

EŞ ZAMANLI KONUM BELİRLEME VE HARİTA OLUŞTURMA AMAÇLI OTONOM BİR ROBOT

Sırma YAVUZ , M. Fatih AMASYALI , Muhammet BALCILAR , Gökhan BİLGİN ,
Tarkan DİNÇ ve Zeyneb KURT

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi
34349 Beşiktaş, İstanbul

e-posta: sirma@ce.yildiz.edu.tr, mfatih@ce.yildiz.edu.tr, muhammet@ce.yildiz.edu.tr,
gokhanb@ce.yildiz.edu.tr, tarkan@ce.yildiz.edu.tr, zeyneb@ce.yildiz.edu.tr

ABSTRACT

In this paper we describe an autonomous system which is developed in Yıldız Technical University, Computer Science Department. The purpose of the robot is to navigate in an unknown environment starting from an unknown location to build the map of the area while it can compute its own location at the same time. Only infrared sensors are used on the vehicle to determine the distance of surrounding objects and to choose the path to follow. RF modules are used to communicate with the computer generating control signals. In literature, the algorithms developed to give these abilities to the robots are referred as SLAM (Simultaneous Localization and Map Building) algorithms. The scope of this ongoing research includes the construction of an autonomous system containing a robotic vehicle and a computer, as well as the development of a novel SLAM algorithm.

Anahtar sözcükler: Otonom robot, RF Haberleşme, IR Algılayıcı Kalibrasyonu, Konum belirleme, Harita Oluşturma

1. GİRİŞ

Robotların insan hayatındaki yeri azımsanamayacak ölçüde artmaktadır. Bu artışla beraber robotun insanlarla ve içinde bulunduğu ortamlarla etkileşime girmesi de kaçınılmaz hale gelmektedir. İçinde bulunduğu ortamlarla etkileşime girmenin temellerinde biri de ortamı tanıyabilmek ve kendini bu ortamda konumlandırabilmektir. Bunun için öncelikle ortamın haritasının çıkarılması gerekmektedir [1].

Bu çalışmanın amacı çevrenin ön topolojik bilgilerine ya da birtakım referans nesnelerinin yer bilgisine sahip olmadan ve ihtiyaç duymadan eş zamanlı yer belirleme ve haritalama yapmaktır. Dolayısıyla gerçekleştirilen robot, bilinmeyen bir ortamda

bilinmeyen bir noktadan harekete başlayarak bir taraftan bu ortamın haritasını çıkaracak, bir taraftan da kendi yerini tahmin edebilecek ve başlangıç noktasına döndüğünü de algılayabilecektir [2,3]. Tasarlanan robot bu seyri sırasında etrafını algılayıp nereye gideceğine yine kendi başına karar verecektir. Algılayıcı verileri kullanarak harita oluşturulmasında ve gidilecek yönün seçilmesinde bu çalışmada bahsedilen algoritmanın yanı sıra, geliştirilecek makina öğrenmesi tabanlı yeni algoritmalar robota uygulanacaktır.

2. HARİTALAMA İŞLEMİ

Haritalama, algılayıcı ölçümlerine dayanarak çevrenin iki boyutlu modelini çıkarma işlemi olarak tanımlanabilir. Haritalama işlemi gerçekleştirilecek amacıyla sistemin birtakım davranışlara sahip olması gerekmektedir:

- Robotun istenen açı ile dönmesini sağlayacak “dönme” davranışı olmalı.
- Robotun algılayıcılarından biri bir duvar tespit edene kadar “duvara-doğru-ilerleme” davranışı sergilemeli. Robotun kenarındaki algılayıcılar bulunan duvarla paralel hale getirilmeli.
- Robotun ileri devam etmesini sağlayan; duvarla kenarındaki algılayıcılar arasında belli bir mesafe (d_0 mesafesi) ayarlamasını sağlayan “duvar-izleme” davranışı olmalı. Bu hareket, robot bir köşe bulunca sona erer. Duvar bir “ d_{max} ” mesafesinden daha uzakta kaldıysa bir “harici-dış-köşe” bulunmuş; bir “ d_{min} ” mesafesinden daha yakınsa bir “dahili-iç- köşe” bulunmuştur. Robotun kenar algılayıcıları $|d_{min}, d_{max}|$ sınırları içinde bir duvar devamsızlığı tespit etmişse bu “hatalı tanımlanmış” bir köşedir.
- Ayrıca robot, duvar izleme davranışına benzeyen “koridor izleme” davranışına sahip olmalı. Aralarındaki fark: Robot “ $2 * d_0$ ” eninden daha dar bir yerden geçiyorsa bir koridordan geçtiği kabul edilir. Bu durumda robotun her iki tarafındaki algılayıcılar

