KENDİ KENDİNİ KONTROL EDEN YENİ NESİL ROBOTLAR

A New Breed of Robots That Drive Themselves[1]

Kumanda sistemlerindeki gelişmeler sayesinde araçlar, insan yardımına ihtiyaç duymadan görevlerini yerine getirebilmektedir.

Dawn Tilbury ve A. Galip Ulsoy [2]

İnsansız kara aracı (UGV) kavramı aslında oldukça eski bir fikre verilen yeni bir addır. Örneğin birçoğumuz radyo dalgalarıyla kumanda edilen oyuncak arabaları kullanmışızdır ya da karmaşıklığın diğer bir uç noktası olarak Mars'ın yüzeyinde dolaşan keşif araçları *Spirit* ve *Opportunity*'den aktarılan görüntüleri görmüşüzdür. Ancak nispeten yakın bir döneme kadar, karmaşık işleri gerçekleştirme yeteneğine sahip tam fonksiyonlu UGV'lerin kullanımı sadece meraklılarının garajları ya da üniversite araştırma laboratuvarlarıyla sınırlıydı.

Öte yandan bugün insansız kara araçları – birçok ortamda çalışabilme ve insanların yerine görev yapabilme yeteneğine sahip robot kara araçları – çok çeşitli ticari ve askeri amaçlar için kullanılmaktadır. UGV'ler, örneğin petrol kuyusu borularının yüzlerce metre derinliği gibi, insanların giremediği yerlere girmektedirler ve arama-kurtarma görevlilerinin Dünya Ticaret Merkezi'nin enkazını tarama çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmışlardır. 2009'daki başkanlık görevini devralma töreninde UGV'ler patlayıcı tespiti yapmak üzere otobüslerin altına sürülmüştür.

Çeşitli tiplerdeki insansız kara araçları, bir odayı süpürmek, ürün hasadı veya uzun mesafeler boyunca ağır yükleri taşımak gibi çok sayıdaki kirli, sıkıcı ve tehlikeli işi yapmak için kullanılmaktadır.

OmniTread Arama ve Kurtarma Robotu sıkışmış insanları bulmak amacıyla enkazın içine doğru sızacak şekilde tasarlanmıştır.

UGV'ler aynı zamanda daha büyük ve önemli rollerini son yıllarda Birleşik Devletler ordusunda oynamışlardır. 10 yıldan az bir zaman öncesine kadar Birleşik Devletler ordusu tarafından sadece birkaç yüz UVG konuşlandırılırken şimdi bu rakam 8.000'in üzerindedir. Örneğin, Irak ve Afganistan'da çeşitli UGV'ler potansiyel el yapımı patlayıcıları (IED) denetlemek ve etkisiz hale getirmek veya mağara ve binaları aramak amacıyla kullanılmaktadır. Kuşkusuz, bugün yüzlerce askerin hayatta kalmasının nedeni bir UGV'nin el yapımı bir patlatıcıyı bulmuş olması veya bir insan tarafından infilak ettirilmeden etkisiz hale getirmiş olmasıdır. Tüm bu örneklerde UGV'ler bir insanın yapması için kesinlikle elverişli olmayan, tehlikeli, hatta imkânsız olan işleri gerçekleştirmek için kullanılmışlardır.

Bu tip robotlar çok yakında günlük yaşantının ayrılmaz bir parçası konumuna geleceklerdir. Ancak, gerçekten devrim niteliğinde

---

[1] *Mechanical Engineering (The Magazine of ASME) dergisinin Şubat 2011 sayısında yer bu yazı Yeliz Demir tarafından dilimize çevrilmiştir. Yazının orijinaline http://memagazine.asme.org/Articles/2011/February/New_Breed_Robots_Drive.cfm bağlantısından ulaşılabilir.*

[2] *Dawn Tilbury, Ann Arbor, Michigan Üniversitesi'nde makina mühendisliği profesörüdür ve aynı zamanda Yer Robotiği Güvenilirlik Merkezi'nin müdürüdür. Bir ASME dostu olan Galip Ulsoy, C.D. Mote Jr. makina mühendisliği üstün üniversite profesörüdür ve Ann Arbor, Michigan Üniversitesi'nde William Clay Ford Üretim profesörüdür. Ulsoy aynı zamanda ASME'nin Dinamik Sistemler, Ölçüm ve Kontrol Dergisi'nin (Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control)* eski editörüdür.

olabilmeleri için UVG'lerin hareket etmek, bir takım sensörlere ve kavrayıcı kollara sahip olmak dışında sahip olması gereken bir yetenek daha vardır; insan kullanıcıya gereksinim duymadan yeni ortamlarda dolaşabilme yeteneği.

