

Mobil robotlarda davranış birleştirme için yeni bir yöntem

Cengiz TEYMUR*, Hakan TEMELTAŞ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Davranış Temelli Robotlarda karmaşık karar verme süreci, bir giriş bilgisine belirli şekilde yanıt veren basit davranışlar üzerine kurulmuştur. Her bir davranış o anki giriş bilgilerine göre yanıtını belirler, sonra bu yanıtlar birleştirilerek elde edilen sonuç robotun kararı olarak uygulamaya konulur. Her biri ayrı güdü ile hareket eden davranışlar her zaman paralel istemlerde bulunmayabilir; birbirlerine zıt istemlerde bile bulunabilirler. Dolayısıyla robotun vereceği kararın başarısı, yanıtların ne şekilde birleştirileceği ile yakından ilişkilidir. Davranış tanımından veya karar verme kurallarından dolayı sürecin içerdiği belirsizlikler problemi zorlaştırmaktadır. Bu makalede, davranışların koordinasyonu için Belirsizlik Matrisi kavramı çerçevesinde yeni bir yöntem önerilmektedir. Bir davranışın tüm yanıtları Belirsizlik Matrisi ile gösterilip birleştirilerek davranışın ana yanıtı, ardından bu şekilde bulunan değerler bir araya getirilerek karar verme sisteminin ortak yanıtı elde edilmektedir. Yöntemin sınanması için; 'hedefe doğru git', 'engelden kaçın', 'gezin' ve 'doğru git' şeklinde dört davranışı bulunan bir mobil robot ele alınmış ve engellerin bulunduğu bir ortamda hedef noktasına gitme problemi için bilgisayar ortamında simülasyon düzeneği oluşturulmuştur. Bu çalışmada önerilen yöntem, davranış seçme matrisine göre belirli bir davranışın yanıtını ana yanıt olarak kabul eden klasik yöntem ile karşılaştırılmış ve önerilen metod açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Farklı yerleşim düzenleri ile yapılan denemelerde, önerilen yöntemin, robotu hedefe daha kısa sürede ulaştırdığı, yol süresince robotu engellerden daha uzakta tuttuğu ve ardına gelen çelişkili adımları azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Davranış temelli robotlar, belirsizlik matrisi, belirsiz bilgi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cengiz TEYMUR teymur@yenimedya.com.tr; Tel: (216) 545 46 39.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Kural tabanlı karar verme sistemlerinde belirsizliğin modellenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 30.01.2008 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 03.04.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

A new behavior combining method for mobile robots

Extended abstract

Because robots are becoming more complex every day, the decision-making system which determines how the robot shall act, also gets equally complicated, becoming more difficult to manage. These difficulties may be overcome by grouping all movements and tendencies of the robot as 'behaviors'. A behavior is a mechanism which describes the reaction and response corresponding to a stimulus. From this perspective, decision-making systems are revised into behaviors and consequently simplified. In this approach, the problems of which behavior to consider and how to combine responses to get an optimum result, are critical factors for attaining success.

Response of a behavior is independent of the global purposes of the robot; it always gives the same reaction to the same action. Therefore it should be managed with a higher-level layer so that the robot could accomplish its global purposes. The responses of behaviors are converted into action by evaluation according to a coordination mechanism and then necessary action is taken. The success of the behavioral robot is closely related to the coordination system. The most widely used coordination methods are as follows; (1) Arbitration: The behavior with the highest priority will be executed, (2) Action-Selected: The selected action depending on the conditions and preferences present at the time is executed, (3) Voting: The response winning the majority of the votes is taken into account and the rest is disregarded, (4) Collective: The responses of the active behaviors are collected and the necessary action is executed.

The process of combining behaviors involves various types of uncertainties including (1) inputs used to determine responses of the behaviors, (2) rules regarding the type of response given by the "behavior" to these inputs, (3) if more than one behavior is considered, the rules to determine which one of these should be selected as the "dominant behavior." A tool is necessary to represent and process these uncertainties existing in the responses. Uncertainty matrix is able to fulfill this task.

A new approach is proposed in this work that coordinates responses of all behaviors using Uncertainty

Matrix. In this method, responses of each behavior are represented by Uncertainty Matrix and the combined response of the behavior is calculated. Then the main result is found with the same manner.

The navigation problem of behavior-based robots to reach the target point while keeping away from the obstacles was simulated. The simulation environment consists of a 20 m × 30 m sized rectangular platform and one behavioral mobile robot placed in this, one unit of target point, three units of mobile or fixed obstacle blocks with a diameter of 1 m, and one unit of obstacle block with a diameter of 3 m. The robot has four behaviors, namely, move to goal, avoid obstacles, go ahead, and walk around. Two methods of behavior coordination are compared: (1) the classical approach that selects a behavior using behavior selection matrix and (2) the approach proposed in this work that coordinates responses of all behaviors using uncertainty matrix. In the second method, all responses of each behavior are represented by uncertainty matrix and the combined response is calculated. In cycles, 0.2 s each, the situation is reevaluated according to two methods and the robot moves on to the next point.

In a typical starting position, the method proposed enables the robot to reach the goal in 61.2 s while the classical method reaches the goal in 78.2 s. The proposed method: (1) Makes the robot reach the goal in a shorter time, (2) Keeps the robot away from the obstacles. The method takes the nearest obstacle into account. Therefore the robot moves by keeping away from the obstacles, (3) Has less consequent contradictory steps, (4) Compared to classic methods, the resultant values obtained by using the uncertainty matrix are more meaningful. In this method, the probability value, that is "the certainty of selection of the angular value," is also obtained besides the angular value.