da duvarı görebilir ve robot koridorun tam ortasından harekete devam eder [4].

Geliştirilen sistemde grid-tabanlı harita ve topolojik harita gösterimlerinin birleşimi olan bir haritalama yöntemi kullanılacaktır. Yöntemimizde grid-tabanlı haritalardan faydalanarak topolojik harita oluşturmak amaçlanmıştır.

Topolojik haritalar, robotun haritasını çıkaracağı ortamı çizge (graph) olarak göstermektedir. Topolojik haritaların en önemli avantajı kısa ve öz oluşlarıdır. Bu harita gösteriminde, haritası çıkarılacak ortamdaki boş bölgeler diyagramın köşeleri (node); bölgeler arasındaki yollar (koridorlar) da diyagramın kenarları (arklar) olarak kabul edilir [5].

Grid-tabanlı haritalar, topolojik haritaların birer köşesi (düğümü) olarak kullanılır. Dolayısıyla sistemde öncelikle iki-boyutlu grid-tabanlı haritalar oluşturulmalıdır. Grid-tabanlı haritalarda her (x, y) grid hücresinin bir ikamet değeri (occupancy value) vardır. Robot, bu değere bakarak (x,y) hücresinin işgal edilip edilmediğini anlar [5].

Topolojik harita oluşturmak için kullanılacak algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir.

1. Eşikleme: İlk olarak hücrelerdeki her ikamet değeri bir eşik değerine tabi tutulur. Eşik değerinin altında kalan ikamet değerine sahip hücreler, boş olarak kabul edilir. Diğer tüm noktalar işgal edilmiş (dolmuş) kabul edilir.

2. Voronoi Diagramı: Boş ve engelsiz bölgelerin içinde kalan noktalardan rasgele bir (x,y) noktası seçilir. (x,y) 'nin temel dayanak noktası, işgal edilmiş uzayda kalıp (x,y) 'ye en yakın olan (x',y') noktası veya noktalardır. En yakın noktalar bulunurken Euclid mesafesi kullanılır. Bu (x,y) ve (x',y') noktaları arasındaki mesafe (x,y) 'nin açıklığı (clearance) olarak bilinir. Voronoi diyagramı, en az iki farklı temel dayanak noktası olan, boş alanda kalan (x,y) noktalarından oluşur.

3. Kritik noktalar: Boş alanları parçalara ayırabilmek için öncelikle kritik noktalar bulunmalıdır. Kritik noktalar, Voronoi diyagramında açıklığı yerel olarak minimize eden (x,y) noktalarıdır.

4. Kritik doğrular: Her kritik nokta ile bu noktanın temel dayanak noktalarının birleştirilmesinden oluşturulur. Kritik doğrular, boş alanları ayrık bölgelere ayırır.

5. Topolojik çizge: Son olarak bölümlere ayrılan harita, izomorfik bir çizge'ye geçirilir. Her (ayrılan) bölge, topolojik haritada bir düğümü ve her kritik doğru, topolojik haritada bir arki (kenarı) temsil eder.