Bu gelişmenin temeli Michigan Üniversitesi'nin Yer Robotiği Güvenilirlik Merkezi'nde (GRRC) ve dünya çapında diğer araştırma laboratuvarlarında atılmıştır. Tam otomatik UGV'lerin laboratuvarlardan çıkıp endüstriyel etkinliğin merkezine gireceği günler yakındır.

İnsansız kara aracı, hobi alanından ve akademik alandan endüstriyel dünyaya girmiş olan ilk teknoloji değildir. UGV endüstrisi, yüz yıl önce otomotiv endüstrisinin içinde bulunduğu durumla ya da Microsoft'un kurucusu Bill Gates'in söylediği gibi yirmi-otuz yıl önceki kişisel bilgisayar endüstrisinin durumuyla benzerlikler taşımaktadır. Ancak, önemli sosyal gereksinimleri karşılamak için bu teknolojiye ihtiyaç duyulduğunda, UGV'leri üretenlerin amacı hobi ya da entelektüel gerekçelerin dışına kaymıştır.

Endüstriyel robot kollar; sprey boyama, kaynak yapma, üretim tesislerinde montaj yapma gibi görevleri yerine getirerek onyıllardır çevremizde varlıklarını sürdürmektedirler ve sayıları da gittikçe artmaktadır. Ancak, bugünlerde UVG'lerin türünde ve endüstride kullanılan robot kuzenlerinden çok daha farklı özelliklere sahip yeni nesil robotlar piyasaya çıkmaktadır.

Endüstriyel robotlar rutin işleri hassas ve güvenilir bir biçimde tekrar tekrar yapacak şekilde önceden programlanmışlardır. İyi bilinen ve yapılandırılmış bir ortamda çalışmaktadırlar ve programlanıp çalıştırıldıklarında insanlarla etkileşimleri ya çok azdır ya da hiç yoktur.

Öte yandan UGV'ler çok çeşitli işler yapmakta ve değişik çalışma ortamlarıyla karşılaşmaktadırlar. Bu ortamlar, halı zeminler ve bina merdivenlerinden, Irak'ın sıcak ve kumlu çöl koşullarına kadar uzanabilmektedir. Bu araçların insan kullanıcılarla veya insan ya da robot partnerleriyle etkileşimleri çok farklı ve karmaşık olabilmektedir.

Sonuç olarak, UGV endüstrisi, geliştirilen birçok yeni teknolojiyle birlikte oldukça genç bir endüstridir; çünkü insanların UGV'lerle iletişimi zordur ve UGV'ler ancak belirli ortamlarda kullanılabildikleri için bugünlerde güvenilirlik sorunları yaşamakta ve sık sık arıza yapmaktadır.

PackBot, patlayıcı saptama ve yok etme görevlerinde yardımcı olması amacıyla Irak ve Afganistan'da konuşlandırılmıştır.

Örneğin arabalar 100.000 millik bir ömre göre tasarlanırken, günümüzde UGV tasarım hedefi arızalar arası ortalama sürenin (MTBF) 100 saat olmasıdır; ancak, gerçek koşullarda bu süre çok daha kısa olmaktadır. Tapma, Güney Florida Üniversitesi'nden Jennifer Carlson ve Robin Murphy ile diğerlerinin yakın tarihlerde yapmış oldukları bir çalışmaya göre, arızalar arası ortalama süre tipik olarak 6 ila 20 saattir. (Buna benzer bildirimleri, Detroit yakınlarındaki Selfridge Ulusal Hava Savunma Üssü'ndeki Birleşik Devletler Ordusu Eklemli Robotlar Tamir ve Konumlandırma "Joint Robotics Repair and Fielding" tesisine yaptığımız bir ziyaret sırasında da duymuş bulunuyoruz.)

