

DÜNYA KARIŞIKTAN DA ÖTEDİR

The world is more than complicated¹

Geleceğin karmaşık sistemleri yeni koşullara uyum sağlamak durumunda kalacak ve bunların mühendisliği için yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulacaktır.

Ahmed K. Noor²

Teknoloji her daim sınırları zorlar. Bugün bize imkânsız görünen yarın için sıradan bir şeye dönüşür. Çocukluğunuzdaki ev telefonunu düşünün. Bugün bir yetişkinseniz, telefonunuzu cebinizden çıkarıp uçuş planını öğrenmek için hava alanını arayamadığınızı, kısa mesajlar veya içine video ileştirilmiş bir organizasyon mesajı gönderemediğinizi, Japonca bir e-postayı İngilizceye çeviremediğinizi hatırlayacaksınız.

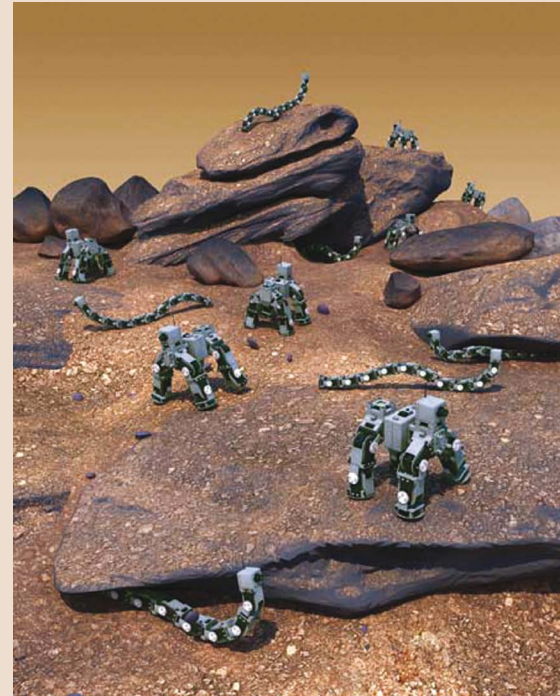
Yüzyıldan biraz daha fazla bir zamanda, uzay teknolojisi, planör denemelerinden güneş sisteminin gezegenleri ile ayın yörüngesinde dönen robot kâşiflere ve güneş enerjisiyle çalışan büyük ölçüde özerk gezginlerin kullanımıyla Mars yüzeyinin keşfine kadar ilerlemiştir.

Teknoloji, zorluğu git gide artan görevlere giriş ve bu yüzden de o günün sistemleri her zaman için önceki nesillerin sistemlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Yıllar içerisinde teknologlar, mühendislik süreçlerini yönetmek için araçlar ve imkânlar geliştirerek belirli bir hızı tutturmuşlardır.

Bunlar genelde sistem mühendis-

liğine dayalı, ayrılabilen bileşenleri ayrıştırıp aralarındaki amaçlanmış ilişkiyi karakterize eden ve sistemin amaçlandığı biçimde kurulup işlediğini doğrulayan yukarıdan aşağıya yaklaşımlar olmuştur.

Ancak sistem mühendisliğinin hâlihazırdaki metodlarının sınırlarına ulaştığına dair güçlü kanıtlar bulunmaktadır. 2007 yılında hizmete giren Airbus A380 uçağı, iki yıl kadar gecikmiş ve 2 milyar avrodan daha fazla bütçeye mal olmuştur. İlk Boeing 787 Dreamliner'ın teslimi üç yıl gecikmiş olmakla beraber, 10 milyar dolardan fazla bir maliyet taşınmasıyla 2011 yılının dördüncü çeyreğinde gelmesi beklenmektedir. NASA'nın James Webb Uzay Teleskobu'nun, 2006 yılında tahmin edilen 5 milyar ABD dolarına ek olarak 1,2 milyar dolar ile 1,8 milyar dolar arasında bir rakama mal olması beklenmektedir. Piyasaya sürümünün 2004 yılında belirlenen tarihten en az yedi yıl daha sonra olması beklenmektedir.



