

Otomasyon, Otomatik Kontrol, Akıllı Kontrol, Bilimsel Tanımları ve Uygulama Sınırlamaları

Prof. Dr. Turhan ÇİFTÇİBAŞI
Konuk Editör

Başkent Üniversitesi ElektrikElektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı
Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Yönetim Kurulu Üyesi

Bilim Tarihi Açısından Otomatik Kontrol

Buhar gücünün keşfi ile mekanik sistemlerin programlandığı şekilde hareket etmesini ve hataların düzeltilmesini sağlayan denetim kavramı gelişmeye başlamıştır. Elektriğin keşfinden önce, "tümüyle mekanik" denetim sistemleri kullanılmıştır. Basit bir örnek olarak James Watt'ın 1769 yılında kullandığı "uçantop denetleyicisi" gösterilebilir. (Şekil:1) "Motor hızlandıkça merkezkaç kuvvetiyle açılan topa bağlı bir kolun, mekanik manivelalarla motora giren buharı kısıması ve böylece hızın sabit tutulmasını sağlayan geri besleme sistemleri gösterilebilir. Bu alanda oldukça gelişme sağlanmış, çok karmaşık makineler yapılmış, ve bir anlamda "Mekanik Bilgisayar" diyebileceğimiz tümüyle mekanik hesaplama ve kontrol sistemleri geliştirilmiştir.

Daha sonra elektriğin keşfi ile elektriksel sistemler ve bunların denetimi gelişmiş; mekanik sistemlerin denetim fonksiyonunun dahi elektriksel platformda yapılması sağlanarak çok daha karmaşık sistemlerin denetlenmesi mümkün olabilmektedir.

Elektronik devrelerin kullanılması sonucunda basitleşen kontrol uygulamaları, daha fazla teorik çalışmaların yapılmasını sağlamış, matematiksel kontrol kuramı gelişmiştir. Batı dünyasında frekans domeninde büyük gelişmeler yapılmış, Bode, Nyquist gibi önemli kontrol kuramı teorisyenleri yetişmiştir. Doğu blokundaki çalışmalar daha çok zaman domeninde sınırlı kalmıştır.

İkinci Dünya savaşı sırasında bilhassa pilotsuz uçakların, atış kontrol sistemlerinin, radar anten kontrol sistemlerinin ön plana çıkması ile otomatik kontrolün önemi iyice öne çıkmıştır. Savaş öncesinde matematiksel model katsayılarının deneme yanılma ile bulunması genel uygulama iken, örneğin bir pilotsuz uçağın deneme yanılma ile geliştirilmesi çok sayıda uçak kaybına neden olacağından, matematiksel modelin teorik olarak doğru saptanmasının önemi artmış ve kontrol kuramı matematiksel olarak gelişerek temel bir bilim disiplini haline gelmiştir.

İkinci dünya savaşı sonrasında da frekans domeni teknikleri gelişmeye devam etmiş, karmaşık frekans "s değişkeni" yaklaşımı ve Laplace değişkeni yöntemi kullanılmış, sistem kararlılığını test eden Kök Yer Eğrisi yaklaşımı geliştirilmiştir. Daha sonra sanayileşmenin hızlanması ve buna karşılık işçi haklarının önem kazanması ile "işçiye daha fazla olanak verirken, maliyeti en aza indirmek" yolu aranmış; fabrikalarda en az işgücünü gerektiren robotlarla ve otomasyonla üretim ön sırayı almıştır.

1980'lerde bilgisayarların gelişmesi ve küçülmesi ile her alanda bilgisayar kullanımı, karmaşık hesaplamaların derhal yapılabilmesini olanaklı kılmıştır. Böylece gerektiğinde kendi hatalarını düzelten "gülbüz denetim sistemleri" teorisi ve uygulaması geliştirilmiştir.

1990'lardan itibaren uzay gemilerinden robot denetimine, en ince detayda çalışma gerektiren hassas üretimlerde, insan elinin giremeyeceği boyutta üretim ve işlem sahalarında (tıpta vücudu açmadan artroskopik operasyonlarda), genlerin denetiminde en yeni teknolojik yeniliklerle, otomatik kontrol kavramlarının doğrudan uygulanmadığı alan kalmamıştır.

"Otomatik Kontrol"un Teori ve Uygulamalarının Aşamaları

Otomatik kontrol bilimi, fiziksel kontrol sisteminin matematiksel olarak kurulmasını, matematik dünyasında çözümlendikten sonra fiziksel uygulamada kullanılmasını sağladığı için "fiziksel sistemin yapısı" ile "matematiksel modelleri" arasındaki bağlantı ve ayrıma dikkat çekmek gereklidir.

Matematiksel Modelleme: Kontrol edilecek sistemin tüm davranışlarının matematiksel formüllere çevrilmesidir. Aynı fiziksel sistemin çok değişik matematiksel modeli kurulabilir. Her model belirli varsayımlar taşıdığı için hiçbir model fiziksel sistemin tam modeli değildir. Basitleştirilmiş modelleri, lineerleştirilmiş modelleri kullanılabilir. Hatta birbirinin tam eşdeğeri olmakla birlikte farklı gösterimdeki modelleri kullanılabilir. Bir sistemin türevsel denklemi modeli ile durum denklem takımı modeli, birbirinin eşdeğeri ama farklı biçimdeki modellerdir. Bir elektrik devresinin sabit bir frekanstaki sinüzoidal uyarıya tepkisinin genlik ve açısını bulmayı önemsiyorsak fazör modelini kullanabiliriz; farklı frekanslara vereceği tepkinin genliğini önemsiyorsak süzgeç devresi modellemesini kullanmalıyız.

Matematiksel Analiz ve Tasarım: Matematiksel model üzerinde yapılan bilimsel çalışmalarla, hangi işlemlerle istenen davranışın elde edilebileceği araştırılır ve matematiksel olarak çözümlenir. Sonsuz denecek sayıda farklı modelin, sonsuz denecek sayıda farklı tekniklerle analizi, istenen davranışı verecek düzenlemelerin matematiksel olarak saptanması üzerinde 50 yıldır bilimsel çalışmalar yapılmakta, tasarımlar geliştirilmektedir.

Sistemin Tasarımı ve Kurulması: Matematiksel dünyada kurgulanmış çözüm, fiziksel sistem üzerinde kurulur. Yukarıda da bahsedildiği gibi, bir mekanik sistemde istenen geri besleme bağlantısı salt mekanik dünyada yapılabildiği gibi elektriksel platformda yapılarak mekanik dünyaya bağlantısı yapılabilir. Bu nedenle bu işlemde de farklı alternatifler söz konusudur. Yukarıdaki aşamaların başarı ile kullanılabilmesi için, Otomatik Kontrol bilim adamı öncelikle çok iyi bir matematikçi, ve bunun yanında çok iyi bir elektronikçi ve/veya mekanikçi olmalıdır.

Kural Tabanlı Kontrol Sistemleri Bilgisayarların ve mikro işlemcilerin küçülmesi, ucuzlaması, ve hızlanması ile her sistemin kendi bilgisayarını ya da mikro işlemcisini taşıması mümkün olmuştur. Otomatik kontrol biliminin karmaşıklığı, insanları daha kolay çözümlere itmiş ve sistemin ayrıntılı matematiksel özelliklerini bilmeden de sistemleri işe yarar şekilde çalıştıracak daha sade çözümlerin arayışına yöneltmiştir. Bilgisayar ya da PLC (Programlanabilir mantık denetleyiciler, sisteme özel mikro işlemci) kullanarak ve "kural tabanı" ismi verilen talimatların mikro işlemciye programlanması ile; istenen sonuçtan sapmaların, giriş değişkeninde ayarlama yaparak derhal düzeltilmesi sağlanabilmektedir. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki basit ve yararlı örnek sunulmuştur:

Bir üretim fırınının sıcaklığının 110 derecede kalması için mikro işlemciye verilen aşağıdaki kurallar bütününe "kural tabanı" ismi verilmektedir:

Sıcaklık 110 derece ise ısıtıcı ayarını değiştirme,

Sıcaklık 100 derece ise ısıtıcı ayarını 1 kademe artır,

Sıcaklık 90 derece ise ısıtıcı ayarını 2 kademe artır,

Sıcaklık 120 derece ise ısıtıcı ayarını 1 kademe azalt,

Sıcaklık 130 derece ise ısıtıcı ayarını 2 kademe azalt,

gibi kurallar verilerek sıcaklığın 110 derece yakınında kalması sağlanmaktadır.

Daha hassas işlem yapmak için sıcaklık yanında sıcaklığın artış/azalış durumu da kurallar kümesine eklenebilir.

Sıcaklık 110 derece ise ve artıyorsa ısıtıcı ayarını 0.5 kademe azalt,

Sıcaklık 110 derece ise ve azalıyorsa ısıtıcı ayarını 0.5 kademe artır,

Sıcaklık 100 derece ise ve artıyorsa ısıtıcı ayarını 0.5 kademe artır,

Sıcaklık 100 derece ise ve azalıyorsa ısıtıcı ayarını 1.5 kademe artır,

Sıcaklık 90 derece ise ve artıyorsa ısıtıcı ayarını 1.5 kademe artır,

Sıcaklık 90 derece ise ve azalıyorsa ısıtıcı ayarını 2.5 kademe artır,

Mikro işlemcilerin hafıza ve hızlarının yukarıdaki işlemler için fazlasıyla yeterli olması nedeniyle derece denetim aralıkları çok daha dar tutulabilir ve sıcaklık artış hızına göre daha detaylı komutlar verilebilir. Dış sıcaklığa göre, günün saatine göre, üretim programındaki aciliyete göre fonksiyonel ek kurallar (komutlar) da eklenebilir..

Bu tür kurallarla yapılan denetime "Kural Tabanlı Denetim" (Rule Based Kontrol) adı verilmektedir. "Akıllı Denetim" olarak da adlandırılan bu tür denetim kullanarak, sistemin yapısı hakkında minimum matematik bilgisiyle ve sistemin matematiksel modelini, kararlılık durumunu bilmeden, deneme yanılma ile ölçüm sınırları ve ayar kademeleri saptanmakta ve kullanılabilir bir denetim fonksiyonu elde edilebilmektedir. Ölçüm aralıkları daha sık alınır ve ayar kademeleri daha iyi ön çalışma ile daha iyi saptanırsa daha başarılı sonuçlar alınabilmektedir.

Kontrol sistemlerinin mikroişlemcilerinde (PLC'lerde) büyük gelişmeler sağlanmış, mikroişlemci programlama dilini bilmeden, menülerinden seçerek hangi saatler arasında, hangi giriş ve çıkış koşullarında ne davranış vereceğini menülerden seçerek programlayan özel uygulama amacına dönük mikroişlemciler üretilmiş, PC tabanlı çalışan programlar geliştirilmiştir.

Günümüzde fabrikalardaki otomatik kontrol uygulamalarına "Fabrika Otomasyonu", akıllı bina sistemlerindeki uygulamalara "Bina Otomasyonu" isimleri verilmektedir ve bu otomasyon uygulamalarının hemen tümüne yakın kısmı kural tabanlı kontrol sistemleri ile sağlanmaktadır. Bu sayısal kontrol sistemleri, fabrika otomasyonunda kullanıldığında üretimin tüm aşamalarında görev almakta, imalat planlamasına da yardımcı olmaktadır.

Bulanık (Fuzzy) Kontrol Sistemleri

Kural Tabanlı kontrol sisteminde ölçülen değer, kuralların kullandığı "ana değerler" değerler arasında gelirse, (yukarıdaki örnekte 90, 100, 110 derece basamakları arasında örneğin 92 derece ölçülmüşse) mikroişlemci hangi kuralı kullanacaktır? En basit cevap mikroişlemcinin aradeğerleme (interpolation) yapmak üzere programlanmasıdır. Kurallar sistemi iyi çalıştıracak şekilde seçilmişse, ara değerleme yapılarak tüm ölçüm değerlerinde iyi bir çalışma elde edilebileceği açıkça görülür.