Positive results have been achieved in the simulation of the method proposed for the combination of the uncertainty, represented by uncertainty matrix, in the responses of the behaviors related to the determination of direction in mobile robots. Improvements at other stages of the decision-making processes of the behavior-based robots are possible by using the concept of the uncertainty matrix.

Keywords: Behavior based robots, uncertainty matrix, uncertain knowledge.

Giriş

Doğada en ilkel böcekler yaşamsal etkinliklerini sürdürmeyi başarırken robotlar izole edilmiş ortamlarda bile kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirmekte zorlanmaktadır. Robotların her geçen gün daha karmaşık hale gelmesi ve birçok görev ve bileşeni aynı anda barındırması nedeniyle, robotun ne yapacağına karar veren sistemler de aynı ölçüde karmaşıklaşmakta ve yönetimi zorlaşmaktadır. Bu zorluklar, robotun her türlü hareket ve eğilimlerinin “davranışlar” (behaviors) şeklinde gruplandırılması ile aşılabılır. Bu bakış açısına göre, sürekli yeni tekniklerin ve metodların ilave edilmesi ile aşırı karmaşıklaşan karar verme sistemleri küçük davranışlar şekline dönüştürülmekte ve böylece basitleştirilerek etkinliği artırılmaktadır (Şirin, 2005).

Ancak bu yaklaşımda her biri ayrı güdü ile hareket eden davranışlardan hangisinin yanıtının dikkate alınacağı; bu yanıtların nasıl bir araya getirilerek optimum bir sonucun ortaya konulacağı problemi başarı için kritik önem taşımaktadır. Baskın davranışın seçimi ve robot davranışlarının her birinden ayrı ayrı elde edilen istemlerin birleştirilmesi için; aksiyon-seçimli, oylama, hakemli ve toplamsal gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır.

Problemin zorluğu davranışların ve davranış yanıtlarının içerdiği belirsizliklerden kaynaklanır. Çeşitli türde olan bu belirsizliklerin Belirsizlik Matrisi ile gösterimi buna çözüm olabilir. Bu çalışmada, farklı istem ve yönelmelerin Belirsizlik Matrisi kavramı temel alınarak birleştirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Önce davranış temelli robotlar ve belirsizlik matrisi kavramı ile ilgili temel bilgiler verilmekte ardından önerilen yaklaşım açıklanmaktadır. Klasik yöntem ile önerilen yöntemin bir simülasyon düzeneğinde karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar son kısmı oluşturmaktadır.

Davranış temelli robotlar

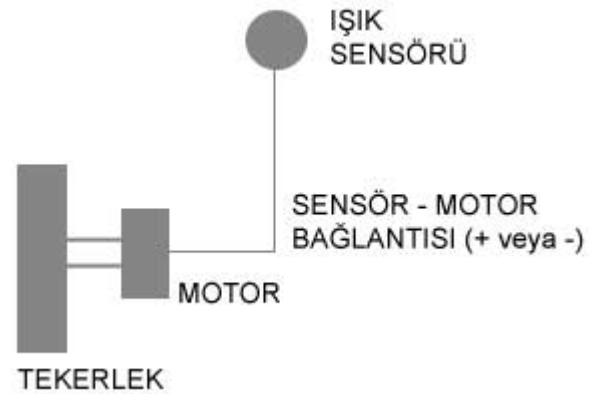
Bir “davranış” en basit anlamıyla, “etkiye karşılık verilecek tepkiyi tanımlayan mekanizma” (Şekil 1) olarak açıklanır (Dağlarlı, 2006; Arkin, 1999).



Şekil 1. Davranış, etkiye verilecek tepkiyi belirler

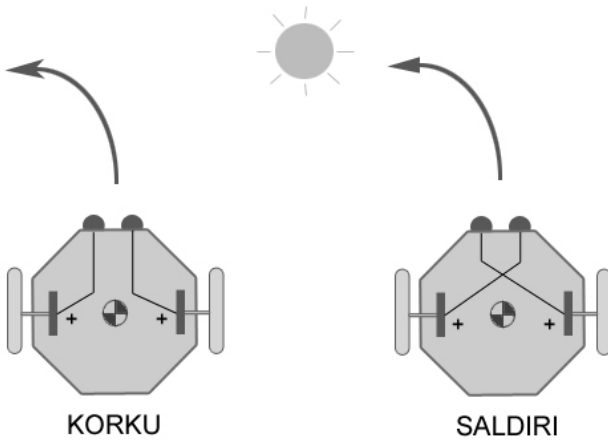
Robot hareketlerinin ve kararlarının davranışlar şeklinde tanımlanması robotun daha üst düzeydeki karar sisteminin basit kurallar ile ifade edilmesine olanak vermekte ve bu katmanı gereksiz detaylardan temizlemektedir. Bir alt katmanda olan davranışlar ise, kendi önceden tanımlanmış tepki-etki ilişkisi dışında kalan öğeleri ve kendilerini ilgilendiren giriş bilgileri dışındaki bilgileri dikkate almadıklarından tanımlama ve çalışma süreçlerini kolaylaştırır (Brooks, 1987). Buna ek olarak, davranışların iyi bir şekilde tanımlanması durumunda; robotun karşı karşıya geleceği her türlü durum için özel kurallar ve koşullar verilmesine gerek kalmaksızın, durumlar karşısında yeterli yanıtlar verebilecektir.

