



Bulanık Mantığın Akıllı Etmenlere Bütünleştirilmesi: Bir SFS Üzerinde Deneyler

Integrating Fuzzy Logic into Intelligent Agents: Experiments on a CPS

Burak KARADUMAN
Department of Computer Science,
University of Antwerp & Flanders Make,
Antwerp, Belgium
burak.karaduman@uantwerpen.be
ORCID: 0000-0002-7262-992X

Barış Tekin TEZEL
Bilgisayar Bil. Bölümü
Dokuz Eylül Üniv,
İzmir, Türkiye
baris.tezel@deu.edu.tr
ORCID: 0000-0003-4873-7848

Moharram CHALLENGER
Department of Computer Science,
University of Antwerp & Flanders Make,
Antwerp, Belgium
moharram.challenger@uantwerpen.be
ORCID: 0000-0002-5436-6070

Öz

Siber-fiziksel Sistemler (SFS), anlık dış değişikliklerin olduğu fiziksel dünya ile etkileşime giren karmaşık yapıdaki sistemlerdir. Literatürde, yazılım etmenleri bu karmaşık yapıdaki sistemlerin programlanması için bir seçenek olarak kabul edilir ve sahip oldukları özellikleri geliştirmek için bulanık mantık ile birlikte kullanılabilir. Etmen odaklı yaklaşımlar, özellikle Kanı-İstek-Hedef (KİH) mimarisi, çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Siber-fiziksel Sistemler alanında özerklik, önalma ve insan benzeri akıl yürütme, bir sistemin zekasını geliştirmek için gereken temel unsurlardır. KİH etmenleri tarafından bu özellikler, sistemlerin karmaşık olduğu SFS de uygulanabilir ve bulanık mantık ile kapasiteleri genişletilebilir. Bu çalışma, SFS'deki kusurlu olabilecek hesaplamaları azaltmak amacıyla bulanık mantığı baz alarak KİH mimarisine bağlı akıllı etmenleri uygular. Önerilen bulanık KİH yaklaşımını değerlendirmek için bir MİB fan sistemi kullanılmıştır. İlk olarak, sıcaklık duyargasının herhangi bir örnekleme gürültüsü olmadan ideal olduğu varsayılarak sistem test edilmiştir. Normal KİH ve bulanık mantık tabanlı KİH ayrı ayrı uygulanarak sonuçlar test edilmiştir. Daha sonra +- beş hata oranı dikkate alınarak veri örnekleme süreci test edilmiştir. Hem ideal hem de gürültülü veriler için bulanık KİH yaklaşımının önemli bir gelişme gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, somut bir vaka çalışması da kullanarak Jason KİH için akıl yürütme döngüsü kısıtlamaları denenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bulanık KİH Etmeni, Etmen-tabanlı SFS, Fan Kontrol Sistemi, Akıllı Etmenler, Jason Etmen Programlama Dili

Abstract

Cyber-physical Systems (CPS) are complex systems that interact with the physical world where instant external changes exist. In the literature, software agents are considered as an option, and their enhancement with fuzzy logic can also be employed to enhance their abilities. Agent-oriented approaches, particularly Belief-Desire-Intention (BDI) architecture, are used in various applications. In all these domains, autonomy, proactivity, and human-like reasoning are essential aspects to enhance the intelligence of a system. These features can also be applied in CPS, where the systems are complex. This study aims to enhance a CPS using fuzzy logic for intelligent agents so that intelligent decision making can be applied to eliminate inaccurate calculations in the CPS. To evaluate the proposed fuzzy-BDI approach, we used a MIB fan control system. First, the system is tested assuming that the temperature sensor is ideal without any sampling noise. We applied traditional BDI and fuzzy-BDI separately. Then, we tested the data sampling process considering the +-five error rate. We concluded that the fuzzy-BDI approach for both ideal and noisy data showed considerable improvement. Moreover, we experimented the Jason's reasoning cycle constraints using a concrete case study.

Keywords: Fuzzy BDI Agent, Agent-based CPS, Fan Control System, Intelligent Agents, Jason Agent Program Language

1. Giriş

Siber-fiziksel sistemler, ilişkisel ve işlevsel perspektiflerin tanımından ötürü iyi tanımlanamaz. İlişkisel perspektif, belirli bir noktadan başlayan, durumlar arasındaki geçiş aşamalarını gözlemlenebildiği, siber ve fiziksel parçalar arasındaki etkinin birbirini etkileyerek ilerlediği ve böylece son duruma

ulaşabilen sistemler olarak tanımlanır. Bu nedenle, programın çıktısı herhangi bir girdi için tahmin edilebilir. Ancak bu durum fiziksel etkileşimin dinamik bir ortamda gerçekleştiği durumlarda geçerli olmayabilir. Siber-fiziksel sistemler, uzun süre reaktif davranırken aynı zamanda da çevre ile uzun süre çalışacak şekilde inşa edilmelidir. Ancak dinamik çevre ile sürekli bir etkileşimi sürdürmek zordur. Değişikliklere beklendiği gibi yanıt verememeleri de olasıdır. Bu nedenle, bu sistemler, bu sorunların üstesinden gelmek için onlara reaktiflik, önalıcılık ve özerklik kazandıran bir paradigma ile birleştirilmelidir.

Etmen önalıcı davranırken bir dereceye kadar da özerkliğe sahip bir yazılımsal varlıktır. Önalıcılık aracıya hedeflerine ulaşmanın en iyi yolunu bulması için bir hedef vermek anlamına gelir. Bir etmeden, en verimli yolu kullanırken herhangi bir insan rehberliği ve müdahalesi olmadan belirli bir hedefi çözmesi beklenir. Örneğin bir etmen, sahibi evde yokken herhangi bir insan aktörden ek işlem gerektirmeden tüm evi temizleyebilir [1].

