

ROBOTİK SİSTEMLER VE MADENCİLİKTE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

M. Kemal ÖZFİRAT*

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Böl. 35160 Buca-İZMİR

Özet

Gelişen teknoloji ile birlikte maden sektöründe çalışan firmalar ve maden makinaları üreticileri gelişmiş mekanizasyon sağlamak, verimliliği, üretimi ve işyeri güvenliğini arttırmak için madencilik çalışmalarında robotik sistemleri kullanmaktadırlar. Yeraltı madenciliği ve açık işletme madenciliğinde nakliyat işlemlerinde, yeraltı madenlerinde riskli bölgelerde, cevher arama işlemlerinde ve cevher hazırlama tesislerinde robotik sistemler kullanılmaktadır. Çalışmada, robotik sistemlerin bileşenleri, robotik sistemlerin oluşturulması ve madencilikte robotik sistemlerin uygulamaları araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda madencilikte robotik sistemleri kullanmanın olumlu yanları vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Robotik sistemler, madencilik, yeraltı madeni, mekanizasyon

INVESTIGATION OF ROBOTIC SYSTEMS AND USING IN MINING

Abstract

With developing technology, mining firms and mining machines manufacturers provide advanced mechanization using robotic systems in order to increase efficiency, production and work safety. Robotic systems are used for especially underground mining and open pit mining haulage operations, risky underground mines, ore exploration operations, ore processing plants. In this study, robotic systems components, installation of robotic systems and applications of robotic systems are investigated. In the result of the study, advantages of using robotic systems in mining are emphasized.

Key Words: Robotic systems, mining, underground mine, mechanization

* E-posta: kemal.ozfirat@deu.edu.tr

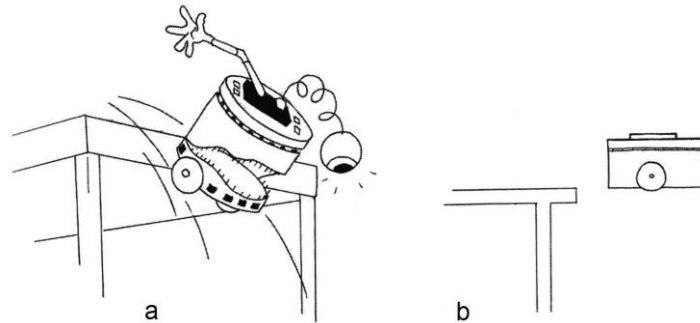
1. Robotik Sistemlere Giriş

Yapay zeka, yüksek seviyede insan gücü gerektiren aktivitelerin bilgisayarlar yardımıyla yapılmasını konu alan bilgisayar biliminin bir koludur. Bu aktiviteler, görme, duyma, planlama ve çalıştırmayı içerir [1]. Yapay zeka sistemlerinde sibernetik, sezgisel problem çözümü, mantıksal programlama, uzman sistemler, görüntü analizi, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, bulanık mantık ve robotik sistemler yer alır. Robotik sistemler son yıllarda endüstride geniş kullanım alanı bulan yapay zeka yöntemlerinden bir tanesidir. Robotik sistemlerin uygulama bulduğu başlıca alanlar; inşaat, madencilik ve ziraat, nakliyat işleri, tehlike içeren ortamlarda yapılması gereken çalışmalar, ar-ge çalışmaları, sağlık sektörü, kişisel hizmetler sektörleridir.

Robot kelimesi ilk defa 1921 yılında Çek yazar Karel Çapek tarafından Rossum'un evrensel robotları adlı eserinde bir oyunun anlatımında kullanılmıştır. Robot kelimesinin Çek dilinde anlamı ağır, sıkıcı iştir. Günümüzde ise robot, maddeleri, parçaları, alet veya özel düzenleri programlanabilir şekilde hareket ettirmek üzere tasarlanmış çok fonksiyonlu bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Robotik kelimesi ise ünlü bilimkurgu yazarı Isaac Asimov'a aittir [2].

Robotbilim, özellikle sanayide, iş otomasyonu etkinliklerini (paketleme, tamir, yönetim) kapsamaktadır. Varolan robotların büyük bir bölümü örneğin mermer fabrikalarında cila, dolgu hattı makinaları, seramik, çimento fabrikalarında paketleme makinaları gereken işleri sıra ile durmadan tekrar ederler. Belli bir zeka sistemine sahip değillerdir. Genelde robot kollar olarak isimlendirilirler. Yeni nesil robotlar giderek çevrelerini algılamaya ve hareketlerini planlamaya yönelik zeka yeteneği ile donatılmışlardır. Tüm robotlar yapmakla yükümlü oldukları işlerini algoritma ile yönlendirirler. Her ne kadar değişen şartlara göre yeniden plan yapma yetenekleri olsa da robotlar bu noktada yetersiz kalabilirler. Örneğin madencilikte yapılan üretim ile birlikte değişen yollar sebebi ile robotların tekrar planlamasını gerektiren yeni durumlar oluşacaktır.

Robotik sistemlerin bilgisayarda uygulanan simülasyon sistemlere göre olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Robotik sistemlerin kurulması yavaş ve zordur. İlk oluşturmada aksaklıklara, bozulmalara, yanlışlara çok açıktır. Robotik sistemlerin deneycinin olmaması durumunda çalışması imkansızdır. Simülasyon sistemler ise hızlı yapılabilen bilgisayarda farklı bir kullanıcı tarafından da çalıştırılabilen sistemlerdir. Robotik sistemler kurulması pahalı sistemlerdir. Robotik sistemlerde deney yapmak çok zaman alır fakat deney sürecini izlemek ve yorumlamak simülasyon sistemlere göre daha kolaydır. Genelde simülasyon sistemlere göre olumsuz gözüksede Şekil 1'de gösterildiği gibi simülasyon sistemlere göre çok gerçekçi sistemlerdir. Şekil 1'de robot ile yapılan denemede (a) gerçekimi etkisi ile deney robotu masadan aşağıya düşmektedir fakat bilgisayarda yapılan simülasyon sistemlerinde (b) deney cismi havada kalmaktadır. Robotik sistemlerin simülasyon sistemlerine oranla önemini Şekil 1 özetlemektedir [3].



Şekil 1. Robotik sistem (a) ile simülasyon modelin (b) karşılaştırılması [3]

Çizelge 1. Robot ve robotik sistemlerin gelişim süreci [4]

Yıl	Gelişme	Bulan kişi/Firma/Kullanıldığı yer
1921	Robot kelimesi bulundu.	Karel Capek
1947	Zeki makinalar hakkındaki makale yayınlandı.	Turing, M.
1948	Turtle (kontrol sistemi programlanamayan hareketli robot) geliştirildi.	Grey Walter (Hopkins üniversitesinde)
1950	Robotik kelimesi bulundu.	Asimov, I.
1960	Shakey (genel amaçlı robot, Görme organına ve yapay zekaya sahip ilk robot)	Stanford Araştırma Enstitüsü

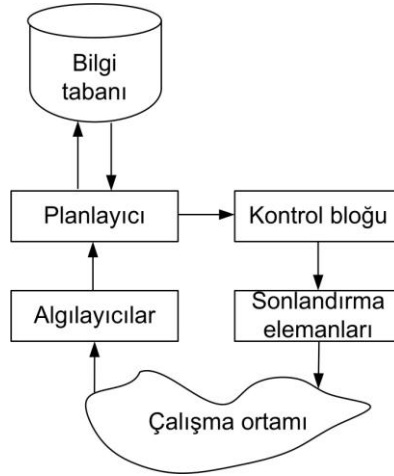
1961	Unimate isimli İlk ticari robot yapıldı.	Joseph Engelberger ve George Devol
1961	Göz-El robot kolu geliştirildi.	Ernst H.A.
1972	FREDDY (Hareketli robot) geliştirildi.	Michie, D.
1972	Joseph Engelberger ve George Devol'un sağladığı robotun Kawasaki tarafından geliştirilmesi ve ilk montaj hattı robotunun yapıldı.	Nissan firması
1976	Mars'a gidecek olan uzay araçlarına robot kollar yerleştirildi. PUMA (programlanabilir genel montaj makinası) başlangıçta	NASA
1978	General Motors tarafından geliştirilmiştir, günümüzde dünya çapında bir milyon kadar olduğu tahmin edilmektedir. Bunların yarısından fazlası Japonya'da oluşturulmuştur.	General Motors firması
1979	PSPACE robot hareket planlaması	Reif, J.
1983	Şirketi, 6 bacaklı, yürüyen robotu piyasaya sürdü.	Odetics firması
1983	Robotik sistemlerde boşluk yapısı oluşturuldu.	Lozano-Perez, T.
1984	Wabot-2 adlı nota okuyup, elektronik org çalabilen robot yapıldı.	Waseda Üniversitesi
1986	Kalman süzücüsü anlık konumlama ve haritalama probleminde kullanıldı.	Smith, R.C.ve Cheeseman, P.
1986	İnsansı bir robot geliştirmek amacı ile gizli bir proje başlattı.	Honda Motor firması
1986	Potansiyel alan kontrolü kullanıldı.	Khatib, O.
1992	İşaretleyici tabanlı navigasyon kullanıldı.	Lazanas, A. ve Latombe, J.C.
1993	bir insan gibi yetiştirilen ve eğitilen robot Cob'u yapmaya başladı.	Brooks R. A.
1994	Dante II, geliştirilen yürüyen robot Alaska'da aktif bir volkana keşif gezisi yapar ve volkanik gaz örnekleri topladı.	Carnegie Mellon Üniversitesi
1996	P-2 (prototype 2), yürüyen insansı robot dünyaya tanıtılır.	Honda
1997	İlk yıllık robotlar arası futbol turnuvası Robocup düzenlendi.	Japonya
1997	Pathfinder uzay aracı Mars'a indi ve Sojourner robotu Mars yüzeyinde keşif gezisi yaptı.	NASA
1999	Markov konumlamasını kullandı.	Burgard, W., Cremers, A.B., Fox, D., Hahnel, D., Lakemeyer, G., Schulz, D., Steiner, W., Thrun, S.
1999	Monte Carlo konumlamasını kullandı.	Fox D., Burgard, W., Dellaert, F., Thrun, S.
2000	Üç insansı robot (Johny Walker, Mk-2, Pino) ilk defa yapıldı.	RoboCup 2000
2001	Rao-Blackwellized kısmi süzücüsünü kullandı.	Aaamurphy ve Russell
2002	Robotik haritalamayı buldu.	Thrun, S.

