

Kobot: Sürü robot çalışmaları için tasarlanmış gezgin robot platformu

Ali E. Turgut¹, Fatih Gökçe², Hande Çelikkanat¹, Levent Bayındır¹, Erol Şahin¹

¹KOVAN Araştırma Laboratuvarı, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

{aturgut,hande,levent,erol}@ceng.metu.edu.tr

²Makina Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye
{fgokce}@ceng.metu.edu.tr

Özetçe

Bu bildiri, sürü robot sistemleri için ideal bir robotun özellikleri tartışılmış ve bunları mümkün olduğunca karşılayabilmek amacıyla geliştirdiğimiz Kobot platformu incelenmiştir. Ortam ışığından ve diğer robotlardan az etkilenmesi için tasarlanan bir kızılötesi kısa mesafe algılama sistemi anlatılarak, başarımlı sistemlerle değerlendirilmiştir. IEEE802.15.4/ZigBee tabanlı haberleşme sistemi ve robotları teker teker ya da paralel programlayabilen kablosuz programlama sistemi anlatılmıştır. Kobotlarla sürü şeklinde hareket etme davranışı gerçekleştirilmiştir. Son olarak, sürü robot sistemleri için geliştirilmiş, ya da bu amaçla kullanılmakta olan robot platformları incelenerek aranan özellikler bakımından Kobot platformuyla karşılaştırılmıştır.

1. Giriş

Sürü robot sistemleri [1], çok sayıda robotun denetim ve eşgüdümü için, sosyal böceklerin milyonlarca senedir uyguladığı yöntemlerden ilham alan bir yaklaşımdır. Hedefi, çok sayıda robotun, merkezi bir kontrole ihtiyaç duymadan birlikte çalışarak, sürü seviyesinde gübüzlük, esneklik ve ölçeklenebilirlik özelliklerine ulaşmalarıdır.

Sürü robot sistemlerinin gerçek dünyada yer almasının önünde iki temel engel vardır. Birincisi, bakış açısının temeli olan, çok sayıda robotun aynı anda çalışması gerekliliğidir. Bunun için oturmuş bir seri üretim sistemine ihtiyaç duyulduğu açıktır. İkincisi ise, araştırmalarda kullanılacak robotların, çalışmaların özel gereksinimlerine uygun şekilde tasarlanmış olmasıdır. *Sürü* kavramı, ideal bir robotun nasıl olması gerektiğine dair, yeni kısıtlamalar getirmektedir. Bu nedenle, tek başına yeterli robotların, bir araya geldiklerinde birlikte çalışmalarını beklemek anlamlı olmayacaktır.

2. Bölümde, ideal bir sürü robotundan beklenecek özellikler anlatılmaktadır. Ardından, bu özelliklerden mümkün olduğunca fazlasını, bir bütün halinde sağlayabilmek için tasarladığımız Kobot platformu incelenmektedir. 4. Bölümde, platform için geliştirdiğimiz kızılötesi kısa mesafe algılama

Bu çalışma TÜBİTAK'ın 104E066 nolu projesi çerçevesinde desteklenmektedir.

sistemi anlatılmaktadır. Bu bölümü, kablosuz paralel programlama için kullanılmakta olan iletişim sistemi izlemektedir. Bölüm 6'da, kısa mesafe algılama sisteminin, Kobotların sürü halinde hareket etmesi (*İng.* flocking) için, benzetim ortamında ve gerçek dünyada kullanıldığı bir çalışma anlatılmaktadır. Bölüm 7'de, halihazırda var olan sürü robot platformları, beklentiler bakımından incelenip, Kobot platformuyla karşılaştırılmaktadır.

2. Sürü Robot Sistemlerinde Beklentiler

Sürü robot sistemlerinin parçası olacak robotlardan beklenecek özellikler, tek başına çalışacak bir robotunkilerden farklı olacaktır. Bu bölümde, bir sürü robotundan ideal durumda bekleyeceğimiz özellikler incelenmektedir.

Algılama ve Sinyalleşme: Bu sistemlerdeki ana prensip, robotların birbirleriyle ve çevreleriyle etkileşim içinde bulunmalarıdır. Kısıtlamaların önemli bir kısmı bu durumdan kaynaklanmaktadır.

- Robotlararası Girişim:** Robotların algılama sistemlerinin birbirleriyle olan girişimi en düşük seviyede olmalıdır. Oysa özerk çalışan robotların yakınlık algılayıcıları, çoğu zaman, etrafta bulunabilecek diğer robotların etkisi düşünülmeden tasarlanmaktadır.
- Çevresel Unsurlardan Kaynaklanan Girişim:** Var olan platformların algılayıcılarında çevresel faktörlerin etkisi, örneğin gün ışığının kızılötesi yakınlık algılayıcılarını olumsuz etkilemesi, dünya koşullarının bir parçası olarak kabul edilmekte ve önemsenmemektedir. Oysa, kendi kendine örgütlenmenin (*İng.* self-organization) kararlı olması için, bu etkiler kontrol altında tutulmalıdır.
- Ortamdaki Diğer Robotların Algılanması:** Diğer bir temel beceri, sürüye ait diğer robotları ortamdan ayırt edebilmektir. Çoğu özerk robotta bu üst seviyeli bir beceri olarak görülmektedir. Sürü robot sistemlerinde ise, yakınlık algılaması gibi, alt seviyelerde gerçekleştirilmesi, hem hız hem de basitlik açısından doğal sistemlerle paralellik gösterecektir.

