

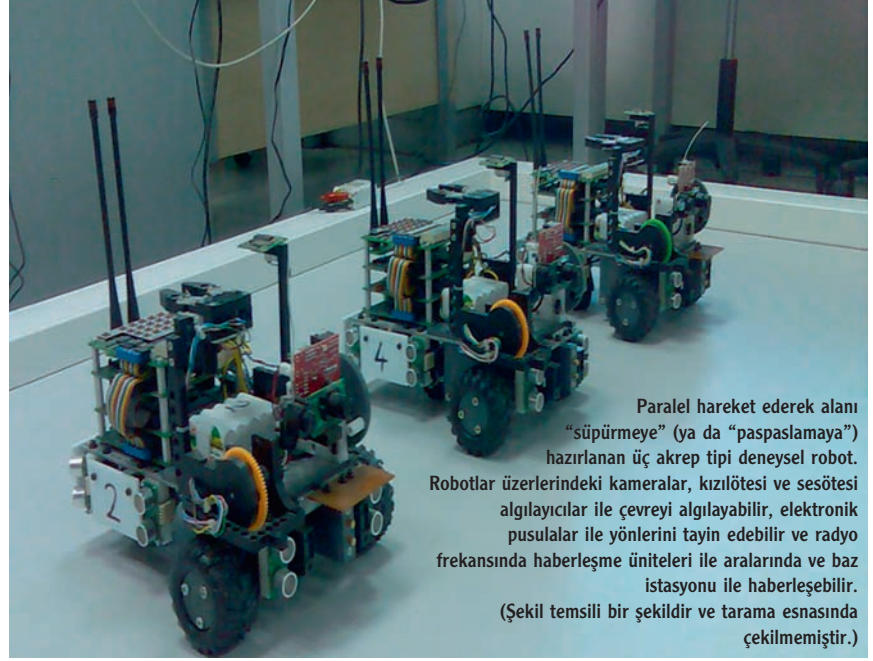
# ROBOT SÜRÜLERİ

Günümüzde yoğun araştırmalara konu olan önemli araştırma konularından bir tanesi de robot sürüleri. Robot sürüleri birden fazla özerk hareket edebilen ve karar verebilen, doğrudan ya da dolaylı haberleşen ya da etkileşen robotlardan oluşan karmaşık sistemlerdir.

Sürü robotlar üzerine çalışan araştırmacılar esinlerini doğadaki sürülerden alıyorlar. Doğada en basit canlılardan gelişmiş memelilere kadar birçoğunda toplu halde yaşam biçimi görülebilir. Toplu halde yaşayan canlılara örnek olarak toplu halde beslenme davranışı gösteren bazı bakteri sürüleri, termit (beyaz karınca), karınca ve arı gibi koloni halinde yaşayan sosyal böcekler, toplu halde sanki tek bir vücut gibi hareket eden balık ya da kuş sürüleri (kuşlara V şeklinde uçuşunu hatırlayın), bir lideri olan ve toplu halde avlanan kurt ya da aslan gibi yırtıcı hayvan toplulukları ve zebra ya da bufalolar gibi büyük baş hayvan sürüleri gösterilebilir. İnsanlar da toplu halde yaşayan sosyal varlıklar. Toplu halde yaşama, bu canlılara bazı tehlikelerden daha etkin korunma, daha kolay besin bulabilme, eş bulabilme gibi bazı avantajlar/üstünlükler sunuyorlar ve biliminsanları bu avantajların sürü/koloni halinde yaşamanın evrimsel olarak gelişmesine neden olduğunu düşünüyorlar.