Robotlar, kendi kendini uyarlayamayan birinci kuşak robotlar, çevresini algılamaya yönelik en az bir alıcısı bulunan ikinci kuşak robotlar ve kendi kendini uyarlama imkanı sağlayan bir yapay zeka ile donatılmış üçüncü kuşak robotlar olarak üçe ayrılabilir. Üçüncü kuşak robotlar serbest olarak hareket edebilmektedir [2]. Robotların yapılarının hemen hemen hepsinde yaklaşım yapan kısımlar ve algılayıcılar vardır. Robotların çalışmasında zorunlu donanımlar olan yaklaşım üniteleri her ara noktada istenen sonuç ile elde edilmiş sonuç arasındaki farkın hesaba katılmasını sağlarlar. Bir madende robotbilim ile çalıştırılan bir aracın gönderilmek istendiği koordinat ile gittiği koordinat arasındaki farkın minimum olmasına dayanan sistem ile aracın istenen koordinata gitmesinin sağlanması örnek verilebilir. Algılayıcılar ise fiziksel bir büyüklüğü, bilginin işleneceği bir elektriksel büyüklüğe dönüştürür. Algılayıcılar yardımı ile robotlar, çalıştıkları ortamlardaki değişimlere uygun plan oluşturarak nesne hareketi ile ilgili yorum yapabilmektedir.

Robotik sistemlerin insanla karşılaştırıldığında üstün tarafları vardır. Bunlar, üretim artışı, üretim maliyetinin düşmesi, kalite artışı, tehlikeli ortamlarda çalışabilme (yeraltı madenciliğinde riskli çalışma bölgelerinde), yönetim-denetim kolaylığı, iş esnekliği, uzun ömür ve daha dayanıklılık ile uyumluluktur.

Çalışmanın amacı robotik sistemlerin hangi bileşenlerden oluştuğunu araştırmak ve bir robotun tasarımında ve kullanılmasında hangi aşamaların gerçekleştirildiğini anlatmaktır. Daha sonra madencilikte uygulanmış robotik sistemlere örnekleme yapılarak madencilikte robotik sistemlerin nasıl kullanıldığının anlaşılması sağlanmaya

çalışılmıştır. Robotik sistemlerin hızla ilerleyen teknoloji ile kullanılmasının kaçınılmaz olduğu günümüzde üretim ve iş güvenliği açısından olumlu özellikler taşıdığı vurgulanmıştır.



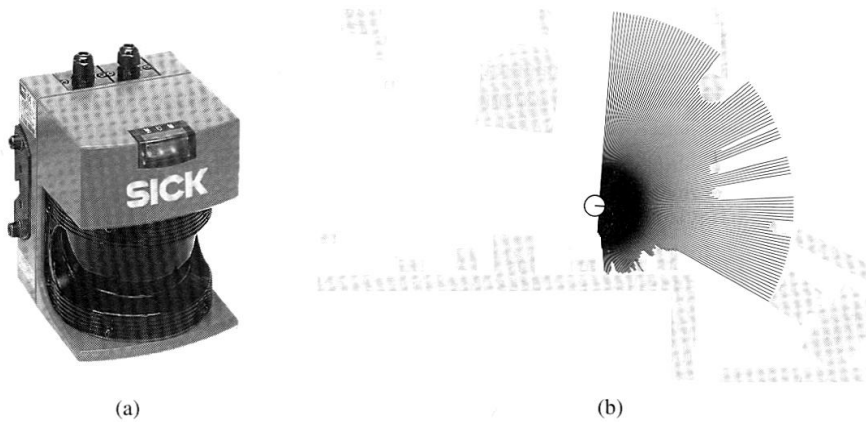
Şekil 2. Robotik sistemlerin genel yapısı [2]

2. Robotik Sistemlerin Bileşenleri

Robotik sistemler algılayıcılar, yönlendiriciler, konumlama problemleri, belirli-belirsiz hareketlerin planlanması, hareket ve tüm bunların yapılması için yazılmış olan algoritmalar ile yapay işaretleyicilerden oluşmaktadır. Robotun çevreyi tanıması esnasında bir takım hesaplara dayanan olasılık ve gerçek temelli algoritmalar mevcuttur.

2.1. Algılayıcılar

Algılayıcılar, robotlar ve çalıştıkları çevre arasında bağlantıyı sağlayan ekipmanlardır. Pasif algılayıcılar örneğin kameralar çevrenin gözlemini yaparlar. Çevredeki diğer kaynaklardan yayılan sinyalleri yakalarlar. Aktif algılayıcılar ise örneğin sonarlar (Sound Navigation And Ranging: ses dalgalarını kullanarak cismin boyut, uzaklık ve diğer verilerini bulmaya yarayan alet) çevreye enerji yayarlar. Sonardan çıkan enerji tekrar algılayıcılara dönerek bilgi akışı sağlanır. Aktif algılayıcılar, pasif algılayıcılardan daha fazla bilgi sağlarlar. Fakat enerji tüketimleri fazladır. Aktif ya da pasif olmak üzere algılayıcıların nesnelere mesafelerine göre kaydedenler, çevredeki resimleri girişlerine göre kaydedenler veya robotun kendi yapabildiği özelliklere göre üç tipi vardır. Birçok hareketli robot etrafındaki nesnelere mesafe ölçen algılayıcılar ile mesafe bulucu kullanır. Genel tipi ses dalgalarını kullanan sonarlardır. Sonar algılayıcılar deniz altında kullanılmaktadır. Karada, yakın mesafeler için çarpmadan ve açısal çözünürlüklerinin sınırlı olmasından dolayı bazen iyi sonuçlar vermeyebilir. Böyle durumlarda sonar içeren lazer veya radar sistemleri tercih edilir. Sonar içeren bir lazer Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Hareketli robotlarda sıklıkla tercih edilen SICK lazer mesafe tarayıcı (a), iki boyutlu çevre haritasına projelendirilmiş, yatay monteli algılayıcı ile elde edilmiş mesafe taraması (b) [4]

Bazı algılayıcılar çok yakın ya da çok uzun mesafeyi ölçerler. Yakın değer ölçen algılayıcılar dokunmaya yönelik algılayıcılardır. Algılayıcılar elektromanyetik dalgalar ile veya GPS ile mesafe ölçerler. Günümüzde iki düzine uydu yörüngede her biri iki farklı frekans yayarak çift uydudan üç noktalı sinyaller ile dünyada herhangi bir bölgenin bir kaç metreye kadar konumlarını belirleyebilir. GPS in en olumsuz tarafı kapalı alanlarda ve yeraltında çalışmamasıdır. İkinci grup algılayıcılar resimleme yapanlardır. Kameralar çevrenin şekiller ve görüntülü bilgisayar teknikleri ile veri bilgisini sağlarlar. Robotik sistemlerde önemli olan yüksek kalitede görüntülerdir. Bu görüntüler daha yüksek çözünürlüklü resimler içerebilir. Üçüncü sınıf algılayıcılar ise robotun kendi konumuna göre nesnelerin algılanmasını sağlarlar. Hareketli robotlarda robotun ne kadar mesafe gittiğini belirlemek için tekerleklerle takılan odometre kullanılmaktadır. Tekerleklerde dönme sırasında oluşan kaymalar odometrenin sadece kısa mesafelerde doğruya yakın ölçüm yapmasını sağlar. Dış etkenler örneğin rüzgar konum belirsizliğini artırır. Dahili algılayıcılar, örneğin cirokoplalar konum belirsizliğinin artmasını önleyemezler. Robotların diğer algılayıcıları kuvvet ve tork algılayıcılarıdır. Bu algılayıcılar nesnelerin konumlarından bağımsızdır.