İlk olarak Braitenberg (1984) tarafından ifade edilen Braitenberg araçları, en basit tepkisel davranışların çalışma prensibini anlamak açısından önemlidir. Bu araçlar, bir sensör, bir motor ve aradaki ilişkiyi sağlayan bağlantıdan ibaret olan basit sistemlerden (Şekil 2) oluşan araçlardır. Basit sistemdeki sensör ışığı algılamakta ve ışık şiddeti ile doğru veya ters orantılı hızda olacak şekilde motoru kontrol etmektedir.



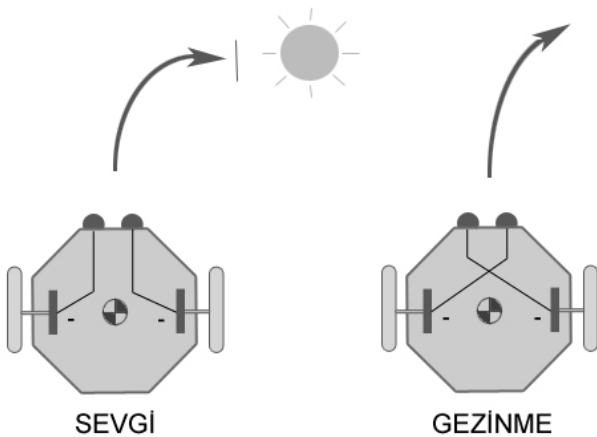
Şekil 2. Braitenberg araçlarını oluşturan basit sistem

Braitenberg ışığa duyarlı sistemi çeşitli şekillerde bağlayarak bir ışık kaynağının konumuna göre hareket eden basit davranışlar tasarlamıştır. Basit sistemde, “sensörün algıladığı ışık şiddeti arttıkça motorun hızlandırılması” olarak tanımlanacak “ışıkta kaçınma” durumunda elde edilecek davranışlar Şekil 3’te gösterilmiştir. Işığa yakın olan motorun hızlanması sonucu araç ışıktan uzaklaşma yönüne yönelmekte, sensör ve motorların çapraz bağlanması ile de ışığa yaklaşmaktadır. Bu iki davranış sırasıyla “korku” ve “saldırı” olarak adlandırılabilir.



Şekil 3. “Korku” ve “saldırı” davranışları

Çok sayıda ışık kaynağı kullanılarak ve sensör-motor ilişkisine farklı tanımlamalar getirilerek değişik birçok davranış elde edilebilir (Şekil 4).



Şekil 4. Işık şiddeti ile motor hızı ters orantılı olduğunda “sevgi” ve “gezinme” davranışları görülmüştür.

Davranışların koordinasyonu

Davranışın ne şekilde yanıt vereceği robotun global amaçlarından bağımsızdır; aynı etkiye hep aynı tepkiyi verir. Dolayısıyla robotun global amaçlarını yerine getirebilmesi için daha üst düzey bir katman tarafından yönetilmesi ve diğer davranışlar ile eşgüdüm içinde olmasının sağlanması gerekir. Robotun o anki pozisyonuna ve eldeki bilgi kümesine göre her bir davranışın eğilimi bir koordinasyon mekanizmasına göre değerlendirilerek aksiyona çevrilir ve gereği yerine getirilir. Davranışlar her zaman birbirini destekleyen sonuçlar üretmez; bazı durumlarda çelişen hatta tam zıt olan eğilimlere sahip olabilirler. Dolayısıyla davranışsal robotta başarı büyük ölçüde koordinasyon sistemi ile ilişkilidir.

Koordinasyon sisteminde ana yanıt şu yöntemlerden birine göre belirlenir; (Şirin, 2005) **Hakemli:** Davranışlar arasında katı bir öncelik sıralaması vardır. Birden fazla davranışın etkin olduğu durumda, önceliği en yüksek olan davranışın gereği yerine getirilir. **Aksiyon-Seçimli:** Davranışlar arasında öncelik sıralaması yoktur; durumun koşullarına ve tercih seçeneklerine göre bir davranış seçilir (Maes, 1990). **Oylama:** O anda etkin olan her davranışın olası yanıtları bir araya getirilerek oylamaya tabi tutulur. En fazla oyu alan yanıt dikkate alınır diğerleri ihmal edilir (Rosenblatt ve Payton, 1989). **Toplamsal:** Etkin olan davranışların yanıtları toplanarak gereği yerine getirilir (Arkin, 1999).

Davranışların birleştirilmesi probleminde çeşitli türlerde belirsizlikler bulunur. Giriş bilgileri; ‘davranışın’ bu giriş bilgilerine karşılık vereceği yanıtın ne şekilde olacağına dair kurallar; eğer birden fazla sayıda davranış söz konusu ise bu davranışlardan hangisinin “baskın davranış” olarak alınacağına dair kurallar belirsizlikler içerir. Bu belirsizliklerin gösterimi için Belirsizlik Matrisinden yararlanılabilir.