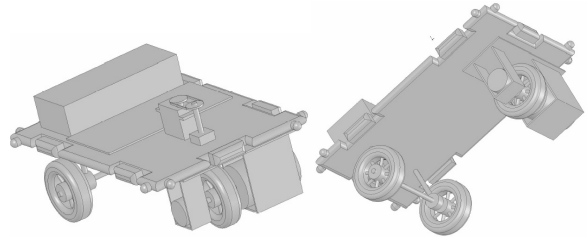
3. SİSTEMİN BİLEŞENLERİ

Eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (SLAM) probleminin lazer ve diğer gelişmiş algılayıcılar kullanılarak çözülmüş bir problem olduğu söylenebilir

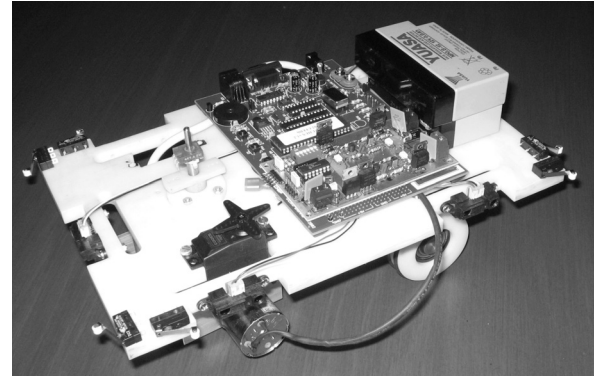
[6,7]. Literatürde kameralar, lazer algılayıcılar ve sonar algılayıcıların birlikte ya da tek başlarına kullanıldığı maliyetli çözümler yer almaktadır [8,9]. Ancak, ucuz mal edilebilen, kısıtlı bilgi toplayan kızılötesi algılayıcılar kullanılarak yapılan çalışmalar hala gündemdeki bir konudur. Ucuz mal edilen robotlardan oluşan bir takım kurularak, bunların çok büyük alanların haritalanmasında kullanılmasını da mümkündür.

Bu çalışmada sunulan mobil robot, bir ön ve iki arka olmak üzere, üç tekerlek üzerine yerleştirilen bir platformdan oluşmaktadır. Platformun ve tekerleklerin yapımında derlin malzemesi kullanılmış ve kaymayı önlemek için tekerlekler lastik ile kaplanmıştır.

Robotun ön tasarımına ait çizimler Şekil 1'de, gerçekleştirildikten sonraki resmi ise Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1: Robotun ön tasarımına ait çizimler



Şekil 2: Robotun üstten görünümüne ait fotoğraf

Robot üzerinde yer alan merkezi kontrol birimi algılayıcılardan toplanan verilerin bilgisayara iletilmesi, bilgisayardan gelen kontrol işaretlerinin işlenmesi ve motor hız bilgisinin elektronik hız kontrol devresine iletilmesinden sorumludur. Kartının gerçekleştirilmesinde PIC16F877 mikro denetleyicisi kullanılmış ve C dili ile programlanmıştır. Elektronik hız kontrol biriminde ise PIC16F684 H-köprü devresini PWM yöntemi ile sürerek, hız kontrolü ve ileri-geri gitme işlevlerini gerçekleştirmektedir.

Robotu oluşturan temel mekanizmalar ve bu mekanizmalara ait işlevlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan temel malzemeler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Robotu oluşturan temel mekanizmalar ve kullanılan malzemeler

Merkezi Kontrol Birimi	PIC16F877
Elektronik Hız Kontrol Birimi	PIC16F684
Tahrik Mekanizması	50:1 oranda redüksiyona uğramış doğru akım motoru (120RPM, 12 v)
Yön Mekanizması	Servo motor (Futaba RS403PR)
Çevre objelerin mesafelerinin ölçülmesi	6 adet kızılötesi algılayıcı (Sharp GP2D12). 10- 80 cm arası algılama kabiliyeti
Alınan yolun ölçülmesi	Hengstler RI32 min shaft encoder, 1024ppr, 30mm, 10-30 v
Hareket yönünün algılanması	1 adet Potansiyometre (Top adj carbon modular pot, 4K7 lineer 12mm)
Çarpma durumunun algılanması	Aracın köşelerine yerleştirilen 8 adet microswitch.
Robot ve bilgisayar arasındaki haberleşme	1 adet alıcı ve 1 adet verici RF Modülü
Enerji kaynağı	Akü (7 Amper/saat)