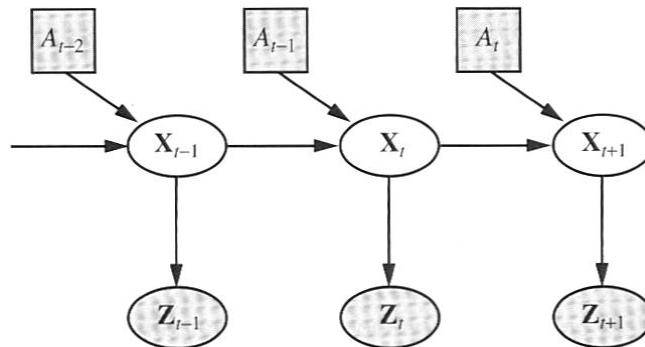
2.2. Yönlendiriciler

Yönlendiriciler, robotların hareketlerini ve vücut yapılarını değiştirmeye yarayan ekipmanlardır. Yönlendiricilerin tasarımı robotun şekil ve hareketi hakkında konuşmaya yardımcı olacak kısımdır. Bir robotun herbir yön için bağımsız hareketinde bir tane serbest hareket ünitesinden veya ona ait yönlendiriciden bahsedilebilir. Örneğin serbest hareket eden bir robot serbestlikte altı yöne sahipse bunun üçü (x,y,z) koordinatlarındaki hareketi için diğer üçüde sağa sola dönmek, etrafında dönmek, devrilmek gibi açısız hareketler içindir. Bu altı yön, robotun kinematik durumu veya pozisyonu olarak tanımlanır. Bir robotun dinamik durumu her kinematik durumunun değişiklik oranı için ek bir boyut içerir. Algılayıcılar ve yönlendiriciler, tek başlarına bir robotu oluşturamazlar. Robot, yönlendiricilerini çalıştırmak için bir güç kaynağına ihtiyaç duyar. Elektrik motoru en sık kullanılan güç kaynağıdır. Basınçlı hava veya basınçlı akışkan ile çalışan sistemlerde vardır.

2.3. Robotik algılama

Algılama çevre bilgisinin robotun iç yapısına robotların harita algılayıcıları ile alınması işlemidir. Algılama zordur çünkü çevre kısmen gözlemlenebilir, tahmin edilemez ve sıklıkla değişir. Örneğin yeraltı madenlerinde robotik sistemlerde karşılaşılan en büyük zorluklardan bir tanesi çevre koşullarıdır. Yapılan üretime ve maden şartlarına bağlı olarak yollar ile çevre değişkendir. Birinci kural olarak, iyi bir algılamada üç özellik vardır: robotun doğru karar vermesi için yeterli bilgiyi içermelidir, öyle bir yapısı olmalıdır ki verimli bir şekilde güncellenebilir olmalıdır ve dış dünyadaki doğal durum değişkenlerine uygun dahili değişkenler içererek gerçek zekaya yakın olmalıdır. Şekil 4'te X_t , t zamanında çevre durumunu (robotda dahil), Z_t , t zamanında elde edilen gözlemi ve a_t alınan gözlemden sonra yapılan eylemi göstermektedir. Amaç bir sonraki konumu belirlemektir. $P(X_t|Z_{1:t}, a_{1:t-1})$ önceki konumundan $P(X_{t+1}|Z_{1:t+1}, a_{1:t})$ mevcut konumuna olan ifadedir. Yeni gözlem ise Z_{t+1} 'dir. Örneğin amaç, futbol oynayan bir robot yapılması ise X_{t+1} robot ile futbol topunun ilişkisine bağlı olan konum değişkenidir. $P(X_t|Z_{1:t}, a_{1:t-1})$ bir önceki konum ölçümlerinde, algılayıcılar ile elde edilmiş bilgilerin tüm durumlara yansıtıldığı olasılıktır. 1 nolu denklem bir sonraki konumu tahmin etmek için hangi değişkenlerin formülde tekrar edileceğini göstermektedir. $P(X_{t+1}|X_t, a_t)$ geçiş modeli veya hareket modeli, $P(Z_{t+1}|X_{t+1})$ algılayıcı modelidir.

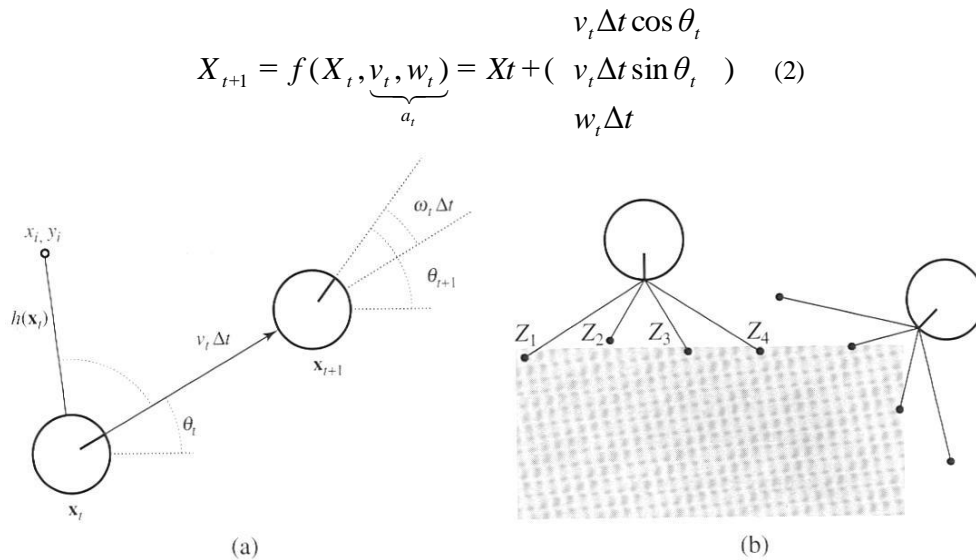
$$P(X_{t+1}|Z_{1:t+1}, a_{1:t}) = a P(Z_{t+1}|X_{t+1}) \int P(X_{t+1} | x_t, a_t) P(x_t | Z_{1:t}, a_{1:t-1}) dx_t \quad (1)$$



Şekil 4. Robot algılamasında yapılan eylemlerin ve ölçümlerin sırası [4]

2.4. Konumlandırma

Konumlandırma, robot algılamasının genel bir örneğidir. Nesnelerin nerede olduğunu belirleme problemidir. Konumlandırma, robotik sistemlerde algılama problemlerinden en yaygın olanlardan birisidir. Çünkü, nesnelerin nerede olduğu hakkında bilgi başarılı fiziksel etkileşimin özüdür. Örneğin, robot kollar taşıyacakları nesnenin konumunu bilmek zorundadır. Navigasyona sahip robotlar, amaç konumlarını bulmak için nerede olduklarını bilmek zorundadır. Konumlandırma problemi, zorluğu artıran üç kısımdan oluşur. Eğer bir nesnenin başlangıç konumu bilirse, konumlandırma bir yol izleme problemidir. Yol izleme problemleri sınırlı belirsizlikle karakterize edilir. Daha zor olan, başlangıç konumu hiç bilinmeyen nesnenin ayrıntılı konumlandırma problemidir. Geniş çaplı konumlandırma problemleri ilgili nesne konumlandırıldığında yol problemlerine dönüşür fakat onlar aynı zamanda robotu yönetmek zorunda olan belirsizliklerin nerede olduğunu içeren bilgiler bulundurur. Basit bir örnek olarak bir robotun bir bina içinde ağır bir şekilde hareket ettiği örnek verilebilir. Robota çevre bilgisinin haritası verilmiş olsun. Harita Şekil 6'daki gibi ise böyle bir robotun konumu x ve y değerli iki kartezyen koordinat ile tanımlanabilir ve θ değeri ile hareket eder (Şekil 5.a: hız değerleri hariç tutulduğu için dinamik modelden ziyade kinematik modeldir). Üç değer bir vektör şeklinde düzenlenirse o zaman $X_t = (x_t, y_t, \theta_t)^T$ özel ifadesi ile verilebilir. Kinematik yaklaşımda anlık iki hızı içeren her bir hareket bir çevrim hızı v_t ve bir dönme hızı w_t 'yi içerir. Küçük zaman aralıkları Δt ise, böyle bir robotun hareketinin ham deterministik konum modeli şöyle verilebilir.



Şekil 5. Hareketli bir robotun basitleştirilmiş kinematik modeli (a), mesafe tarayıcı algılayıcı modeli (b) [4]
 X belirli konum tahminini göstermektedir. Bunun robotlarda ne kadar tahmin edileceği bilinemez. Bu genel olarak Gauss (normal) dağılımın ortası $f(x_t, v_t, w_t)$ ve Σ_x kovaryansı (iki değişken arasındaki ilişki katsayısı) ile modellenir.

$$P(X_{t+1}|X_t, v_t, w_t) = N(X_{t+1}, \Sigma_x) \quad (3)$$

Sonra algılayıcı modeline ihtiyaç vardır. İki tür algılayıcı modeli vardır. Birincisi algılayıcı kontrollerini stabil kabul eder, çevrenin özelliklerini işaretleyici diye isimlendirilen ayırtedici özellikler ile tanıır. Herbir işaretleyicinin tutulduğu yer ve mesafesi rapor edilir. Robotun durumu $X_t = (x_t, y_t, \theta_t)^T$ ve bir işaretleyicinin hangi bölgeye ait olduğu $(x_i, y_i)^T$ ile bilinir. Mesafe ve durulan kısım basit geometri ile Şekil 5 a'daki şekle uygun olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Z_t = h(x_t) = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(x_t - x_i)^2 + (y_t - y_i)^2} \\ \arctan \frac{y_i - y_t}{x_i - x_t} - \theta_t \end{array} \right\} \quad (4)$$

Şekil 3'deki algılayıcılar, mesafe değerlerinin bir vektörünü oluştururlar $Z_t=(Z_1, \dots, Z_m)^T$. Herbirinin taşıyıcılarında robot ile ilişkisi sabitlenir. Bir konum verilirse X_t , Z_j en yakın nesneye X_t 'den j . taşıyıcı yönü boyunca oluşan değerdir (5 nolu denklem). Bu normal dağılım ile iyi sonuç vermese de farklı taşıyıcı yönlerindeki hatalar bağımsız ve tanımlanabilir dağılımlı olarak kabul edilebilir.

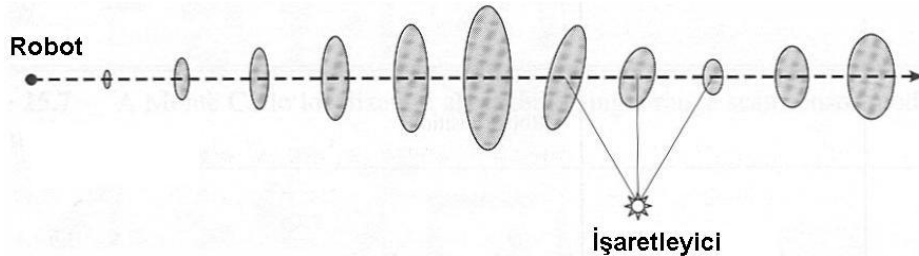
$$P(Z_t | x_t) = a \prod_{j=1}^m \pi e^{-(Z_j - \hat{Z}_j)^2 / 2\sigma^2} \quad (5)$$

Şekil 5 b'de robot basit bir engel karşısındadır. Eğer görülebilirlik var ise işaretleyiciyi tanımlayabilir ve hızlı konumlandırma sağlayabilir. Konumlandırmada Kalman süzücüsü sık kullanılır. Monte Carlo algoritması kısmi süzücü kullanır. MCL (Monte Carlo Localization) temelde Kalman süzücüsüne benzer. Uygun algılayıcı ve hareket modeline ihtiyaç duyar. Algoritmanın çalışma prensibi Şekil 6'da gösterilmektedir. Birinci şekilde robot bir binada içeride nerede olduğunu bulur. (a) şeklinde noktalar öncelikli olarak düzgün bir şekilde dağılmıştır, robotun hakkında geniş çaplı belirsizliği gösterir. (b) resmi, yapılan ölçümlerden sonra yüksek ihtimalli kümelenmiş tanelerdir. (c) resminde ise, ölçüm ve hesaplamalardan sonra tüm noktaları tek bir bölgeye koyabilen veriler elde edilmiştir.



Şekil 6. Monte Carlo konumlaması a: başlangıç, geniş çaplı belirsizlik, b: simetrik koridorda navigasyondan sonra iki belirsizlik, c: özel konum girişinden sonra tek belirsizlik [4]

Bir diğer konumlandırıcıda Kalman süzücüsüdür. Normal dağılım ile temsil edilir. Doğrusal bir fonksiyonun, doğrusal olmayan bir fonksiyon bölgesine yaklaşımının doğrusallaştırma sağlanmasıyla çalışır. Eğer Kalman süzücüsü Taylar açılımını kullanıyor ise gelişmiş kalman süzücüsü adını alır (EKF: Extended Kalman Filter). Şekil 7'de bir robotun EKF süzücüsü algoritmasını çalıştırarak işaretleyiciye göre hata sıralarını göstermektedir.



Şekil 7. EKF süzücüsü kullanan bir robotun işaretleyici kullanımı ile konumlama örneği [4]

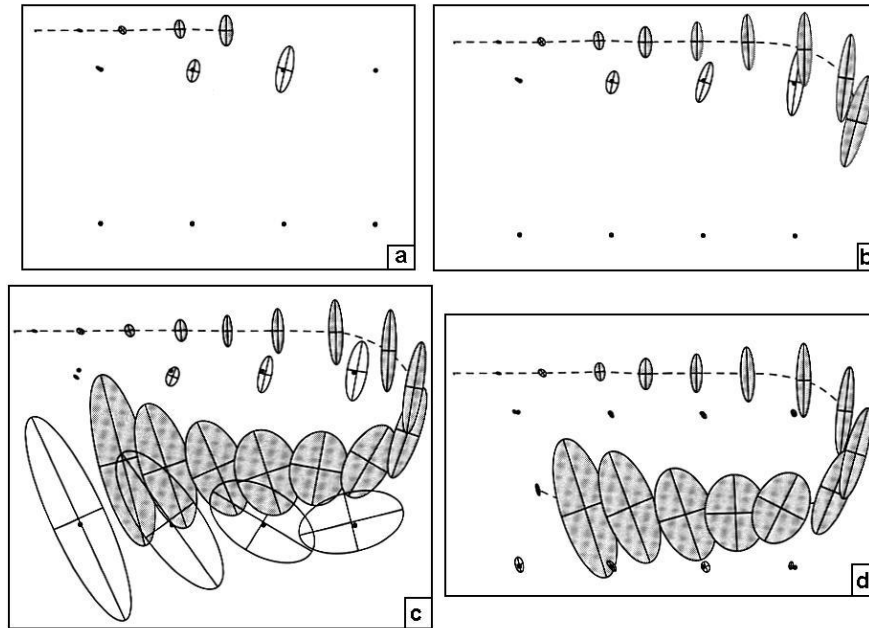
Robot hareket ettikçe konum tahmin artışlarındaki belirsizlik hata elipsleri ile gösterilmiştir. Hata azaldıkça konumu bilinen işaretleyiciye mesafesini kestirmektedir. Robot düz olarak ilerledikçe hata elipsleri yavaş yavaş artmaktadır. İşaretleyiciye doğru yaptığı gözlem ile belirsizlik azalır. İşaretleyiciden sonra tekrar hata elipsleri büyümektedir.

(Şekil 7). EKF algoritması eğer işaretleciler kolayca tanımlanabilirse iyi çalışır. Aksi takdirde, konum dağılım noktaları çok bölgeli olabilir.

2.5. Haritalama

Robotik sistemlerde sıklıkla birden fazla nesnenin konumlandırılması ile uğraşılır. Robotik haritalamanın önemi şöyle verilebilir. Bir robota çalışacağı çevrenin haritasının verilmemesi kabul edilirse, haritayı kendisinin oluşturması gerekir. İnsanlar dünyanın kendisi kadar harita yaparak yeteneklerini geliştirmişlerdir. Robotiklerde bu doğal problemin üstesinden gelmek için harita yapıcı algoritmalar yazılmıştır. Literatürde, robot haritalama problemi, anlık konumlama ve haritalama olarak (SLAM: Simultaneous Localization And Mapping) isimlendirilir. Robot sadece bir harita oluşturamaz, aynı zamanda konumunu bilmeksizin yeni bir hareket yapamaz. Konumlama ve haritalama robotik sistemlerde en önemli konulardan birisidir. Robotun hareket ettiği çevrenin değişmemesini sağlamak önemli bir konudur. Robot bir çevrede hareket ederken çevresinde değişiklik meydana geldiği takdirde konumlama ve haritalama zor bir iş haline gelir. İstatistiksel olarak haritalama bir Bayes çıkarımıdır. Bayes yaklaşımı, gözlemler veya ispatlar ile doğruluğu olabilecek bir hipotezin olasılık oranının artırılmasında kullanılır. Aynı konumlandırmada olduğu gibi (1) nolu denklem yazılarak t zamanındaki robot konumu X_t ile M (harita) arasında veri girişi sağlanır. Haritaların boyutları fazla olduğu için M 'in boyutu haritalama boyunca kontrol altında tutulmalıdır. Tüm robot pozisyonlarının çevre ile olan boşluk bilgileri ve fotoğraf yüklemelerinin kullanımı, robotun önceden bilinmeyen bir çevrede kontrol edilmesi açısından oldukça zor olacaktır. Bir fotoğraf yapısını oluşturmak için renklere denk gelen milyonlarca rakamın kontrolü oldukça zor bir çalışmadır.

Haritalama ve konumlama için kullanılan en yaygın metod gelişmiş Kalman süzücüsüdür. Genellikle EKF algoritması bir işaretleyici, bir algılayıcı model ile birleştirilir ve işaretleyicilerin tümünün ayırtedilebilir olması gereklidir. Burada tahminler normal dağılım gösterir fakat M_t ve Σ_t ilişkisinde M_t büyük bir vektördür. M_t sadece robotun pozisyon bilgilerini içermez, aynı zamanda harita ve işaretleyici bilgilerinin tümünü içerir.



Şekil 8. EKF algoritması kullanan robotun işaretleyicileri kullanarak haritalama yapmasının temeli [4]

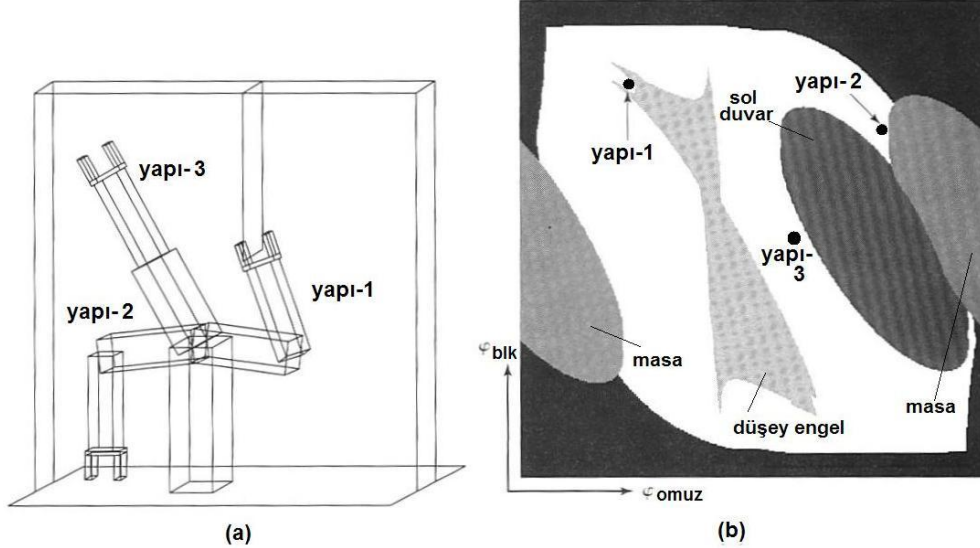
Şekil 8, EKF uygulanan robot haritalama problemini göstermektedir. Şekil 8, bir robotun çevresindeki iki satırda herbiri dört işaretleyici bulunan sekiz adet işaretleyiciyi göstermektedir. Robot rotası çizgili hat ve tahminleri kendi konumuna göre gölgeli elipslerdir. Konumları bilinmeyen sekiz ayırtedilebilir işaretleyici küçük noktalarla gösterilmiştir ve onların konum tahminleri ise beyaz elipslerle gösterilmiştir. A ve C'de robotun konum belirsizlikleri ve ona karşılık gelen işaretleyicilerin belirsizlikleri artmaktadır. Başlangıçta, robotun işaretleyicilerin konumu ile ilgili bilgisi yoktur. Herbir işaretleyicinin farklı renkte ve robotun her bir rengi tanımlayabildiği kabul edilirse robot sola doğru iyi bir tanımlama bilgisi ile başlar, fakat yavaş yavaş konum belirliliğini kaybeder. Bu durum Şekil 8 b'de robot ilerledikçe büyüyen hata elipsleri ile gösterilmektedir. Robot hareket ettikçe,

işaretleyicilere olan mesafesini ve değerleri algılamaktadır. Bu gözlemler ile işaretleyicilerin konumları ile robotun konumunun tahmin edilmesi sağlanmaktadır. Sonuçta, işaretleyicilerden elde edilen bilgiler ile robotun konumlanması yapılmaktadır. Şekil 8 b ve c'de robot ilerledikçe ve çevresini kontrol ettikçe robotun doğruluk (hata tahminleri) kontrolleri gösterilmektedir. Şekil 8 d'de ise robot ilk işaretleyiciler ile kendi konumunu algılayıp, tahminler düzeltilince tüm işaretleyicilerde belirsizlik azalmaktadır.

2.6. Hareketin planlanması

Robotik sistemlerde son kararlar yönlendiricilerin hareketi ile ilgilidir. Bir noktadan bir noktaya hareket problemi tasarlanan hedef noktasına son yönlendiricinin veya robotun hareket etmesidir. En büyük zorluk hassas hareket problemidir yani robotun hareket ederken bir nesne ile fiziksel dokunuşudur. Hareket planlamanın ilk aşaması boşluk yapısını oluşturmaktır. Robot boşluğu konum, yönlendirme ve eklem açıları ile ifade edilebilir. Yol planlama problemi özetle ilk konumdaki noktadan boşlukları tasarlayarak robotu engellere çarpıtmadan diğer noktaya ulaştırmaktır. Hareket planlamasında bilinen en iyi yaklaşımlar hücre birleştirme ve ağ yöntemidir. Robotun konumunun tam bilindiği ve konumunun belirli olduğu kabul edilerek hareket planlaması yapılır.

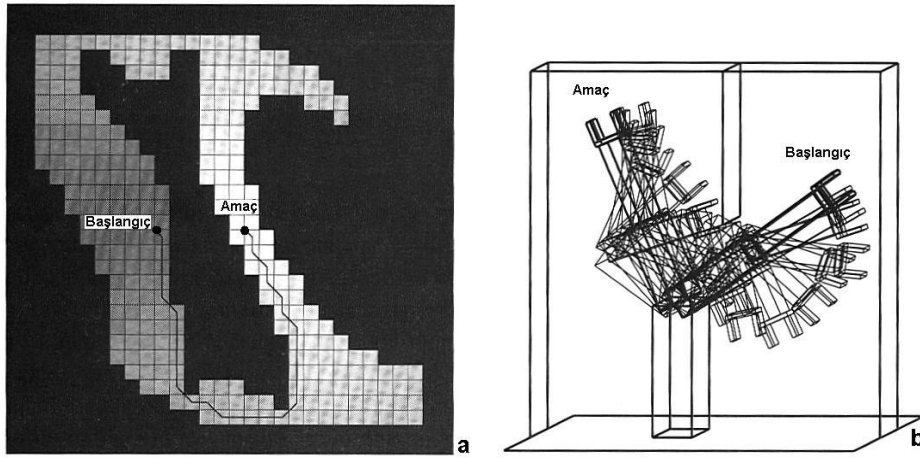
Boşluk yapısını oluştururken, robotun konumunun ve elemanlarının kartezyen koordinatlar ile gösterilmesinin yerine robotun eklem yapısının ifadesinin temsil edilmesi daha iyi olacaktır. Herhangi bir engel yok ise robot serbest bir şekilde herhangi bir değeri herhangi bir boşluk yapısı için kullanılabilir. Boşluk yapısının oluşturulmasında olumsuz taraf, robotun çalışmasında kullanacağı koordinatların çalışma alanı koordinatları olmasıdır. Boşluk koordinatları bilgisi mevcut değildir. Çalışma alanı koordinatlarından boşluk yapısı koordinatlarına geçilmesi zordur. Ters olan boşluk koordinatlarından çalışma koordinatlarına geçiş basittir. Çünkü boşluk koordinatları belli geçiş hesaplarını içermektedir. Bu geçişler prizmatik eklemler için doğrusal, yuvarlak eklemler için trigonometrikdir. Ters kinematik problemi robotun hangi yönlendiricisinin konumunu çalışma boşluğu koordinatlarına uyduracağını belirlemesidir ve çözümü oldukça zordur. Birçok endüstriyel robot sonsuz sayıda çözüme sahiptir. Şekil 9'da robotun boşluk yapısı ve engeller gösterilmektedir. Beyaz alan serbest boşluk, diğer bölge engelli boşluk ve boş alanın etrafındaki siyah kısım ise çalışma boşluğuna tamamen uygundur.



Şekil 9. Robotun çalışma boşluğu (a), aynı robotun çalışma yapısı (b), sadece beyaz kısım boş bölge (blk:bilek) [4]

Bölgeyi hücelere ayırma, yol planlamanın birinci yaklaşımıdır. Yol planlaması yapılacak bölge sonlu sayıda hücelere ayrılır. En basit şekli bölgeyi gridlere bölmektir. Şekil 10 a, boyutları optimal şekilde ayrılmış gridleri göstermektedir. Gri gölgeli grid hücrelerinin herbiri bir değeri göstermektedir. Bu değerler iterasyon yapan bir algoritma ile bulunur. Şekil 10, robot için çalışma alanına uygun yörüngeyi göstermektedir. Hücrelerde boşluk ya da engel olup olmadığına karar verilemediğinde karışık hücreler alt hücelere ayrılabilir. Böylece boş hücrelerin takibi daha kolay olur. İkinci yöntem olarak tam hücre bölmesi yapılabilir. Yani karelere değil boşluk yapısına göre düzensiz şekillere bölünebilir. Şekil 10 a'da, kritik bölgeleri iyi planlamak gerekir. Birincisi, keskin köşeleri içeren yolda sonlu bir hızla hareket eden robot böyle bir yolda hesap yapamaz. İkincisi rota engele çok yakın olduğu için planlamada küçük hatalar oluşacaktır. Bu nedenle yol uzunluğunu en küçük yapan engele olan uzaklığı en büyük

yapan rota seçilmeye çalışılmalıdır. Planlanan hareket yoluna potansiyel alan denir. Potansiyel alan maliyetleri de optimum yapmalıdır.



