nolu noktaya kadar araştırma robotu kontrol edebilmektedir. Kullanılan iki yönlendirici robot ile, araştırma robotu sağ tarafa doğru hareket ederse, Yönlendirici 1, beş nolu nokta, Yönlendirici 2 ise dokuz nolu nokta civarında konumlanarak, araştırma robotunun sol taraftaki dokuz noktasında kadar kontrolü sağlanabilmektedir.

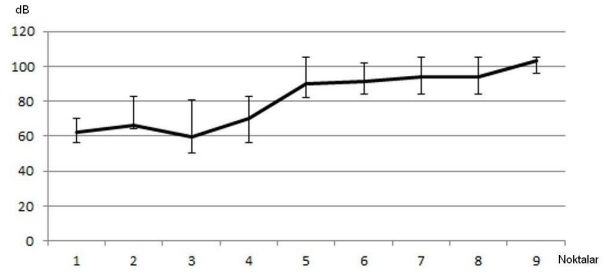
Hareketli yönlendiricileri kullanmanın faydası, özellikle köşelerde ve gürültünün olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. RSSI değerleri düz bir görüş alanında dahi beklenmedik sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Örneğin Şekil 4 ve 5'den görüleceği üzere iki nolu nokta sıfır noktasına daha yakın olmasına rağmen üç nolu noktanın RSSI değerleri daha düşük çıkmaktadır. Yönlendirici robotlar RSSI değerlerini minimum tutmak için hareket ettiklerinden iletişim kalitesini korumaktadırlar.

Bu çalışmada tamamen otomatik yönlendirici robotlar kullanılmıştır. Aksi taktirde robotların uygun pozisyonlara gelmesi için ayrıca personel ve yazılım gereksinimi doğacaktır. Robotlar mümkün olduğunca basit olarak tasarlanmaya çalışılmıştır. Bunun nedenlerinden biri sürü zekası uygulamalarında robotların çok miktarda üretilebilmesi için geliştirme maliyetinin düşük tutulması gereksinimidir. Robotların koridorlar boyunca ilerlemesi için beş farklı alternatif yöntem ele alınmıştır:

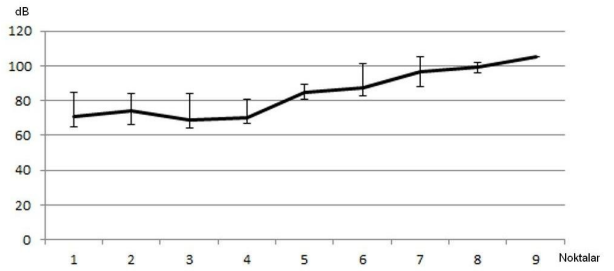
- *Ultrasonic sensör kullanımı:* Koridorlarda şekil bozukluğu adına çok fazla girinti ve çıkıntının olması, sensörlerdeki zaman zaman meydana gelen ölçüm hataları nedeni ile ultrasonic sensör kullanımı tercih edilmemiştir.
- *Görüntü işleme:* Görüntü işleme teknikleri ile koridorda ilerlenebilir ancak robotların görüntüyü işlemesi için ek donanım gerektirmesi ve yönlendirici robotların ucuz olması gereksinimi nedeni ile bu teknik edilmemiştir.
- *Yönlü anten kullanımı:* Kullanılacak bir yönlü anten ile sinyalin güçlü olduğu tarafa robotun yönlendirilmesi; sinyal yansımalarının bina içi uygulamalarda etken olması nedeni ile tercih edilmemiştir.
- *Pusula ve ikinci bir sensör (ultrasonic ya da infrared) kullanımı:* Bina içerisinde yer alan kolon gibi manyetik alana sahip gürültü kaynaklarından etkilenmesi nedeni ile tercih edilmemiştir.
- *Çizgi izleme:* Koridor boyunca yere çizgi çizip robotların hareket etmesi, bilinen bir yöntem olan QRD1114 sensörlerinin kullanımı ile sağlanmıştır.



Şekil 4: Ortam Haritası.



Şekil 5: Sağ tarafın RSSI değerleri.



Şekil 6: Sol tarafın RSSI değerleri.

Araştırma robotunun çok hızlı hareket etmesi durumunda yönlendirici robotların uygun pozisyona gelememesi ve bağlantının kopması gibi durumlar her zaman olabilir. Ancak bu gibi durumlar için ek bir robotun sisteme dahil edilmesi mümkündür. Tek yapılması gereken ek robotun merkezden çizgi önüne konması ve algoritmalarda yer alan önceki-sonraki ayarlarının yapılmasıdır. Bu durumda en son eklenen yönlendirici robot hat üzerinde bulunan tüm yönlendirici robotların araştırma robotuna doğru ilerlemesini sağlayacaktır. Yönlendirici robot sayısının ortamdaki fazlalığı iletişim kalitesine olumlu katkı sağlamaktadır. Sunulan yöntem ile çalışma zamanında ihtiyaç oluşması durumunda sadece yeni robotların sisteme dahil edilmesi ile araştırma robotunun etkin olduğu mesafe arttırılabilmektedir. Sabir yönlendiricili yaklaşımlardan farklı olarak gürültü nedeni bağlantı kopması problemi yönlendiricilerin hareket kabiliyetleri ile aşılmaktadır. Ayrıca, arızalı herhangi bir yönlendiricinin yerine sisteme dahil olacak yeni bir yönlendirici ile iletişimin devamlılığı sağlanabilir.