Etmenler, daha önce bahsedildiği gibi, çevreyi sürekli olarak etkileyen ve değiştiren sistemlerdir, çevre ise etmenlerin iç yapısında başka değişikliklere neden olur. Bu nedenle, etmenler kendilerini çevreye uyarlamak için bu uyarılara göre hareket etmek adına çevrelerinde algılanan değişikliklere göre onları harekete geçirecek planlara ihtiyaç duyarlar. Literatürde, yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan biri Kanı-İstek-Hedef (KİH) mimarisidir [2], [3]. Ayrıca KİH, etmen paradigmasının önemli bir alt yapısıdır; hava trafik kontrolü, uzay sistemleri ve insan odaklı karar verme simülasyonu gibi birçok zorlu ve yaygın uygulama alanına sahiptir [4].

KİH tabanlı sistemlerin üstünlüklerinden biri, kuramsal yaklaşımlara [3]–[5] ve çeşitli uygulama alanlarına ve sistemlere uygulanabilir olmasıdır. Etmenler, hedef sistemin özelliklerini ve yeteneklerini geliştirdiği için siber-fiziksel sistemlere de entegre edilebilir. KİH mimarisi, insan benzeri bir akıl yürütmenin bir programlama dili ile tanımlanmasına izin verir [6]. Bu şekilde, alt yapısında temel insan bilgilerinin depolanmasını ve işlenmesini taklit edebilir. Çalışma [3], BDI mimarisinin yapısından ayrıntılı olarak bahsetmektedir.

Bu çalışmada, KİH etmenlerinin kontrol döngüsünde, çevre algısı, plan seçimi ve plan yürütmesinin bulanıklaştırılması ile beraber onu bir SFS'ye entegre etmeyi de amaçlamaktadır. Ortamdan periyodik olarak algılanan veriler, bulanık üyelik fonksiyonları aracılığıyla kanının doğruluk derecesi ile dilsel temsilini elde etmek için bulanıklaştırılmıştır. İnançların doğruluk derecesinin temel fikri, bazı kanılar ara doğruluk değerlerine sahipken, diğerlerinin tamamen doğru veya yanlış olmasıdır. Bu şekilde her kaniya ait doğruluk değerleri oluşturulur. Dolayısıyla seçilebilir planların ön koşulları klasik mantığa göre (doğru veya yanlış) olarak değerlendirilmeyecektir. Bunun yerine, yürütme için en yüksek tetikleyici değerli planın seçilmesi için her bir planın tetikleme değeri hesaplanarak bulanık kurallar gibi değerlendirilebilirler. Plan tetikleme değeri, yürütme sırasında plan içindeki bulanık eylemlere de izin verir. Böylece planlar arasındaki geçişler daha pürüzsüz hale gelirken, insan

zekasına daha benzer planlar kullanılabilir. Bahsedilen bu çalışmalar Jason platformunda uygulanmaktadır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekildedir: Bölüm II'de alakalı çalışmalara değinilmiştir. Bölüm III, bu makalenin arka plan bilgilerini sunmaktadır. Bölüm IV, bulanık akıllı etmenlerden bahseder. Bölüm V'de bir özet ve somut vaka çalışmaları verilmiştir. Son olarak, makale sonuçlandırılmakta ve Bölüm VI'da gelecekteki çalışmalar tartışılmaktadır

2. Kaynak Araştırması

KİH etmenleri üzerinde bulanık yaklaşımların kullanımına bakıldığında kaynaklarda özel çalışmalar mevcuttur. Kacprzak ve Kosinski, KİH'da düzenli bulanık sayılar için geçerli olan bir yaklaşıma sahiptir [7]. Özel olarak, etmen sistemlerine ve kanılarına odaklanmışlardır. Etmen akıl yürütme, karar verme, kanı güncelleme ve kanı oluşturma için düzenli bulanık sayıları kullanmayı amaçlamışlardır. Araştırmalarına göre, mantığı gerçek algılardan formüle etmişlerdir. Ancak gerçek hayatta çoğu vaka, "çoğu zaman kanılar bulanıktır" [8], [9] şeklinde öne sürdükleri yaklaşımlarıyla durum formüle edilemez. Örneğin, "Yarın çok sıcak olacak" ifadesindeki "çok" belirsizdir. Çünkü "çok" ile "daha az" arasında kesin bir ayırt edici tanım yoktur. Çünkü "sıcak" dilsel bir tanımdır, "çok" ise belirli sınırları olmayan bir dilsel değerdir. Çalışma [10]'da, bir müzede insanlar ve bilgisayarlar arasındaki öğrenme sürecini geliştirmek için Tip-2 bulanık KİH uygulanmaktadır. Eksik etkileşimlere neden olan durumları bulmayı ve müze ziyaretçilerinin öğrenme sürecini iyileştirmeyi amaçlarlar. Çalışma [11], bulanık yaklaşımın bir PID denetleyici ile kullanıldığı bir kontrol mühendisliği perspektifinden bulanık tabanlı bir yaklaşım önermektedir. [12]'de, bulanık KİH'a dayalı bir GCF (bilgisayar tarafından oluşturulan kuvvet) davranışı karar verme modeli önerilmiştir. Savaş jetlerini benzetmek için bulanık bir KİH modeli kullanılmıştır. Bu şekilde, bulanık mantık kullanarak karmaşık parametreleri işleyen daha gelişmiş bir simülasyon platformu oluşturmuşlardır. Çalışma [13], son kullanım ömrü, makine arızaları, tedarik zincirlerinde hammadde eksikliği nedeniyle ortaya çıkan kusurlu bilgiler ve öngörülemeyen durumlarla başa çıkmak için bulanık KİH tabanlı etmenleri kullanır. Benzer bir çalışmada [14], bir yazılım aracı oda sıcaklığını kontrol etmek için bulanık bir KİH yaklaşımı uygular. Bir çalışmada [15], SFS ve yazılım etmenlerinin entegrasyonunu göstermek için etmen tabanlı bir LEGO üretim hattı önerilmiştir. Çalışma, LEGO teknolojisinin, gerçek fiziksel üretim hatlarına erişimin mümkün olmadığı bir fabrikadaki bir üretim hattının fiziksel süreçlerini taklit edebileceğini ve minyatürleştirilebileceğini öne sürmektedir. Başka bir çalışmada [16], etmen odaklı paradigmanın çoklu siber-fiziksel sistemleri programlamak, düzenlemek ve iletişim kurmak için uygun olduğunu göstermek için çok etmenli bir konvoy robot sistemi önerilmiştir. Çalışma [17], optimizasyon için uygun algoritmaları seçmek adına bir karar verme yaklaşımı önermektedir. Yaklaşımları, farklı meta-sezgisel algoritmaları bir araya getirmeyi hedefler. Bunun için uygun meta-sezgisel algoritmaları otomatik olarak seçebilen işbirlikçi bir şema oluşturmak adına bulanık bir sistem oluşturmayı amaçlar. Bu nedenle, hedef sistem o anda uygun algoritmayı seçip değiştirerek dinamik olarak optimize edilebilir. Çalışma [18]