- **Ortam Aracılığıyla Haberleşme:** Robotlar, ortamda izler bırakarak birbirleriyle haberleşebilmelidirler. Özerk bir sistem için alışlagelenin dışında diyebileceğimiz bu yetenek, sürü robot sistemleri için oldukça temeldir ve doğada sıkça kullanılmaktadır.
- **Genel Amaçlı Algı Mekanizmaları:** Robotlarda donanımsal olarak tek bir kullanım şekliyle kısıtlanmayan algılayıcıların bulunması, araştırmacının kendisine hazır olarak sunulanların dışında, sadece yazılım değişiklikleriyle yeni algılama yöntemleri deneyebilmesini sağlayacaktır.

İletişim: Çok sayıda robot söz konusu olduğunda, robotlarda kablosuz iletişim desteğinin bulunması önemli bir özelliktir. Robotların uzak bir konsolla kablosuz iletişim kurabilmeleri, gerçek zamanlı olarak izlenebilmelerini sağlarken, birbirleriyle kablosuz iletişim kurmaları kendi aralarında tasarsız ağlarla bilgi aktarabilmelerini mümkün kılacaktır. Kablosuz ve paralel programlanabilmeleri ise geliştirme sürecini hızlandıracaktır, çünkü çok sayıda robot üzerinde aynı kontrol programı çalışmaktadır.

Fiziksel Etkileşim: Robotların birbirleriyle ve çevreyle fiziksel bir etkileşim içinde olmaları, sürünün kendi kendine örgütlenmesi ve kendi formasyonunu değiştirerek büyük ölçekli yapılar oluşturabilmesi açısından önemlidir.

Güç Tüketimi: Robotların uzun bir pil ömrüne sahip olması, çok önemli bir kriterdir. Sürü robot sistemlerinde, istenilen davranış ortaya çıkana kadar, robotların uzun bir süre çevreyle ve birbirleriyle etkileşim kurması gerekebilmektedir. Pil ömrünün kısa olması, sürüye sürekli dışarıdan müdahale edilmesini gerektirecektir.

Boyut: Robotların kullanılacağı ortama, geliştirilebilirlik ve maliyet hedeflerine bağlı bir unsurdur.

Maliyet: Robotların uygun maliyetli olması çok sayıda robotun kullanılabilmesine imkan sağlayacaktır.

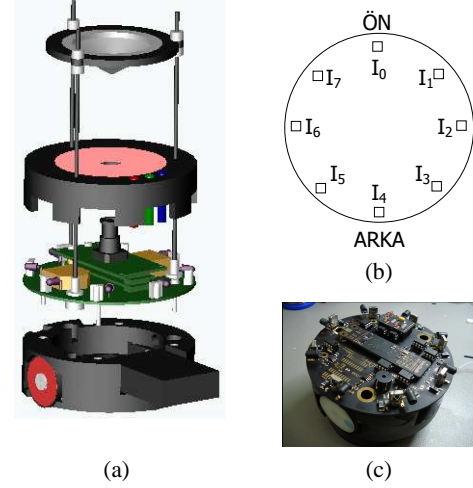
Benzetim Ortamı: Sürü robot sistemlerinde geliştirilmenin verimli bir şekilde yürütülebilmesi için, robotların kendi aralarındaki ve çevreyle olan etkileşimlerinin gerçeğe uygun bir şekilde modellendiği bir benzetim ortamının sağlanması önemlidir.

Bütün bu özelliklerin tek bir tasarımda sağlanması, imkansız olmasa bile zor bir hedeftir. Nitekim, bu özelliklerden bazıları, kendi başlarına, diğerleri için engel oluşturmaktadır. Örneğin ideal büyüklükteki bir robotta ideal güç tüketimi hedefine ulaşmak mümkün olmayabilir. Bu nedenle, tasarım esnasında bütün kısıtlamaların bir arada değerlendirilmesi şarttır.

3. Kobot Robot Sistemi

Kobot robot sistemi, dairesel olarak tasarlanmış, diferansiyel sürüş sistemine sahip bir platformdur, Şekil 1(a), (c). 120mm (CD büyüklüğü) çapında olup, pillerle beraber ağırlığı 350gr'dır. Platform tasarlanırken, önceki bölümde belirtilmiş olan beklentiler mümkün olduğunca sağlanmaya çalışılmıştır. Kobotların en temel özellikleri hafiflik, küçüklük, genişletilebilirlik, verimlilik ve düşük maliyettir.