## Robot Sürülerinin Özellikleri ve Avantajları

Doğadaki sürülerin birçoğunda (özellikle de sosyal böceklerde) olduğu gibi sürü robotlar üzerine çalışmalarda sürüdeki erkinlerin birey bazında son derece basit olacağı varsayılır. Buna karşın bir bütün olarak sürüden son derece karmaşık işleri de yapabilmesi beklenir. Başka bir deyişle ifade edecek olursak, sürüdeki robotların basit ve tek başına “çok becerikli olmayan” ve “zeki olmayan” erkinler olmasına karşın, sürünün bir bütün olarak “zeki” ve “becerikli” bir varlık gibi davranmalıdır. Doğadaki sürülerin çoğunda bu özelliği görmek mümkün. Karıncalar basit kuralla ve algıladığı son derece kısıtlı yerel bilgilere göre davranışlarını belirlerler ve hiçbir karınca ortaklaşa yapma-



Paralel hareket ederek alanı “süpürmeye” (ya da “paspaslamaya”) hazırlanan üç akrep tipi deneysel robot. Robotlar üzerlerindeki kameralar, kızılötesi ve sesötesi algılayıcılar ile çevreyi algılayabilir, elektronik pusulalar ile yönlerini tayin edebilir ve radyo frekansında haberleşme üniteleri ile aralarında ve baz istasyonu ile haberleşebilir. (Şekil temsili bir şekildir ve tarama esnasında çekilmemiştir.)

ta oldukları için bütünsel bir görünüşünün farkında değildir. Örneğin işçi karıncalar yiyecek bulabilmek için diğer karıncaların ya da kendisinin daha önce salgıladığı “feromon” olarak adlandırılan kimyasal/kokuyu takip ederler. Sürünün herkese görevini paylaştıran bir lideri de yoktur. (Ana karınca bu anlamda bir lider değildir.) Buna karşın karıncalar koloni olarak son derece anlamlı işler başarabilmekte ve yuvalar inşa edebiliyorlar. Burada basit bireylerin yerel etkileşiminden dolayı bütünsel ve anlamlı bir davranış biçimi ortaya çıkıyor ve koloni bir bütün olarak bir zeki varlık gibi davranıyor. Basit bireylerin yerel etkileşiminden dolayı ortaya çıkan bu zekâyâ sürü zekâsı denir. Sürü zekâsı, doğadaki sosyal böceklerden esin alan, basit erkinli/bireyli robot sürüleri çalışmalarındaki sürülerin de önemli bir özelliği ve bu konuda yoğun araştırmalar yürütülmekte.

Sürülerde (doğadaki ya da robot sürülerinde) sürü zekâsı ile birlikte ortaya çıkan diğer önemli bir özellik de kendine örgütlenme, özelliği. Kendi-kendine örgütlenme sürü elemanlarının bütünsel resmin farkında olmadan ya da bu resmin farkında olan bir liderin emirleri olmadan farklı durumlara göre farklı biçimde davranması ve farklı şekiller alması olarak betimleniyor (sürünün kendiliğinden farklı biçimde örgütlenmesi). Örne-

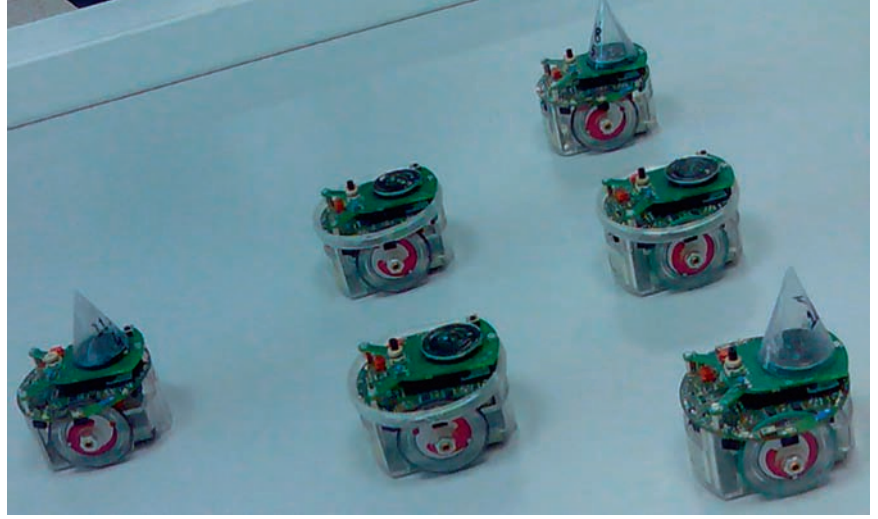
ğin, bireyleri tek başına bir çukur üzerinden geçemeyen bir robot sürüsündeki robotların bu durumu aşmak için kendiliğinden birbirlerine tutunarak bir zincir oluşturup çukuru aşmaları ya da bireyleri tek başına bir nesneyi taşıyamayan robot sürüsündeki robotların nesneyi birlikte kavrayarak ortaklaşa taşımaları ve bunun kendiliğinden oluşması. Bu tür davranış doğadaki sürülerde de görülür. Karıncalar bir daldan bir dala köprü oluşturabiliyorlar ve bunu bireylerin köprüünün farkında dahi olmadan sadece “diğer karıncalar birbirine tutunmaya başladı hadi ben de tutunayım” biçiminde basit kurallar aracılığıyla yaptıkları biliniyor.