Mars Akını: Farklı konfigürasyonlarda kendilerini tekrardan yapılandırın modüler robotlar, arazideki değişimlere uyum sağlayabilirler.

Geleneksel mühendislik yaklaşımları A380, Dreamliner ve Webb teleskobu için başarısız görünmektedir; çünkü sistemlerin çok sayıda parça ve uzantılı yazılımı (milyonlarca gömülü kod satırları) bulunmaktadır ve tasarlanan sistemlerin her birinin sadece bir bileşeni dağıtılmış tasarım, satın alma,

üretim ekipleri ve çeşitli süreçleri içeren daha büyük bir sistemin bileşenidir. Geliştirme sürecinde bireysel takımlarca yapılan çok sayıdaki etkileşimler ve değişiklikler beklenmedik sonuçlara neden olabilmektedir.

Parça sayısı ve kod kaynak hatları toplamı, 2010 yılı yazında başlatılan İleri Savunma Araştırma Projesi Komisyonu'nun Uyarlanabilir Araç Yapımı programlar portföyü içindeki bir sistemin karmaşıklığı için olası ölçüt olarak kullanılmıştır. AVM portföyü uçaklar da dâhil olmak üzere, gelecekteki askeri araçların teslim süresini azaltmayı amaçlamaktadır.

Bugünün en ileri mühendislik teknolojileri, kaynaşmış bir bütün oluşturmak için bir araya gelmesi gereken bir dizi apayrı teknoloji ve disiplini içerir. Bunlar, elektronikleri, sensörleri, aktüatörleri, gömülü yazılım, mekanik bağlantılar ve motorların heterojen karışımları olabilir. Sistemler, bileşenlerin ağırları olarak tasarlanmıştır. Bileşenleri arasındaki etkileşim doğrusal değildir ve öngörülemeyen tepkilerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Buna ek olarak, pek çok dağıtılmış ekip bir ürün yaratmak için sanal girişimlerde yer almaktadır.

Araştırmacılar geleceğin sistemlerinin bugünkülere nazaran daha karmaşık olacağı kanısındadırlar; dolayısıyla şu an öngörülemeyenle baş edebilecek yapılara ihtiyaç duyulacaktır. Uzun lafın kısısı, gelecekteki karmaşık uyarlanabilir sistemler olacaklardır.

KARIŞIK KARMAŞIĞA KARŞI

Mühendislerin uzun yıllar boyunca üzerine çalıştığı karışık sistemler, iyi tanımlanmış ve iyi anlaşılır bir şekilde birbirleriyle etkileşim içinde olan parçalanamaz işlevsel bileşenlerden ya da alt sistemlerden oluşuyordu. Sistemler, kullanım ömürleri boyunca

genellikle amaçlanan şekilde çalışmıştı.

3 milyar üzerinde transistora sahip bir mikroişlemci düşünün. Bu aslında son derece hassas yerlerde bulunan her bir transistoru ile dikkatlice tasarlanmış olması gereken karışık bir sistemdir. Yapılacak görevler, işletim ortamı ve tüm beklenmedik durumlar tasarımı göz önünde bulundurulmuş ve mümkün olduğu kadar belirsiz bir şey bırakılmamıştır. Aynı durum daha az karışık mikroişlemciler için de geçerli olmuştur. 1971 yılında tanıtılan Intel 4004'ün 2.250 transistoru vardı. Ancak 2.250 ya da 3 milyar transistolarla ilgili olarak mikroişlemciler arasındaki başlıca fark ölçektir. İyi anlaşılabilir aynı tasarım ilkeleri her iki cihazda da uygulanmıştır.