Kobot'un gövdesi poliüretan malzemeden imal edilmiş iki parçadan oluşmaktadır, bunlar: (1) motorları, pilleri ve kısa mesafe algılama kartını barındıran silindirik taban



Şekil 1: (a) Kobot'un isteğe bağlı olarak takılabilen tüm-yönlü görüntüleme sistemi ile birlikte açılmış görünüşü, (b) Kızılötesi algılayıcıların yerleşimi ve numaraları (c) Kobot'un basit sürümü. Kobot'un üst parçası çıkartılmış ve kısa-mesafe algı sistemi, ana denetimci kartı görülmekte.

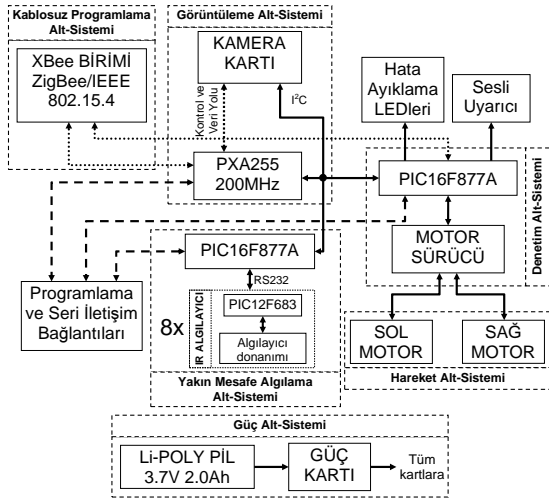
ve (2) gövdeyi kapatan silindirik üst-parçadır. Poliüretan düşük yoğunluğa sahip olmasına karşın oldukça dayanıklı bir malzemedir. Kobotların üst-parçalarına, kızılötesi algılayıcıların algılama mesafesini arttırmak için beyaz bir kaplama uygulanmıştır. Sürüş sisteminde, FTB firması tarafından üretilmiş, küçük boyutlu, yüksek verimliliğe ve döndürme momentine sahip, dişli kutulu motorlar kullanılmıştır. Motorlar tekerleklere doğrudan-sürüş tekniği kullanılarak bağlanmıştır. Motorları verimli bir şekilde sürebilmek için, Vishay firması tarafından üretilmiş olan yüksek anahtarlama hızına sahip Si9988 motor sürücüler kullanılmıştır.

Kobotların tasarımı genel hatlarıyla Şekil 2'de görülmektedir. Kobot'un merkezinde denetim alt-sistemi bulunmaktadır. Bu sistem kısa mesafe algı, iletişim, görüntüleme ve güç alt-sistemlerinden gelen verileri 20MHz'lik PIC16F877A mikro denetleyici üzerinde işlemektedir.

Kobot'un basit sürümü, örneklerinden çok farklı bir kızılötesi (IR) kısa mesafe algılama sistemine sahiptir, Şekil 1(c). Bu sistem, daha önceki bölümde anlatılan, sürü robotların algılama ihtiyaçlarından ilk üçünü sağlamak üzere tasarlanmıştır. Sistem, çevredeki diğer robotların IR ışınımından mümkün olduğunca az etkilenmekte, modüleli IR ışınım kullanılması sayesinde çevrenin olumsuz etkilerini en aza indirmekte ve çevrede bulunan diğer robotları algılayabilmektedir.

Kobotların üzerinde, IEEE802.15.4/ZigBee iletişim protokollerini destekleyen kablosuz iletişim birimi bulunmaktadır. Bu sayede hem Kobotların bir konsol ile ve birbirleriyle iletişimi sağlanmış hem de paralel olarak aynı anda programlanmalarını sağlayan bir sistem geliştirilmiştir.

Kobot robot sistemi, tüm yönlü bir kamera sistemi takılarak genişletilebilmektedir. Şekil 1(a)'da görülen bu sistem; kamera, görüntü işleme kartı ve çizgisel aynadan oluşmaktadır. Kam-



Şekil 2: Kobot sisteminin blok diyagramı

eranın optik eksenini robotun tabanına dik olarak yerleştirilmiş ve çizgisel aynanın optik merkeziyle çakıştırılmıştır. Bu sayede görüntüleme sistemi 360°'lik bir görüş açısına ve 90cm'lik bir menzile sahip olmuştur. Aynanın çizgisel olması sayesinde, alınan görüntülerin küçülme oranı mesafeden bağımsızdır. Bu sayede, görüntü yakalama kartında karmaşık ters-trigonometrik dönüşümler yapılmasına gerek kalmamıştır. Görüntü işleme, 32MB FLASH belleğe ve 32MB RAM'e sahip olan 200MHz'lik PXA255 mikroişlemcisinde Linux işletim sistemi çalıştıran bir kart üzerinde, gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. PXA255 mikroişlemcisi çok düşük güç tüketimiyle dikkat çekmektedir. Görüntüleme sistemi henüz test aşamasında olduğu için tam olarak entegre edilmemiştir.