Sürülerdeki karmaşık davranışların bazılarını elde etmek için her ne kadar haberleşmeye gereksinim olmasa da bazı davranışlar erkinler arası haberleşme ile elde ediliyor. Haberleşme doğrudan haberleşme ya da dolaylı haberleşme biçiminde olur. Doğrudan haberleşme bildiğimiz türden erkenden-erkine ya da erkenden-gruba ya da gruptan-erkine biçiminde ses ya da telsiz ya da benzeri haberleşme yöntemi ile doğrudan aralarında mesajlaşma ve bilgi alışverişi biçimindedir. Bu haberleşme tek yönlü ya da çift yönlü olabilir. Dolaylı haberleşme ise daha az bilinen bir türden. Sürüdeki robotlar tarafından buldukları ortamın/çevrenin değiştirilmesi ve bu değişikliğin diğer robotların

ya da değişikliği yapan robotun kendisinin davranışının değişmesine yol açması ile elde edilir. Bu tür haberleşmeye stigmerji denir ve bu haberleşme, çevre tarafından erkin davranışlarının belirlenmesi ya da etkilenmesi ile elde edilir. Örneğin bir (ya da daha fazla) robotun bir bölgeye malzeme taşıyarak bir yapı inşa etmeye başlaması ya da robotların birbirlerine tutunarak bir zincir oluşturmaya başlamaları bu yapıyı ya da zinciri gören robotların aynı davranışa girmeleri (kısaca yapı inşa etmeye başlamaları ya da zincire katılmaları) dolaylı haberleşmeyi (stigmerjiyi) gösterir. Bu örneklerde yarım olan inşaat ya da zincir, robotun davranışını etkilemiştir. Bu şekilde bu inşaatı ya da zinciri başlatan robotlar, dolaylı olarak diğer robotların davranışını etkilemiş ve onlarla haberleşmiştir. Bu çalışmalar da esinlerini doğadaki sürülerden almaktadır.

Birden fazla, görece daha basit ve birey olarak çoğu becerileri kısıtlı olan robottan oluşan robot sürülerinin, tek bir karmaşık ve çok daha kapasiteli/becerikli robota göre önemli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlardan biri sürü robot sisteminin tek robot sistemine göre daha esnek olması. (Esneklik sürü robot sistemlerinin önemli bir özelliğidir.) Öyle ki, sürü robot sistemi değişen görevlere ve şartlara göre kendini yeniden örgütleyebilir, fakat tek robotun bunu yapması mümkün değildir. Örneğin, yukarıda bahsettiğimiz bir nesnenin bir konumdan başka bir konuma robot sistemi tarafından taşınması/nakledilmesi görevini ele alalım. Tek karmaşık robot bu nesneyi taşıyabilir ya da taşıyamaz. Çok robotlu sistemse, nesnenin taşınması gereken kadar robotu ortaklaşa görevlendirerek (tek robotun taşıyabildiği nesnelere için sadece bir robotun görevlendirilmesi, diğer durumlarda ise duruma/ihtiyaca göre iki, üç, dört, beş, vs. robotun görevlendirilmesi) ihtiyaca göre robotun işe katılması ile görev daha başarılı biçimde tamamlanabilir. Bu şekilde sürü robot sistemi tek robotlu sistemin başaramayacağı görevleri de esnekliği sayesinde başarabilir.

