

BULANIK MANTIK DENETLEYİCİLERİ

Bölüm :1

Bulanıklık Kavramı ve Bulanık Mantık Sistemleri

Bulanıklık Kavramı ve Bulanık Mantık Sistemleri

Bölüm 1 : Hedefleri

- Bulanık Mantık kavramını anlamak.
- Bulanık Sistemleri gözden geçirmek.
- Bazı Bulanık Mantık Denetleyici uygulamalarını öğrenmek.

TARİHÇE

- “Bulanık küme kuramı, ilk kez. 1965 yılında Berkeley’ de Californiya Üniversitesi öğretim üyelerinden aslen Azerbaycanlı olan Prof. Lütfi A Zadeh tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek, modern denetim alanında bir çok bilim adamının ilgisini çeken, araştırmaya açık yeni bir dal olmuştur. Örneğin; Londra Üniversitesinden Prof. Dr. Mamdani, kuramı bir buhar türbününün hızının denetlenmesine uygulamış ve bu amaçla, bir insanın davranışlarını örnekleyen; “Eğer türbin hızı çok hızlı artıyorsa ve basınç da çok düşükse, buhar vanasını biraz aç” türünden kurallardan oluşan bir sistem geliştirmiştir. Prof Dr. Mamdani bulanık mantık temelli bu tür bir sistemle türbün hızının ve performansının çok başarılı bir şekilde denetlenebileceğini göstermiştir.

TARİHÇE

■ Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması çimento sanayisinde olmuştur. Bu sanayide değirmen içerisindeki sıcaklık ve oksijen oranı ürün kalitesi açısından çok önemlidir. Kısıtlı ve hassas olmayan, ısı ve karbondioksit oranı gibi bilgilerle iyi bir çalışma düzeni elde edilebilmesi bir sanat olup operatörlerin bu konuda yeterli bir uzmanlık kazanabilmeleri için yıllar geçmesi gerekir. Fakat kişiler ve uzmanlık düzeyleri arasında kaçınılmaz farklılıklar olacağından, üretilen çimento da vardiyalardan vardiyalara geçecek, tutarlı kalitede çimento üretimi çok zor olacaktır. İşte bir Danimarka firması bu nedenlerden dolayı doğrusal bir model üzerine kurulu geleneksel denetleyici yerine bir bulanık mantık denetleyicisi (fuzzy logic controller - FLC) kullanmış ve çok başarılı sonuçlar veren bir sistem geliştirmiştir. Bu veya benzeri sistemler bugün bile Japonya ve Amerika dahil olmak üzere bir çok ülkede kullanılmaktadır.

TARİHÇE

■ Kronolojik sıra içerisinde bundan sonraki en önemli aşama Japonya’da 1987 yılında görülmüştür. Hitachi firması, ilk olarak 1987 yılında ulaştırma bakanlığına başvurmuş ve Sendai Metro sisteminde çalışan trenlerin otomatik olarak denetimi için bulanık mantık kullanımını önermiştir. Bakanlık öneriye olumlu baktığını belirtmiş, fakat bulanık mantık denetleyicinin kullanılmakta olan sisteme göre belirgin üstünlükleri olacağı konusunda kanıt istemiştir. Hitachi firması, dokuz yıl içerisinde 300.000 simülasyon çalışması ve 3.000 insansız operasyon gerçekleştirmiş ve sonunda 1986 yılının sonlarına doğru ulaştırma bakanlığından kullanım iznini almıştır.

TARİHÇE

■ Geliştirilen sistemde, daha önce tren operatörü tarafından bir PID temelli denetleyici aracılığıyla yapılan ve yolcuların sarsıntılı bir yolculuk geçirmelerine neden olabilen hızlanma ve yavaşlama gibi işlemler otomatik olarak yapılmakta ve tren operatörünün yapması gereken işler, kapıları kapatmak ve başlatma düğmesine basmak gibi bir kaç işlemle sınırlı kalmaktadır. Böylece yolcuların, demirlere tutunma gereksinimi duymadan rahat bir yolculuk yapabilmeleri sağlanmış, daha önce kullanılan sisteme göre trenin istenilen konumda durması üç kat iyileşmiş ve kullanılan enerji %10 azalmıştır. Sağlanan bu başarının Hitachi firmasına getirdiği mükafat, Tokyo Metrosu'nda da böyle bir sistemin kullanılması için yapılan anlaşma olmuştur.