Güç tüketimi, Kobot'un tasarımındaki en belirleyici unsur olmuştur. Robotun gövde malzemesinin seçiminde, elektronik kartların tasarımında ve motorların seçiminde düşük güç tüketimi hep göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan deneylerde, 3 adet AA-boyutlarındaki NiMH piller (2700mAh kapasite) ile 7.5 saat, tek hücreli Li-Poli pil (2000mAh kapasite) ile de 10 saat çalışma süresine ulaşılmıştır. Deneyler sırasında engellerden sakınma algoritması çalıştırılmış ve kablosuz iletişim birimi alma moduna sokulmuştur.

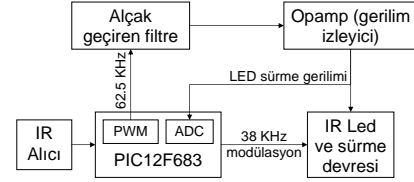
4. Kızılötesi Kısa Mesafe Algılama Sistemi

Şekil 1(c)'de görülen sistem, güç tüketimi ve girişim gibi problemler düşünülerek tasarlanmış olup, dairesel bir kart üzerine 45° aralıklarla yerleştirilmiş 8 algılayıcıdan ve bu algılayıcıların eşgüdümünü sağlayan 20MHz'lik bir PIC16F877A ana algılayıcı denetleyicisinden oluşmaktadır.

4.1. Algılama

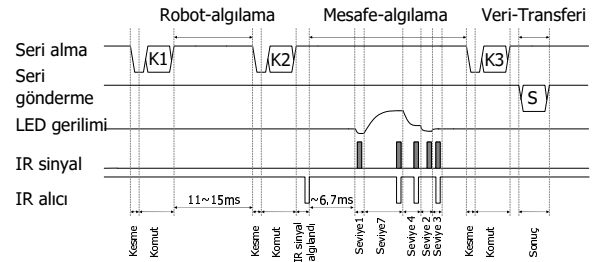
Algılayıcıların temel yapısı Şekil 3'teki blok diyagramında görülmektedir. IR ışık kaynağı olarak Vishay firmasından TSAL7400 ürünü; IR alıcı olarak 38KHz modüleli alıcı kullanılmıştır. Modüleli IR ışınımı sayesinde ortamdaki ışık kaynaklarından ve gün ışığından kaynaklanabilecek girişimler

en aza indirilmeye çalışılmıştır. Algılayıcının çalışması, Microchip firmasının analog-sayısal çevirici (ADC) ve darbe genişlik kiplenimi (PWM) modüllerini içeren PIC12F683 mikro denetleyicisi ile sağlanmaktadır. Alçak geçiren bir filtre ve gerilim izleyici olarak kullanılan bir işlemsel kuvvetlendirici, PWM ile IR LED'in sürme gerilimini değişken olarak elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. LED gerilimi aynı zamanda ADC modülü ile izlenebilmekte ve geri beslemeli bir kontrol sağlanmaktadır.



Şekil 3: Bir algılayıcıya ait blok diyagramı

Bir algılayıcının çalışması tekrarlanan 3 mod üzerinden gerçekleştirilmektedir: *robot-algılama*, *mesafe-algılama*, *veri-transferi*. Modlar arasındaki geçişler, algılayıcılara ait hata ayıklama LEDlerinin de kontrolünü sağlayan ana algılayıcı denetleyicisi tarafından kontrol edilmektedir. Bu LED'ler, ilgili algılayıcının ölçme mesafesi içerisinde bir cisim olup olmadığını gösterir.



Şekil 4: 3. seviyedeki bir cismin algılanması sırasında çeşitli sinyallerdeki değişimler gösterilmiştir.

Robot-algılama modunda algılayıcı, IR ışık yaymaz ve sadece başka bir algılayıcıdan yayılan IR sinyal olup olmadığını anlamak amacıyla çevresini tarar. Bir sinyal algılanırsa etrafta başka bir robot var demektir. Aynı robot üzerindeki algılayıcıların *çapraz girişim* sebebiyle hatalı robot bilgisi vermeleri ihtimali, Bölüm 4.2'de anlatılacağı gibi, 8 algılayıcının da aynı anda bu moda alınmalarıyla engellenmiştir. *Mesafe-algılama* modunda algılayıcı, önce etrafındaki başka bir algılayıcının ölçümünü olumsuz etkilememek için, güvenli bir şekilde ölçümüne başlayabileceği bir an yakalamaya çalışır. Bu işlem yine IR ışın yaymadan çevre taranarak gerçekleştirilir. Eğer algılayıcı 6.7ms'lik bir süre boyunca başka bir kaynaktan yayılan bir sinyal almazsa ölçümüne başlar. Bu bekleme süresi ardışıl iki ışınım arasındaki olası en uzun süredir ve ölçme algoritmasına ait zamanlamalar incelenerek hesaplanmıştır. Ölçümüne başlayan algılayıcı, LED sürme gerilimini 7 değişik seviyeden birine ayarlayarak ve her kademede IR sinyal yayınlayarak, yayılan sinyalin bir

cisimden yansiyarak geri döndüğü minimum kademeyi tespit eder. Bu kademe cismin uzaklık bilgisini verir. 7 gerilim kademesi olduğu için olduğu için algılayıcı, cismin uzaklığını 7 ayrı kademedan biri olarak verir. *Veri-gönderimi* modunda algılayıcı robot algılama ve mesafe bilgilerini seri iletişim ile ana algılayıcı denetleyicisine gönderir.