Karmaşık bir sistem, diğer yandan belirsizlik içerir. Uyarlanabilir karmaşık sistemler, aynı anda etkileşimde olan, belirsiz ve karmaşık bir ortamda çalışması ve öngörülemeyen olasılıklara uyum sağlaması beklenen pek çok parça ya da bileşenden oluşur.

Bu durumun tipik bir örneği Mars'ın gelecekteki keşfi için düşünülmüş, bir sistem tasarımı olan otonom modüler robotlar sürüsü olacaktır. Kavramlar NASA, Avrupa Uzay Ajansı, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Almanya Karlsruhe'deki Proses Kontrol ve Robotik Enstitüsü ile İngiltere'de Southampton Üniversitesindeki araştırmacılar tarafından öne sürülmüştür.

Mars yüzeyinde metan arayan robot sürüsünün bilinmeyen bir ortamda faaliyet gösterme, işbirliği yapma ve öngörülemeyen durumlara uyum sağlama esnekliğe sahip olması gerekmektedir. Genelde göz önünde bulundurulduğu gibi, robotlar farklı görevler ve ortamların ihtiyaçlarını karşılamak için kendilerini yenileyen modüllerden oluşurlar. Merkezi kontrol ve önceden belirlenmiş bir

komut dosyası çalıştırmak pratik değildir. Sürünün, hata toleransına izin verecek ve bazı bireysel robotların başarısızlığını telafi edecek yüksek derecede yedeklemesi olması gerekmektedir.

Çevrelerini gözlemlemek ve komşu robotlar ile iletişim ve işbirliği içinde olmak için robotlara minyatür kameralar, sensörler, aktüatörler ve hesaplama elemanları gerekir. Robotlar elektronik ve işletebilir sensörleri tutmak için yakıt hücrelerine ihtiyaç duyarlar. Kendi yerel gözlemlerinden yola çıkarak, bireysel robotların özerk kararlar alma ve harekete geçmeleri gerekir. Sürünün ortaya çıkan davranışı, yeni yapılandırılmalar da dahil olmak üzere, robotların bireysel eylemlerinin sonucudur.

Karmaşık uyarlanabilir sistemlerin belirleyici özellikleri bileşenlerinin sürekli değişiyor olması, sistemlerin bileşenleri arasında birçok etkileşim olması ve yapılandırılmalarının tamamen önceden tespit edilemez olmasıdır.

Sürünün bireysel robotları dört ayaklı bir yapı şeklinde yerel bir keşif başlatabilir, ancak küçük bir mağara ile karşılaştıklarında, örneğin, modüllerini yeniden yapılandırıp yılanımsı bir yapıya bürünerek uzayda sürünebilirler.

Sürü, bileşenler arasında - kendi aralarında olduğu kadar onları oluşturan modüllerle de - farklı düzeylerde etkileşimler içerir ve kontrol oldukça dağınık biçimdedir. Çünkü kimi modül ve robotlar arıza yaptığında devamlılığı sağlamak için diğerleri kalacaktır.

Bazı etkileşimler yerel arazinin yapısı nedeniyle tahmin edilemez olarak nitelendirilir. Robotların yapılandırılmaları önceden programlanamaz, ancak değişen ihtiyaçlarını karşılamak için epeyce değiştirilmeleri gerekir.

¹ Mechanical Engineering (The Magazine of ASME) dergisinin Kasım 2011 sayısında yayımlanan bu yazı Seda Bilir tarafından dilimize çevrilmiştir. Yazının orijinaline http://memagazine.asme.org/Articles/2011/November/World_More_Than_Complicated.cfm bağlantısından ulaşılabilir.

² Ahmed K. Noor: William E. Lobeck Modelleme, Simülasyon ve Görselleştirme Mühendisliği Profesörü, Old Dominion Üniversitesi, Norfolk, Virjinya, ABD

Bunlar karınca kolonileri, kuş sürüleri, sosyal ağlar, internet ve borsa gibi tanıdık karmaşık uyarlanabilir sistemlerin arkasındaki ilkelerdir.