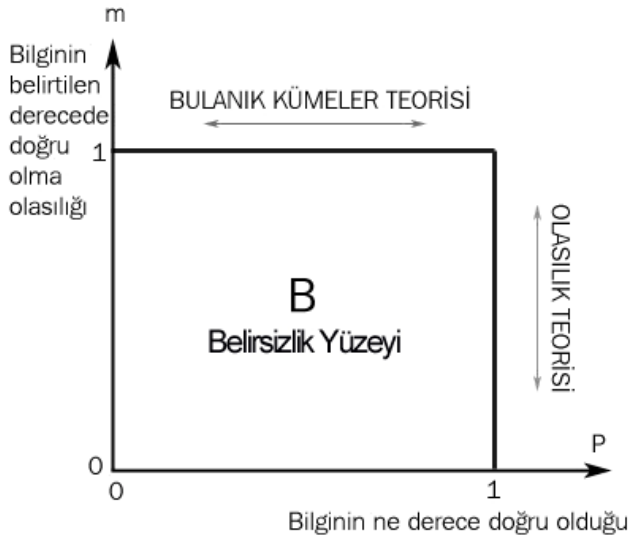
Belirsizlik matrisi

Bilgide bulunabilecek çeşitli türde belirsizlikler için bir gösterim metodu olmak üzere ortaya konulan Belirsizlik Matrisi kavramı, belirsizliklerin 2 temel gruba ayrılması temeline dayanır:

Birinci Grup: Söz konusu bilginin ne derece öyle olduğu: “Hava Durumu = Yağmurlu” bilgisinde Hava Durumu’nun ne düzeyde Yağmurlu olduğu ya da öyle sayılacağına dair belirsizlik. Ele alınan kural veya gerçeğin değeri, anlamı, bulunduğu nokta ile ilgili her türlü belirsizlik, kuşku, anlaşmazlık, bilgisizlik, subjektivite, görüş ve kanı bu grup içindedir.

İkinci Grup: Söz konusu bilginin öyle olup olmadığı: “Hava Durumu = Yağmurlu” bilgisinde bu bilginin güvenilirlik düzeyi, olabilirlik ölçüsü veya olasılığı ile ilgili belirsizlik. Bu grupta sözü edilen belirsizlikler, ele alınan gerçek veya kuralın gerçeklik derecesi ile ilgili değil; bu gerçeklik değerinin gerçekte bu şekilde olup olmadığı (olup olmayacağı) ile ilgili belirsizliktir. Olasılık, rastlantısal süreçler, bir kanının gerçekliği ile ilgili şüpheler, uzman olan veya olmayan kişinin verdiği bilginin güven düzeyi ve benzeri belirsizlikler bu gruba girer.

Anlamsal olarak bu iki tip belirsizliğin birleştirilemeyeceği ve birbirine dönüştürülemeyeceği açıktır. Bunun bir sonucu olarak her iki tip belirsizlik birbirine dik boyutlar şeklinde ifade edilerek Şekil 5’deki belirsizlik yüzeyi oluşturulabilir.



Şekil 5. Belirsizlik yüzeyi

Bir kural veya gerçekteki belirsizlikleri bir arada göstermek üzere 2x1 boyutundaki “Belirsizlik Matrisi” şu şekilde tanımlanmıştır.

$$B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

B_1 : Bilgideki 1. grup belirsizlik; bilginin ne derecede doğru olduğu.

B_2 : Bilgideki 2. grup belirsizlik; bilgi değerinin ve anlamının, belirtildiği derecede doğru olup olmadığı (olup olmayacağı).

Belirtilen belirsizlik türlerini başarılı bir şekilde ele alan Olasılık Teorisi ve Bulanık Kümeler Teorisi’nin bir arada çalışması problemine (Zadeh, 1995) yeni bir açılım getiren Belirsizlik Matrisi kavramı, bu teoriler belirsizlik yüzeyinin kenarlarında tanımlanmış olmasına karşılık yüzeyin tamamını ifade etme yetkinliğine sahip olduğundan, farklı türde belirsizliklerin paralel işlem ile ele alınmasını sağlamaktadır.

Davranış yanıtlarının bir araya getirilmesinde Belirsizlik Matrisi’nin kullanılması, yanıtların matematiksel olarak işleme alınmasını kolaylaştıracağından, belirsizliklere rağmen yeterli derecede iyi sonuç alınmasında yararlı olacaktır.

Davranış yanıtlarının birleştirilmesi için yeni bir yöntem

Çeşitli engellerin bulunduğu bir çevrede hedef noktasına gitmesi istenen bir hareketli robotta davranışların birleştirilmesi problemine bakalım. Robotta her biri farklı bir dürtü ile yanıt veren n adet davranış bulunsun:

- D_1 : Hedefe Git
- D_2 : Engelden Kaçın
- ..
- D_n : Doğru Git

Robot hedefe doğru giderken kendisinin, engellerin ve hedef noktasının pozisyonunu dikkate alarak belirli aralıklarla yönünü ve hızını değiştirmektedir.

Robotun hangi yöne yöneleceği ile ilgili olarak, davranışların her biri giriş bilgilerine göre farklı bir doğrultu önerir; Şekil 6’da görüldüğü gibi D_1 davranışı hedefe doğru yönelmek isterken, D_2 davranışı en yakındaki engelin tersi yöne gitmeyi ister. Herhangi bir anda hangi davranışın bas-

kın olacağına karar vermek için davranış seçme matrisinden yararlanır.

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & \dots & M_{2n} \\ M_{31} & \dots & M_{3n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

u_e : Robota en yakında olan engel ile robot arasındaki uzaklık

u_1 : Engele yakınlık için tehlike sınırı

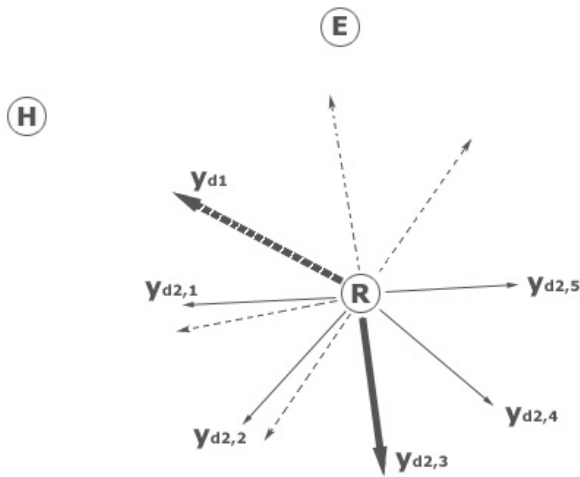
u_2 : Engele uzaklık için rahatlama sınırı

M_{1j} : $u_e < u_1$ iken D_j 'nin seçilme sıklığı

M_{2j} : $u_1 \leq u_e \leq u_2$ iken D_j 'nin seçilme sıklığı

M_{3j} : $u_2 < u_e$ iken D_j 'nin seçilme sıklığı,

şeklinde belirlenen sıklık değerlerine göre rastlantısal olarak bir D davranışı belirlenir.