Servo Kontrolü

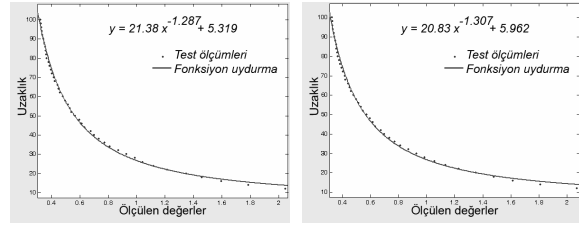
Servo kontrolü PWM (darbe genişliği modülasyonu) ile sağlandığından zamanlama açısından kritiktir. Servo kontrolünde kullanılan darbeler 20ms'de bir iletilmektedir. Darbenin genişliği 1ms ile 2ms arasında değişmektedir. Kullanılan mikro denetleyicinin yapısı ve tek bir servo kontrol edileceği göz önüne alınarak iki zamanlayıcı kullanılmış ve hassas bir şekilde servo kontrolü sağlanmıştır. Zamanlayıcılardan biri 1ms'de kesme üretmekte bu kesmenin 20 defa oluşmasıyla, çözünürlüğü 1µs olan diğer bir zamanlayıcı başlatılmakta ve istenilen değere geldiğinde durmaktadır. Bu sayede servonun hareket aralığı 1000 parçaya bölünebilmektedir.

Kızılötesi Algılayıcıların Kalibrasyonu

Robotun yanlarına ikişer adet, ön ve arkasına ise birer adet olmak üzere toplam 6 adet kızılötesi algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcıların ölçüm sırasında birbirlerini etkilememesi için sırayla aktif hale getirilip ölçümler alınmaktadır. Robotun hızının düşük tutulması sırayla ölçümde yapılan hata miktarını azaltmaktadır.

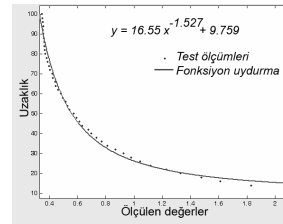
Kızılötesi algılayıcılar ile elde edilen ölçümlerin güvenilirliği, yüzeyin rengi ve içerdiği malzemenin dikkate alınmasına da bağlıdır. Kullanılan kızılötesi mesafe algılayıcının kalibrasyon işlemi için ilk etapta farklı malzemelerden yapılmış 3 farklı duvar için ölçümler yapılmıştır. 2 cm aralıkla 1 metreye kadar bütün mesafeler için algılayıcının çıkış gerilimi

ölçülmüştür. Şekil 3 (a), (b) ve (c)'de noktasal olarak gösterilen değerler sırasıyla sarı ve yeşil renkli beton duvarlarda ve tahtada ölçülen gerilim değerlerine karşılık gelmektedir. Bu noktalar için uydurulan eğriler ise sürekli çizgiler ile gösterilmiştir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3: Farklı duvar tipleri için algılayıcılara ait ölçümler ve elde edilen matematiksel modeller

Robot araba giderken algılayıcılarından ölçülen voltajın karşılık geldiği en doğru mesafe değerini belirlemek için bir başvuru çizelgesi kullanmak yerine gerilimle mesafe arasındaki ilişki modellenmiştir. Modelleme için çeşitli türdeki fonksiyonlar denenmiş ve 3 duvar türünde de verileri en iyi modellediği görülen

$$mesafe = a * gerilim^b + c \quad (1)$$

fonksiyonu seçilmiştir. Böylece hem daha az bilgi tutulacak (sadece 3 parametre) hem de daha hızlı işlem (bir çarpma, bir üs alma, bir toplama) yapılabilecektir. Şekil 1,2 ve 3'te verileri modelleyen fonksiyonların formülleri ve çizimleri de verilmiştir. En iyi modellenebilen (en düşük ortalama karesel hataya sahip) duvar tipi, sarı renkli beton ve daha sonra tahta duvardır.