Şekil 4, bir algılayıcının 3. seviyedeki bir cismi algılamaktenki dalga şekillerini göstermektedir.

4.2. Eşgüdüm

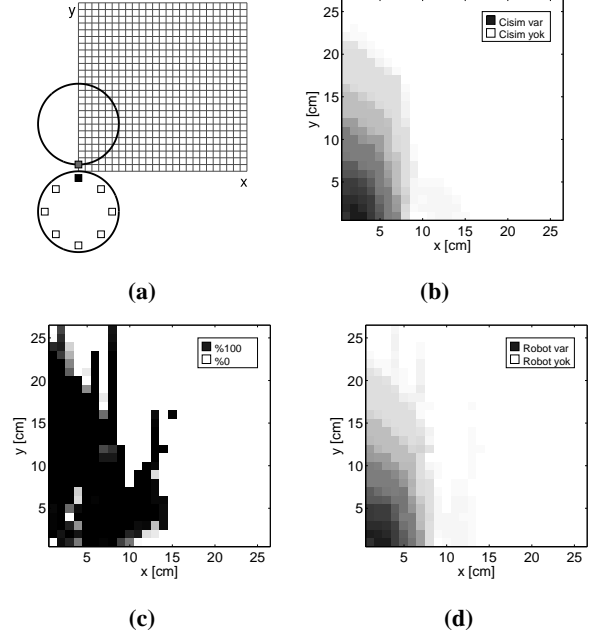
Aynı robota ait algılayıcılar arasındaki *çapraz girişimi* en aza indirmek için, algılayıcılar merkezi bir eşgüdüm mekanizmasıyla kontrol edilmelidir. Bu görev ana algılayıcı denetleyicisi tarafından yapılmakta ve algılayıcıların modlar arasındaki geçişleri belli bir düzen içerisinde yürütülmektedir. Denetleyici öncelikle tüm algılayıcıların *robot-algılama* moduna girmelerini sağlar. Bu modun süresi robotlar arasında oluşabilecek senkronizasyonları engellemek amacıyla 11ms ile 15ms arasında rastgele değişecek şekilde belirlenir. Çünkü olası bir senkronizasyon, iki robotun algılayıcılarının aynı anda aynı modlara girmesine yol açarak birbirlerini algılamalarını güçleştirecektir. Rastgele belirlenen sürenin sonunda denetleyici önce 0, 2, 4 ve 6 numaralı algılayıcıları (Şekil 1(b)); 2ms sonra da diğer algılayıcıları mesafe-algılama moduna sokar. 2ms'lik bu gecikme, komşu iki algılayıcının, çevrede başka bir algılayıcının olmadığı bir durumda, 6.7ms'lik sürenin ardından hemen ölçüme başlayarak *çapraz girişim* sebebiyle birbirlerinin ölçümlerini bozmalarını önlemek için kullanılmıştır. Bu gecikmeyle çift numaralı algılayıcılar ölçümlerine başlayacak, diğerleri de uygun bir an yakaladıktan sonra ölçümlerini gerçekleştirecektir. Ana algılayıcı denetleyicisi ölçümlerin bitmesi için sabit bir süre(33ms) bekledikten sonra tüm algılayıcıları sırayla veri-gönderme moduna sokarak sonuçları toplar ve hata ayıklama LEDlerini sonuçlara göre günceller. 3 modun tamamlanması yaklaşık 55ms sürmektedir. Böylece yaklaşık 18Hz'lik bir yenileme süresi elde edilmiştir. Sonuçlar ana algılayıcı denetleyicisi tarafından ana denetleyiciye I²C protokolüyle 400KHz'de gönderilmektedir.

4.3. Algılayıcı Özellikleri

Sistemin başarımı yapılan iki deney ile değerlendirilmiştir. Deneylerde tüm algılayıcıları açık tutulan bir robot koordinat sisteminin merkezine yerleştirilmiş ve değer okumak için kullanılmıştır. Algılayıcıları, yapılan deneye göre kapatılan veya açılan diğer robot da $x - y$ düzleminin birinci bölgesinde 1cm aralıklarla hareket ettirilmiştir (Şekil 5(a)).

İlk deneyde, hareket ettirilen robotun algılayıcıları kapalı tutulmuş ve robot sıradan bir cisim olarak kullanılarak ölçülen mesafe değerleri kaydedilmiştir. Her bir pozisyon için 200 ölçüm alınarak ortalamalarından Şekil 5(b)'deki gri tonlu imge çizilmiştir. Gri düzeyi, ilgili noktada ölçülen ortalama cisim uzaklığını göstermektedir. Algılayıcının maksimum algılama mesafesi dikeyde ~ 21 cm ve yatayda ~ 10 cm, değişinti ise ~ 1 cm'dir. Bu sonuçlara göre sistemin bu deneydeki performansı yeterli görülmüştür.