SFS ile birleştirilebilecek kablosuz-sensor ağları tabanlı bir nesnelerin internetinden bahseder. İki farklı paradigmanın birleştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Çalışmada bir yangın algılama sistemi durum çalışması sunulmuştur. Başka bir çalışma ise [19] bir KİH tabanlı durum çalışması sunar. Durum çalışması çoklu etmen kullanılarak JACK dilinde ve Prometheus yöntemi ile geliştirilmiştir.

3. Arka Plan Bilgileri

Bu bölüm, Jason aracı geliştirme ortamı, nesnelerin interneti, bulanık sistemler ve siber-fiziksel sistemler hakkında arka plan bilgisi verir.

3.1. KİH Tabanlı Akıllı Etmenler: Jason Etmen Geliştirme Ortamı

Jason [20], Agentspeak [21] bazlı Prolog benzeri bir mantıksal programlama dilidir. Aynı zamanda Java ortamının genişletilmiş bir yorumlayıcı versiyonudur. Agentspeak dili, açıkça KİH modelini [23] somutlaştıran ve iyi bilinen Süreçsel Akıl Yürütme Sistemi (SAY) mimarisi [22] üzerine kurulmuştur. KİH'da etmenler sürekli olarak çevrelerini gözlemler ve ortamdaki değişikliklere anında tepki verirler. Bu tepkiler, etmenin mental durumuna göre değişebilir. Bir etmenin üç bilişsel bileşeni vardır: kanı, istek ve hedef.

Kanılar, etmenin kendisine ait olan, diğer etmenleri ve etmenlerin çevresi hakkında bilgilerdir. İstekler, potansiyel olarak başarılı durumlar olabilen tüm amaçları temsil eder. Herhangi bir istek, etmenin eylemleri için potansiyel bir tetikleyicidir. Son olarak, hedefler, gerçekleştirilmeye karar verilen herhangi bir faaliyet durumu olarak tanımlanır. Hedef, bir amaç tarafından atanan bir seçenek veya seçeneklere ilişkin değerlendirmelerin sonucu olabilir. Agentspeak ile yazılan bir etmen, kanılar, kurallar ve planlardan oluşur. Kanılar, etmen bilgilerinin başlangıç noktasıdır. Kurallar, mantıksal ifadeler ve matematiksel işlevlerden oluşurken, planlar, tanımlanmış amaçlara ve alt amaçlara ulaşmak için yapılan eylemlerdir. AgentSpeak dilinde planlar tetikleyici olayları, bağlam (eng. context) ve gövdeden oluşur. Tetikleyici olay, hangi planın hangi ilgilenilmesi amaçlanan olay için uygun olduğunu ifade eder. Bağlam, uygun olup olmadığına bakılmaksızın, ilgili planın uygulanabilir olup olmadığını belirtir. Son olarak, gövde ardışık eylem biçimlerinden ve alt amaçlardan oluşur.

3.2. Bulanık Sistemler

Bulanıklık kuramı, kesin olmayan ve belirsiz bilgilere bağlı tanımlanan problemlerin üstesinden gelmek için ilk kez Zadeh [24] tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra bulanık kuram, karar verme, kontrol ve otomasyon mühendisliği ve akıllı sistemler gibi alanlarda büyük ilgi görmüştür [25]. Bulanık yöntem, bir insan operatörün bilgisinin ve akıl yürütme sürecinin temsiline dayalı olarak ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık, ikili mantığa dayalı yöntemler üzerinde bir iyileştirme sağlayarak insan karar süreçlerinin sürekli doğasını taklit edebilir. Geleneksel mantık (eng. boolean logic) yerine sorunsuz hesaplamalar elde etmek için dinamik sistemlere uygulanabilir.

Sistem, bir ortamdaki dışarıdan gelen ve anlık gerçekleşen değişiklikler nedeniyle etkilenebilir. Bu nedenle, sistem kendini kararlı kılmalı ve duruma uyum sağlamalıdır. Bulanık kuram, geleneksel yöntemlerin aksine, SFS'de uygulanabilen platformdan bağımsız bir modeldir. Tasarım yöntemi, bir insan operatörün bilgisini ve akıl yürütme sürecini temsil etmeye dayalı olarak oluşturulur. Bu, sistem kararlılığını güçlendiren insan benzeri karar sonuçları yaratır.

3.3. Siber-Fiziksel Sistemler

Siber-Fiziksel Sistemler, fiziksel dünyaya (fiziksel kısım) atanmış bilgi işlem teknolojilerine (siber kısım) dayalı olarak oluşturulan karmaşık, çok disiplinli, dinamik sistemlerdir. Fiziksel dünya ile etkileşim gereksinimi, gerçek dünyanın dinamik davranışları ve olayları nedeniyle SFS'nin durumunu tahmin edilemez kılmaktadır. Bu nedenle, bir SFS'nin bu olayları gerekçelendirmesi ve davranışını bu olayların neden olduğu değişikliklere göre uyarlaması gerekir. Bu zorlukların üstesinden gelmenin bir yolu, onları akıllı etmenlerle akıllı hale getirmektir. Dinamik değişiklikler sırasında akıllı kararlar almak için bu değişiklikleri akılda tutmak ve sonra bunları uyarlamak için karar verme mekanizmalarını kullanmak gerekir. Bu sayede hem dahili hem de harici olarak karşılaştıkları öngörülemez olayları işleyebilirler.