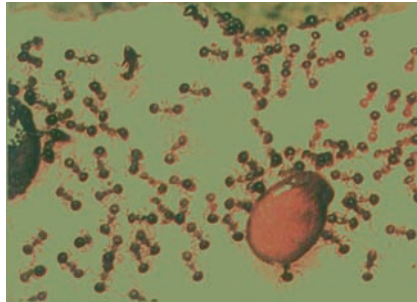
Çok robotlu sistemleri tek robotlu sistemlerden ayıran diğer önemli bir özellik de bu sistemlerin genelde daha dayanıklı olması ve hata yapma olasılığının daha az olması (bu özelliğe bilimsel literatürde gürbüzlük denir). Bunun bir nedeni tek bir karmaşık robottan oluşan sistemde bu robotun arızalanması görevin tamamlanmasını önlerken, çok robotlu sistemdeyse



Eşkenar üçken dizilimi oluşturmuş altı adet e-puck tipi deneysel mini robot (6 cm çapında). Robotlar üzerlerindeki minyatür kamera ve kızılötesi algılayıcılar ile çevreyi algılayabilir, hoparlör ve mikrofonlar ve bluetooth haberleşme üniteleri ile aralarında ve bilgisayar ile haberleşebilir. Bu şekli koruyarak robotlar ortaklaşa bir nesneyi taşıyabilir, ortamı "süpürerek" arayabilir/tarayabilir. (Şekil temsili bir şekildir ve herhangi bir uygulama esnasında çekilmemiştir.)

bir ya da daha fazla robotun arızalanması durumunda dahi geri kalan robotların çalışmaya devam etmeleri ve sistemin görevini tamamlayabilmesi. Diğer bir nedense, karmaşık robotu tasarlarlarken hata yapma ya da robotun çalışırken arızalanması olasılığının, sürü robotlarına göre daha düşük olması.

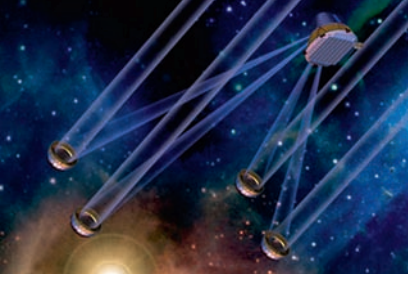
Sürü robot sistemlerin diğer önemli bir özelliği de üretim maliyetlerinin düşük olması. Bunun nedeni robot sürülerinde yer alan basit robotların üretiminin seri üretime çok daha uygun olması. Ayrıca herhangi bir arızalanması ya da hasar durumunda, sürüdeki robotlar düşük maliyetli olduklarından ve sürüde onlar gibi birçok başka robot olduğundan, tek bir karmaşık robota göre daha vazgeçilebilir olmaları. Burada tek bir karmaşık uçağı, örneğin bir F16 savaş uçağını, ele alalım. Bu tür bir uçağın maliyeti milyonlarca dolar (ki bu uçak otonom dahi değildir ve bir pilot tarafından uçurulmak zorunda).



Kendinden çok daha ağır nesnelere gerekirse yardımlaşarak taşıyan bir karınca sürüsü. Karınca sürülerinde her karınca son derece basit kurllara göre davranışlarını belirlediği düşünülmektedir. Örneğin başka herhangi bir karınca bulunmayan ve uzun süre bulunmamış olan bir ortama bırakılan karıncalar diğer karıncaların bırakmış olabileceği "feromon" olarak adlandırılan kimyasalları bulmak için bir süre düz gider sonra biraz yana döner ve tekrar bir süre düz gider ve bu şekilde devam eder. Toplu halde yaşarken ise birbirileri ile etkileşiminden ortaya duruma göre kendi-kendine örgütlenen bir sistem ve sürü zekası ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde çok daha düşük maliyete (örneğin 100.000 dolar civarında ya da daha az maliyete) özerk olarak hareket edebilen insansız uçaklar üretilebiliyor. Dolayısıyla da bu uçaklardan çok daha fazla sayıda üretilebilmektedir. Bu uçaklar için pilota gereksinim olmadığından, insan hayatı tehlikeye atılmadan çeşitli keşif ya da savaş görevleri bunların aracılığı ile tamamlanabiliyor. Ayrıca bu uçakların boyutu da küçük olduğundan bunları uçak-savarlarla düşürmek zor. Dahası, yakıtı azaldığı ya da uçak hasar gördüğü durumlarda bu insansız hava araçları son görev olarak (kamikaze biçimde) kendisini hedef üzerine yönlendirip hedefi vura-bilirler.