Şekil 10. Boşluk yapısının oluşturulması (a), robotun düşey egele çarpmadan çalışması (b) [4]

Rota planlamasında ikinci yöntem ağ metodudur. Ağ metodu temelli algoritmalar, planlanan yol problemi daha kolay olsun diye robotun bir boyuttaki hareket aralığını azaltır. Bu yöntem engellere eşit mesafeli iki veya daha fazla noktanın birleştirilmesiyle boşluk yapısı oluşturma işlemine dayanır. Robot hareket ederken her noktaya ağ oluşturma şeklini uygular. En yakın amaç şekline ulaşıncaya kadar işleme devam eder. Son olarak artık boşlukları birleştirme işini bırakır ve hedefe doğru hareket eder.

2.7. Belirsiz hareketlerin planlanması

Robotik sistemlerde çevrenin kısmi gözlemlerinden ve zamanla değişen robotun eylemlerinin etkilerinden belirsizlik oluşur. Hatalar, aynı zamanda çevreyi iyi modellese bile robota tam bilgi sağlayamayan, örneğin nesne süzücü yaklaşımli algoritmaların kullanımından oluşabilir. Robotik sistemlerde artık karar verme için belirli algoritmalar kullanılmaktadır. Örneğin yol planlaması yapan algoritmalar gibi. Bazı problemlerde örneğin yol planlama problemlerinde modeli oluşturmak oldukça zor olduğundan ufak hataları ihmal etmek ve olasılık ile çalışmak gerekir. Bu şekilde belirsizlik ihmal edildiğinde hata miktarı küçük olacaktır. Fakat bazı işlerde belirsizlik ihmal edilemez. Bazı problemlerde belirsizlik çok büyük olur. Örneğin, bir robotun nerede olduğunun sağlanmasının kontrolünde belirli yol planlayıcısının kullanımı belirsizliğin büyük olabileceği bir problemidir. Robotun gerçek durumu yüksek olasılık sağlayan programlar kullanılmayarak sağlandığında çözüm optimal olmaz ve örneğin robot engellere çarpar. Belirsiz hareketlerin planlanmasında olasılık kullanan yöntemlerden çok gerçekçi yöntemler kullanılmaktadır. Hassas hareket planlaması (FMP) bu yöntemlerden bir tanesidir. Belirsiz hareketlerin planlanmasında her bir problemde belirsizlik olduğu varsayılır fakat belirsizliğin sınırlı kalması, belli bir değeri aşmaması sağlanmaya çalışılır. Örneğin, robotun çok dar ve engelli bir alanda herhangi bir hareketi gerçekleştirme istendiğinde, robotun ortamın küçük olmasından dolayı çevresinin şeklinin ölçüm veya kontrollerini kendi kendine yapması mümkün olamaz. Bu durumda tüm bu belirsizlikler, FMP (hassas hareket planlaması) problemlerinin çözümü ile sınırlandırılır. Sınırlı olarak tutulan belirsizlikler, FMP problemlerinin çözümlerinde planlama boyunca algılayıcıdan gelen verileri çalışma boyunca hata payını yükseltmeyen çalışma koşullarını sağlayarak, belirsiz hareketlerin planlanmasını sağlamaktadır.

2.8. Hareket

Belirli hareket planlayıcıları ile planlanan rotayı robotun basitçe izlemesi beklenir. Fakat böyle değildir. Robotlar ataletle sahiptirler ve yavaş hızların dışında rastgele yol seçemezler. Çoğu durumda robotlar hareketleri için kuvvet desteği alırlar. Hareket konusunda dinamik durum kontrolü, potansiyel alan kontrolü ve tepki kontrolü yapılır. Bir robotun hızının modellenmesiyle robotun kinematik durumunun devam ettiği durum kontrolleri dinamik kontrollerdir. Örneğin, bir robotun eklem açısına ek olarak dinamik durumu aynı zamanda açının değişme oranını bulur. Harekette potansiyel alan kontrol edilmelidir. Robot rotasının engellerle olan mesafesinin ölçüleriyle, rotanın en kısa yol olarak seçilip seçilmediği kontrol edilir. Tepki kontrolü ise, robotun yapması planlanan

hareketlerinin sırası ile takip edilmesidir. Amaçlanan hareketlerin birbiri arkasına belli bir sırada gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilerek hareket planlaması yapılır.

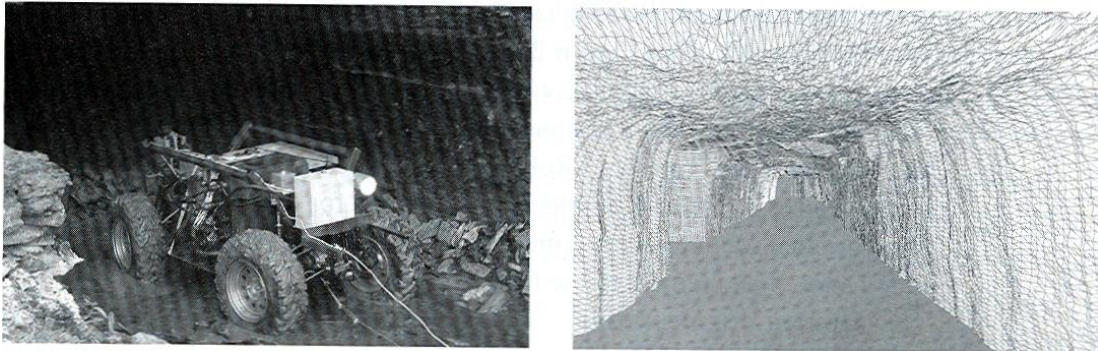
2.9. Robotik programlama dilleri

Birçok robotik sistem çalışanları, amaçlarına özel programlama dilleri geliştirmişlerdir. Brooks 1990'da [5] geliştirdiği dili robotun davranış dili olarak tanımlamıştır. AFSM dili gerçek zamanlı kontrol tabanlı olarak oluşturulmuş, kuralları ve komutları Lisp gibidir. Son araştırmalar ile davranış diline benzer fakat daha güçlü ve hızlı çalışan genel robot dili GRL geliştirilmiştir (Horswill, 2000). [6] GRL örneğin C gibi yaygın dillere uyarlanmıştır. Diğer önemli bir program 1994'te Firby [7] tarafından hareket planlaması için geliştirilen RAPS'tır. Levesque ve diğerleri tarafından 1997'de [8] planlama ve hareket kontrolü üzerine GOLOG yapılmıştır. Thrun 2000'de robotik sistemlerde öğrenme ve olasılık konuları üzerine CES denilen C++ dilinin gelişmiş şeklini oluşturmuştur. Andre ve Russell 2002'de [9] Lisp dilinin gelişmiş hali olan ALisp dilini oluşturmuştur. ALisp henüz robotik problemlerde sadece simülasyon problemlerine uygulanmıştır fakat Alisp, robotun çevre ile ilişki kurarak çevreyi öğrenmesi aşamasını sağlayarak konuya yenilik getirmiştir.

3. Madencilik Alanındaki Uygulamalar

Madenlerde ileri mekanizasyon işlerinde robotik sistemler kullanılmaktadır. Uzaktan kontrol uygulaması, maden ekipmanının uzaktan kontrol ile otomasyonu ve cevherin karlı bir şekilde üretilmesi için kullanılan yeni maden sistemleri yapay zeka teknikleri ile yapılmaktadır. Günümüzde, robotik sistemler madencilikte kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle risk içeren yeraltı üretim noktalarında operatörsüz olarak robotik sistemler ile maden ekipmanları veya robotlar kullanılarak bazı çalışmalar yapılmaktadır.

Robotların endüstri, tarım, nakliyat, tehlike içeren ortamlar (nükleer atıkların temizlenmesi, mayınların temizlenmesi), araştırma çalışmaları (maden araştırmalarında), sağlık işlerinde kullanımı yaygınlaşmaktadır.. Madencilik alanında terkedilmiş veya üretilmiş madenlerde, eski üretimden kalan bölgelerde gaz birikmesi problemi olabilir. Bu nedenle üretimi bitmiş veya terkedilmiş madenlere önlem almaksızın girilmesi tehlike içerir. Aşağıdaki örnekte yapılan bir robot ile terkedilmiş bir madenin yol haritaları üç boyutlu olarak hazırlanmıştır. Böylece terkedilmiş madene insan girmeden istenen veriler bir robotun uzaktan kontrol ile gezdirilmesi sonucu elde edilmiştir. Şekil 11'de robot ve elde edilen verilerle oluşturulmuş üç boyutlu maden haritası görülmektedir. Benzer bir robot uzay biliminde Mars yüzeyinin araştırılması işlemlerinde kullanılmıştır [4].



Şekil 11. Maden robotu ve elde ettiği veriler ile oluşturulan üç boyutlu maden haritası [4]

Kapalı işletmeler gibi açık işletmelerde de robotik sistemler ile çalışmalar yapılmaktadır. Kanai vd, 2006'da [10] "amazumi" isimli lastik tekerlekli yükleyicinin robot modelini geliştirmişler ve deney aracı ile bir takım denemeler yapmışlardır. Boyutları 0.77 m × 0.26 m × 0.25 m'dir. Bu ölçüler 1/10 ölçeğinde tasarlanmıştır ve yaklaşık ağırlığı 22 kg'dır. Teker yarıçapı 12 cm'dir. Kepçe genişliği yaklaşık 25 cm ve yaklaşık olarak 2 kg kayaç alabilmektedir. Kayaç yüklenmesi minyatür lastik tekerlekli yükleyici tarafından yapılmaktadır. Deneylerde kullanılan kayaç herbirinin tane yarıçapı yaklaşık 4 mm olan kırılmış granittir. Özgül ağırlığı ise 2,7 g/cm³'tür. Yükleme deneylerinin sonucu olarak kepece daima yaklaşık 2 kg kayaç ile doldurulmuş ve çalışmada kepecin verimli doldurulması için kepece yörünge rotalarının nasıl olması gerektiği araştırılmıştır.

Dünya madenciliğinde LHD (Load Haul Dump) kısaltılmış ismiyle tanınan lastik tekerlekli araçlar, yerüstünde çok geniş bir uygulama alanı bulan tekerlekli yükleyicilerin yeraltı şartlarına uydurulmuş şekilleridir. Türkiye'de DTB

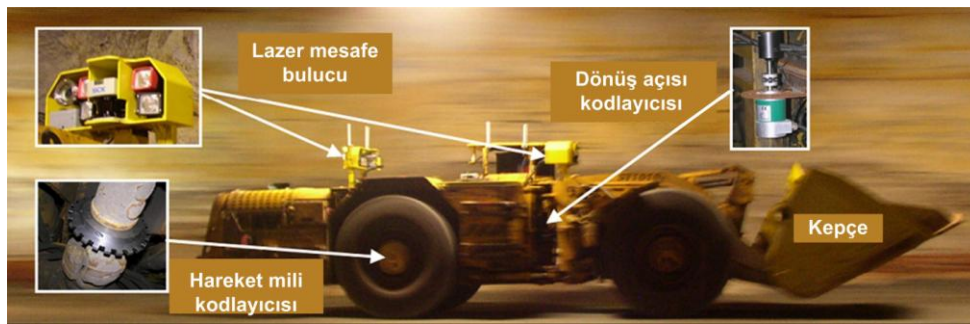
(doldur-taşı-boşalt) olarak bilinen makinaların madencilik sektörüne girişleri 1950 yıllarına rastlarsa da, yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanması 1960'dan sonradır. 1975'de, kömür dışı yeraltı maden ocaklarında 6000 kadar olan makina sayısının bugün 10000'in üzerine çıktığı tahmin edilmektedir. Günümüzde özellikle yeraltı metal madenlerinde nakliyat işlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. LHD araçları dört teker tahriklidir. Genellikle tasarımlar 200-300 metrelik mesafeler içinde çalışmak üzere yapılır. Ancak çalışma mesafelerinin 1000 m'ye çıktığı durumlar da vardır. 1 ton taşıma kapasitesinden 15 tona kadar, çok değişik modelleri bulunmaktadır (Şekil 12). Özellikle çok küçük metal madenlerinin dar ve alçak galerilerinde kullanılmak üzere, bazı modellerde yükseklik ve genişlik oldukça azalmıştır [11].



Şekil 12. Bir DTB aracının yeraltındaki görünümü [11]

Bu araçlar çoğunlukla araç üzerindeki bir operatör tarafından kullanılır fakat son zamanlarda daha çok radyo dalgaları ile uzaktan kontrol ve tele-operasyon ile yönetilmektedir. Maden şirketleri ve maden makinası üreticileri verimliliği ve yeraltındaki çalışmalarda iş güvenliğini arttırmak için bazı yeraltı araçlarını örneğin LHD'lerin fonksiyonlarını robotik hale getirmektedirler. Öncelikle aracın nakliye lokasyonu atanır ve araç diğer yüklemeye geçmeden önce malzemeyi boşaltır. Bu durum kaza riski içeren yeraltı madenlerinde operatör güvenliği düşünüldüğünde ve ayrıca işçilik maliyetlerini düşürmesi açısından tercih edilmektedir. Aracın üzerindeki algılayıcı sistemler ile galeri boyunca aracın yönünü belirleme ve doğru ilerlemesi için yapay işaretleyiciler kullanılmaktadır. Mevcut sistemlerde araçların yönünü tahmin etmek için uygun algılayıcılar veya topografik haritalar kullanılır (Şekil 13).

Marshall ve Barfoot [12] tarafından yapılan çalışmada, robotik sistem ile kullanılan nakliyat aracının saha denemeleri yapılmıştır. Gerçek test senaryoları geliştirilmiş ve manuel ana hat zamanına bağlayıcılar ile otomatik sistemin aynı rotada bir operatörün sürüş performansı ile zaman karşılaştırması yapılmıştır. 100'den daha fazla yapılan testlerde sistem denenmiştir.



Şekil 13. Testlerde kullanılan 10 ton kapasiteli DTB ve sensör düzeni [12]

Şekil 13'de robotik sistem ile kontrol için gerekli ekipmanlar deneme yapılan LHD üzerine eklenmiştir. Operatörsüz sistemin tasarımı başlangıçta simülasyon ve modelleme ile oluşturulmuştur ve sonra saha testleri Şekil 13'de gösterilen 10 ton kapasiteli LHD ile yapılmıştır. 25 Hz frekanslı lazer mesafe bulucu ve pozisyon algoritması geliştirilmiş 180° dönebilen 10 ton kapasiteli LHD ile test senaryoları yapılmıştır [12].

Yeraltı galerilerinde kullanılan LHD araçlarının robotik kontrolü üç aşamadan oluşur. Bu aşamalar öğretim, rota profilini oluşturma ve çalıştırmadır. Çalışmada üç adım sıra ile gerçekleştirilmiştir.

Öğretim: Operatör araçta iken yada uzaktan kontrol/teleoperasyon ile alıcıdan veriler kaydedilirken araç bir rota boyunca sürülmüştür. Araç üzerinde önde ve arkada lazer mesafe bulucu, eklemli açı kodlayıcı, aracın yerdeğiştirmesini ölçmesi için tekerlek miline kodlayıcı (odometre) konulmuştur.

Rota profili: Araç bir rotada sürüldükten sonra tekrar oynatma boyunca kontrol algoritmaları ve tahminler uygun bir formata çevrilerek ve öğretici adım boyunca veriler kaydedilmiştir. Sonuçlar, rota yolu hakkında bilgiler içeren rota profili olarak kaydedilmiştir. Bunlar, yol boyunca metrik haritaların doğruluk ölçümleri, herhangi bir durma noktasındaki kayıt (mesela araç cevher boşaltırken) ve tekrar oynatma boyunca bir aracın hız profilidir. Çalıştırma boyunca belirlenmiş rota profilinden navigasyon ve algoritmalar ile düşey, yatay, galeri ve araç hızı hataları kesikli zaman aralıklarında elde edilmiştir. Daha sonra, kontrol sistemi ile düzenlenen yolda ve istenen hızda giden aracı takip etmek için bu hatalar anlamlı hale getirilmiştir.

Çalıştırma: Rota belli olur olmaz, araç bu rotada pek çok kez çalıştırılmıştır. Burada kazı nedeniyle madende önemli değişiklikler karşısında tekrardan sadece rota profili oluşturulmuştur. Öğretim boyunca karmaşık yol planlaması gerekli olmadığından araç bir kesişen yol boyunca sürülmüştür. Buna rağmen basit algoritma içeren sistem ile, aracı durdurmak için, tekrar oynatma boyunca birbirini izleyen kesişen yollar düzenlenmiştir [12].

Bir rota profili dört kısımdan oluşmaktadır. Bunlar yol profili, durma profili, bölgesel metrik harita ve hız profilidir. Çalıştırmalarda iki zaman ölçekli kontrol sisteminin tasarımı ile son derece modern izleme sistemi ile donatılmış araç yolu oluşturulmuştur. Daha yavaş zaman ölçeğinde veya daha dışarıdaki kavşaklarda konumlama ve yol izleme algoritmaları yatay ve düşeyde odometreden kaynaklanan yol hatalarını gidermiştir. Literatürde odometrede kullanılan sistemlerde oluşan hatalar sistematik (eşit olmayan teker çapı, ölçek hatası, tekerlerin yönlerindeki hatalar, kodlayıcı çözünürlüğünde ve kodlayıcı örnekleme verilerindeki hatalar) ve sistematik olmayan hatalar (yolculuk sırasında çalışılan yüzeydeki bozukluklar, zeminde beklenmeyen nesnelere, zemindeki kayganlık, hızlı ivmelenme ve dönüş, dışsal ve içsel kuvvetlerden kaynaklanan teker kayması) olmak üzere iki grupta verilmektedir. Banta 1987'de [13] yaptığı çalışmada en iyi durumda hataların alınan mesafenin %0.1-0.5'i kadarı olduğunu belirlemiştir. Hata değerleri için bir üst sınır yoktur.