3.4. Atanmış Sistemler

Atanmış bilgisayar teknolojisi, bir bilgi işlem donanımı olan bir mikroişlemcinin atanmış bir yazılım kullanarak programlanmasını sağlar. Bu şekilde, herhangi bir özel görevi gerçekleştirmek için bir uygulama geliştirilebilir. Atanmış bir donanım, Giriş/Çıkış bağlantı noktalarını kullanarak siber dünyayı fiziksel dünyaya bağlar. Bir duyurga, ortamdaki fiziksel büyüklüğü ölçer ve sayısal bir değere dönüştürür. Ölçülen büyüklükler de hafızaya kaydedilir. Bir eyleyici, sayısal bir komutu fiziksel bir olguya dönüştürür ve ortamda hareket, ses, ışık vb. gibi bir etki yaratır. Eyleyiciler ve duyurgalar Giriş/Çıkış portlarına takılabilir. Etmen kontrollü bir sistem için algılar duyurgalar aracılığıyla toplanabilir ve eylemler eyleyici aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

3.5. Nesnelerin İnterneti

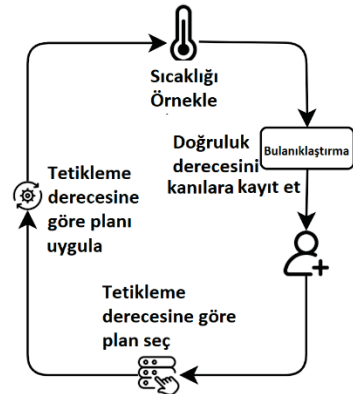
Nesnelerin İnterneti (Nİ), elektronik, yazılım, duyurgalar ve eyleyiciler, atanmış cihazlar, aletler, araçlar, binalar ve diğer öğeler gibi fiziksel nesnelerin ağ oluşturmasıyla ilgilidir. Bu nesnelerin bir ağ üzerinden veri toplamasını ve bilgi alışveriş etmesini sağlar. Nİ, nesnelerin mevcut ağ altyapısı üzerinden uzaktan algılanmasına ve kontrol edilmesine izin vererek, fiziksel dünyanın bilgisayar tabanlı sistemlere doğrudan entegrasyonu için fırsat oluşturur. Nİ, İnternet'in çeşitli duyurgalar aracılığıyla fiziksel dünyaya bağlandığı bir sistemi tanımlamak için kullanılır. Nİ, insan müdahalesi olmadan çalışabilir ve etkileşim kurabilir. Nİ'nin geliştirilmesi, altyapı, iletişim, arayüzler, protokoller ve standartlar gibi birçok konuyu içerir. Çalışmamızda birlikte çalışabilirlik ilkesi göz önünde bulundurularak Nİ paradigması SFS ve etmenler birlikte kullanılmıştır.

3.6. SFS Olarak LEGO

Etmen ve SFS entegrasyonu, çeşitli uygulamalarda üst düzey programlamayı gerektirir. Etmenler, SFS'nin fiziksel bileşenleri üzerinde kontrol sahibi olurlarsa, muhakeme mekanizmalarını kullanarak siber sorunların çözülmesine yardımcı olabilirler. Ancak maliyet, güvenlik nedenleri ve planlanan sistemin boyutu nedeniyle gerçek bir SFS oluşturmak her zaman mümkün değildir. Bu nedenle sistem, işlevselliğini, doğruluğunu ve hedeflerini sürdüreceği biçimde küçültülmelidir. Bu sayede esas sistemin bir minyatür prototipi kurulabilir. İnşası kolay bir teknoloji, yeniden kullanılabilirlik sağlarken (mevcut sistemi ayrıştırarak veya yeni malzemeler ekleyerek başka bir sistemi değiştirmek/oluşturmak için) hedef sistemi taklit etmeye yardımcı olur. LEGO teknolojisi, duygular ve eyleyiciler, bir donanım arayüzü kullanılarak atanmış donanımla birleştirilebilir. Böylece, LEGO parçaları ve bileşenleri, ana iskeleti oluşturmak ve benzer bir SFS sistemini elde etmek için kolayca kullanılabilir.

4. Bulanık Akıllı Etmenler

KİH modeli, insan düşünce yapısının bir taklidini temsil eder. Geleneksel bir KİH mimarisinde, etmen durumları 3 tip bileşenle temsil edilir: kanılar, istekler ve hedefler. Çevresel olaylara tepki veren reaktif etmenlerden farklı olarak KİH etmenleri, insan benzeri zekanın zihinsel özelliklerine sahip rasyonel varlıklardır.



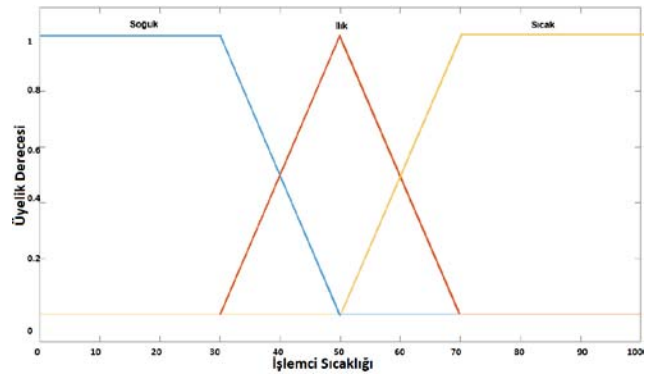
Şekil-1: Önerilen bulanık tabanlı KİH aracısının geçiş adımları.