Robot sürülerinde birden fazla erkin bulunduğundan, birçok görevi paralel gerçekleştirme imkânı olur. Bu durum da bu sistemlerin daha hızlı, etkin ve verimli olmaları anlamına gelir. İnsanların girmesinin tehlikeli olduğu bir bölgenin (örneğin nükleer bir sızıntıdan ya da terörist bir saldırıdan sonra) özerk robotlar tarafından belirli bir amaçla (örneğin hala bölgede bulunan ve yardıma ihtiyacı olan kişilerin yerlerini belirlemek için) aranması, uzak bir gezegenin ya da deniz dibinin insansız uzay ya da denizaltı araçları ile keşfi görevlerini ele alalım. Hiç şüphesiz ki koordineli biçimde haberleşerek ve yardımlaşarak arama yapan bir robot sürüsü, tek bir karmaşık robot ile karşılaştırıldığında bu görevi çok daha hızlı ve etkin biçimde yapabilir. Dahası aranan nesnelere ya da kişilerin bölgenin çeşitli yerlerinde bulunma olasılıkları önceden biliniyorsa her alt bölge için robot dağılımı/yoğunluğu bu olasılık bilgisi çerçevesinde daha verimli biçimde önceden belirlenebilir. Ayrıca bu tür uygulamalar sadece insan hayatı için tehlikeli olan bölgeler ile sınırlı olmayıp mesela geniş bir hangarın zemi-



Uzayda Dünya benzeri gezegenleri araştırmak üzere kendi aralarında haberleşebilen uydular hazırlanıyor.

ninin paspaslanması gibi basit uygulamalar da mevcuttur ve bu uygulamalar da bir sürü robot sistemi ile çok daha verimli yapılabilir.

## Liderli ve Liderless Sürüler

Robot sürüleri üzerine çalışmaları çeşitli başlıklar altında gruplamak mümkün. Bir seçenek, sürülerin liderli ya da liderless olması durumuna göre gruplanması. Liderli sürüler, genelde daha az robottan oluşan, sürüdeki robotların kapasiteleri (işlemci gücü, algılama, haberleşme gibi) daha gelişmiş ve sürünün belirli görevleri/hedefleri olan uygulamalarda görülür. Bu sürülerde çoğu zaman hiyerarşik bir yapı/düzen vardır ve sürüdeki robotlar yerel algılama bilgiye sahip olmalarının yanı sıra daha genel ve bütünsel bilgiye de sahip olabilirler. Aksi halde sürünün liderinin arızalanması ya da zarar görmesi, sürünün görevini tamamlayamamasına yol açabilecektir. Bu tür sürülerde merkezi bir planlama ve robot denetim yöntemleri genel olarak tercih edilmese de, uygulanabilir. Bu tür sürüler daha çok askeri uygulamalarda karşımıza çıkar.