EMERGENT MÜHENDİSLİK (KARMAŞIKLIK MÜHENDİSLİĞİ)*

Geleneksel mühendislik yaklaşımlarının genel amacı öngörülebilir performansıyla sınırlı bir çevrede önceden tanımlanmış görevleri yürütmek üzere, mikro işlemci gibi istikrarlı, güvenilir ve denetlenebilir bir sistem geliştirmektir. Bu, gelişim sürecinde kullanılan fonksiyonel tanımlama, tasarım, test ve doğrulamaya daha sonrasında atılan üretim adımları yoluyla gerçekleştirilir.

Geleceğin karmaşık sistemleri multidisipliner bir çerçevede gerektirecektir - bu emergent mühendislik (karmaşıklık mühendisliği) olarak adlandırılan bir yaklaşımdır.

Bu karmaşıklık teorisi ve bilimin, iletişim, sensör teknolojisi, mekanik, sayısal zeka ve kontrol teorisi gibi disiplinlerle bir noktada buluşmasıdır. Emergent mühendisliğin hedefi belirsiz ortamlarda faaliyet gösteren, adaptasyon ve değişim yeteneğine sahip, sağlam karmaşık sistemler üretmek olmalıdır.

“Emergent” terimi mikroskobik değil, makroskobik ölçeklerde ortaya çıkan bir fenomeni açıklamaktadır. Klasik mekaniğe bir örnek olarak organların yüzeyleri birbirine sürttüğünde ortaya çıkan sürtünme gösterilebilir. Bu temel parçacıklar arasındaki kuvvetler konvansiyonel olsa da, açığa çıkan konvansiyonel olmayan bir güçtür.

Emergent mühendislik, bireysel bileşenleri ve etkileşimleri tasarlayarak

arzu edilen bir küresel yanıtı yol açabilecek, aşağıdan yukarıya bir sistem tasarlar. Her robot, komşu modülleri ile iletişim ve etkileşimde olan modüllerden oluşur ve sürü, grup olarak hareket edebilmek için iletişim ve etkileşimde olan robotlardan meydana gelir. Tasarım, bireysel robotların ve sürünün tamamının makroskobik ölçekte ortaya çıkan baskılara yanıt olarak değişim göstermesine olanak tanır. Kontrol dağıktır; ancak bir kısım başarısız olursa, diğerleri çalışmaya devam eder.

Sistemin diğer bir avantajı, tüm sürüyü yeniden tasarlamaya gerek kalmadan, ek görevler almak için birkaç robot daha getirilerek değiştirilebilir olmasıdır.

İnsan ölçekli ve diğer büyük robotlar etkileyici görevleri gerçekleştirmek için geliştirilmiş olsa da, tek bir büyük robottan ziyade işbirliği içindeki küçük robotlardan oluşan sürülerin çok daha fazlasını yapabilme kapasitesinde olduğu bir takım uygulamalar vardır. Örneğin, birlikte çalışan küçük otonom insansız hava araçları, geniş bir alanda sadece tek bir büyük UAV tarafınca yapılandırılan daha etkin bir gözetim yapabilir.

Ayrıca, gezegenlerin bölgesel ve yerel arama hızı ve arama aralığı, tek bir adet büyük uçan ya da yüzey robot yerine bağımsız uçan yüzey robot sürüleriyle geliştirilebilir. Geniş kapsama alanına ek olarak, sürünün hata toleransı gelişmiştir, geniş alana yayılmaya olanak tanır ve basit görevlerin paralellliğini sağlar.