Sadece endüstrinin kendisi değil, aynı zamanda UGV'lerin güvenilir çalışması konusu da bazı açılardan kişisel bilgisayarların 1979'lerdeki veya otomobillerin 20. yüzyılın başlarındaki durumuyla benzerlik göstermektedir. Bu teknoloji olgunluk kazandıkça, UGV'lerin, günümüzün bilgisayarları ve otomobilleri kadar güvenilir olacağı umut edilmektedir.

İnsansız kara araçlarının kullanışlılığını kısıtlayan başka bir faktör de kullanım zorluğudur. Şu anda UGV'lerin çoğu uzaktan kumandalıdır ve bu da kapasitelerini ve başarıyla gerçekleştirebilecekleri görevleri büyük ölçüde sınırlandırmaktır. Etkili bir biçimde kullanılabilmeleri hünerli operatörlerin kararlı bir şekilde dikkat göstermelerini gerektirmektedir. Platformu hareket ettirmek ve aynı zamanda kavrayıcı kolları ve sensörleri bağımsız olarak kontrol edebilmek için eğitimli operatörler tarafından tipik olarak joystick tipinde arayüzler kullanılmaktadır. Bazı zor görevlerde tek bir UGV'yi yönetmek için birden çok operatör gerekebilmektedir. Çarpışma operasyonlarında dikkatini sadece küçük bir ekrana odaklamış robot operatörünü korumak için ekstra personele ihtiyaç duyulabilmektedir. Operatörler gerçekleştirmekte oldukları görevle ilgili tek geribildirimi UGV'lerin üzerindeki sınırlı sayıdaki sensörlerden veya görsel temas yoluyla elde edebilmektedirler.

Bu kısıtlamalar yapılabilecek işlerin karmaşıklığını sınırlandırmakta, aynı zamanda UGV'lerin kontrol edilebileceği mesafeyi daraltmaktadır.

Tam potansiyellerine erişebilmek için UGV'lerin giderek daha fazla otonom hale gelmesi gerekecektir. Bu süreç,

OmniTread kıvrılarak hareket etmektedir. Her iki yanındaki basamaklar, enkaz alanları ve boru hatları gibi engebeli yüzeyleri ve dar ortamları iyi kullanmasına olanak tanımaktadır. Aynı zamanda eklemleri sayesinde robot, küçük engellerin üzerine ve elverişli merdivenlere tırmanabilmektedir.

uzaktan kumandadan, denetimli sınırlı otonomiye ve daha sonrasında da tam otonomiye giden aşama aşama bir geçiş sürecidir. Bu gelişmeyi tetiklemek için DARPA (Gelişmiş Savunma Araştırma Projeleri Kurumu), *Grand Challenge ve Urban Challenge* yarışmalarına sponsor olmuştur. Otonom yer robotlarından oluşan takımlar, ABD ve Avustralya savunma bakanlıklarının ortak sponsorluğunda gerçekleştirilen MAGIC yarışmasında keşif ve denetleme yeteneklerini sergilemişlerdir.

ABD Hava Kuvvetleri başmühendisi Werner J.A. Dahm tarafından hazırlanan Mayıs 2010 tarihli bir rapor, otonominin önemini şu sözlerle vurgulamaktadır: "Otonominin gittikçe daha fazla oranda kullanılması – sadece otomatik kontrol ve mantığın uygulanabileceği sistem ve süreçlerin sayısının artırılmasında değil, aynı zamanda bu süreçlere yansıtılabilecek otonominin derecesi konusunda da bu araçların yeteneklerinde potansiyel olarak çok büyük bir artış sağlayabilmektedir. Bunun yanında, eğer bu potansiyel doğru kullanılırlarsa insan gücü verimini artırabilmekte ve maliyeti azaltabilmektedir."

Her gün gittikçe artan sayıda insansız kara aracı kullanılmasına rağmen araştırılmayı bekleyen çok sayıda soru bulunmaktadır. Önemli bir araştırma alanı durumsal farkındalıktır.

UGV'ler zamanla işlemleri otonom olarak yapmakla görevlendirildikçe (ister tek başlarına ister insanlardan ve robotlardan oluşan karma bir takımın üyesi olarak), sadece önceden programlandıkları eylemleri gerçekleştirmek ve uzaktan kumandaya bağlı kalmak yerine kritik taktik kararlar alabilecek şekilde etkinleştirilmelidirler. UGV'ler, yüksek hızda bile güvenli bir şekilde insanların yakınında çalışabilmelidirler.

Daha gelişmiş sensörler – ve sensör işlemleme – hem robot hem de robot operatörü için durumsal farkındalığı artırabilir. UGV'ler zorlu ve daha önce aşina olunmayan çevrelerde çalışmak durumunda olduklarından mobiliteyi artırmak önemlidir; görev süreleri şu anda batarya ömrüyle sınırlıdır. Son olarak, UGV'lerin hem tasarımları hem de üretimleri, gelecek nesiller için gereken güvenilirliğe ulaşacak şekilde geliştirilmelidir.

Birçok üniversite ve dünya çapındaki diğer araştırma kuruluşları UGV'lerle ilgili araştırma çalışmalarına katılmaktadır. Örneğin, Savunma Bakanlığı'na bağlı Tank Otomotiv Araştırma, Geliştirme ve Mühendislik Merkezi tarafından kısmen finanse edilen Michigan Üniversitesi Yer Robotiği Güvenilirlik Merkezi, yukarıda değinilen araştırma gereksinimlerini 'güvenilirlik çalışmaları' şemsiyesi altında toplamıştır ve bu gereksinimlerin karşılanmasına yönelik bir dizi araştırma projesi üzerinde çalışmaktadır. Bu projelerden bazıları aşağıda verilmektedir:

Yönerge Yoluyla Güvenilir Davranışın Elde Edilmesi

İnsansız robot sistemlerin davranışlarını dinamik olarak genişletecek teknikleri geliştirmek ve bu arada yeni ve modifiye edilen davranışların güvenilirliğini garanti altına almak önemli bir önceliktir. Bu tip teknikler UGV'lerin otonomisini artıracaktır.

Bu yaklaşım, interaktif yönerge üzerinde durmaktadır. Bu bağlamda bir insan kullanıcı robotu yeni görevler, taktikler ve beceriler konusunda yönlendirmekte ve performans ve deneme esnasında robotun davranışının yerinde olduğunu doğrulamaktadır. Robotun bir görevi yerine getirmesi esnasında insan, komutlar verdiği için,

yönerge gerçek dünyada konumlandırılır, böylelikle birçok belirsizlik ortadan kalkar.

Bu yaklaşım interaktiftir. İhtiyacı olduğunda robot yardım çağırabilmektedir ve tespit edilen hataları insan kullanıcı düzeltebilmektedir. Doğrulama ve açıklama yoluyla güven temin edilmekte ve bu güvenin devamlılığı sağlanmaktadır: Robot belirli bir durumda ne yaptığının açıklamasını yapabilmektedir.

John Laird ve merkezdeki çalışma arkadaşları bu araştırmayı, karar almak, planlamak ve karmaşık öğretileri uygulamaya koymak için geliştirilmiş bir açık kaynak altyapısı olan Soar bilişsel mimarisini kullanarak gerçekleştirmektedir.

Kara Robotlarının Gelişmiş Mobilitesi İçin Entegre Güç Sistemleri

Diğer mobil makinalarda olduğu gibi, insansız kara araçlarının güvenilir çalışması için enerji depolama kapasitesi ve güç tüketim oranları kritik faktörlerdir. Mevcut UGV'ler bir saatlik çalışma süresine sahiptirler; amacımız bunu 8 ila 10 saate kadar çıkarmaktır. Huei Peng ve merkezdeki çalışma arkadaşları, toplam güç seviyelerini birkaç yüz watt'tan birkaç kW'a çıkararak UGV'lere daha fazla enerji sağlama yollarını araştırmaktadır. (Enerji paketini bir sırt çantasının içine yerleştirmeyi hedeflemektedirler.)

Buna ek olarak, merkez, gerçekleştirdikleri işlemlerin güvenilirliğini artırmak amacıyla robotların tasarımı ve enerji sistemlerinin kontrolü için sistematik bir süreç geliştirmektedir.

İnsanlarla Dolu Alanların Otonom Olarak Keşfedilmesi ve Dökümünün Çıkartılması

Değişik ortamlarda güvenle çalışabilmeleri için UGV'lerin çevrelerini sezinleyebilecek ve yorumlayabilecek kapasitede olmaları gerekmektedir. Ed Olson ve merkezdeki çalışma arkadaşları, daha önceden bilinmeyen bir alanı otonom olarak keşfeden ve bu alanın özelliklerinin dökümünü çıkartan bir robot sistemi üzerinde çalışmaktadırlar. Döküm çıkarmak sözüyle kastedilen, robotun, diğer taktik olarak önemli bilgilerin not edildiği, metrik olarak doğru bir harita oluşturmasıdır.

Örneğin robot, belirli bir alan içerisindeki insanların yerini ve aktivitelerini bildirecektir. Bunun yanında dikkat çeken diğer öğelerin konumunu da rapor edebilecektir. Bu nesnelerin belirlenmesi sonunda keşif stratejisi ile birleştirilebilecektir: İzi sürülen insanlar takip edilebilmekte (örneğin, şüphelilerin yakalanmasına yardım etmek için) veya onlardan kaçınılabilmektedir (sistemin gizliliğini azami seviyeye çıkarmak için).

Hem videolu sensörler hem de LIDAR gibi mesafe ölçme sensörleri harita oluşturma esnasında başarıyla kullanılmışlardır. Çalışmamızda her iki sensörün en iyi özelliklerini bir araya getirerek, şekil tanıma ve üç boyutlu ortamı algılama becerilerini geliştirmeyi hedeflemekteyiz.

LIDAR'ın geometriyi algılamada iyi olduğu bilinmektedir, ancak görsel veri konusunda zayıftır; öte yandan kameralar zengin görsel veri sunmakta, ancak geometri konusunda zayıf kalmaktadır. Biz bu iki sensörü, koordinat dönüşümlerini kolaylaştırmak için birbirlerine sıkıca bağlayarak, beraber kullanmaktayız. İki sensörden alınan veriyi birleştirerek gelişmiş nesne bölütleme özelliği elde etmiş bulunuyoruz. Bu özellikler, yakın bir zaman önce 2010 MAGIC yarışmasını kazanan bir robot takımına eklenmiştir.

Sensör Kararsızlığını Kullanarak Hareket Eden Nesnelerden Kaçınma

İnsanlar ve diğer hayvanlar, konumlarını mutlak olarak tayin edemeseler bile, hareket eden engellerden kaçınma konusunda beceriklidirler. Bu özellik UGV'ler ve diğer mobil robotlar için hâlâ bir engeldir. Bu problemin çözümü, Galip Ulsoy ve merkezdeki çalışma arkadaşlarının yürütmekte oldukları bir projenin odak noktasıdır.

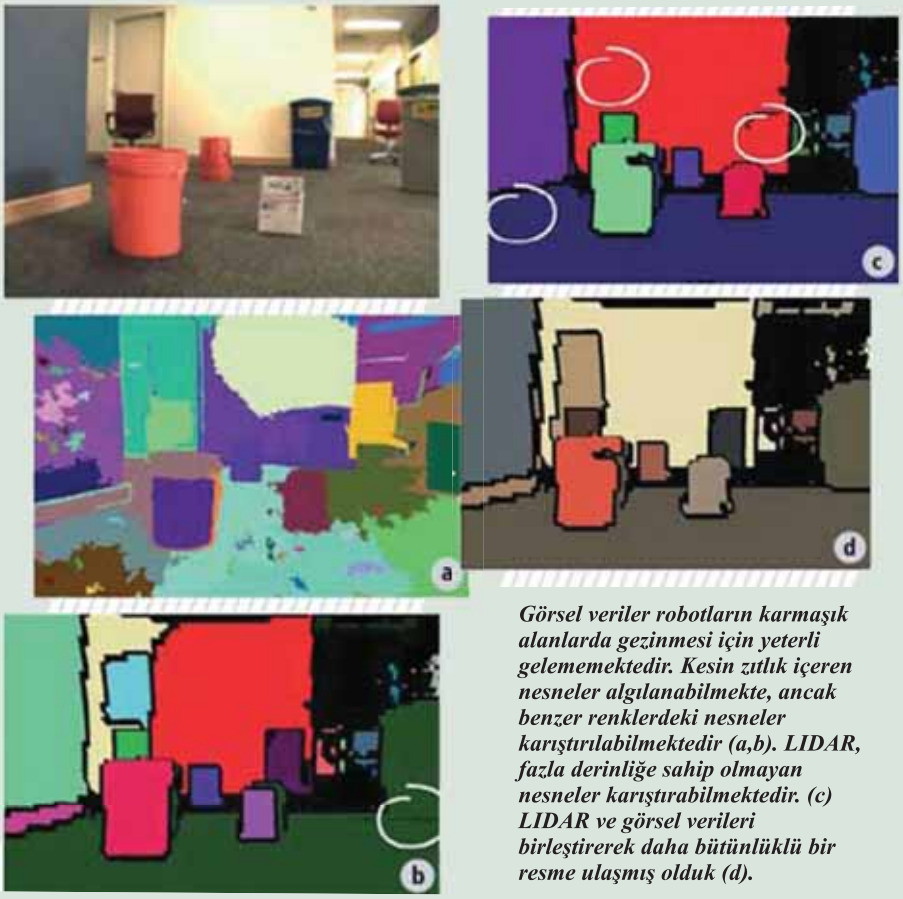
Yaklaşımımız iki temel varsayımdan yola çıkmaktadır: sensör verileri kararsızdır ve ortam tanınmamaktadır. Mobil robotun ortamından alınan sensör verileri, her biri robotun hızına karşılık gelen bağımsız hücrelere ayrıştırılmaktadır. Hareket eden her nesne için program, robotla çarpışmaya yol açacak robot hızları kümesi olan bir hız sınırını hesaplamaktadır. Bu veriler daha sonra hız kapsama uzayının bir haritasını oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu harita, hız sınırları (sensör gürültüsü dâhil) ile her bir hız hücresi için ağırlıklı ortalama olarak robotun nihai hedefinin konumunu birleştirmektedir.

Yayalar ve otomobiller gibi değişik tipteki engeller farklı ağırlıklara sahip olabilmektedirler. Robot, her seferinde, birleştirilmiş maliyeti en fazla olan erişilebilir hızı seçmektedir. Simülasyonlarda, hedefin pozitif (çekici) potansiyeli ve engellerin negatif (itici) potansiyeli için ağırlıkları elle ayarladık ve iyi sonuçlar aldık. Şu anda sonuçları deneysel olarak doğrulamak için sensörleri UGV'lere entegre ediyoruz.

UGV'ler İçin İç Mekân Konum İzleme (IPT)

Bir yapının keşfini yapmakta olan bir UGV'yi uzaktan kumanda eden bir operatörün, aracın tam olarak bulunduğu yeri takip etmesi zor olabilmektedir. Global Konumlandırma Sistemi sinyalleri genellikle binaların içerisinde bulunmamaktadır ve sensörlerden gelen sınırlı miktardaki bilgi de kafa karıştırıcı olabilmektedir. Tanıdık bir binada bile operatörlerin sıklıkla aklı karışabilmekte ve robotun nerede olduğunu anlamak için işaretler aramaktadır.

İç mekânlarda UGV'lerin güvenilirliğini artırmak için Johann Borenstein ve



Görsel veriler robotların karmaşık alanlarda gezinmesi için yeterli gelememektedir. Kesin zıtlık içeren nesneler algılanabilmekte, ancak benzer renklerdeki nesneler karıştırılabilmektedir (a,b). LIDAR, fazla derinliğe sahip olmayan nesneler karıştırabilmektedir. (c) LIDAR ve görsel verileri birleştirerek daha bütünlüklü bir resme ulaşmış olduk (d).

merkezdeki arkadaşları küçük ve uzaktan kumandalı robotlar için son derece doğru sonuçlar veren bir konum izleme sistemi geliştirmektedirler. İç Mekân Konum İzleme (IPT) sistemi, doğru konum ve yönelim bilgisi sunarak, robotun operatör ekranında doğru gerçek zamanlı rotalar oluşturmaktadır. Buna ek olarak, UGV kapasite kaybına uğrar veya onunla iletişim kesilirse, robotun en son bilinen konumu rota krokisinden hemen anlaşılabilmekte, böylelikle robotun hızlı bir şekilde bulunduğu yerden çıkartılması sağlanmaktadır.

IPT sistemi düşük maliyetli jiroskoplara ve parakete hesabında kullanılan eylemsizlik ölçü birimlerine dayanmaktadır. Geleneksel olarak bu tip sensörlerde karşılaşılan sapmalar, yapılan hesaplamaları kısa süre sonra gereksiz hale getirmektedir. Ancak, sapmaları ortadan kaldırmak için buluşsal bir yöntem geliştirmiş bulunuyoruz. Bu ve ilgili teknolojilerin uygulamaları arasında lider-takipçi senaryoları ile uzaktan kumandalı UGV'lerin operatörlerine navigasyon konusunda yardım etme yöntemleri sayılabilir. Bu uygulamalar Georgia, Fort Benning'deki Robotics Rodeo'da gösterime sunulmaktadır.

Yer Robotiği Güvenilirlik Merkezi, bir Packbot ve çok sayıda başka küçük robotları içeren bir robot deneme ortamı geliştirmişlerdir. Robotlara çeşitli sensörler arayüzle bağlıdır ve Üniversite Araştırma Kontrolörü (URC) adı verilen bir standart arayüz kullanılması, diğer araştırma projelerine, UGV'lerdeki donanım ve yazılım farklarından bağımsız olarak ortak bir arayüz yoluyla sonuçlarını test etme ve doğrulama olanağını sunmaktadır.

URC, araştırmacıların yeni bulgularını çeşitli platformlarda uygulamalarına olanak tanırken, aynı zamanda deneme ortamındaki ticari UGV platformlarının mülkiyet özelliklerini koruma altına almaktadır. Böylelikle teknoloji transferini ve araştırmanın ticarileşmesini desteklemektedir.

GRRC'de ve diğer önde gelen laboratuvarlarda, insansız kara araçlarını geliştirmek ve bu teknolojiyi ekonomide daha fazla rol alacak şekilde hazırlamak amacıyla yürütülen çok sayıda proje vardır. Bu projeler, ayarlanabilir otonomi, tasarım optimizasyonu yoluyla güvenilirliğin artırılması, kontrolün yeniden yapılandırması ve artırılmış gerçeklik kullanıcı arayüzleri gibi kavramları içermektedir.

UGV teknolojisinin gelişme seviyesi gerçekten 1970'lerdeki kişisel bilgisayarların gelişimine benziyorsa, o zaman bu robotların günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmesi için sadece bir neslin daha geçmesi gerekebilir. Bir gün, UGV'lerin savaş meydanlarında askerlere yardım ettiğini, hatta onların yerine geçtiğini, yangın ve diğer felaket yerlerinde ilk müdahaleyi yapanların onlar olduğunu görebiliriz. Mutfak gereçleri ve hatta evcil hayvanlar gibi evin tipik bir parçası haline gelebilirler. (Roomba'yı unutun. Çocukların oyuncaklarını raflarına geri koyan veya ortalığa saçılmış kirli eşyaları toplayıp çamaşır makinasına götüren bir robot düşünün.)

Laboratuvarlarımızda gördüğümüz robotların böyle faydalı makinalara dönüşebileceğini hayal etmek zordur. Ancak, ilk Altair 8800'lerini kitlerden oluşturan pek az kişi kişisel bilgisayarların bir gün ne konuma geleceğini tahmin edebilmiştir.

NOT: *Bu araştırma, kısmi olarak, TARDEC Yer Araçları Robotiği grubu aracılığıyla, DOD-DOA W56H2V-04-2-0001numaralı devlet sözleşmesiyle finanse edilen Michigan Üniversitesi Yer Robotiği Güvenilirlik Merkezi tarafından desteklenmektedir.*