KİH etmenleri bilgi odaklı sistemler için daha uygundur. Önemli bir şekilde, kusurlu bilgiyi yönetebilir ve uzun vadeli hedeflere ulaşmak için bir dizi eylem planlayabilirler. Karmaşık sistemlere entegre edilebilirler ve beklenmeyen olayları işlemek ve diğer etmenlerden gelen taleplere yanıt vermek için dinamik bir ortamda çalışabilirler. Şekil 1 bu yapıyı soyut halde özetlemektedir ve önerilen bulanık tabanlı KİH etmenine ait adım geçişlerini göstermektedir. Öncelikle bir sensor aracılığı ile sıcaklık verisi örneklenir. İkinci adımda, örneklenmiş olan sıcaklık değeri bulanıklaştırılarak kanı tabanına kayıt edilir. Üçüncü adım olarak, tetikleme derecesine göre plan seçilir. Bu adımı gerçekleştirmek için planların ön koşullarındaki dilsel ifadelerin üyelik derecelerine göre kıyaslayarak en yüksek üyelik derecesine sahip plan seçilir. Aynı zamanda, seçilen plana ait dilsel terimin üyelik derecesi aynı zamanda bu planın tetikleme derecesi olacaktır.

Son adımda, tetiklenen planın içerisindeki eylemler planın tetiklemesine göre gerçekleştirilecektir. Çizelge 2 bu anlatımın gerçekleştirilmesini sağlayan kodu içermektedir.

Önerilen KİH yapısı için MIB sıcaklığını ayarlayan bir sistem düşünülmüştür. Bu sistem hem geleneksel KİH etmenlerini hem de önerilen bulanık KİH yaklaşımı kullanılarak ve karşılaştırılarak test edilmiştir. İlk olarak, sıcaklık dilsel değişkeni, bulanık bilgi tabanlı KİH etmenleri tarafından tanımlanır. Bu dilsel değişkenin üyelik fonksiyonu etiketleri şu şekildedir: Soğuk, Ilık ve Sıcak. İkinci olarak etmen bu verileri duygulardan toplar ve daha sonra bu dilsel değişkenleri ve bunlara karşılık gelen doğruluk derecesini kanı tabanında saklar. Bu üyelik fonksiyonlarının temsili Şekil 2'de gösterilmektedir.

Bununla birlikte, geleneksel KİH etmenleri, bu çevresel değerleri herhangi bir iyileştirme olmaksızın doğrudan kanı tabanında saklar. Genel olarak, geleneksel bir KİH etmeni, matematiksel nicelik olarak (öncelikle gerçel değerler olarak) çevresel bir değer tutarken, bulanık tabanlı bir KİH etmeni,

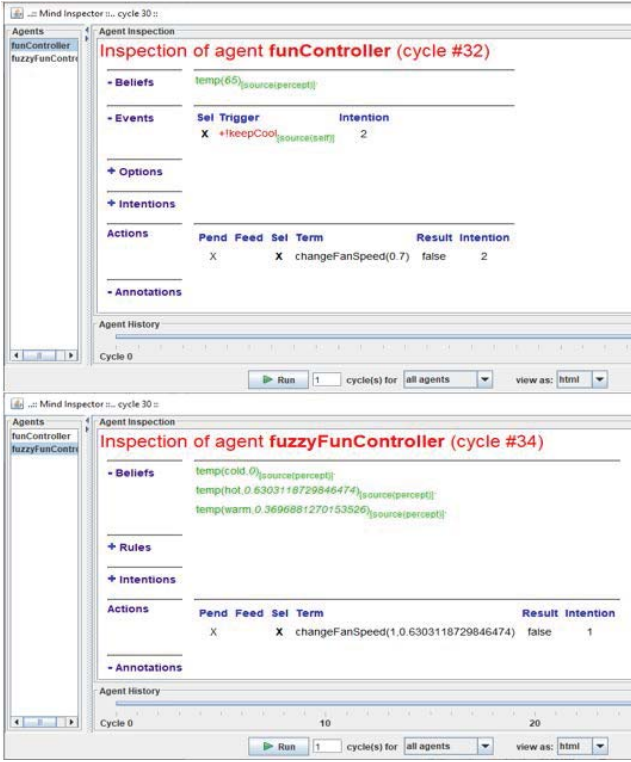


Şekil-2: İşlemci sıcaklığı için bulanık üyelik fonksiyonu.

dilsel değişkenlerini ve doğruluk derecesini depolar. Bu durumda, geleneksel KİH etmenleri, geleneksel mantığı kullanarak çevresel değer değişikliklerini ilişkilendirir. Öte yandan, bulanık tabanlı KİH etmenler, bulanık mantık operatörlerini kullanarak planın ön koşulunda değerlendirilen tetikleme değerine ilişkin birden fazla planı tetikleme için kanıları bir doğruluk derecesiyle depolar. Bu nedenle en yüksek tetikleme değerine göre yürütülecek bir plan seçilebilir. Böylece bulanık tabanlı yaklaşım, temel mantıksal karşılaştırmalara kıyasla daha doğru sonuçlar verir. Ayrıca, çevresel değerler belirli bir gürültü seviyesiyle örneklendiğinde, bulanık tabanlı yöntem, siber-fiziksel bir sistemde hatalı sonucu artıracak gürültülü etkilerin azaltılmasına da yardımcı olur. Şekil 3 etmene ait kanı tabanını göstermektedir. İlk başta örneklenen duyguya değeri gerçel sayı olarak tutulmaktadır. Şeklin ikinci kısmında ise sayı bulanık değer olarak saklanmaktadır.

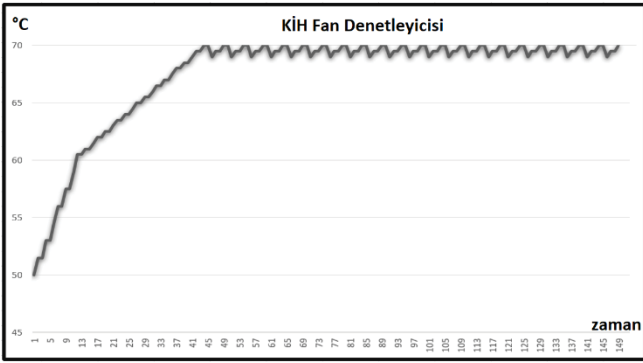
5. Durum Çalışmaları

Önerilen çalışmayı değerlendirmek için iki vaka çalışması yapılmıştır. İlk durum çalışması, sayısal değerlendirmelere dayalı soyut bir biçimdedir ve ikincisi ise somut ve deneysel bir uygulamadır.