Şekil 6. D_1 ve D_2 davranışları. Bir davranış tek bir yön yerine birçok sayıda yön önerir

Matristeki sıklık değerleri, robotun daha önceki deneyimlerinden (örneğin verdiği kararların belirli bir ölçüte göre yapılacak değerlendirmelere göre başarı oranı dikkate alınarak) veya dışarıdan aldığı geçmiş direktiflere göre belirlenir.

d_k : k koşulu altında yaşanmış deneyim sayısı

d_{ki} : k koşulu söz konusu iken D_i davranışının seçilmiş olması durumu sayısı iken

$$M_{ki} = \frac{d_{ki}}{d_k} \quad (3)$$

olarak hesaplanır.

Robot herhangi bir adımda M davranış seçme matrisine göre bir D davranışı belirler. Klasik metoda göre, seçilen davranışa uygun olarak hareket edilir ve diğer davranışlar ihmal edilir.

Davranışların birleştirilerek ortak yönelme belirlenmesi metodunda yine davranış seçme matrisi etkindir. Ancak matrisin görevi sadece baskın davranışı belirlemekten ibarettir. Matrisin öngördüğü koşullara göre belirtilen sıklık derecelerine uygun bir şekilde baskın davranış belirlenir ve bu baskın davranışın sonucu olan yönelme, öteki davranışların yönelmeleri de dikkate alınarak düzeltilir. Böylece o anki durumda robotta etkin olan tüm davranışların ortak kararı ile hareket edilmiş olur.

Ayrıca bir davranışın tek bir yönelme yerine birçok sayıda yönelmeyi belirli bir sıklık dağılımına göre önermesi söz konusu olabilir. Şekil 6'da böyle bir durumda D_2 davranışının olası yönelmeleri olan $y_{d2,1}$, $y_{d2,2}$, $y_{d2,3}$, $y_{d2,4}$ ve $y_{d2,5}$ gösterilmiştir. Görüldüğü gibi bu doğrultuların hepsi, amaca uygun olarak, engelden uzaklaştırmaktadır.

Örnek uygulamada her bir D_i davranışı için, $i = \{1, 2, 3, 4\}$

Ana yönelme: $y_{di,3}$

Diğer yönelmeler;

$$y_{di,1} = y_{di,3} - \pi/2$$

$$y_{di,2} = y_{di,3} - \pi/4$$

$$y_{di,4} = y_{di,3} + \pi/4$$

$$y_{di,5} = y_{di,3} + \pi/2$$

şeklinde alınmıştır.

Bir davranış için birçok yönelme varsa, tek bir davranışın seçilip buna uygun hareket edilmesi durumunda bile bu yönelmelerden hangisinin dikkate alınacağı problemi ortaya çıkar.

Buna çözüm olarak; bir davranışın her bir olası yönelmesine

$$\sum_j P(y_{di,j}) = 1 \quad (4)$$

koşulunu sağlayan

$$p(y_{di,j}) \quad i=\{1,2,3,4\}$$

şeklinde bir sıklık değeri atanmalıdır.

Sıklık dağılımında; davranışın amacına en çok hizmet edecek olan yönlerin daha yüksek bir sıklık derecesine sahip olması ve bu yönden uzaklaştıkça sıklık değerinin azalması beklenir. Sıklık değerlerinin hesaplanmasında, ortalaması $y_{di,3}$ ve standart sapması $\pi/4$ olmak üzere normal dağılım kullanılabilir.

Baskın olarak seçilen davranış D_b olsun. D_b 'nin ana yönelmesi $y_{db,3}$ ise, kapsama alanı

$$\text{Kapsama Alanı} = [y_{db,3} - \pi/2, y_{db,3} + \pi/2] \quad (5)$$

$$y_{ref} = y_{db,3} \quad (6)$$

alınacak ve her bir davranışın yalnızca bu yay içinde kalan;

$$f_{ij} = \begin{cases} (y_{ij} - y_{ref}) & , -\pi \leq y_{ij} - y_{ref} \leq \pi \\ (y_{ij} - y_{ref}) - 2\pi & , \pi < y_{ij} - y_{ref} \\ (y_{ij} - y_{ref}) + 2\pi & , y_{ij} - y_{ref} < -\pi \end{cases} \quad (7)$$

iken

$$abs(f_{ij}) \leq \frac{\pi}{2} \quad (8)$$

koşulunu sağlayan y_{ij} yönelmeleri dikkate alınacaktır.

Herhangi bir D_i davranışının dikkate alınacak olan k adet yönelmesi varsa

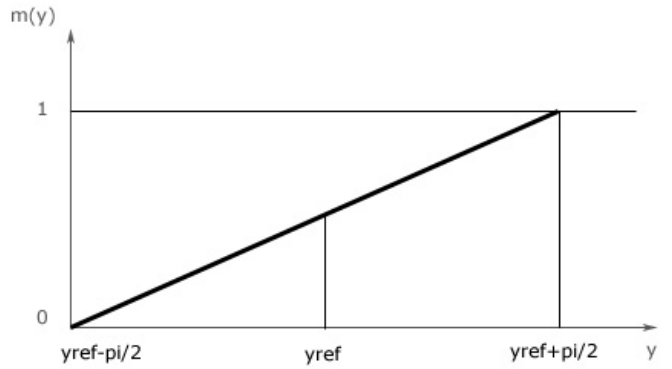
$$y_{di,j} \quad j=\{1..k\}$$

D_i davranışının birleştirilmiş yönelmesini bulmak için, her bir $y_{di,j}$ yönelmesinin belirsizlik matrisi bulunarak birleştirilir.

$$By_{di,j} = \begin{bmatrix} \mu_y(y_{di,j}) \\ p(y_{di,j}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$\mu_y(y_{di,j})$: Şekil 7'de verilen fuzzy üyelik fonksiyonu

$p(y_{di,j})$: D_i davranışı için $y_{di,j}$ yönelmesinin tercih edilme sıklığı



Şekil 7. Açısal değerlerin belirsizlik matrisi bulunurken kullanılan üyelik fonksiyonu

Davranışın birleştirilmiş yönelmesi olan y_{di} için hesaplama

$$\begin{aligned} By_{di} &= By_{di,1} \text{ OR } .. \text{ OR } By_{di,k} \\ &= \begin{bmatrix} avg(\mu_y(y_{di,1}), \dots, \mu_y(y_{di,k})) \\ \min(1, \sqrt{p(y_{di,1})^2 + \dots + p(y_{di,k})^2}) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mu_y(y_{di}) \\ p(y_{di}) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (10)$$

Kapsama alanı içine en az bir yönelmesi giren m adet davranış var ise;

$$By_{di} \quad i=\{1, \dots, m\}$$

davranış birleştirilmiş yönelmeleri, yine aynı birleştirme fonksiyonları kullanılarak bir araya getirip

$$\begin{aligned} By_s &= By_{d1} \text{ OR } .. \text{ OR } By_{dm} \\ &= \begin{bmatrix} avg(\mu_y(y_{d1}), \dots, \mu_y(y_{dm})) \\ \min(1, \sqrt{p(y_{d1})^2 + \dots + p(y_{dm})^2}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_y(y_s) \\ p(y_s) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

şeklinde elde edilir.

Bu matriste $\mu_y(y_s)$ değeri, Şekil 7'deki üyelik fonksiyonunda geriye döndürülerek y_s açısı

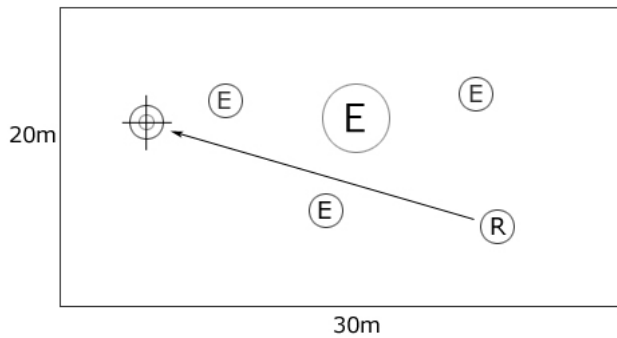
$$y_s = (y_{ref} + \pi \cdot \mu_y(y_s) - \frac{\pi}{2}) \text{ MOD } 2\pi \quad (12)$$

olarak bulunur.

Bulunan $p(y_s)$ değeri; elde edilen y_s açısından ne derece emin olduğuna veya elde edilen kararın ne derece kesin olduğuna yönelik bir gösterge olarak kullanılabilir. Sayısal olarak 1 değerine yaklaştıkça kararın daha güçlü olduğu anlaşılır. Bu rakamın değeri, robotun hızlanması için bir faktör olarak kullanılabilir.

Simülasyonda elde edilen sonuçlar

Bilgisayarda oluşturulan simülasyon ortamı; 20m x 30m büyüklüğünde dikdörtgen şeklinde bir yürüme zemini ile bu ortama yerleştirilmiş 0.5 m çapında silindir şeklinde 1 adet davranışsal mobil robot, 1 adet noktasal hedef, her biri 1 m çapında olan 3 adet hareketli veya duran engel bloku, 3 m çapında 1 adet engel bloku içermektedir (Şekil 8). Amaç robotun engellere çarpmadan ve engellerden belirli bir uzaklıkta kalarak hedef noktasına ulaşmasıdır.



Şekil 8. Simülasyon ortamı

Simülasyonda robotun temel olarak 4 davranışı olduğu düşünülmüştür;

- D₁: Hedefe Doğru Git
- D₂: Engelden Kaçın

- D₃: Gezin
- D₄: Doğru Git

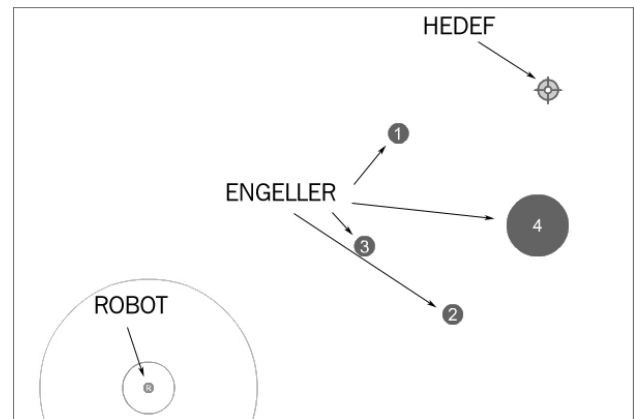
$u_1=1$ m ve $u_2=5$ m iken örnek davranış seçme matrisi şu şekilde oluşturulmuştur:

$$M_{davranıavrşme} = \begin{bmatrix} 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.65 & 0.20 & 0.05 & 0.10 \\ 0.85 & 0.00 & 0.05 & 0.10 \end{bmatrix}$$

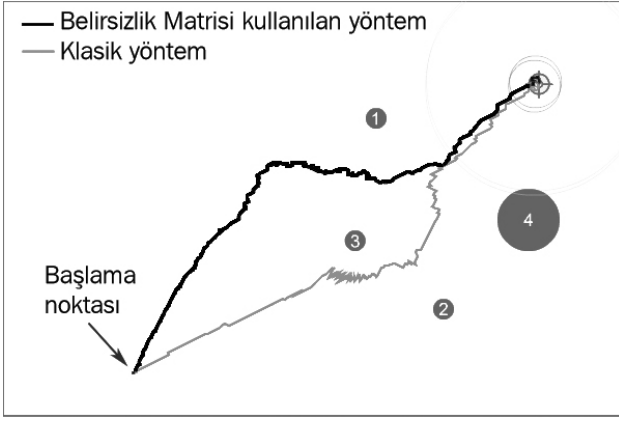
Robot, engeller ve hedefin konumlandırma işlemi tamamlandıktan sonra simülasyon başlatıldığında robotun hareketi çevrimler halinde gerçekleştirilir. Her biri 0.2 saniye olan çevrimlerde iki farklı yöntemle göre o anki durum değerlendirilir ve bir sonraki noktaya hareket edilir. Robot hedef noktasına geldiğinde işlem sona erer.

Şekil 9'da verilen başlangıç pozisyonlarına göre simülasyonda elde edilen hareket yolu Şekil 10'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, Belirsizlik Matrisi kullanılarak davranış yönelmelerinin birleştirilmesi ile yapılan hareket, robotu engellere çarpma tehlike sınırına yaklaştırmadan uygun bir yoldan götürmektedir.

İki yöntemin karşılaştırılmasında önemli olan bazı parametre değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Rakamsal sonuçlarda görüleceği gibi Belirsizlik Matrisi ile sonuçların birleştirilerek kullanılması hedefe daha kısa sürede ulaştırmaktadır.



Şekil 9. Simülasyonda robot, hedef noktası ve engeller istenilen şekilde yerleştirilir



Şekil 10. Robotun gidiş yolu

Tablo 1. İki yolun karşılaştırılmasında önemli olan bazı parametre değerleri

	Klasik Yöntem	Önerilen Yöntem
Adım Sayısı	391 adım	306 adım
Hedefe ulaşma süresi	78.2 s	61.2 s
Bir engel ile aradaki mesafe en az	0.95 m	2.3 m

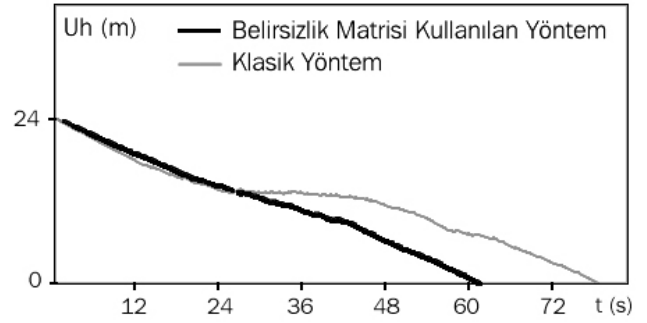
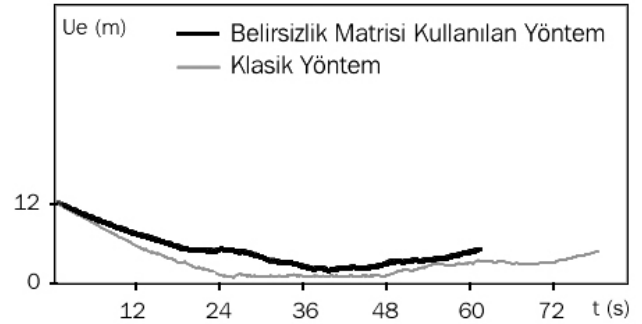
Diğer yandan, robotun her iki yoldan giderken en yakın engel ile arasındaki mesafe ile hedeften uzaklığının zamana göre değişimi de Şekil 11’de görülmektedir. Hedefe uzaklık grafiğinde görüldüğü gibi Belirsizlik Matrisi kullanılan yöntem hedefe düzenli bir şekilde yaklaşırken, diğer yöntemde engellere fazla yaklaşmış olmanın verdiği engelden uzaklaşma davranışı baskınlığı nedeniyle bazı zaman dilimlerinde hedefe yaklaşma hızı azalmıştır.

Yöntemin başarılı yönleri ve nedenleri

Davranış yöneltmelerinin birleştirilmesi yöntemi ile hedefe doğru yaklaşmanın başarılı sonuçları:

- Hedefe daha kısa zamanda ulaştırır:** Önerilen metot hedefe daha kısa zamanda ulaştırmaktadır.
- Engellerden uzak tutmaktadır:** Bu metot robotun yöneleceği açıyı belirlerken yalnızca hedefi değil, en yakındaki engeli de dikkate aldığından, Şekil 10 ve Şekil 11’de görüleceği gibi engelden uzak kalarak hareket etmektedir.
- Çelişkili adımlar azdır:** Robot engele eşik değeri altında yaklaştığında baskın davranış

olarak “Engelden Kaçınma” eğilimi gösterir ve bu yön her zaman hedefin yönüne yakın olmayıp bazen ters yönde de olabilir. Bu durum Şekil 10’da klasik robotun 3 nolu engele yaklaşırken görüldüğü gibi ardı ardına zıt adımlar atmasına neden olur. Böyle durumlar için daha karmaşık algoritma kullanılarak kısır döngüden daha kısa zamanda çıkması sağlanabilir ancak bu da ek işlem ve zaman kaybı demektir. Oysa davranış birleştirme yöntemi ile yapılan harekette bu durumlar daha az görülür.



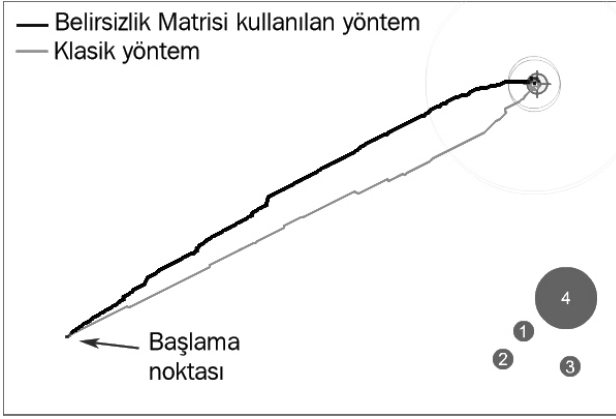
Şekil 11. Üstte: robotun en yakın engel ile arasındaki uzaklığın zamana göre değişimi. Altta: robot ile hedef arasındaki uzaklığın zaman göre değişimi

Sonuçları verilen örnek durumlarda engeller sabit bir noktada durmaktadır. Hesaplama her bir zaman adımında engellerin konumu dikkate alınarak yeniden yapıldığından, engellerin hareketli olması durumunda da önerilen metodun olumlu sonuç vereceği değerlendirilmektedir.

Metodun daha başarılı sonuç vermeyeceği durumlar

Robot ile hedef arasındaki yolda hiç engel yoksa veya engeller bu yoldan oldukça uzakta ise, klasik robot daha iyi sonuç verecektir. Şekil 12’de

verilen özel örnekte klasik robot hedefe 49.2 saniyede varırken, davranışları birleştiren robot 50.2 saniyede hedefe ulaşmaktadır. Aradaki küçük fark davranışları birleştiren robotun aslında gerekmediği halde engellerin pozisyonunu dikkate almasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 12. Klasik metodun daha iyi sonuç verdiği özel bir durum

Belirsizlik Matrisi kullanılan yöntemde elde edilen sonuç değeri alternatif yöntemlere göre daha anlamlıdır. Burada yalnızca açısız değer değil, “bu açısız değer seçilebilir olasılığı” anlamına gelen ve robotun elde edilen sonuçtan ne denli emin olduğunu gösteren olasılık değeri de (simülasyon hesaplama metodunda $p_{\text{sonuç}}$ değeri) elde edilir. Bu rakam Belirsizlik Matrisi’nin tanımı gereği $[0,1]$ aralığındadır ve 1’e yaklaştıkça robotun bulunduğu değerden emin olma ve bu sonuca güvenme derecesi yüksek olur. Dolayısıyla robotun anki hızını belirlemekte veya değiştirmekte kullanılabilir. Öte yandan eğer robotun yerine getirmekte olduğu görev yüksek derecede önemli ise, $p_{\text{sonuç}}$ bir güven değeri olarak görülüp, belirli bir eşik altında çıkması durumunda daha karmaşık analizler devreye sokularak alınan karar sorgulanabilir.

Belirsizlik Matrisi ile işlem yapmanın basit ve hızlı olduğu, dolayısıyla adım süresi çok küçük

değerlere düşürülse bile uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Sonuç

Davranış Temelli Robotlarda davranışların ürettiği yanıtların birleştirilmesi için kullanılacak olan yöntem ne olursa olsun, yanıtlarda bulunabilecek belirsizliği göstermek ve işlemek için bir araç gerekmektedir. Belirsizlik Matrisi bu görevi yerine getirebilir. Yanıtların Belirsizlik Matrisi kullanılarak birleştirilmesi için önerilen yöntem bir simülasyon düzeneği üzerinde test edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Davranış temelli robotların karar verme süreçlerinin öteki aşamalarında da Belirsizlik Matrisinden yararlanılarak iyileştirmeler yapılabilir.

Kaynaklar

- Arkin, R.C., (1999). *Behavior based robotics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Braitenberg, V., (1984). *Vehicles: Experiments in synthetic psychology*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Brooks, R.A., (1987). *Intelligence without representation*, MIT Artificial Intelligence Laboratory, USA.
- Dağlarlı, E., (2006), Behavior generation by artificial emotions and cognition for multi-goal robot tasks, *Y.Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maes, P., (1990). Situated agents can have goals, *Robotics and Autonomous Systems*, **6**, 49-70.
- Şirin, E., (2005), Behavior-based fuzzy control for a mobile robot with non-holonomic constraints, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Rosenblatt, J. ve Payton, D., (1989). A fine grained alternative to subsumption architecture for Mobile Robot Control, *Proceedings, the International Joint Conference on Neural Networks*, 317-323, June.
- Zadeh, L., (1995), Discussion: Probability theory and fuzzy logic are complementary rather than competitive, *Technometrics*, **37**, 271-276.