GELECEĞE BAKIŞ

Doğal ve tasarlanmış sistemlerde-

ki karmaşıklığı anlamak için önemli çaba harcanmış olmasına rağmen, karmaşık uyarlanabilir sistemler üzerine yapılan araştırma, parça parça ve büyük ölçüde spesifik örnekler üzerinedir. Gelecekteki çeşitli uygulamalar birçok farklı ölçeği kapsayacak biçimde tespit edilmiştir. Bunlar, ince taneli sistemleri (örneğin, nano uyduların sürüleri), akıllı ve otonom araçları ve siber uzay gibi çok büyük ölçekli sistemlerin karmaşık uyarlanabilir sistemlerini içerir. Bu ilkeler günün birinde ulaşım ve enerjiden, eğitim, sağlık ve kamu güvenliğine uzanan hizmetlerin entegre ve optimize edildiği akıllı şehirler oluşturmak için uygulanabilir.

Geleceğin çeşitli türdeki karmaşık sistemlerinin gelişimini hızlandırmak adına, ilişkili sistematik yaklaşımlarla, genel anlamda bu sistemlerin toplu ortaya çıkma davranımının yüksek kaliteli simülasyonlarına yönelik geçerli yöntemler ve araçlarla beraber emergent mühendisliğin multidisipliner çerçevesini geliştirmeye derinden ihtiyaç vardır. Çerçevesi ve araçları, çeşitli ölçekler, farklı sistemler üzerinde test edilmelidir.

Emergent mühendislik, insanların kendilerine karşı duyarlı ve hassas olan, çevreye sorunsuz bir şekilde entegre olmuş akıllı araçlar ve iletişim cihazlarla kuşatıldığı yeni bir akıllı ortam içinde, yenilik, karmaşıklık ve siberetik kavramlarını ilişkilendiren bir 21. yüzyıl metaforudur. Çevre (gözün görebileceğinden daha küçük sensörler zihnin algılayabileceğinden daha büyük ağlara katılmıştır) sensör ağları, giyilebilir elektronik, ultra akıllı elektronik ajanlar, tele-görüntü (telepresence) robotları ve beyin

dalgalarına cevap verebilen bilgisayarlarla dolu olacaktır. Korumak ve hizmet etmek sadece insanları daha verimli hâle getirmek için değil, aynı zamanda hayatlarının keyif kısmını da desteklemek adına temel amaç olacaktır.