Daha sonra modeller ile elde edilen değerler ve ölçüm ile elde edilen gerçek değerler de standart sapmaları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Her üç duvar tipi için de ± 2 cm hassasiyetin kabul edilebilir olduğu varsayıldığında, robotun duvara mesafesinin 10-80 cm arasında tutulması halinde sağlıklı ölçümler alınabileceği tespit edilmiştir. Hata ve standart sapma oranının en düşük olduğu durum ise duvara 60cm mesafe ile seyahat edilmesi halinde olacağı tespit edilmiştir.

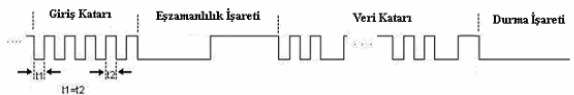
Robot ve Bilgisayar Arasındaki Haberleşme

Sistemin geniş bir alanda çalışabilmesi istendiğinden hareket serbestliği önem taşımaktadır. Bu durumda kablosuz bir haberleşme altyapısı kullanılması kaçınılmazdır. Temel olarak sistemin elektriksel özellikleri, etki alanı ve altyapısının planlanması veri iletişimi açısından dikkatle alınması gereken öğelerdir. Bütün bu özellikleri sağlayan Microchip firmasının ürettiği RF (Radio Frequency) modülü sistemimiz için uygun bulunmuştur.

RF altyapısı bir RF modül ve bir işlemci içermektedir [10]. Bilgisayar ve robot arasında çift yönlü bir haberleşme imkanı sağlayabilmek için iki kanallı bir RF haberleşmesi düşünülmüş ve farklı frekansta (433 MHz ve 315 MHz) RF alıcı ve verici çiftleri kullanılmıştır. Seçilen modüller, Microchip firmasının rPIC12F675 kodlu verici ve rRXD0420 kodlu alıcı modülüdür. Veri iletişimini sağlamak için ASK (ikili genlik kaydırmalı anahtarlama) modülasyonu kullanılmış olup, donanımın sağlayabildiği en yüksek hız 4800 boud'dur [10]. RF modülüne bağlayacağımız anten ve giriş empedansı kullandığımız modülün özelliklerine uygun olarak dizayn edilmiştir. Tasarımımızın RF kısmının duyarlılığı bir RF işaret üretici ve osiloskop yardımı ile kontrol edilmiştir.

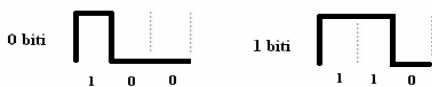
Haberleşme Protokolü

Uç ara yüzler (PC ve robot merkezi kontrol birimi) arasındaki haberleşme paket bazında gerçekleştirilmiştir. Bu paket sırasıyla bir giriş katarı (preamble), eşzamanlılığı sağlamak için durağan eşzamanlılık işareti, veri katarı ve son olarak ta durağan durma işaretlerinden oluşur (Şekil 4).



Şekil 4: Veri Paketi

Haberleşme sistemlerinin tamamında performansı etkileyen önemli faktörlerden biri alıcı ve verici senkronizasyonudur. En basit haberleşme sistemlerinde bile modül senkronizasyonu kendisi yapmıyor ise paketin başlangıcı için bir giriş katarı kullanılır [11]. Durağan eşzamanlılık işareti ise giriş katarıyla beraber gerçek verinin uygun bir biçimde alınması için gerekli olan zamanlamayı sağlar. Veri kısmında gönderilecek 1 ve 0'lar bit bazında eşzamanlılığı sağlamak için üç mantıksal işaret seviyesi ile kodlanır. Kullanılan 0 ve 1 işaretleri Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Bit modülasyonu

Her bir bit bir sinyali ile başlayıp sıfır sinyali ile biter. Yani her bit bir ve sıfır sinyalini içerir. Böylelikle 8 bitlik verinin tamamının bir olması durumunda bile sıfır sinyali, tamamının sıfır olmasında bile bir sinyali gönderilmiş olur. Bu da vericinin veriyi yollarken veri bloğunda tamamen susmasını veya sürekli enerji yollamasını engeller. Bu sayede daha güvenli bir veri iletişimi sağlanmış olur [12].