İkinci deneyde algılayıcının robot algılamadaki başarımı hem sıradan cisimlerden ayırt edebilme açısından hem de ölçülen mesafe değerlerinin 1. deneydeki sonuçlarla tu-



Şekil 5: (a) Deney düzeneği. Altta ki daire ölçümlerin yapıldığı robotu; üstteki ise 1. deney için cismi, 2. deney için algılanması istenen robotu simgelemektedir. (b) Cisim algılama deneyinden elde edilen ortalama mesafe değerleriyle çizilmiş gri tonlu imge. (c) Robot algılama deneyindeki ortalama başarıyı gösteren gri tonlu imge. (d) Robot algılama deneyinden elde edilen ortalama mesafe değerleriyle çizilmiş gri tonlu imge.

tarlılığı açısından test edilmiştir. Bu deneyde hareket ettirilen robotun algılayıcıları da açılmış, fakat $x - y$ düzlemindeki yönelimi değiştirilmemiştir. Şekil 5(d), algılayıcının robotu tanımadaki ortalama başarısını göstermektedir. Başarım uzak mesafeler (3-25cm) için yeterli olsa da yakın mesafelerde bir düşüş gözlenmektedir. Robotların bu yakınlıkta çalışmayacakları düşünülürse bu durum problem yaratmayacaktır. 3-25cm aralığındaki bazı noktalarda görülen düşüşler algılanan robotun algılayıcılarının, değerlerin alındığı algılayıcıya göre yöneliminden kaynaklanmaktadır. Elde edilen mesafe değerlerinin ortalamaları Şekil 5(d)'deki imgede verilmiştir. Bu değerler Şekil 5(b)'de verilen 1. deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, tasarlanan algılayıcının ortamdaki diğer algılayıcılardan çok az etkilendiği görülmektedir.

5. İletişim Sistemi

İletişim sisteminde, Maxstream firması tarafından üretilmiş olan XBee kablosuz iletişim birimleri kullanılmıştır. XBee birimleri IEEE802.15.4/ZigBee iletişim protokollerini desteklemektedir. IEEE802.15.4 iletişim protokolü güç tüketimi açısından 802.11b/g protokolüne göre daha verimlidir. Bunun yanında bu protokolda 65536 aygıt adreslenebilmektedir. Bu özellik, en fazla 7 aygıt destekleyebilen Bluetooth iletişim protokolünün yerine tercih edilmesini sağlamıştır. Bu iletişim protokolleri sayesinde; noktadan noktaya, noktadan çok noktaya ve eşten eşe iletişim mümkün kılınmıştır[4]. Ayrıca, protokolün adres kullanmadan yayınlama özelliği sayesinde, Kobotların

aynı anda kablosuz paralel programlanması sağlanmıştır. XBee, bağlandığı işlemciyle seri kapı üzerinden 115.2kbps hızında iletişim kurabilmekte ve kablosuz veri iletişim hızı 250kbps hızına ulaşmaktadır. Kobotlarda XBee birimleri 57.6kbps hızında kullanılmıştır.

Algoritma 1 Paralel Programlama Algoritması

```
1: İşaretlenen Kobotları AdayListesine aktar.
2: her AdayListesi içindeki Kobot için yap
3:   Kobotu ENQ gönder
4:   eğer zaman aşımı olmamış ve cevap ACK ise
5:     Kobotun etiketini var yap
6:   değilse
7:     Kobotun etiketini yok yap
8:   eğer sonu
9: her sonu
10: her program bloğu için yap
11:   her AdayListesi içindeki Kobot için yap
12:     eğer Tekrar etiketli Kobot varsa ise
13:       bütün tekrar etiketli Kobotları ProgramListesine
14:       koy
15:       program bloğunu bir öncekine getir
16:     değilse
17:       bütün var etiketli Kobotları ProgramListesine koy
18:     eğer sonu
19:   her sonu
20:   her ProgramListesi içerisindeki Kobot için yap
21:     Sağlama toplamını sormak için ENQ gönder
22:     Kobottan ACK gelmesini bekle
23:     eğer cevap yok veya beklenmeyen karakter ise
24:       Kobotun etiketini yok yap
25:     değilse
26:       eğer cevap YANLIS ve deneme sayısı < 3 ise
27:         etiketi tekrar yap
28:       değilse
29:         etiketi var yap
30:       eğer sonu
31:     her sonu
32:   Başlangıç karakterini, Blok uzunluğunu, Başlangıç
33:   adresini, Sağlama toplamını ve Program bloğunu yayımla
34: her sonu
35: Bitirme karakterini yayımla
```

Kablosuz programlama sistemi iki parçadan oluşmaktadır; bunlar konsol üzerinde çalışan, kullanıcı ile iletişim halinde bulunan ve yükleme prosedürünü denetleyen ana-program ve Kobotların ana mikro denetleyicileri üzerinde çalışan ön-yükleyicidir. Ön-yükleyici, ana-programdan gelen istek üzerine Kobotları programlama kipine sokar ve ana-programdan gelen verileri ana mikro denetleyicinin program belleğine yazar. Programlama işi tamamlandığında yüklenen yeni programı çalıştırır. Mikro denetleyicinin sahip olması gereken bir özellik, çalışma zamanında program hafızasına veri yazabilmesidir. Ana denetimci olarak PIC16F877A mikro denetleyicisinin seçilmesinin bir nedeni de bu özelliği desteklemesidir.

PIC16F877A mikro denetleyicisi için birçok açık kaynak kodlu ön-yükleyici/ana-program bulunmaktadır.

En çok kullanılanlardan bir tanesi Sparkfun firmasına ait Screamer'dır [5]. Kobot'un paralel programlama sisteminde Screamer kullanılmıştır. Screamer, bir tane mikro denetleyiciyi seri iletişim protokolüyle kablolu bir şekilde programlayabilmektedir. Öncelikle, ön-yükleyici, CCS C derleyicisine aktarılmış ve yapılan değişikliklerle gözcü-saati ve kesmelerin kullanılabilmesi sağlanmıştır. Ana-programa Kobotların hepsini çalıştırmak ve durdurmak için kontroller eklenmiştir. Ayrıca ön-yükleyici ve ana-program kablosuz paralel programlamaya uygun hale getirilmiştir.

Ana-programın algoritması, Algoritma 1'de görülmektedir. Kullanıcı programlamak istediği Kobotları ve yüklenecek programı seçer. Seçilen program 4/8 kelime uzunluğunda bloklara ayrılır. Daha sonra bu bloklar, uzunlukları, başlangıç adresleri ve sağlama toplamları, bütün Kobotlara aynı anda yayımlanır. Verilerin iletilip iletilmediği veya iletilen verilerin sağlama toplamları, Kobotlarla tek tek iletişim kurularak denetlenir.

Bu sırada Kobotlar bekleme durumundadırlar. Veriler gönderilmeye başlandığında Kobotlar son sekizliyi alana kadar veri alışı devam eder. Daha sonra sağlama toplamı hesaplanır. Toplam doğru ise alınan veriler program belleğine yazılır ve sağlama toplamı sorulduğunda DOĞRU cevabı verilir. Değilse yazma işlemi yapılmaz, ana-programa YANLIŞ cevabı iletilir ve ana-program aynı bloğu tekrar gönderir. Bu işlem bütün bloklar tamamlanana kadar devam eder.

6. Kobot Simülâtörü ve Kobotlarda Sürü Halinde Hareket Etme Davranışı

Kobot sistemi, ODE (Open Dynamics Engine) üzerinde geliştirilmiş fizik tabanlı bir simülâtörle modellenmiştir. Bu sayede, sürtünme ve çarpışma gibi fiziksel olgular da modellenilebilmektedir. Simülâtördeki algılayıcılar ve motorlar, gerçek dünyada yapılan sistematik deneylerle kalibre edilmiştir. Örnek bir çalışma olarak, yedi Kobotta sürü halinde hareket etme davranışı gerçekleştirilmiştir. Bireylerin kendi göreceli konumlarını ve komşularının yönelimlerini bilmeden, anonim yakınlık ölçümlerine dayandıkları bu durum, kızılötesi algılama sisteminin başarımını değerlendirmek için uygun bir testtir. Şekil 6, Kobot simülâtöründe ve gerçek dünyada gerçekleştirilen davranışın görüntülerini sunmaktadır.

7. Sürü Robot Çalışmalarında Kullanılan Robot Platformlarının İncelenmesi

Bu bölümde, sürü robot araştırmaları için tasarlanmış veya bu araştırmalarda kullanılan robotlar incelenmiş, ve sürü robotlardan beklenen özellikler, Bölüm 2 ışığında karşılaştırılmıştır.

Halihazırdaki robot sistemleri ile karşılaştırıldığında Kobot robot sistemi üç avantaja sahiptir. Bunlardan ilki, Kobot'un diğer Kobotlardan ve çevreden az miktarda etkilenen ve robotları cisimlerden ayırt edebilen, düşük güç tüketimli bir kızılötesi kısa mesafe algılama sistemine sahip olmasıdır. Kobot'un ikinci farkı, kablosuz paralel programlama yeteneğine sahip ilk robot olmasıdır. Bu sistem sayesinde robotlara program aynı anda ve çok hızlı bir şekilde yüklenebilmektedir. Son olarak Kobot, kendi boyutundaki robotlar içerisinde en uzun çalışma süresine sahiptir. Kobot'un çalışma süresi yaklaşık olarak 10 saattir ve bu konuda Kobot, mikro-robot platformu olan Al-

Tablo 1: Literaturdeki robotların karşılaştırılması. - işaretli alanlar, ilgili bilginin açıklanmamış olduğunu belirtmektedir.

	e-puck	Alice	Jasmine	s-bot	Swarmbot	Pherobot	Khepera	Flockbot	Kobot
Robotlararası girişim	-	var	var	-	yok	yok	var	var	yok
Çevresel girişim	yok	yok	yok	var	yok	yok	yok	yok	yok
Robot algılama	var	var	var	var	var	var	var	yok	var
Genel algı mek.	görünt.	görünt.	yok	görünt.	görünt.	yok	görünt.	görünt.	görünt.+IR
Kablosuz iletişim	BT 802.15.4 ZigBee	RF mo- dem	IR	Wi-Fi	RF modem	yok	RF modem	BT	802.15.4 ZigBee
Kablosuz prog.	var	yok	yok	var	var	yok	var	var	var
Paralel prog.	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	var
Robot-robot	var	var	var	var	var	var	var	var	var
Fiziksel etk.	yok	tutucu	tutucu	tutucu	yok	yok	tutucu	tutucu	yok
Pil ömrü	orta	yüksek	orta	-	-	-	kısa	orta	yüksek
Boyut (cm)	dia.= $\phi 7$	2.1*2.1* 2.1	2.6*2.6* 2.6	dia.= $\phi 12$ hei.= 15	13*13*13	dia.= $\phi 11$	dia.= $\phi 7$ hei.= 3	dia.= $\phi 18$	dia.= $\phi 12$ hei.= 7
Maliyet	düşük	düşük	düşük	-	-	-	yüksek	orta	düşük
Simulator	Webots	Webots	Breeve	Swarmbot 3D	-	-	Webots	MASON ve Breeve	CoSS
Denetim donanım	30F6014A	16F877	ATMEGA 18	XScale	40MHz ARM	PALM V	25MHz Mo- torola 68331	PXA255	16F877A

ice'den sonra ikinci sırada gelmektedir. Robotların daha detaylı karşılaştırması için Tablo 1 incelenebilir.



(a)



(b)

Şekil 6: Sürü halinde hareket etme davranışı: (a) Benzetim ortamında (b) Gerçek Kobotlarda

8. Sonuçlar

Bu bildiriye, ideal bir sürü robotunun sahip olması gereken özellikleri tartıştı ve bunları mümkün olduğunca karşılayacak şekilde geliştirdiğimiz Kobot platformunu tanıttık. Çevresel unsurlardan ve diğer robotlardan en az düzeyde etkilenerek, diğer robotları sıradan engellerden ayırt edebilen bir IR algılama sistemini sunduk. Kobot'un kablosuz iletişim sistemini inceleyerek, üzerinde çalışan kablosuz paralel programlama sistemini anlattık. Yapılan ilk deneylerle, Kobot'un ucuz maliyetli, ama yüksek başarılı bir platform olduğunu gösterdik.

Kobot'a ilişkin kısa dönemli hedefler arasında, görüntüleme sisteminin entegrasyonunun tamamlanması, algılama sisteminin hızlandırılıp modülerleştirilerek yakın Kobotlar arasında kısa mesafeli iletişim kurabilecek şekilde geliştirilmesi ve ZigBee protokolü ile Kobotlar arasında kablosuz iletişiminin sağlanması sayılabilir.

9. Kaynakça

[1] E. Şahin, "Swarm Robotics: From Sources of Inspiration to Domains of Application", *Swarm Robotics*

Workshop: State-of-the-art Survey, Erol Sahin and William Spears, editors, 3342, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp.10-20, 2005.

- [2] *Open-source Microrobotic Project*. University of Stuttgart. 19 March 2007. <http://www.swarmrobot.org>
- [3] C. M. Cianci, X. Raemy, J. Pugh and A. Martinoli, "Communication in a Swarm of Miniature Robots: The e-puck as an Educational Tool for Swarm Robotics." *Proceedings of the Swarm Robotics Workshop*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2006.
- [4] 25 July 2007. <http://www.maxstream.net/support/knowledgebase/files/XST-AN021a-ZigBee%20and%20802154.pdf>
- [5] 25 July 2007. <http://www.sparkfun.com/commerce/present.php?p= PIC%20Boot%20Loader>
- [6] G. Caprari and R. Siegwart, "Mobile Micro-Robots Ready to Use: Alice." *In Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Canada, in press. 2005.
- [7] F. Mondada, G. C. Pettinaro, A. Guignard, I. V. Kwee, D. Floreano, J.-L. Deneubourg, S. Nolfi, L. M. Gambardella and M. Dorigo, "SWARM-BOT: a new distributed robotic concept." *Autonomous Robots*, Special Issue on Swarm Robotics, 2003.
- [8] J. McLurkin and J. Smith, "Distributed Algorithms for Dispersion in Indoor Environments using a Swarm of Autonomous Mobile Robots." *7th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems*. France, 2004.
- [9] D. Payton, M. Dally, R. Estkowski, M. Howard, and C. Lee, "Pheromone robotics." *Autonomous Robots*, 11(3), 2001.
- [10] *Flockbots*. 19 March 2007. <http://cs1.gmu.edu/eclab/projects/robots/flockbots/>