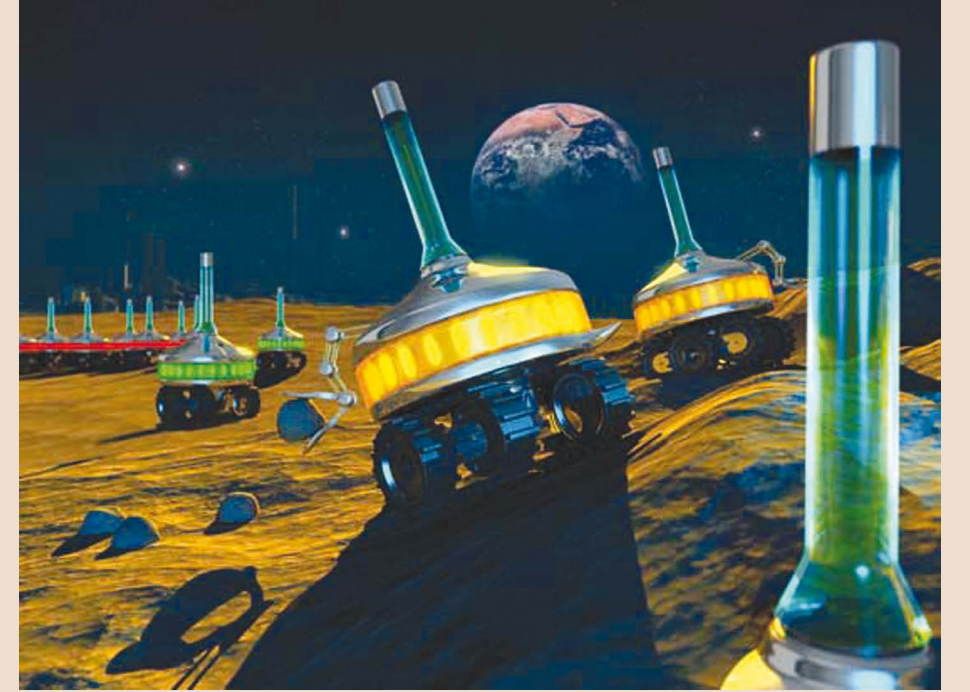
SÜRÜ ARAYIŞI

Gidilmesi insanlar için zor veya tehlikeli yerlere - okyanusun derinliklerinden dünya dışındaki gezegenlere- karmaşık uyarlanabilir sistemler, özellikle de robot sürüleri göndermenin avantajları, birtakım aktif araştırma programlarını ortaya çıkarmıştır. Bazı girişimler, robotik sürülere ve sürülerle insanlar arasındaki işbirliğinin özgün uygulamalarına yönlendirilmiştir.

Şu ana kadar sadece gerçek zamanlı olarak birbirleriyle iletişim kurma yeteneğine sahip sınırlı sayıda robotların prototipleri geliştirilmiştir. Binlerce robottan oluşan robot sürüsü kavramının tam potansiyeli gerçekleştirilmek üzeredir.

San Diego'daki Kaliforniya Üniversitesi Scripps Oşinografi Enstitüsü, Ulusal Bilim Vakfı fonuyla lokalize akımlar, sıcaklık, tuzluluk, basınç ve biyolojik süreçler hakkında bilgi toplamak için minyatür ve özerk sualtı kaşiflerinden oluşan bir filo inşa etmektedir.

Başlangıçta, 1,5 litrelik 20 robottan oluşan küçük bir filo kullanılacaktır. Her robot bir futbol topu büyüklüğündedir ve kaldırma kuvveti kontrolü için bütün bir elektronik sete sahiptir. Robotun ayrıca, sıcaklık ve derinlik sensörleri, denizaltı seslerini kaydetmek için hidrafonu, pahalı olmayan bir atalet navigasyon sensörü ve kaldırma kuvvetinin kontrol ve ayarlaması için kullanılan doğrusal aktüatörün şaftının yer değişimini ölçmek için kullanılan bir fiber optik



Yayıma ve Keşfetme: Birçok küçük robot, bir büyük robottan daha fazla bir alanı kaplamaktadır. Bazıları başarısız olursa, görev devamı sağlanmaktadır.

kodlayıcısı vardır. Bir GPS ünitesi ve uydu haberleşme modülü, robot yüzeydeyken konumu hakkında iletişim kurmak için kullanılır.

Lozan'da İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü araştırmacıları, kablosuz sinyal yaymak ve felaket bölgelerindeki kurtarma ekipleri arasında iletişimi sağlamak için, her biri kanadında modül ile donatılmış küçük ve hafif uçan robotlar sürüsü geliştirmiştir. Her robot kurtarma ekiplerinin yerini tayin edip baz istasyonu yoluyla iletişim ağı kurabilmektedir.

Brüksel Özgür Üniversitesinden (Free University of Brussels) Avrupa Komisyonu tarafından finanse edilen bir araştırma ekibi, Swarmanoid projesi olarak adlandırılan insansı robot sürüleri geliştirme çalışmalarını sürdürmektedir. Bir grup 3-boyutlu uzayda hareket yeteneğine sahip heterojen, dinamik olarak bağlı küçük otonom robotlardan oluşan sürü, farklı grup robotlar tarafından yapılacak

bir görevi alt görevler olarak düzenler ve dağıtır.

Bu, her robot grubunun tırmanma, toprak taşıma gibi belirli faaliyetleri konusunda uzmanlaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Swarmanoid takımının geliştirdiği üç gruba ayrılan 60 tane robot vardır: Çevreyi algılama ve analiz etmek için “göz robotlar,” engeli arazide hareket ve diğer nesne ya da robotların taşınması için “ayak robotlar,” tırmanma ve nesnelere kavrama için “el robotlar.”