## 5. Kaynaklar

- [1] Tekdas, O., Wei, Y., ve Isler, V., "Robotic routers: Algorithms and implementation," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 29, pp. 110–126, Ocak 2010.
- [2] Batalin, M. ve Sukhatme G., "The analysis of an efficient algorithm for robot coverage and exploration based on sensor network deployment," in *Robotics and Automation, ICRA. Proceedings of the IEEE International Conference on*, Nisan 2005, Sayfa 3478–3485.
- [3] Benavidez, P., Nagothu, K., Ray, A., Shaneyfelt, T., Kota, S., Behera, L., ve Jamshidi, M., "Multi-domain robotic swarm communication system," in *System of Systems Engineering*, 2008. SoSE '08. IEEE International Conference on, Haziran 2008, Sayfa 1–6.
- [4] Spanos, D. ve Murray, R., "Robust connectivity of networked vehicles," in *Decision and Control, CDC. 43rd IEEE Conference on*, Vol. 3, Aralık. 2004, Sayfa 2893 – 2898.
- [5] Blumenthal, J., Grossmann, R., Glatowski, F., ve Timmermann, D., "Weighted centroid localization in zigbee-based sensor networks," in *Intelligent Signal Processing, WISP. IEEE International Symposium on*, Ekim 2007, Sayfa 1 –6.
- [6] Savvides, A., Han, C.-C., ve Strivastava, M. B., "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors," in *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, Ser. *MobiCom '01*, New York, NY, USA: ACM, 2001, Sayfa 166–179.
- [7] Saxena, M., Gupta, P., ve Jain, B., "Experimental analysis of rssi-based location estimation in wireless sensor networks," in *Communication Systems Software and Middleware and Workshops, COMSWARE 2008, 3rd International Conference on*, Ocak 2008, Sayfa 503 –510.
- [8] Sugano M., "Indoor localization system using rssi measurement of wireless sensor network based on zigbee standard," in *Wireless and Optical Communications. IASTED/ACTA Press*, 2006, Sayfa 1–6.
- [9] Arai, M., Kawamura, H., ve Suzuki, K., "Estimation of zigbee's rssi fluctuated by crowd behavior in indoor space," in *SICE Annual Conference, Proceedings of*, Ağustos 2010, Sayfa 696 –701.
- [10] Benkic, K., Malajner, M., Planinsic, P., ve Cucej, Z., "Using rssi value for distance estimation in wireless sensor networks based on zigbee," in *Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2008, 15th International Conference on*, June 2008, Sayfa 303 –306.
- [11] Kuo, W.H., Chen, Y.S., Jen, G.-T., ve Lu, T.-W., "An intelligent positioning approach: Rssi-based indoor and outdoor localization scheme in zigbee networks," in *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), International Conference on*, Vol. 6, Haziran 2010, Sayfa 2754 –2759.
- [12] Noh, A.-I., Lee, W., ve Ye, J., "Comparison of the mechanisms of the zigbee's indoor localization algorithm," in *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, SNPD '08, Ninth ACIS International Conference on*, Ağustos 2008, Sayfa 13 –18.
- [13] Jianwu, Z. ve Lu, Z., "Research on distance measurement based on rssi of zigbee," in *Computing, Communication, Control, and Management, CCCM ISECS International Colloquium on*, Vol. 3, Ağustos 2009, Sayfa 210 –212.
- [14] Kim, K.M., Lee, K.J., Kim, J.O., Park, J.-H., Baeg, M.H., and Ahn, H.S., "Implementation of a zigbee-based high performance sensor node for the robot environment platform," in *Control Automation and Systems (ICCAS), International Conference on*, Ekim 2010, Sayfa 1603 –1607.
- [15] Forno, F., Malnati, G., ve Portelli, G., "Design and implementation of a bluetooth ad hoc network for indoor positioning," *Software, IEEE Proceedings -*, vol. 152, no. 5, Ekim 2005, Sayfa 223 – 228.
- [16] Wang, C., Sohraby, K., Jana, R., Ji, L., and Daneshmand, M., "Voice communications over zigbee networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 46, no. 1, , Ocak 2008, Sayfa 121 –127.
- [17] Fitch R. and Lal, R., "Experiments with a zigbee wireless communication system for self-reconfiguring modular robots," in *Robotics and Automation, ICRA '09. IEEE International Conference on*, Mayıs 2009, Sayfa 1947 –1952.
- [18] Digi, "Xbee znet 2.5/xbee-pro znet 2.5 oem rf modules," [ftp1.digi.com/support/documentation/90000866C.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866C.pdf), Kasım 2008.
- [19] Wan, J., Wang, Y., Qin, Q., ve Li, Y., "Multi-robots' communication system based on zigbee network," in *Electronic Measurement Instruments, ICEMI '09, 9th International Conference on*, Ağustos 2009, Sayfa 3–14.
- [20] Song, G., Yin, K., Zhou, Y., ve Cheng, X., "A surveillance robot with hopping capabilities for home security," *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 55, no. 4, Kasım 2009, Sayfa 2034–2039.
- [21] Tsai, H.-M., Tonguz, O., Saraydar, C., Talty, T., Ames, M., ve Macdonald, A., "Zigbee-based intra-car wireless sensor networks: a case study," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 14, no. 6, , Aralık 2007, Sayfa 67 –77.
- [22] Lin, C.-H., Yang, S.-H., Chen, H.-T., and Song, K.-T., "Mobile robot intruder detection based on a zigbee sensor network," in *Systems, Man and Cybernetics, SMC. IEEE International Conference on*, Ekim 2008, Sayfa 2786 –2791.
- [23] Togay, C. and Bayram, U., "Improving vision based robot navigation through specific location markers," in *Integrated Design and Process Technology, IDPT . Haziran 2011*.
- [24] <http://code.google.com/p/xbee-api/>