TARİHÇE

■ Yukarıda açıklanan başarılı uygulamalardan sonra bulanık denetim konusundaki çalışmalar, yeni bir ivme kazanmış ve endüstriyel uygulama alanları hızla artmıştır. Çalışmaların uluslararası alanda koordinasyonu amacı ile Japonya'da 1989 yılında LLFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering) adlı bir laboratuvar kurulmuştur. Bu laboratuvarlarda yapılan araştırma çalışmalarına, aralarında Hitachi, Toshiba, Omron, Matsushita gibi ünlü Japon firmalarının yanı sıra IBM, NCR ve Thomson gibi Japonya dışı firmaların da bulunduğu toplam 51 firma katılmakta olup 6 yıllık bütçesi 70 milyon dolar civarındadır.

TARİHÇE

- Bulanık mantık denetleyiciler konusundaki kuramsal çalışmaların hala sürüyor olmasına rağmen, artık bu konu endüstride kendisine önemli bir yer edinmiş durumdadır. Uygulama alanları arasında çeşitli beyaz eşya, tren, asansör, trafik kontrolü ve otomobil sanayisi sayılabilir. Bugün Japonya’da bulanık denetim kullanan beyaz eşyalar ve elektronik aletler, örneğin; fotoğraf ve çamaşır makineleri, güncel yaşamın birer parçasıdır.
- Günümüzde, 30’ dan fazla ülkede bulanık mantık konusunda araştırmalar yapılmakta olup, bunlar arasında ABD, Japonya, Çin ve Batı Avrupa ülkeleri başta gelmektedir. Çin’ de bu konu ile uğraşan bilim adamı sayısı on binin üzerinde olup, hemen arkasında Japonya yer almaktadır. Uygulama açısından ise, Japonya belirgin bir şekilde önde gözükmemektedir.

BULANIK MANTIK

A kümesinin elemanları 'kanarya, kartal, tavuk, penguen, ve yarasa' olsun.

"A kümesi elemanları kuştur" önermesi doğru mudur?

- İlk bakışta bu ifademiz doğruymuş gibi görünebilir.
- Bu ifademizi yanlış bulup rahatsızlık hissedenler de çıkacaktır.

Çünkü, kanarya, kartal, ve yarasa uçabilirler, fakat tavuk ancak bir kaç metre uçabilir. Penguen ise yüzmeyi tercih eder. Yarasa memelidir ve doğurarak ürer, diğer hepsi yumurtlar. Kanarya ve kartal için bu cümle diğerleri için olduğuna göre, daha doğru görünmektedir.

Bu hayvanların her biri için bu cümle farklı derecelerde doğru gibi görünmektedir.

BULANIK MANTIK

Şu kıyaslamaya bakalım :

Socrates bir insandır.
Tüm insanlar ölümlüdür.

Öyleyse, Socrates ölümlüdür.

Bunu aşağıdaki gibi değiştirelim:

Socrates çok sağlıklıdır.
Sağlıklı insanlar çok uzun zaman yaşarlar.

Öyleyse, Socrates çok uzun zaman yaşayacaktır,

(SİZCE BU ÇIKARIM DOĞRU MU ?)

- Bunu klasik mantıklarla ifade etmek kolay değildir. Üstelik, klasik mantık ('doğru' ve 'yanlış'tan oluşan iki-değerli) sistemlerinin çoğu, bu tür cümleleri ilgi alanlarının dışında bırakırlar. Fakat bu tür cümleleri ve kıyaslamaları günlük yaşantımızda çok sıklıkla kullanırız.

BULANIK MANTIK

- Bu bölümün amacı, bunlara benzer ve belirsizlik içeren diğer cümlelerden çıkarımlar yapmakta (diğer bir deyişle yaklaşımsal akıl yürütme) kullanılan mantık türlerinden birisi olan “bulanık mantık”ı (fuzzy logic) tanıtmaktır.

BULANIKLIK KAVRAMI

- “Bilge uzun bir çocuktur”.
 - “Bengü güzel bir kızdır”.
 - “100, 1’den çok daha büyük bir sayıdır”.
 - “Hava sıcaktır”.
-
- Bunlar, klasik mantık sistemleriyle doğruluğundan söz edilebilmesi güç cümlelerdir.
 - Çünkü ‘uzun’, ‘güzel’, ‘büyük’, ve hatta ‘çok daha’, ifadeleri açık bir şekilde tanımlanmamış, belirsizlik içeren sözcüklerdir.
 - Fakat, bu şekilde açıkça tanımlanmamış kavramlar insanın düşünmesinde önemli rol oynarlar. İnsan muhakemesinin gücü ve özü, bu tür belirsizlik içeren kavramları, doğrudan kavrayabilmesi ve kullanabilmesinde yatmaktadır.

BULANIKLIK KAVRAMI

■ Klasik mantık sistemleri, sadece belirli koşullarda oluşan, kesin doğruluk değerleri 'doğru' ya da 'yanlış'tan birisine sahip önermelerle ilgilenirler. Belirsizlikle ilgilenmezler.

■ Öyleyse, bu tür cümlelere, akılcı doğruluk değerleri nasıl verebiliriz ?

■ Cevap;

Sürekli veya dereceli biçimde bir doğruluk, yani 'bulanık' doğruluk kavramını kullanmaktır. Bulanık doğruluk kavramı, sıradan doğruluk kavramıyla benzerlikler gösterir, fakat daha geneldir, ve uygulama alanı daha geniştir, belirsizliğin, doğruluk ölçütünün keskin bir şekilde tanımlanmamasından kaynaklanan durumlardaki problemlerle uğraşmak için doğal bir yol sağlar.

BULANIK MANTIK

- Klasik mantıkta, bir önerme ya 'doğru' ya da 'yanlış' olarak kabul edilir. Üçüncü bir durumun gerçekleşmesinin imkansız olduğu varsayılır, ve çoğu zaman bu tür durumlar 'paradoks' olarak adlandırılır.
- Diğer bir deyişle doğruluk, önermeleri {Yanlış, Doğru}, veya sayısal olarak $\{0, 1\}$, kümesinin elemanlarıyla ilişkilendiren bir küme olarak görülebilir.
- Bulanık mantığın ardındaki temel fikir, bir önermenin 'doğru' ve 'yanlış', dahil olmak üzere bu ikisinin arasında her değer ('çok doğru', 'çok yanlış', v.b.) olabileceğidir.
- Diğer bir deyişle doğruluk, önermelerle, yanlış ve doğru arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerleri, ya da sayısal olarak $[0, 1]$ gerçel sayı aralığıyla ilişkilendiren bir fonksiyondur. Bu, Zadeh'in bulanık kümeler üzerindeki ilk çalışmasının bir sonucudur.

BULANIK MANTIK

Bulanık mantığı tanımlamanın belki de en basit yolu, yaklaşımsal muhakemenin (approximate reasoning) bir mantığı olduğunu söylemektir.

Belirleyici özellikleri :

- a) 'doğru, çok doğru, az çok doğru, daha doğru, doğru değil, yanlış, çok doğru değil, ve çok yanlış' gibi sözel olarak ifade edilen (ya da sayısal olarak $[0,1]$ gerçel sayı aralığında yer alan) doğruluk değerlerine sahip oluşu (bu, belirsizlik içeren doğruluk tablolarını da beraberinde getirir),
- b) geçerliliği kesin değil, fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip oluşudur.

BULANIK MANTIK

Bunlardan dolayı, bulanık mantık, (klasik Aristo mantığından tümevarımsal mantıklara, küme-değerli doğruluk değerlerine sahip çok değerli mantıklara) **diğer mantık sistemlerinden belirgin bir şekilde ayrılır.**

Bulanık mantığın doğruluk tabloları, ve çıkarım kuralları

- belirsizlik içermekte, ve
- ‘doğru’ ve ‘yanlış’a yüklenen anlamlara olduğu kadar, bu anlamları güçlendirmek ya da zayıflatmakta kullanılan ‘çok, oldukça, daha çok, daha az’ gibi niteleyicilere yüklenen anlamlara da bağlıdır.

BULANIKLIK ve OLASILIK

- Bulanıklık, olaydaki belirsizliği ifade eder. Bir olayın olup olmadığını değil, hangi dereceye kadar olduğunu ölçer.
- Olasılık, olayın oluşundaki kesin olmayışlığı ifade eder. Bir olayın olup olmayacağı olasılıktır, yani olay olabilir de olmayabilir de.
- Hangi dereceye kadar olduğuyorsa bulanıklıktır. Bulanıklık, genel olarak ‘gerekirlik’ (deterministik) olmasına rağmen, olasılık tahminseldir (stokastik).

BULANIKLIK ve OLASILIK

Önemli bir nokta da bulanık kümedeki üyelik derecelerinin olasılık yüzdeleriyle aynı şey olmadığıdır.

- Olasılığı gösteren sayılar bir şeyin olup olmayacağının ölçütüdür.
- Bulanık sayıların üyelik dereceleri ise bir olayın ne dereceye kadar olduğunu, bir koşulun ne dereceye kadar gerçekleştiğini gösterir;
- “Sabah hava %30 olasılıkla serin olacak” önermesi sabah havanın serin olma olasılığını gösterir,
- “Sabah hava %30 serindi” veya “hava %30 serin” gibi ifadeler ise geçmişte veya o andaki havanın serinlik derecesini göstermektedir.

BULANIKLIK ve OLASILIK

- X bütün sıvılardan oluşan bir küme olsun. X'in bir alt kümesi olan Y kümesi ise içilmesi zararsız olan sıvıların kümesi olsun. Farzedelim ki elimizde A ve B olmak üzere etiketi kapatılmış dolu iki şişe var. Bize verilen bilgi ise A şişesindeki sıvının Y kümesine üyelik derecesinin %91 ve B şişesindeki sıvının Y kümesine üye olma olasılığının %91 olduğudur. Eğer bu iki şişeden birini içmek zorunda kalırsak A şişesinin tehlikesi B'ye göre daha azdır. Çünkü B şişesi onda bir olasılıkla zararlı bir sıvıyla doludur ve B şişesini içersek ani bir ölümlle karşılaşabiliriz.

BULANIKLIK ve OLASILIK

- Fakat A şişesine ait %91'lik üyelik derecesi bize şişedeki sıvının zararsız sıvılara örneğin saf suya %91 oranında benzediğini ve asla hidroklorik asit(HCl) gibi zararlı bir sıvı olmadığını ifade eder. Bu yüzden bu sıvının bize verebileceği zarar sınırlıdır ve ölüm tehlikesi yoktur. Hatta bulanık bir su olarak düşünülebilir.
- Şimdi etiketleri açıp olasılık ve üyelik derecesinin durumunu tekrar inceleyelim. Etiketler açıldığında A şişesinde çamurlu su B şişesinde ise hidroklorik asit(HCl) çıktığını farzedelim. Buna göre A şişesindeki çamurlu suyun Y kümesine üyelik değeri yine %91'dir; fakat B şişesinin Y kümesine üye olma olasılığı sıfırdır.

BULANIKLIK ve OLASILIK

- Sonuç olarak üyelik derecesi, bir nesnenin herhangi bir kümeye ne derece üye olduğunu, ne derece benzediğini veya bir olayda bir şartın ne derece var olduğunu gösterir ve aldığı değer sabittir. Buna karşılık olasılık ise bir olay gerçekleşmeden önce olup-olmayacağı veya ne derece olabileceği hakkında bilgi verir ve zamana bağlı olarak duruma göre değişebilir. Üyelik derecesi daha çok bir olayın benzerlik derecesini ifade ederken, olasılık olma sıklığını gösterir.

PARADOKSLAR ve BULANIK MANTIK

Temel olarak, paradoks (ikircikli cümle), hem ‘doğru’ hem ‘yanlış’, ya da ne ‘doğru’ ne de ‘yanlış’ doğruluk değerine sahip bir önermedir.

- “Bir tür nesneden pek çoğunun bir araya gelmesiyle oluşmuş bir yığın düşünün, bu nesnelerden birisi eksilse bile yığın olarak kalmaya devam edecektir.” (Sorites)
- “Kel bir adam düşünün ki, bir tel saçı çıksa bile kel olarak adlandırılmaya devam edecektir.” (Falakros)

gibi paradokslar ilk kez antik Yunan’daki filozoflar tarafından not edilmişlerdir.

PARADOKSLAR ve BULANIK MANTIK

Mantıksal sistemler, paradokslarla ilgilenirken iki tür yol izlerler; **ilki, onlardan kaçınmaktır** (onlara, o sistem içinde oluşmaları olanaksız olan özel durumlar olarak davranarak), **diğeri onlara doğruluk değerleri vermektir**. Bulanık mantık, ikinci yolu tercih eder.

Doğruluk değeri atamak açısından bakıldığında, paradokslar, temel olarak iki gruba altında toplanabilirler :

- a. Bir yüzünde “öbür yüzde yazan cümle doğrudur”, öbür yüzünde ise “öbür yüzde yazan cümle yanlıştır” yazan kart örneklerinde olduğu gibi, üçüncü bir doğruluk değerinin yeterli olduğu paradokslar,
- b. Yukarıdaki ‘yığın’ ve ‘kel adam’ örneklerinde olduğu gibi, üçten daha fazla doğruluk değerlerine gereksinim duyulan paradokslar.

PARADOKSLAR ve BULANIK MANTIK

- (a)'daki paradokslar, (b)'dekilerden daha tehlikelidir. Hepsi aynı biçimdedir. Bir a önermesiyle, onun değili $\sim a$, aynı doğruluk değerine sahiptirler, yani $\mu(a) = \mu(\sim a)$. Bu zıtlık kuralı ve dışlanmış orta kuralını ihlal eder ($\mu(a) = 1 - \mu(\sim a)$, ve $\mu(\sim a) = 1 - \mu(a)$).
- Fakat bulanık mantıktaki ifade şekliyle :
- $\mu(a) = 1 - \mu(\sim a)$, ve $\mu(\sim a) = 1 - \mu(a)$ dir,
- böylece $\mu(a) = \mu(\sim a) = 1/2$. Böylece, paradokslar yarı-doğrulara indirgenmiş olurlar.

PARADOKSLAR ve BULANIK MANTIK

- Bulanıklık, aynı zamanda (b)'deki grupta yer alan paradokslara da çözüm getirir. Örnek olarak, bir kum yığınını düşünün. İçinden bir kum tanesini alacak olursak, hala bir kum yığını olarak kalır mı (Sorites tipi paradoks) ? Peki ya iki kum tanesini alacak olursak ? Ya üç kum tanesini ? Birden bire değil, fakat dereceli bir şekilde, bir şeyden (yığından) onun tersi bir şeye (yığın olmayana) geçiş olmaktadır. Burada karşımıza çıkan derecelendirilmiş doğruluktur. a'dan $\sim$ a'ya bir yol hayal edin. Her bir kum tanesinin alınmasıyla, a'dan başlayıp, derece derece $\sim$ a'ya yaklaşıyoruz. Bu yol üzerinde, 'bu hala bir yığın mıdır' sorusunu "yığındır", "hemen hemen yığındır", "neredeyse bir yığındır", vb. şeklinde yanıtlayabiliriz. Veya, "bu bir yığındır" önermesine 'doğru', 'hemen hemen doğru', 'neredeyse doğru' gibi doğruluk değerleri atayabiliriz. Doğru olmanın derecelerinin etkisi, "bu, 0.999 ya da 0.875 ya da 0.764 derecesinde bir yığındır" gibi rakamsal değer içeren ifadelerle daha detaylı biçimde verilebilir.

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

Bir çok matematiksel disiplin belirsizliğin tanımlanmasıyla ilgilenmektedir. Örneğin olasılık teorisi, enformasyon teorisi ve bulanık küme teorisi.

Burada tahminsel (stochastic) ve sözcüksel (lexical) olmak üzere iki tip belirsizlikten bahsedilecektir.

■ **Tahminsel (stochastic) Belirsizlik**

Tahminsel belirsizlik belirli bir olayın olup olmasındaki belirsizlik ile ilgilenmektedir. Şu cümleye bakalım:

Cümle-1:

■ ***Hedefi vurma olasılığı %80 dir.***

Olay (hedefin vurulması) kendi başına iyi tanımlanmıştır. Bu cümledeki belirsizlik, hedefin vurulup vurulamayacağıdır. Bu belirsizlik olasılığın derecesi ile ölçülmektedir. Bu cümlede olasılık %80 dir.

- Bu ve benzeri cümleler, diğer cümlelerle tahminsel metotlar kullanılarak işleme tabi tutulabilir ve birleştirilebilir. (örn. Bayesian calculus)

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

■ **Sözcüksel (lexical) Belirsizlik**

Bir diğer belirsizlik çeşidi ise insanların konuşma dilinde yatmaktadır ve bu sözcüksel belirsizlik olarak adlandırılmaktadır.

■ Bu tip belirsizlik insanların konuları değerlendirmek ve sonuç çıkarmak için kullandığı kelimelerin doğasında olan kesinsizliklerle ilgilenmektedir.

■ Şu kelimelere bakalım: “uzun adam”, “sıcak günler”, “yüksek enflasyon”

■ Burada kesin tanımlamalar yoktur. Birisinin uzun olup olmadığı birçok faktöre bağlıdır. Bir çocuk ile bir yetişkin için farklı faktörler söz konusudur. Aynı zamanda değerlendirmeyi yapanın bilgi ve deneyimi de önemli rol oynar.

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

- Hangi eşik değerinin üzerindeki uzun olduğunu belirleyen bir kural yoktur.
- 180 cm'nin üzerindeki uzun olduğunu söyleyen bir kural olsun. Bu kurala göre 179 cm olan birisi uzun olmayacaktır.
- İnsanların yükseklik, sıcaklık gibi nicelikleri sınıflandırmak için kullandıkları kelimeler subjektif bir kategorilemedir. Bu subjektif kategoriler kullanılarak gerçek dünyadaki nicelikler derecelendirilerek değerlendirilmektedir.
- Hatta birçok konu tam olarak tanımlanmamış olsa bile, insanlar birçok faktörlere bağlı olarak çok karmaşık değerlendirmeler ve kararlar için bunları kullanabilmektedir.

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

- Şu cümleye bakalım:

Cümle-2

- ***Bu yıl muhtemelen başarılı bir finansal yıl geçireceğiz.***
İlk bakışta Cümle-2, Cümle-1'e benzemektedir. Ama aslında önemli farklar vardır.
- Birincisi, olay kendi başına açıkça tanımlanmamıştır. Bazı şirketler için başarılı bir yıl demek bir önceki yıldan daha fazla kar etmek iken, bazıları için aynı seviyeyi korumak, bazıları için ise zarar etmemiş olmak olabilir. Hatta bazıları için mali yılın başarılı olup olmadığını belirleyen sabit bir ölçüt olmayabilir.
- Sonuç olarak “başarılı bir mali yıl” konusu subjektif bir kategorilemedir.

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

- Diğer bir fark ise, olasılığı ifade eden tanımlamada yatmaktadır. Birinci cümlede olasılık matematiksel olarak açıklanırken, ikinci cümle olasılığın miktarını ölçmemektedir.
- İkinci cümledeki olasılık tanımı, birinci cümlede olduğu gibi matematiksel değil algılamaya dayalı bir olasılıktır. İkinci cümledeki olasılık ta subjektif bir kategorilemedir. (uzun adam da olduğu gibi)

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

■ Dilsel Belirsizliğin Modellenmesi

Subjektif kategoriler kullanan cümleler insanların karar verme sürecinde önemli rol oynamaktadırlar. Hatta bu cümleler nicel bilgi içermeseler bile insanlar bunları karmaşık değerlendirmelerde başarılı bir şekilde kullanabilirler.

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

■ İnsan Mantığı olarak Bulanık Mantık

- Gerçek dünyada her bir olası durum için bir kural üretemezsiniz.
- Sürekliliği olan olası durumların çeşitli ayrık noktalarında kurallar oluşturulur ve insanlar yaklaşım ve benzerlik yolu ile olası her durum için çıkarım yapabilirler.
- Bu ise ancak kuralları oluşturan kelimelerin esnekliği ile başarılabilir.

Benzerlik yoluyla soyutlama ve düşünme ise, ancak insan mantığının esnekliği ile mümkün olmaktadır.

BELİRSİZLİĞİN MATEMATİKSEL TEMELLERİ

- Bu insan mantığını mühendislik problemlerinin çözümüne uygulamak için, bir matematik model gereklidir.
- Bulanık Mantık bu matematik model için geliştirilmiştir.
- Bulanık Mantık insanın karar verme ve değerlendirme süreçlerini algoritmik biçimde temsil etmeyi sağlamaktadır.

BULANIK MANTIK KULLANAN SİSTEMLERLE NELER YAPILIYOR

- metroların işleyişi kontrol ediliyor,
- televizyonların alıcıları ayarlanıyor,
- bilgisayar disklerinin kafaları kontrol ediliyor,
- kameralar görüntüye odaklanıyor,
- klimalar, çamaşır makineleri, elektrikli süpürgeler ayarlanıyor,
- buzdolaplarının buzlanması engelleniyor,
- asansörler ve trafik lambaları programlanıyor,
- otomobillerin motorları, süspansiyonları, emniyet firen sistemleri kontrol ediliyor,
- füzeler, çimento karıştırıcılar kontrol ediliyor,
- robot kolları yönlendiriliyor,
- karakterler, nesneler tanınıyor,
- golf kulüpleri seçiliyor, hatta çiçek düzenlemesi yapılıyor.