Şekil-3: Çalışma zamanında işlemci sıcaklığını ayarlayan klasik ve bulanık temelli KİH araçlarının kanı temelleri.

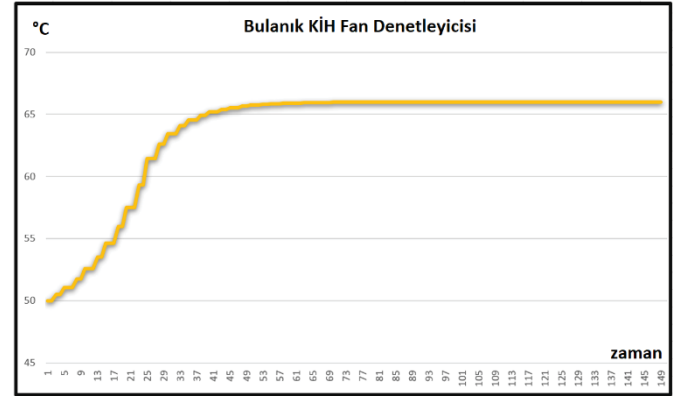
5.1. Fan kontrol sistemi: Soyut bir benzetim



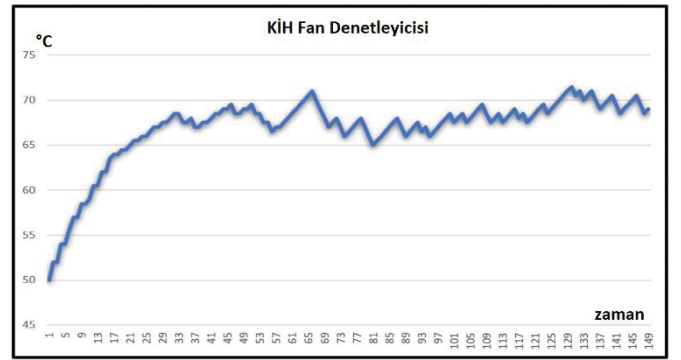
Şekil-4: İdeal duyurga ile KİH'in denetim başarısı.

Önerilen bulanık tabanlı KİH yapısını değerlendirmek için, MİB sıcaklığını ayarlayan ve bir fanı kontrol eden sistem düşünülmüştür. Bu sistem hem geleneksel bir KİH etmeni hem de önerilen bir bulanık tabanlı KİH etmeni kullanılarak ve karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, sıcaklık dilsel değişkeni, bulanık tabanlı KİH etmeni tarafından kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Bu dilsel değişkenin üyelik fonksiyon etiketleri şu şekildedir: Soğuk, Ilık ve Sıcak. Bu dilsel değişkenlerin bulanık tabanlı temsilleri Şekil 2'de gösterilmiştir. İkinci olarak, etmen bu verileri duyurgalardan toplar ve daha sonra bu dilsel değişkenleri ve bunlara karşılık gelen doğruluk derecesini kanı değişkeninde saklar. Bununla birlikte, geleneksel KİH etmeni, bu çevresel değerleri doğrudan kendi kanı değişkeninde saklar. Şekil 3, hem KİH etmeninin hem de bulanık tabanlı KİH etmeninin kanı temelinin çalışma zamanındaki iç yapısını gösterirken, Çizelge

1 ve Çizelge 2 bu etmenlere ait Jason uygulamasını temsil etmektedir.



Şekil-5: İdeal bir duyurgayla bulanık KİH'in denetim başarısı



Şekil-6: Duyurganın +/- 5 hata oranı ile normal KİH'nin denetim başarısı.

Çizelge-1: KİH Etmen Planları

- 1 !keepCool.
- 2 /* Planlar */
- 3+!keepCool:temp(T) & T<30 <- changeFanSpeed(0);!keepCool.
- 4+!keepCool : temp(T) & T>=30 & T<40 <- changeFanSpeed(0.35);!keepCool.
- 5+!keepCool : temp(T) & T>=40 & T<50 <- changeFanSpeed(0.40);!keepCool.
- 6+!keepCool : temp(T) & T>=50 & T<60 <- changeFanSpeed(0.50);!keepCool.
- 7+!keepCool : temp(T) & T>=60 & T<70 <- changeFanSpeed(0.70);!keepCool.
- 8+!keepCool:temp(T)&T>=70<- changeFanSpeed(1.0);!keepCool.

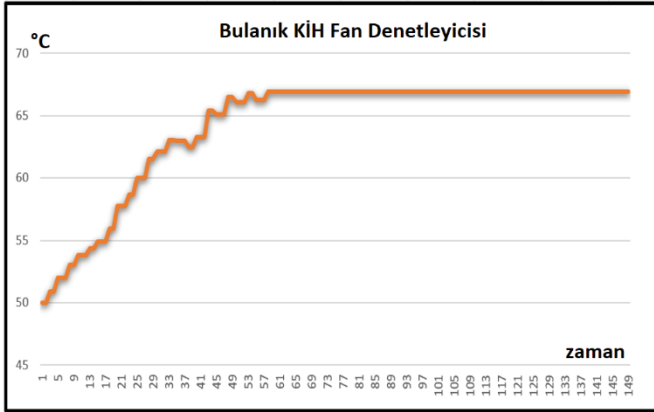
Çizelge 1, satır 1 normal KİH etmenine ait !keepCool isimli hedefi belirtmekte ve başlangıç hedefli olarak çalışır. T değerinin sahip olduğu anlık değer mantıksal şekilde satır 3 ve 8 arasındaki planların ön koşulu olarak kontrol edilir. Eşleşen T değeri bağlamsal bir tutarlılık sağlar ve o plan çalışır. Örneğin T değeri 43 olursa, 5. Satırdaki plan seçilir ve fan yüzde 40 güçte çalıştırılır. Çizelge 2'de ise bulanık KİH etmeni satır 3 teki en yüksek üyelik derecesini seçen kuralı kullanarak, satır 7 ve 11 arasındaki dilsel değişkenlerle ifade edilmiş ön koşullara kuralı uygular. Soğuk, ılık veya sıcak dilsel değişkenlerden üyelik derecesi en yüksek olan seçilir ve fan hızı varsayılan olarak tanımlı değerle beraber çarpılarak bu üyelik derecesine de bağlı olarak da çalıştırılır.