Pennsylvania Üniversitesi, California Teknoloji Enstitüsü ve NASA'nın Jet Propulsion Laboratuvarı ile işbirliğiyle Georgia Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen Micro Özerk Sistemleri ve Teknolojileri (MAST) projesi, girilmesi insanlar için çok tehlikeli alanlardan bilgi toplayabilecek sürüleri oluşturmak için görüntü-temelli teknolojileri ve navigasyon teknolojilerini kullanır. Sürü, hızlıca incelemesini yapar ve bütün bir yapının ayrıntılı kat plan haritasını hızlı

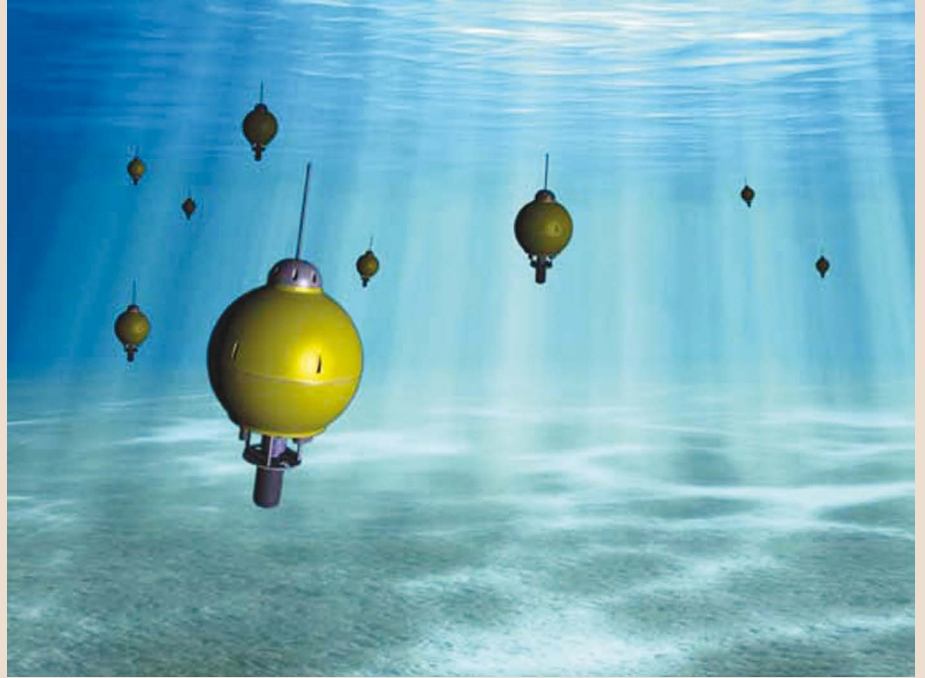
* Editör Notu: “Emergence,” sistem kuramında kullanılan bir kavramdır ve bir sistemin ya da bütünün özelliklerinin parçalarına indirgenemeyeceğini anlatır. Karmaşık sistem ve biçimler, farklı parçaların bir araya gelmesi ve etkileşimiyle oluşurlar; ancak bu etkileşim sonucunda oluşan sistemler bu parçalara indirgenemez. Ayrıca kendiliğinden ve evrimsel olarak ilerleyerek ortaya çıkan bu sistemler, hem çevreyle hem birbirleriyle etkileşim içindedirler. (Weinstock M. 2004. Morphogenesis and the Mathematics of Emergence)

bir şekilde çıkarır ve bunu yakındaki otomatik cevaplayıcılara ışınlar. Bir sonraki adım, belirli binaları ve potansiyel giriş noktalarını bulabilen hava robotlarını ekibe eklemek olacaktır. Bu proje Amerikan Ordusu Araştırma Laboratuvarı tarafından desteklenmektedir.