Planlanan paket yapısı içinde 16 çevrimlik (cycle) giriş katarı, 10 çevrimlik durağan eşzamanlılık işareti, 16 baytlık veri ve 30 çevrimlik durağan durma işareti gönderilir. Çevrimin süresi haberleşme hızına bağlı olarak 208µs olarak hesaplanmıştır.

Buna göre, giriş katarının süresi (GKS), durağan eşzamanlılık işareti süresi (DEİS), toplam veri gönderim süresi (TVGS) ve durağan durma işareti süresi (DDİS) aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} GKS &= 16 \times CT \\ DEİS &= 10 \times CT \\ TVGS &= 3 \times 16 \times 8 \times CT \\ DDİS &= 30 \times CT \end{aligned} \quad (2)$$

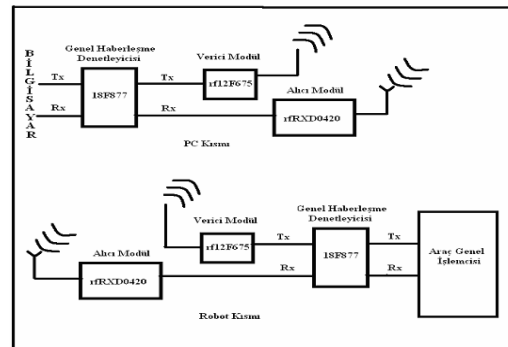
Bir paketin gönderilme süresi, paketin gönderim süresi ise (3) eşitliği ile hesaplanabilir:

$$PS = GKS + DEİS + TVGS + DDİS \quad (3)$$

Bu eşitliklere göre bir paket için geçen süre 91.52 ms'dir. Bu da saniyede on paketin yani $10 \times 16 = 160$ baytlık verinin gönderilebileceğini göstermektedir.

Haberleşme Altyapısı

Bilgisayar ile robot arasında RF haberleşmesi yaptırabilmek için öncelikle gönderilecek sinyalin bilgisayarın seri portundan alınarak paket formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemin tersi düşünüldüğünde ise, alıcı modülün araçtan gelen sinyalleri yakaladıktan sonra anlamlandırarak bilgisayara gönderilmesi gerekmektedir. Bu amaçla hem bilgisayar tarafında hem de aracın merkezi işlemcisi tarafında PIC 16F877 mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Sistemin genel tasarımı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Sistemin haberleşme altyapısı

Bilgisayar gönderilecek komutları *genel haberleşme denetleyicisine* iletir. Bu denetleyici gelen bilgileri paket formatına sokup iletim modülü üzerinden yayın yapar. Robot tarafındaki alıcı bu yayılan sinyali yakalayıp robot tarafındaki *genel haberleşme denetleyicisine* iletir. Bu denetleyici gelen paket formatındaki veriyi çözümleyip robota komut olarak iletir. Robottan bilgisayara iletilen algılayıcı bilgileri ise bu yolun tersini kullanır.

Şu anda kullanılan yapıda robot tarafından bilgisayara gönderilecek veriler için, normal çalışma durumu ve çarpma durumu olmak üzere, iki paket tipi kullanılmaktadır. Veri paketindeki ilk iki alan gönderici ve alıcı adreslerini temsil etmektedir. Üçüncü alan, paket tipini belirtmektedir. Şu an için kızılötesi algılayıcı verisinin gönderileceğini ya da bir çarpma durumu olduğunu dolayısıyla microswitch verisinin gönderileceğini göstermektedir. Dördüncü alanda kızılötesi algılayıcılar, potansiyometre ve encoder'dan gelen veri PC'ye gönderilmektedir (Şekil 7). Ancak bir çarpma durumu varsa algılayıcılardan okunan veri ile birlikte microswitch'ten okunan veri de bilgisayara aktarılır (Şekil 8). İleride birden fazla robotun paralel çalıştırılması düşünüldüğü için paket içerisinde gönderici ve alıcı adres alanları kullanılmaktadır.