Liderless sürülerse robotların sayısının yüksek (yüzler ya da binler mertebesinde) olduğu durumlarda karşımıza çıkıyor. Bu çalışmalar ayrıca sürüdeki her bireyin kapasitesinin son derece kısıtlı olduğu basitlikçi çalışmalardır. Bu kısıtlı seçeneğin amacı, sadece doğadaki sürüleri taklit etmek değil. İleride, boyutları son derece küçük olan robotların geliştirilmesi amaçlanıyor. Örneğin, Avrupa Birliğinde boyutları 2mm x 2mm x 2mm (hacmi 8 mm<sup>3</sup>) olan robotların geliştirilmesi üzerine bir proje halen sürdürülüyor. Robotların boyutları bu şekilde küçüldükçe, üzerlerine yerleştirilebilecek kapasite ve bunları çalışır halde tutacak elektrik güç kay-

nağı son derece sınırlı olacaktır. Bu sınırlamalara karşın, bu tür robotlara doğadaki sürülerde olduğu gibi anlamlı görevler yüklenmesi için robotların kontrolü ve aralarında etkileşim yöntemlerinin geliştirilmesi için çalışmalar sürüyor. Bu tür robotların ve yöntemlerin geliştirilmesinin ileride çok farklı uygulama alanlarını (mesela minyatür bir robot sürüsü tarafından bir hastanın kalp damarlarını açma ameliyatı yapılması gibi) ortaya çıkması bekleniyor. Liderless ve özellikle kalabalık sürülerdeyse denetim yöntemleri tamamen dağınık olmak zorunda ve merkezi denetim yöntemlerini uygulamak mümkün olmuyor.

## Robot Sürüleri Çalışmalarının Üzerine Yoğunlaşığı Konular

Robot sürülerinin insanlığın hizmetine girebilmesi için üzerinde yoğun olarak çalışılan ve çözülmesi gereken birçok temel problem var. İlk sırada, merkezi olmayan, dağınık yardımlaşmalı ve/ya da yardımlaşmasız denetim ve koordinasyon yöntemlerinin geliştirilmesi sayılabilir. Bu bağlamda sürüden istenilen bütünsel davranışa göre bu davranışa karşılık gelen yerel denetim ve etkileşim kurallarının/yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu, oldukça zor bir problem; çünkü hangi yerel denetim/etkileşim kurallarının hangi bütünsel davranışa yol açtığı açık değil. Robot sürülerinin herhangi bir işi birlikte yapabilmeleri için (mesela bir nesneyi birlikte nakletme) çoğu zaman toplanmaları gerekmektedir. Diğer çalışılan bir konuya toplumsal beslenme olarak adlandırılan sürünün alanda bulunan "kötü" bölgelerden uzaklaşarak alandaki



Tek bir canlıymış gibi yön belirleyen ve birlikte hareket eden balık sürüsü. Balık sürüleri bazen çok büyük olmaktadır ve sürüdeki balıklar yüzbinleri bulmaktadır. Buna karşın tüm balıklar koordineli biçimde aynı yöne hareket edebilmekte ve muazzam bir görüntü oluşturmaktadır.

"iyi" bölgelere gitmesi ve oralarda kümenmesidir. Burada "kötü" bölgeler, doğadaki sürülerde canlılara zararlı olabilecek maddelerin bulunduğu bölgeleri, "iyi" bölgeler ise besinlerin bulunduğu bölgeleri temsil ederken, sürü robotlardaysa "kötü" bölgeler engellerin ya da düşmanların/tehlikelerin bulunduğu bölgeleri, "iyi" bölgeler ise (ulaşılması ya da vurulması gereken) hedeflerin bulunduğu bölgeleri temsil ederler.

Kuşların bazen özellikle göç ederken ters "V" harfi şeklinde dizilip uçtuğuna çoğumuz şahit olmuştur. Bu şekilde uçmak onlara önemli avantajlar sağlar. Öyle ki, her kuş önceki kuşun yarattığı hava boşluğunda uçmakta ve böylece hava sürtünmesini azalttığından daha az enerji kullanmakta ve yorulmadan daha uzun süre uçabilmektedir. Sürünün başında uçan kuş en çok yorulan kuştur fakat belirli aralıklarla kuşlar yer değiştirmekte ve öndeki yorulan kuş sürünün arkasına geçmektedir. Aynı ilkeyle uçaklar sürü halinde uçurulduğunda, arkadaki uçakların öndeki uçağın hava boşluğunda uçmasının da muazzam enerji tasarrufu sağlayacağı hesaplanıyor ve ileride özellikle kargo uçak filolarının bu şekilde uçurulması hedeflenmektedir. Buradaki bir geometrik şekli koruyarak hareket etmeleri (bu geometrik şekil ters "V" harfi olabilir ya da üçgen dörtgen gibi herhangi başka bir şekil olabilir) problemine bilimsel literatürde dizilim denetimi problemi denir. Bu tür davranış gereksinimi çeşitli uygulamalarda karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, kırılğan bir nesnenin bir robot sürüsü tarafından bir yerden bir yere ortaklaşa nakledilmesi bu uygulamalardan biri.