Marshall ve Barfoot [12] tarafından çalışmada, konum belirleme problemi, aracın iyi bilinen bir bölgede yol alması sırasında pozisyonunu tahmin etmek için kullanılmıştır. Son zamanlarda, bir takım teknikler geliştirilmiştir. Hareketli robotik sistemler iyi bilinen bir bölgede bir robotun pozisyonunu belirlemede kullanır (UKF: Unscented Kalman Filter: İzleyici Kalman Süzücüsü, EKF: Extended Kalman Filter: Gelişmiş Kalman Süzücüsü, MCL: Monte Carlo Localization: Monte Carlo Konumlaması). Bu algoritmaların veri girişleri lazer mesafe bulucu ve odometreden elde edilen değerlerdir. Aracı rotasında düzgün bir şekilde hareket ettirmek için hataların belirlenmesi gerekmektedir. Sonuçlar, yatay ve düşeyde araçların hata profillerine göre düzenlenmiştir.

Yapay işaretleyiciler ile aracın pozisyonu belirlenmiştir. İki boyutlu pozisyon tahmininde algoritmalar ya iki nokta arasındaki mesafeyi ölçerek ya da en azından üç yapay işaret ile basit geometri kullanarak pozisyon hesaplar. Madende aracın birim zamanda ne kadar yol aldığı ölçülmesiyle, profil yolu rota boyunca hem mesafe bulucu veriler hem de her haritanın karelere (gridlere) bölünmesiyle Şekil 10'daki gibi metrik haritalar düzenlenmiştir. Genellikle, referans rotasının bir nokta için düzenlenebilmesi için robotun bir noktası referans seçilmiştir. Literatürde rota izleme kontrolleri iki sınıfa ayrılmaktadır. Birincisinde, robotun pozisyonu rotadan sapmanın direkt olarak ölçülmesine dayanarak yapılan kontroldür. Robotun pozisyonunun herhangi bir koordinat sisteminde olup olmadığı bilinmesinin zorunluluğu yoktur. İkincisinde ise, robot hafızaya sahiptir ve hafızasında rotasında bulunan noktaların sıklığı ve bilgileri mevcuttur. Böylece sürekli olarak pozisyonunu ölçer ve referans pozisyonu ile kendi pozisyonu arasındaki sapma miktarını minimize etmeye çalışır. Referans noktası, robotun navigasyon noktasına en yakın noktasından seçilmiştir. Rota izleme kontrolüyle hareketli robotun verilen rotada hareketinin doğruluğu kontrol edilmiştir. Yapılan tüm çalışmaların sonucunda, bazı denemelerde robotik sistem kullanarak oluşturulan sistem, operatörlü sistemden daha iyi sonuçlar vermiştir. Hız veri girişleri incelendiğinde, operatörün kullanıldığı sistem genellikle manevralı bölgelerde daha verimli olmuştur. Robotik sistemin kullanıldığı denemeler ise daha çok yolun düz olduğu kısımlarda ve galeri genişliklerinin dar olduğu bölgelerde operatörlü sisteme göre daha iyi sonuçlar vermiştir [12].

4. Sonuçlar

Madencilik çalışma şartları bakımından ağır iş kollarından birisidir. Sektörün çalışma şartlarının zor olması nedeni ile karşılaşılan problemlerin fazla olması kaçınılmazdır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için yapay zeka

tekniklerinin madencilikte kullanılması çalışma şartlarını daha kolay hale getirmektedir. Çalışmada madencilikte karşılaşılan problemleri çözmek için kullanılan yapay zeka tekniklerinden olan robotik sistemlerden bahsedilmiştir. Daha sonra yeraltı madenciliğinde nakliyat işlerinde kullanılan LHD araçlarının robotik sistemler ile operatörsüz olarak nasıl kullanıldığı örnekler ile açıklanmıştır. Daha çok metalik madenlerin yeraltı üretimi ile üretilmesinde katlarda nakliyat işlerinde kullanılan LHD araçlarının yükleme yaptığı bölgeler çoğu zaman çalışma riski içerir. Madencilikte iş makinalarının özellikle çalışma riski olan bölgelerde operatörsüz olarak sevk edilmesi iş güvenliğinin artırılması açısından oldukça önemli olacaktır. Robotik sistemler ile sevk edilen operatörsüz iş makinalarının çevrim zamanları ölçümü ve kapasite miktarları operatörlü sistemlerdeki değerlere yaklaştıkça operatörlü sistemlerin yerini alması kaçınılmazdır. Madencilik çalışmalarında insan faktörünün olumsuz sonuçlar ortaya çıkardığı durumlarda, robotik sistemler ile kontrol, sonuçların daha iyi oluşmasını sağlayacaktır. Örneğin madende yükleme yapılan bir bölgede ayrı iki LHD makinası ile iki operatör çalışabilir. Yükleme işinde yüklemeyi bitiren operatörün seçim yapacağı yeni yükleme yerine operatör yerine yapay zeka sistemleri ile karar verilmesi zaman kayıplarının azalmasına ve iş güvenliğinin artmasına neden olacaktır. Böylece madende daha az kesinti sağlanarak kapasitenin artması sağlanacaktır. Madenlerde insan faktörünün olumsuzlukları ile ilgili birçok örnek verilebilir. Dolayısı ile yapay zeka sistemlerinin madenlerde kullanılması ve yaygınlaşması gerekmektedir. Sonuç olarak, yapay zeka yöntemlerinin bir kolu olan robotik sistemlerin kullanımı uzun dönemde yüksek verimlilik, düşük işletme maliyeti, yüksek iş güvenliği sağlayacaktır. Bunun yanında olumsuz yanları ise, yüksek yatırım maliyeti ve madencilik koşullarının doğa ile mücadeleden dolayı zor olması ve çalışma çevresinin yapılan üretimle sık olarak değişmesidir.

Kaynaklar

- [1] Leigh, WE & Doherty, ME, “Decision Support and Expert Systems”, *South-western Publishing Co*, pp: 286-298, ISBN: 0-538-10910-6, USA, (1986).
- [2]Nabiyev, V.V., “Yapay Zeka”, *Seçkin yayınevi*, ISBN:975 347 985 9, ikinci baskı, s. 757, Türkiye, s. 764, (2005).
- [3] Pfeifer, R., Scheier, C., “Understanding Intelligence”, *Asco Typesetters*, ISBN: 0-262-16181-8, 697 p., Japan, (2001).
- [4] Russell, S. & Norvig, P., “Artificial Intelligence A Modern Approach”, *Pearson Education Inc*, ISBN:0-13-080302-2, second edition, 1081 p., USA, (2003).
- [5] Brooks, R.A. “Elephants Don’t Play Chess”, *Autonomous Robots*, 6, pp 3-15, (2003).
- [6]Horswill, I., “Functional Programming of Behavior-based Systems”, *Autonomous Robots*, 9, pp 83-93, (2000).
- [7] Firby, J. “Task Networks For Controlling Continuous Processes”. In Hammond K. (Ed.), *Proceedings of the Second International Conference on AI Planning Systems*, pp. 49-54, AAAI press, (1994).
- [8] Levesque, H.J., Reiter, R., Lesperance, Y., Lin, F., Scherl, R. “GOLOG: A Logic Programming Language For Dynamic Domains”, *Journal of Logic Programming*, 31, 59-84, (1997b).
- [9] Andre, D., Russell, S.J., “State Abstraction For Programmable Reinforcement Learning Agents”, *In proceedings of the eighteenth national conference on artificial intelligence (AAAI-02)*, pp. 119-125, Alberta, (2002).
- [10] Kanai, O., Osumi, H., Sarata, S., Kurisu, M., “Autonomous Scooping of a Rock Pile By a Wheel Loader Using Disturbance Observer”, *ISARC2006*, (2006).
- [11] Tatar, Ç. ve Özfirat, M.K., “Yeraltı Maden Makinaları ve Mekanizasyonu”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları*, No:309, ss:277, İzmir, (2003).
- [12] Marshall, J.A. and Barfoot, T.D., “Design and Field Testing of an Autonomous Underground Trammig System”, *Proceedings of the 6th International Conference on Field and Service Robotics*, pp. 393-402, Chamonix, France, July (2007).
- [13] Banta, L., “Advanced Dead Reckoning Navigation for Mobile Robots”, *Ph.D. Dissertation*, MHRC Report TD-86-16, Atlanta, Georgia Institute of Technology, (1987).