Gönderici adresi	Alıcı adresi	Paket tipi (Normal Çalışma)	Kızılötesi algılayıcı, potansiyometre, encoder verileri
------------------	--------------	-----------------------------	---

Şekil 7: Normal çalışma durumunda robottan PC'ye gönderilen veri formatı

Gönderici adresi	Alıcı adresi	Paket tipi (Çarpma durumu)	Kızılötesi algılayıcı, potansiyometre, encoder verileri	Micro switch verileri
------------------	--------------	----------------------------	---	-----------------------

Şekil 8: Çarpma durumunda robottan PC'ye gönderilen veri formatı

Robotun bilgisayardan aldığı komutlar için paket tipi tek olduğundan belirtilmemektedir (Şekil 9). Robotun hareket yönü ve hızını belirleyecek kontrol işareti servoya ve motora gelir.

Gönderici adresi	Alıcı adresi	Komut	Komut verisi (Servo,Motor)
------------------	--------------	-------	----------------------------

Şekil 9: Robotun PC'den aldığı veri formatı

4. SONUÇLAR

Bu bildiride Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği bölümünde, eşzamanlı konum belirleme ve haritalama algoritmalarının geliştirilmesi amacı ile gerçekleştirilen robota ait mekanik ve elektronik bileşenler ve başlangıçta uygulanan yöntemler

anlatılmıştır. Eş zamanlı konum belirleme ve harita oluşturma problemi, içinde etkin hesaplama, harita yönetim metotları, harita kestiriminde yerel ve küresel yakınsama, veri birliği ve algılayıcıların yönetimi gibi konuları barındırır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu problemlere yönelik makine öğrenmesi tabanlı, yenilikçi algoritmaların geliştirilmesi ve bir kaç robotun birlikte çalıştırılacağı bir sistemin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu çalışmada, özellikle ucuza mal edilebilen, kısıtlı bilgi toplayan kızılötesi algılayıcılar ile eş zamanlı konum belirleme ve haritalama işlemi yapabilecek bir robotun gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Lakaemper R., Jan Latecki L., Sun X. and Wolter D., "Geometric Robot Mapping", Discrete Geometry for Computer Imagery: 12th International Conference, DGCI 2005, Poitiers, Fransa, Nisan 2005.
- [2] Dissanayake M.W.M.G., Newman P., Clark S., Durrant-Whyte H.F. and Csorba M., "A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem", NSW 2006.
- [3] Beevers K., "Loop Closing in Topological Maps", Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, s4378-4383, Nisan 2005.
- [4] Huang W. H., "Topological Mapping with Sensing-Limited Robots", Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics, Temmuz 2004.
- [5] Thrun S., Bücken A., Burgard A., Fox D., Fröhlingshaus T., Hennig D., Hofmann T., Krell M., Schmidt T., "Map Learning and HighSpeed Navigation in RHINO", Research Reports on Information Science and Electrical Engineering of Kyushu University, 6(1), pp. 77-82, Mart 2001.
- [6] Thrun S., Robotic mapping: A survey. Exploring Artificial Intelligence in the New Millenium, Morgan Kaufmann, 2002.
- [7] Grisetti K G., Iocchi L., "Map building in planar and non-planar environments", Second International Workshop on Synthetic Simulation and Robotics to Mitigate Earthquake Disaster (SRMED), 2004.
- [8] Aboshosha A. ve Zell A., "Robust Mapping and Path Planning for Indoor Robots based on Sensor Integration of Sonar and a 2D Laser Range Finder", 7th International Conference On Intelligent Engineering Systems INES 2003, Mısır, 4-6 Mart 2003
- [9] Newman P., Ho K., "SLAM Loop Closing with Visually Salient Features", International Conference on Robotics and Automation, 2005.
- [10] Microchip rPIC Development Kit1 User's Guide, Microchip Technology Inc., 2003.
- [11] UDEA Wireless Technology UN1205v01, RF Tasarım Notları, 2005.
- [12] B. Şivgin, <http://www.diyot.com/RF.html>, 2006.