Dağınık uzlaşma problemi toplanma ve toplumsal beslenme problemlerinde olduğu gibi daha çok liderless sürülerde karşımıza çıkar. Sürü robotlar da birçok çalışma gibi esini doğadaki sürülerden alır. Doğada yüz binlerce balıktan oluşan balık sürüleri sanki tek bir vücutmuş gibi yönlerini uzlaşma içinde tayin edebilirler. Uzakdoğuda bulunan bazı ateş böcekleri bir ağaca konduklarında aynı anda (eşzamanlı) yanıp sönmeye başlıyorlar ve sanki ağaç yanıp sönyormüş gibi görüntü oluşturuyorlar, arılar yuvayı terk ettiklerinde yeni yuva konusunda dağınık biçimde karar verebiliyorlar ve bunlar muhteşem görüntüler oluşturuyor. Liderless sürü robotlarda da ortak yön tayin etme, belirli işleri eşzamanlı yapma ve sıradaki işe ya da hedefe karar verme gibi problemlerle-



Laboratuvar ortamında kurulmuş temsili bir bina içi karmaşık ortamda arma yapan 8 adet Khepera 3 tipi deneysel mini robottan (13 cm çapında) oluşan robot sürüsü. Robotlar üzerlerindeki kızılötesi ve sesötesi algılayıcılar ve eklenebilen kameralar ile çevreyi algılayabilir, çevrenin haritasını çıkarabilir ve kendini bağlı olarak konumlayabilir. Ayrıca üzerlerinde bulunan telsiz ethernet haberleşme üniteleri ile aralarında ve erişim alanında bulunan erişim noktaları ve bilgisayarlar ile haberleşebilir.

(Şekil temsili bir şekildir ve herhangi bir uygulama esnasında çekilmemiştir.)

rin dağınık olarak çözülmesi gerekiyor ve bunlar dağınık uzlaşma başlığı altında toplanabilir. Bu konu üzerine de matematiksel modellemeler ve yoğun çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir.

Robotlar arası (doğrudan ya da dolaylı) haberleşme, sürünün daha etkin performansı için son derece önemli. Doğrudan haberleşen gezer robotlar hareketli tasarsız ağ oluştururlar. Hareketli tasarsız ağlar üzerine son yıllarda yoğun çalışmalar da ele alınan problemler, robotların doğrudan birbirileriyle mesajlar aracılığı ile haberleşmesinin yanı sıra gerektiğinde baz istasyonlarına benzer görev yüklenmeleri ve birbirinin kapsama alanı dışında bulunan robotların mesajlarını da aralarında iletmelerine yönelik. Ayrıca daha etkin haberleşme için robotların uygun konumlandırılması da çalışılan problemler arasında.

Robot sürüleri dendiğinde sadece karda hareket edebilen robotlar anlaşılmalı, bu kavram altında insansız kara araçlarının (tekerlekli, paletli ya da bacaklı kara robotlarının) yanı sıra insansız hava, deniz ve denizaltı araç sürüleri, insansız uzay aracı sürüleri ya da uydu sürüleri de sayılabilir. Dahası, sürüler içinde deniz, hava, kara araçları gibi karma sürüler de olabilir. Sürüdeki robotlar aynı tipte araç olsa dahi robotların bazılarının üzerinde diğer robotlarda olmayan algılayıcı ya da eyleyici bulunabilir ve bu şekilde robotların algılama ya da eylem kapasiteleri farklı olabilir. Bu tür sistemlerde bilim insanlarının üzerine yoğun olarak çalıştığı problemlerden biri de görev dağılımı planlaması problemi. Görev dağılımı planlaması yapılırken bu dağılımın en iyi (optimal) ve mümkünse en ucuz olması istenir. Ay-