Çizelge-2: Bulanık KİH Etmen Planları

```
1 // fuzzyBDIfanController
2 /* Beliefs and Rules */
3 tuneUp(T) :- temp(T,D1) & not(temp(,D2) & D2>D1).
4 /* Init Goals */
5 ! keepCool.
6 /* Planlar */
7 +!keepCool : tuneUp(soğuk) <- ?temp(soğuk,D1);
8 changeFanSpeed(0.5,D1);!keepCool.
9 +!keepCool : tuneUp(ilik) <- ?temp(ilik,D1);
10 changeFanSpeed(0.7,D1);!keepCool.
11 +!keepCool : tuneUp(sıcak)
<- ?temp(sıcak,D1);changeFanSpeed(1.0,D1);!keepCool.
```

Şekil 4, ideal sıcaklık duyargası kullanan geleneksel KİH kontrolünü göstermektedir. Duyarganın ideal olduğunu varsaysak bile, KİH kontrolü ile giderilemeyecek bir salınım vardır. Bununla birlikte, Şekil 5'in tanımladığı gibi, bulanık yaklaşım KİH mimarisi ile birleştirildiğinde salınım düzeltilebilir. Genel olarak yaşam ve çevre koşullarının her zaman ideal olamayacağı bilindiği için bu değerlere gürültüde eklenerek, bulanık KİH yaklaşımının başarısı bir kez daha test edilmiştir.

Şekil 6'nın gösterdiği gibi, geleneksel KİH aracı, MİB sıcaklığını yüzde beş duyurga hata oranıyla depolarken, bulanık tabanlı KİH aracı bunu dilsel değişkenler ve üyelik değerleri olarak saklar. Bir yandan, geleneksel KİH araçları, geleneksel mantıksal ifadeleri ve gerçel değerleri kullanarak ortamdaki sıcaklık değişimlerini ve planların bağlamını ilişkilendirir. Tahmin edilebileceği gibi, gürültülü örnekleme, Şekil 6'da gösterildiği gibi sistem için daha fazla salınım oluşturur.



Şekil-7: Duyarganın +/- 5 hata oranı ile bulanık KİH'nin denetim başarısı.

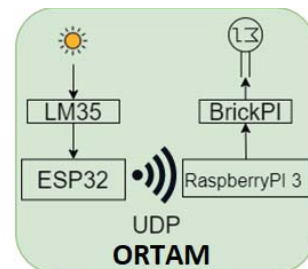
Öte yandan, Şekil 7'de gösterildiği gibi, bulanık tabanlı KİH etmenleri, bir olayın tetikleme değerine ilişkin birden fazla planı tetiklemek için bulanık değerleri depolar. Plan, en yüksek tetikleme değerine sahip olmak üzere her döngüde işletilmek üzere seçilir. Ayrıca, bulanık tabanlı KİH, sıcaklık duyarganın \mp beş hata oranına sahip olduğu gürültülü örnekleme ile de baş etmeye çalışır. Çizelge 1, MİB sıcaklığını ayarlayan geleneksel KİH aracısının planlarını temsil eder ve Çizelge 2 bulanık tabanlı KİH planlarını gösterir. Diğer bir katkı ise, bulanık tabanlı KİH aracısının planlarındaki eylemler, ilgili planın tetikleme değerinin derecesi ile ilişkili

olarak yürütülür. Bu sayede belirli bir etkiye sahip tetikleme olaylar, etki oranlarına göre eylemlerle talimat verilebilir. Daha önce de belirtildiği gibi, dinamik ve karmaşık dünya göz önüne alındığında ideal koşulların bulunması veya sağlanması oldukça zordur. Bu nedenle, Şekil 6 ve Şekil 7 göz önünde bulundurularak gürültülü duyurga değeri durumuna göre sonuçlar verilmiştir.

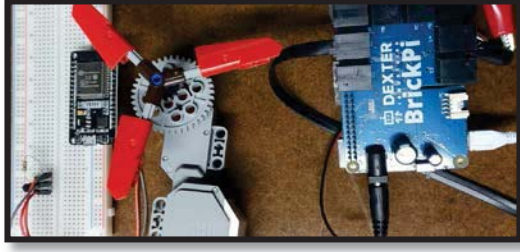
Çalışmada önerilen KİH etmeni klasik KİH etmeni ile karşılaştırıldığında, hedef sıcaklık ayar noktası 65 °C olarak belirlenmiştir. 150 döngü sonunda elde edilen MİB sıcaklıklarına göre klasik KİH etmeni MİB sıcaklığını ortalama 66.88 derecede tutarken, bulanık tabanlı KİH etmeni MİB sıcaklığını ortalama 64.22 derecede tutabilmiştir. Ayrıca, 45 ve 150 numaralı örnekler arasındaki standart sapma da hesaplanmıştır. Çünkü her iki yöntem için de 45. Örneklemeden sonra MİB sıcaklık eşliğinin aşıldığı varsayılmıştır, bu da Şekil 6 ve 7 de görülebilir. Klasik KİH etmenleri için standart sapma 1.39'dur. Bulanık bilgiye dayalı KİH etmeninin standart sapması 0.37'dir. Başka bir deyişle, bulanık bilgi tabanlı KİH aracı ayrıca MİB sıcaklığını sabit tutmada daha iyi bir başarı göstermiştir. Şekil 6, klasik KİH etmeninin MİB sıcaklığının döngüler arasındaki değişim grafiğini ve Şekil 7 ise, bulanık bilgi tabanlı KİH etmeninin döngüler arasındaki sıcaklık değişim grafiğini göstermektedir. Sonuç olarak, bulanık bilgi tabanlı KİH etmeni, klasik KİH etmenine göre hem daha küçük bir hata ile istenilen sıcaklık hedefine ulaşmış hem de MİB'deki sıcaklık değişim miktarını değişken bir ortamda daha düşük seviyede tutmuştur. Ayrıca bulanık bilgi tabanlı KİH etmenleri, bulanık bilgi kullandığından duyurga ölçümlerindeki hatalara karşı daha dirençli olduğu görülmektedir. Ek olarak, önerilen yaklaşımla oluşturulan KİH etmenleri, sadece insan algısına daha yakın bir algıya sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda insan çıkarım mantığına daha fazla yakınlık gösterir.