"Interpolation" yapmak için yeni bir yaklaşım "Bulanık Mantık" yaklaşımı olarak geliştirilmiştir. Bulanık mantıkta bir önermenin Doğru=1, Yanlış=0 değerleri dışında kısmen doğruluk derecelerinin de bulunduğu kabul edilir. Bir önerme %90 doğru (%10 yanlış) bir başka önerme %40 doğru (%60 yanlış) olabilmektedir. Bulanık mantık kullanarak yapılan kontrol sistemleri, ölçüm değerinin kuralların ana değerleri (yukarıdaki örnekte 90, 100, 110 dereceler) arasında olduğunda okunan değere göre bir doğruluk değeri vermektedir. Yukarıdaki örneğe göre sıcaklık ölçümü 93 derece olduğunda "sıcaklık 90 derecedir" ifadesinin %90 doğru, "sıcaklık 100 derecedir" ifadesinin %10 doğru kabul edilir. Bu değerler, seçilen bir doğruluk işlevi truth function ile tanımlanır. Buna göre hedef talimatın da bu ağırlıkta yerine getirilmesi talimatı verilir.

Gene yukarıdaki örneğe göre "Isıtıcı ayarını 1 kademe artır" talimatının %10 ağırlıkla "Isıtıcı ayarını 2 kademe artır" talimatının %90 ağırlıkla uygulanması gerektiği ortaya çıkmaktadır, ve bu da bulanık mantık algoritması gereğince, (seçilen doğruluk işlevi gereğince) ısıtıcı ayarını yaklaşık 0.85 kademe artıracaktır. Görüldüğü gibi bulanık mantık algoritmaları aslında, başarılı bir şekilde "Aradeğerleme = Interpolation" yapan "Kural Tabanlı Kontrol Sistemleri"dir.

Bulanık Mantığın Zayıf Noktası

Kural tabanlı kontrol sistemlerinin (dolayısıyla bulanık kontrol sistemlerinin) önemli zayıf noktası; sistemin, kural tabanlarının ana değerlerinin aralıklarında tekdüze (monoton) (sürekli artan veya sürekli azalan) özellikte olması gerektiğidir. Örnek sistemimizde 90 derece ve 100 derece sıcaklıklar arasında sistemin özelliği monoton ise ara değerleme (interpolation) başarılı sonuç verecektir. Arada maksimum ya da minimum yapıyorsa ara değerleme gerçek değeri bulamayacağından sistem bu aralıkta doğru sonuca ulaşamayacaktır. Bu nedenle kural tabanları hazırlanırken sistemin maksimum, minimum noktaları kuralların ana noktalarına dahil edilmelidir.

Kural tabanlı sistemlerin birden fazla giriş (ölçüm) değişkeni varsa durum daha zorlaşmaktadır. Örnek bir "iki ölçüm değişkenli sistem" üzerinde inceleyelim:
Sıcaklık 80 derece, basınç 1 atmosfer ise yakıt kademe 20 de tut,
Sıcaklık 90 derece, basınç 1 atmosfer ise yakıt kademe 15 te tut,

Sıcaklık 80 derece, basınç 2 atmosfer ise yakıtı kademe22 de tut,
gibi bir kimyasal kontrol sistemi monoton değilse her iki değişkene göre maksimum/minimum noktalarını kural tabanına dahil etmek zorundayız. En kötü durum ise, bir ölçüm değişkenine göre maksimum/minimum noktasının diğer ölçüm değişkenine göre hareket ediyor olmasıdır. Bu durumda hiçbir zaman ölçüm noktaları arasında monotonluk sağlanamayacağından, monotonluk sağlanamayan aralıklarda kural tabanlı kontrol (bulanık kontrol) sağlıklı bir karar veremez.

Literatürde, sistemlerin detaylı matematiksel özelliğini bilmeden kullanılabilirdiği belirtilen "Kural Tabanlı Kontrol/Bulanık Kontrol" yaklaşımının aslında her durumda kullanılabilir olmadığı yukarıdaki incelemeden anlaşılmaktadır. Aslında sistemin özelliği fazlasıyla yeterli olarak bilinmelidir. Sistem ya monoton olmalı, ya da kural taban değerleri arasında monoton olmalıdır. Birden fazla giriş (ölçüm) değişkenli sistemlerde bir değişkene göre maksimum/minimum değerleri diğer değişkene göre sabit olmalıdır. Literatürdeki başarılı bulanık mantık uygulamalarının tümünün "sıcaklık kontrol sistemi", "çimento üretim fırını kontrolü" gibi girişçıkış özelliği monoton olan sistemlerden seçilmiş olması da bu nedenledir.