rıca, planlamanın robotlar tarafından gerçekleştirilmesi gereken görevin gereksinimlerine ve her robotun becerilerine göre yapılması gerekiyor. Başarması için gerekli teçhizatı olmayan robota, başaramayacağı önceden belli olan geçersiz görevler verilmemeli.

Gezer robotların üzerlerinde GPS olarak adlandırılan bütünsel konumlama sistemi algılayıcısı olmadığı durumlarda ya da bu algılayıcının güvenilir çalışmadığı iç-



Türk yıldızları (Türkiye hava kuvvetleri akrobasi timi) dizilim uçuşunda. Bu şekilde uçmayı pilotlar gerçekleştiriyor. Fakat gelecekte uçakların özerk biçimde de bu şekilde uçabilmeleri için çalışmalar yapılmaktadır.



Ters "V" harfi şeklinde uçan kuşlar. Bu şekilde uçan kuşların öndeki uçan kuşun hava boşluğunda uçtuğu ve bu sebepten dolayı daha az yorulduğu ve daha az enerji hacadığı bilinmektedir. Uçakların da benzer şekilde uçurulması muazzam yakıt tasarrufu yapılacağı ve hava trafiğinin rahatlatılacağı düşünülmektedir.

mekan ortamlarında robotların kendi mutlak ya da belirli işaretlere ya da diğer robotlara göre bağlı konumlarını bulmak daha zordur. Ayrıca bazen robotların bilinmeyen ortamların haritasını çıkartmaları gerekir. Robotun kendini konumlandırması için de ortamın haritasını çıkarması yararlıdır. Robotların çevrenin haritasını çıkarması ve aynı anda kendini bağlı olarak konumlandırması problemine eşzamanlı (birlikte) konumlama ve haritalama problemi denir. Bu problem sürü robotlarda dağınık fakat yardımlaşmalı biçimde yapılabilir.

Teknolojinin gelişmesi ve işlemci hız ve işlem güçlerinin artması, robotlara karar verme, öğrenme, planlama gibi bilişsel becerilerin de kazandırılmasını bir ölçüde mümkün kılıyor. Sürü robotlarda bu kavramlar dağınık ve yardımlaşmalı ya da yardımlaşmaz/rekabetçi karar verme, öğrenme, planlama biçiminde karşımıza çıkıyor. Bunlar için çeşitli yapay zekâ teknikleri, yapay sinir ağları, bulanık mantık ve oyun kuramı gibi yöntemler kullanılmakta. Şunu kolayca söyleyebiliriz - gelecekte robotlar şimdi olduklarından daha "akıllı" olacaklar.

## Robot Sürülerinin Muhtemel Uygulamaları

Yukarıdaki bölümlerde bahsedilen bazı örneklerden de anlaşılacağı gibi robot sürülerinin birçok muhtemel uygulaması vardır. Bu uygulamalar arasında

- ilaçlama ya da diğer meyve sebze bakımı gibi zirai uygulamalar,
  - arama/tarama/kurtarma görevleri (örneğin yangın, deprem gibi doğal afet sonrası ya da nükleer sızıntı ya da terörist saldırı sonrası görevler) ,
  - bina güvenliği ve temizliği sağlama, değerli nesne koruma görevleri,
  - nesne taşıma/nakletme görevleri,
  - mikro ameliyatlara ve diğer sağlık sektörü uygulamaları
  - askeri uygulamalar
  - deniz dibi, diğer gezegenler, uzay araştırmaları ve keşifleri
- sayılabilecek uygulamalardan bazılarıdır. Sürü robotlar için geliştirilen teknolojilerin bazıları otomotiv sektöründe de uygulanabilme potansiyeli çok yüksektir.

Veysel Gazi  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü