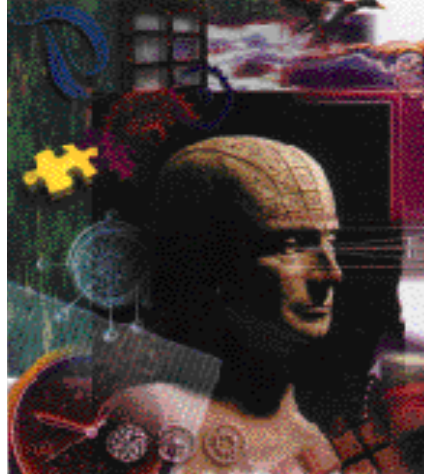


Bulanık Mantık

Bilgisayar, bilgiyi yalnızca "doğru" ya da "yanlış" olarak algılayıp, bir ve sıfırdan oluşan dizgeler halinde işlem yapar. İnsansa, bilgisayarın tersine, kısmi doğrular ya da yanlışlar üzerinden, duyularını ve tecrübelerini kullanarak işlemi gerçekleştirir. Bilgisayar için sıcak ya da soğuk vardır ama insan için soğuk, serin, normal, ılık ya da sıcak olabilir. Bilgisayarın sıcak ve soğuk içinde serini de tanımlayabilmesi için bulanık mantık (fuzzy logic) kullanılır. Bulanık mantık, bilgisayarın insan gibi davranmasını ve "akıllı" olmasını sağlar.

BULANIK MANTIK, bir tür makine zekasıdır. Bilgisayar bu zeka sayesinde tam olarak tanımlanmamış sistemleri sağduyulu bir yaklaşımla anlayıp kontrol eder. Bilgisayar, çevresindeki olayları sensörler kullanarak algılar. Bu bilgileri zekasıyla yorumlayıp bir sonuca ulaşır ve kontrol hareketi üretir. "Zeki" olmayan bir çamaşır makinesi, içindeki çamaşırın ne kadar kirli olduğuna bakmasızın yıkama işlemini daha önce programlandığı gibi sabit bir şekilde yapar. Öte yandan akıllı bir çamaşır makinesiye, yıkama suyunu inceleyerek çamaşırların temizlenme durumuna bakar. Makine, "Eğer çamaşır çok kirliyse daha uzun yıka, az çamaşır varsa az su kullan" gibi önerme cümlelerine göre kontrol yapar. Elde ettiği sonuçlara göre yıkama programını değiştirir. Böylece, her zaman aynı şekilde yıkama yapan



"zeki olamayan" bir makine, bir insan gibi düşünüp yıkama şeklini çamaşıra göre belirleyen zeki bir makineye dönüşmüştür. Bu zeka, bulanık mantığın, çamaşır makinesini kontrol eden birimde kullanılmasıyla elde edilmiştir.

Bulanık mantığın temelinde belirsizlik (vagueness) yatar. Bertrant

Russell, yalnızca bir ve sıfırdan oluşan iki değerli mantığa karşı belirsizlik içeren ve $[0,1]$ aralığında tanımlı olan mantık üzerine araştırma yapmıştır. Russell, bunun için eski çağlardan gelen yalancı paradoksunu kullanır:

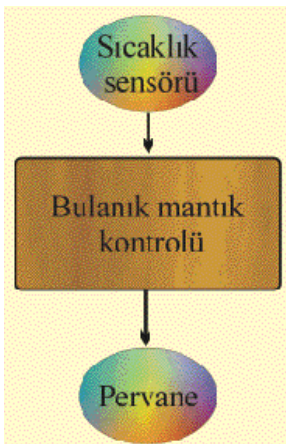
Giritli bir adam, tüm Giritlilerin yalancı olduğunu söylemektedir.

Eğer Giritli yalan söylüyorsa doğru, doğru söylüyorsa yalan söylüyor. İki değerli mantığa göre bu olanaksızdır oysa ki belirsizlik mantığına göre Giritli %50 doğru, %50 yalan söylüyordur. Belirsizlik mantığı, bu paradoksu "yarım doğru" olarak kabul eder. Bu $[0,1]$ kapalı aralığındaki orta noktadır. $[0,1]$ kapalı aralığında tanımlanmış problem artık bulanık mantık problemi olarak adlandırılır. "Giritli paradoksu" tek boyutlu bir bulanık mantık problemidir. Bulanık mantık problemleri birçok boyuta sahip olabilir. İki boyutlu bulanık mantık problemi için Sokrates ve Plato'nun yalancı paradoksu kullanılır:

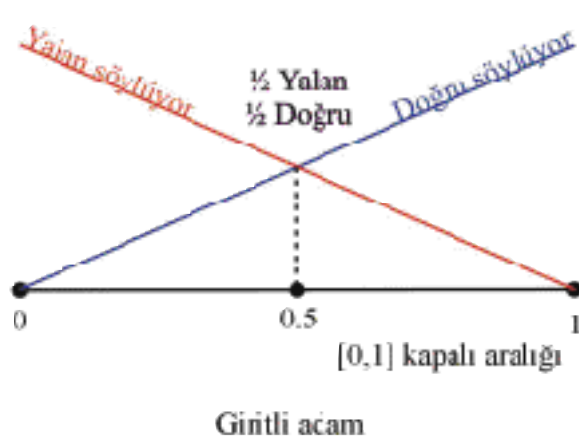
Sokrates: Plato'nun söyleyeceği şey doğrudur.

Plato: Sokrates yalan söylüyor!

Paradoksta, Sokrates'in doğru söylemesi, Plato'nun yalancı olmasını bu da Sokrates'in yalancı olmasını gerektirir. Aynı şekilde Plato'nun doğru söylemesi, Sokrates'in doğru, Plato'nun yalan söylemesidir. Paradoks, bulanık mantık kullanılarak iki boyutlu bir probleme dönüştürülür. Problem, ayrıntıları bir birim olan kare düzlem içinde tanımlıdır. Karenin sola alt köşesi hem Sokrates'in hem de Plato'nun yalan söylediğini gösteren $(0,0)$ noktasını, sağ üst köşesi ise her ikisinin de doğru söylediğini gösterir. Problemin paradoks halindeki biçimi $(0.5, 0.5)$ noktasında dengede bulunmaktadır. Bu nokta, en "bulanık"



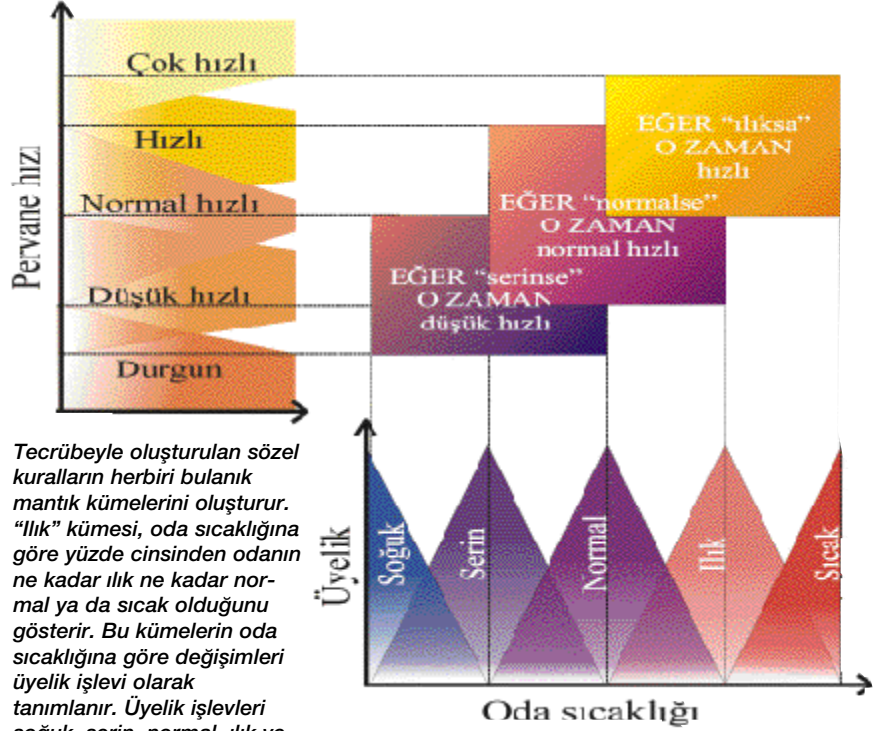
Bulanık mantık kullanan sistemler sensörlerden gelen bilgileri işleyerek kontrol hareketlerini yaparlar. Yukarıdaki şekil, oda sıcaklığını kontrol eden bulanık mantık birimidir. Oda sıcaklığı, soğutucu motorunun pervane hızıyla kontrol edilmektedir.



Eğer Giritli yalan söylüyorsa doğru, doğru söylüyorsa yalan söylüyordur. İki değerli mantığa göre bu olanaksızdır oysa ki belirsizlik mantığına göre Giritli %50 doğru, %50 yalan söylüyordur. Belirsizlik mantığı, bu paradoksu "yarım doğru" olarak kabul eder. Bu $[0,1]$ kapalı aralığındaki orta noktadır. Üstteki şekilde $[0,1]$ aralığı ve Giritli'nin herhangi bir noktada ne kadar doğru ve yanlış olduğu gösterilmiştir.

noktadır. Nokta, "hem Plato hem de Sokrates %50 doğrudur" önermesini yapar. Karenin köşe noktalarıysa problemin "netlik" noktalarıdır. Aynı şekilde, kare düzlemi üzerindeki (0,25,0,33) noktası, Sokratesin %25 doğru, Plato'nun %33 doğru söylediğini gösterir. Paradoks eğer iki değerli mantık üzerinde tanımlansaydı, paradoksta yalnızca (0,0), (1,0), (0,1) ve (1,1) noktaları olacak ve paradoksun bir denge noktası bulunmayacaktı. Oysa ki bulanık mantık sayesinde paradoks bir birim düzlem üzerinde tanımlanmış ve orta noktasında dengede duran probleme dönüşmüştür. Bulanık mantık problemlerin tanım boyutu arttıkça, problem 1x1 birimlik kareye 1x1 birimlik küpe, ya da daha üst boyutlu şekillere dönüşür.

Bulanık mantığın kontrol sistemlerine uygulanmasında Giritlinin, Plato ve Sokrates'in yarattıkları paradokslar yerine tecrübeye dayanan sözel kurallar kullanılır. "Eğer oda ılıksa pervaneyi hızlı döndür" kuralında, odanın ılık olması [0,1] kapalı aralığında tanımlıdır. Odanın %60 ılık olması, %40 ılık olmaması anlamına gelir. Eğer yalnızca iki değerli mantık kullanılsaydı, oda ya ılık olacak ya da ılık olmayacaktı. Ancak bulanık mantık sayesinde %100 ılık olan oda aynı zamanda %0 ılık değildir. Tecrübeye oluşturulan sözel kuralların herbiri bulanık mantık kümelerini oluşturur. İlık kümesi, oda sıcaklığına göre yüzde cinsinden odanın ne kadar ılık ne kadar normal ya da sıcak olduğunu gösterir. Bu kümelerin oda sıcaklığına göre değişimleri üyelik işlevi olarak tanımlanır. Üyelik işlevleri soğuk, serin, normal, ılık ve sıcakın birbirlerine göre durumlarını grafiksel olarak gösterir. Üyelik işlevleri, kontrol hareketlerini de belirler. Pervanenin hızı, ilgili üyelik kümesine göre belirlenir. Üstteki şekilde üyelik işlevleri ve çıkış hareketleri gösterilmiştir.



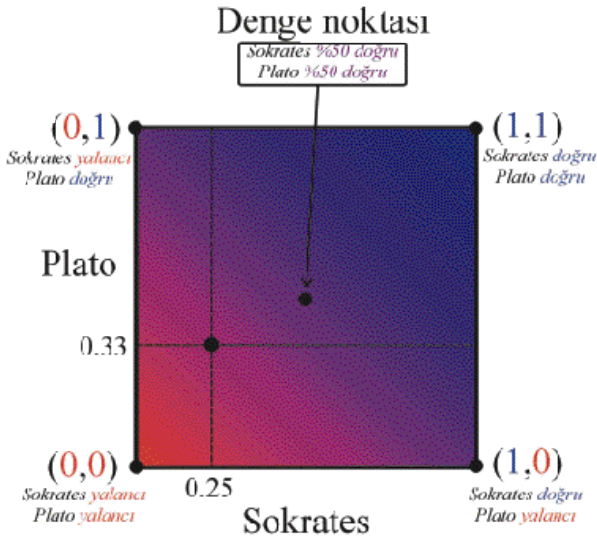
Tecrübeye oluşturulan sözel kuralların herbiri bulanık mantık kümelerini oluşturur. "İlık" kümesi, oda sıcaklığına göre yüzde cinsinden odanın ne kadar ılık ne kadar normal ya da sıcak olduğunu gösterir. Bu kümelerin oda sıcaklığına göre değişimleri üyelik işlevi olarak tanımlanır. Üyelik işlevleri soğuk, serin, normal, ılık ve sıcakın birbirlerine göre durumlarını grafiksel olarak gösterir. Üyelik işlevleri, kontrol hareketlerini de belirler. Pervanenin hızı, ilgili üyelik kümesine göre belirlenir. Üstteki şekilde üyelik işlevleri ve çıkış hareketleri gösterilmiştir.

de cinsinden odanın ne kadar ılık ve ne kadar ılık olmadığını gösterir. Bu kümelerin oda sıcaklığına göre değişimleri üyelik işlevi (membership function) olarak tanımlanır. Üyelik işlevleri soğuk, serin, normal, ılık ve sıcakın birbirlerine göre durumlarını grafiksel olarak gösterir. Buna göre %30 serin olan oda %70 normal sıcaklıktadır. Üyelik işlevleriyle belirlen-

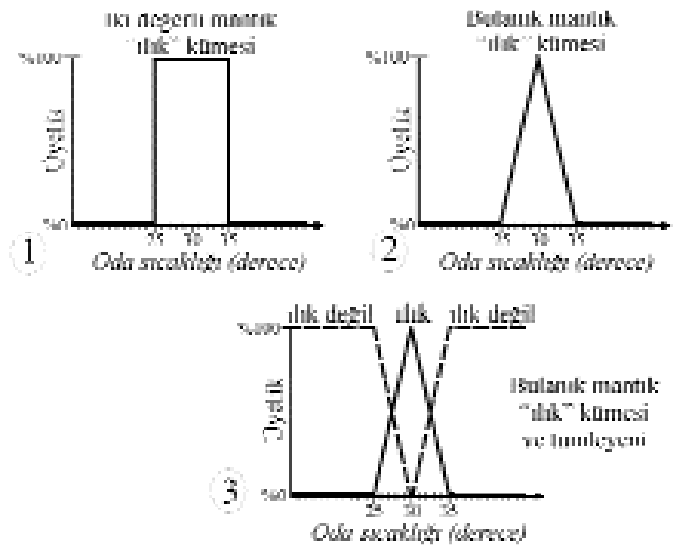
miş giriş kuralları çıkıştaki kontrol hareketlerini belirler. Bu kurallar EĞER ...O ZAMAN ... kalıbında yazılır. Buna göre oda sıcaklığını kontrol edecek bir sistemin kuralları şu şekilde belirlenir :

EĞER oda soğuksa O ZAMAN pervaneyi durdur.

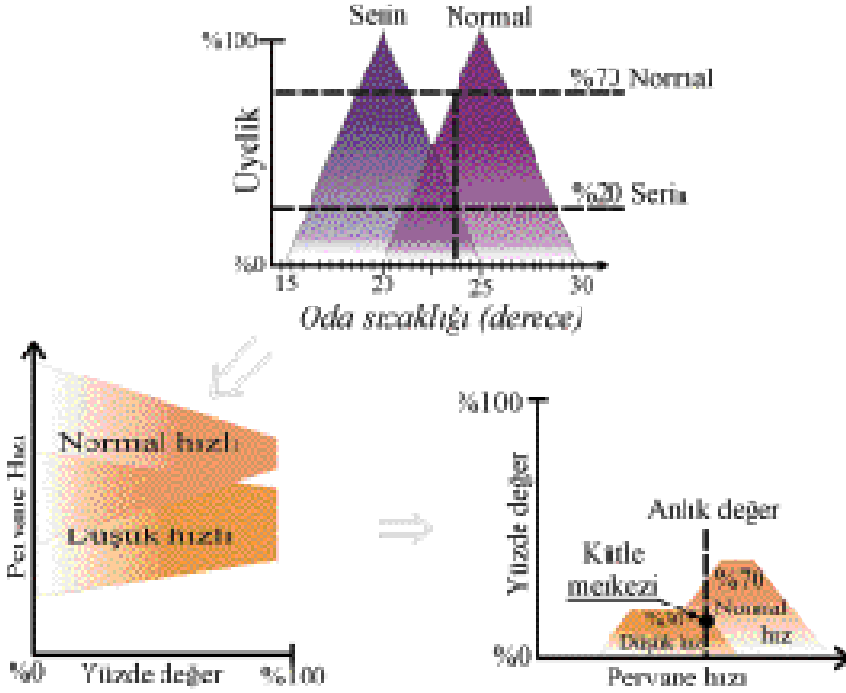
EĞER oda serinse O ZAMAN pervaneyi düşük hızla döndür.



Plato ve Sokrates'in yarattığı paradoks, iki boyutlu belirsizlik düzlemi üzerinde tanımlanır. Üstteki şekilde paradoksun denge noktası gösterilmiştir. Kırmızı renk yanlış, maviye doğruyu belirtir.



1. şekilde iki değerli mantığa göre "ılık" tanımı yapılmıştır. Buna göre oda ya ılık ya da ılık değildir. Eğer bu durum bulanık mantığa göre incelenirse, 2. şekil elde edilir. Bulanık mantık kümelerinin tümlenmesiyle 3. şekilde gösterilmiştir.



Eğer anlık oda sıcaklığı 20°C olursa, bu durum %30 serin, %70 normaldir. Bu iki kümenin o sıcaklık noktasındaki yüzde değeri, motor hızının hesaplanmasında kullanılır. Motor hızını belirleyen bulanık mantık kümeleri elde edilen yüzdelarla çarpılır. Motor, %30 düşük hızlı, %70 normal hızda döndürülmelidir. Motorun hızını tanımlayan bu iki şeklin kütle merkezi motorun hızını belirler.

EĞER oda normale O ZAMAN pervaneyi normal hızda döndür.

EĞER oda ılıksa O ZAMAN pervaneyi hızlı döndür.

EĞER oda sıcaksa O ZAMAN pervaneyi çok hızlı döndür.

Deneyimler doğrultusunda normal oda sıcaklığı 25°C olarak belirlensin. Eğer anlık oda sıcaklığı 20°C olursa, bu durum %30 serin, %70 normaldir. Bu iki kümenin o sıcaklık noktasındaki yüzde değeri, motor hızının hesaplanmasında kullanılır. Motor hızını belirleyen bulanık mantık kümeleri elde edilen yüzdelarla çarpılır. Motor, %30 düşük hızlı, %70 normal hızda döndürülmelidir. Motorun hızını tanımlayan bu iki şeklin kütle merkezi motorun hızını belirler. Motor hızının hesaplanmasına "netleştirme" (defuzzifying) denir.

Bulanık mantığın temelini, Bertrand Russell atmıştır. Öte yandan Polonyalı Jan Lukasiewicz, belirsizlik mantığının temel işlemlerini tanımlamıştır. 1930'lu yıllarda kuantum fizikçisi Max Planck tarafın-

dan uygulanan belirsizlik mantığı, 1958 yılında Kaplan ve Schott'un yaptığı eklemelerle gelişmiştir. 1965 yılında, Berkeley'de öğretim üyesi olan Lotfi Zadeh, tüm bu süreç içinde bir devrim yaratmış ve belirsizlik mantığını bulanık mantık olarak adlandırıp yeniden şekillendirmiştir. Bulanık mantık, bir buhar makinesini kontrol edebilmek amacıyla 1970 yılında İbrahim Mamdani tarafından kullanılmış ve bulanık mantık mühendisliğinin tanımlanmasını sağlamıştır. Daha sonra Japon firmalarca geliştirilen bulanık mantık sistemleri, ilk kez Japonya'nın Sendai



şehri metrosunun kontrolünde başarıyla kullanılmıştır.

Bulanık mantığı temel alan kontrol birimlerinin kullanılması, içinde bulanık mantık komutları bulunan mikroişlemcilerin üretilmesiyle her geçen yıl artmaktadır. Alışılmış kontrol sistemlerinde, sistemin matematiksel modelinin oluşturulması gerekir. Özellikle doğrusal olmayan sistemlerde bu işlem oldukça zor ve zaman alıcıdır. Arkasında römorku bulunan bir taşıyıcı robotun geri manevra yaparak deponun istenilen bölgesine girebilmesini sağlayan bir kontrol biriminin yapımı, klasik kontrol yöntemleriyle olanaksızdır. Burada, sistemin modelinin çıkartılması oldukça güç, hatta değişik başlangıç noktaları yüzünden olanaksızdır. Bulanık mantık temelli kontrolde, sistemin modelinin bilinmesine gerek yoktur. Sistemin yapılması deneyimlere ve sözel kurallara bağlıdır. Bu sayede taşıyıcı robotun römorkuyla geri manevra yapabilmesi, deneyimli bir sürücünün deneyimlerinden yola çıkarak elde edilen sözel kurallara göre kolayca yapılabilir. Günümüzde bulanık mantık sistemleri çamaşır makinesinden video kameralara, görüntü işlemeden ülkelerin ekonomik modellerinin çıkartılmasına kadar birçok alanda kullanılır.

Bulanık mantık sistemlerinde kullanılan sözel deneyimler kimi sistemlerde yetersiz kalır. Öte yandan, kontrol sisteminin ince ayarının üyelik işlevlerinin katsayılarının ayarlanmasıyla yapılması gerekir. Bu işlem deneme yanılma yoluyla yapılabilir ama bu yöntem karmaşık sistemlerde oldukça zaman alan bir iş haline dönüşür. Son yıllarda yapay sinir ağları kullanılarak kendi kendine öğrenen bulanık mantık sistemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Okan Demirel

- Kaynaklar
 Kosko, Bart, "Fuzzy Engineering", Prentice Hall, 1997
 Satoru, I., Kosko, B. "Fuzzy Logic", Scientific American, Temmuz 1993
 Driankov, D., Hellendoorn, H., "An Introduction to Fuzzy Control", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993
 Klir, G., Yuan, B., "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic", Prentice Hall, 1995