Zürih'teki İsviçre Teknoloji Enstitüsündeki (Swiss Institute of Technology) araştırmacılar, bireysel robotların birbirlerine kenetlenip sürü gibi uçtuğu bir çoklu-pervane sistemi olan dağıtılmış uçuş dizisi kavramını geliştirmiştir. Robotlar uçuş için gerekli itmeyi belirlemek için kendi aralarında bilgi alışverişi yapıp, bunu sensör ölçümleriyle birleştirirler. Sistem, bireysel robotlar tarafından üstesinden gelinecek olandan daha büyük yükleri taşımak için faydalı olabilir.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsünün (Massachusetts Institute of Technology) Flyfire Projesi 3-D ekranındaki akıllı pikseller gibi hareket edecek, havada uçtuklarında gömülü renk kontrollü ışık yayan diyotlar ile otomatik minyatür helikopterlerden oluşan bir sürü oluşturmak niyetindedir. Pikseller renk değiştirebilir ve tam kontrollü 3-D dinamik hareketi, herhangi bir açıdan üç boyutlu bir deneyim oluşturabilir.

Sürü kendini bir şekilden başka şekle dönüştürebilir ya da iki boyutlu bir fotoğrafik görüntüyü mafsallı bir şekle sokabilir. Sürünün her bir bireysel mikro-helikopteri 13 gram kütleye, 23 cm kanat genişliğine sahiptir ve itme ve kaldırma hareketleri için gerekli olan iki adet motorla donatılmıştır. Şu ana kadar sadece birkaç adet mikro-helikopter görevlendirilmiştir, ancak planlanmakta olan bunların önemli ölçüde sayısını artırmaktır. Potansiyel yeni uygulamalar gelişmiş kamu görüntülerini ve tele-görüntü dinamik formlarını içerir.



Suların Analizi: Güncel bir araştırma projesi, sualtı ortamları izleyebilmek için bir robot filosu faaliyete geçirme isteğindedir.

ABD Donanması, muhtemelen diğer robotlar gibi karmaşık nesnelere üretme kapasitesine sahip mikro robot tekniği sürüsü geliştirmek için bir program başlatmıştır. Mikro-robot montajın, nano ve mikro-ölçekli yapı taşlarını manipüle etme, seçme yerleştirme, malzeme kaldırma, bileşenleri bir araya getirme gibi temel işlemleri yapmak yeteneğine sahip olması beklenmektedir.

Daha Fazla Bilgi İçin

Bu makalede bahsedilen konuyla ilgilenen ve takip etmek isteyen okuyucular www.aee.odu.edu/emergenteng/bağlantısı yoluyla daha fazla bilgi edinebilirler.

“Mechanical Engineering” dergisinin öne çıkan odak noktaları karmaşık uyarlanabilir sistemler üzerine malzeme, siber-fiziksel sistemler, emergent (karmaşıklık) mühendisliğin yanı sıra karmaşık uyarlanabilir sistem sınıfları (sistemlerin sistemleri), sürü ve modüler robotlar, akıllı enerji ağları, acil

durum müdahale sistemleri ve akıllı şehirleri içermektedir. Ayrıca diğer çevrimiçi hizmetlere ve Old Dominion Üniversitesindeki İleri Mühendislik Ortamları Merkezi'nin (Center for Advanced Engineering Environments) makalelerine bağlantılar vardır.

2011 yılında yayımlanan konuyla ilgili iki “Mechanical Engineering” makalesi daha bulunmaktadır:

- Pratik, modüler ve yeniden konfigüre edilebilir robotun gelişimi, Eylül 2011 sayısında yayımlanan “Akıllı ve Modüler” adlı makalenin konusu olmuştur.
- UAV'lar işbirliği ile Berkeley'deki California Üniversitesinde yürütülen araştırma, Nisan 2011 sayısında yayımlanan “Havada Uçan, Özerk ve İşbirlikçi” adlı makalenin konusu olmuştur. ■

Not: Yazının Editörlüğü Mahir Ulaş Akcan tarafından yapılmıştır.