5.2. Fan Kontrol Sistemi: Somut Uygulama ve Donanım Mimarisi

Nİ teknolojilerinden faydalanmak için önerilen bu çalışma ESP32 geliştirme kartı, LM35 sıcaklık duyargası ve RaspberryPI3+BrickPI kartları kullanılarak genişletilmiştir. LM35, ortamın sıcaklığını örnekleme için ESP32'nin analog ucuna bağlanır. Ardından ESP32, toplanan verileri UDP iletişimini kullanarak RaspberryPI 3 kartına gönderir. Jason etmeni, bu verileri Java ortamı aracılığıyla kanı tabanına kaydeder ve fanı LEGO-motor aracılığıyla çalıştırır. Şekil 8, vaka çalışmasının uygulanması için önerilen mimariyi gösterirken, Şekil 9 somut uygulamayı göstermektedir. Örnek videoya <https://youtu.be/mJLzpoMGxRA> adresinden ulaşılabilir.



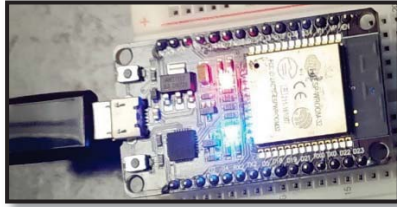
Şekil 8: Somut bir uygulama için önerilen mimari.



Şekil 9: Vaka çalışmasını uygulamak için kullanılan sistem donanımları.

5.2.1. ESP32-WROOM-32 Mikrodenetleyici

Şekil 9, 32 bit, düşük maliyetli ve çift çekirdekli bir mikro denetleyici olan ESP32-WROOM-32'yi göstermektedir. Düşük güçlü duyurga ağlarından en zorlu hesaplamalara kadar çok çeşitli uygulamaları hedefleyen entegre Wi-Fi ve Bluetooth modüllerine sahiptir. Akıllı tarım, akıllı ev otomasyonu, sağlık gibi çeşitli alanlarda tercih edilmektedir.



Şekil 9: ESP32 mikrodenetleyicisi.

5.2.2. LM-35 sıcaklık duyurgası

LM35, -55 santigrat dereceden 150 santigrat dereceye kadar ölçüm yapabilir. Besleme gerilimi +4 volt ile +30 volt arasında değişebilir. Yaklaşık 60 mikro amper akım tüketir. Her bir derecelik artış için gerilim +10 mili volt yükselir. Örneğin, duyurga Vout ucuna 100 mili volt çıkış veriyorsa, santigrat cinsinden sıcaklık 10 derece olacaktır. Şekil 11, LM-35 sıcaklık duyurgasının bir resmini gösterir.



Şekil 11: LM-35 sıcaklık duyurgası

5.2.3. RaspberryPI 3

Şekil 12'de gösterildiği gibi, Raspberry Pi 3, Ethernet ve Wi-Fi bağlantısı olan kredi kartı boyutunda düşük güçlü bir mini bilgisayar kartıdır. Ayrıca, bir HDMI video çıkışı, bir ses çıkışı ve Linux işletim sistemini çalıştırmak için bir SD kart yuvası vardır. RaspberryPi, üst düzey görevler için faydalı bir donanımdır. Belirli alanlar ve hedefler için çok sayıda uyarılma ve genişletme kartına sahiptir. Gereksinimi çok olan

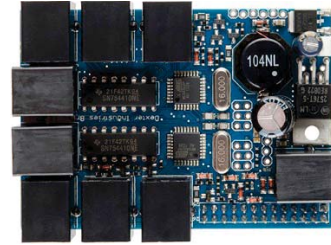
uygulamalar bu kart kullanılarak düşük maliyetli ve düşük pil gücü ile gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 12: RaspberryPI 3 kartı.

5.2.4. BrickPi donanım arayüzü

BrickPi, RaspberriPi için LEGO duyurgalarını ve eyleycilerini kontrol etmeyi sağlayan bir donanım arayüzüdür. Raspberry Pi'nin üstüne takılan BrickPi, LEGO teknolojisiyle çalışır. Şekil 13, BrickPI kartını göstermektedir.



Şekil 13: BrickPI genişleme ve adaptasyon kartı.

5.2.5. ESP32 yazılımı

ESP32 yazılımı (Çizelge 3'te gösterilmiştir) Arduino geliştirme ortamı kullanılarak oluşturulmuştur. Satır 2 ve 3, Wi-Fi ve Wi-Fi tabanlı UDP işlevlerini içerir. Satır 4 ve 5, ağ SSID'sini ve şifresini tanımlamak için kullanılırken, Satır 6 ve 7, hedef cihazın IP adresini ve hedef portunu saklar. 9. satırda bir UDP örneği oluşturulur. 10. ve 17. satırlar arasında, Wi-Fi, UDP başlatma ve bağlantı durumu için gerekli yapılandırmaları oluşturmak için kurulum işlevi tanımlanır. Döngü işlevi, 20 ile 24 arasındaki kod satırlarını sürekli olarak çalıştırır. Her döngü için 36 numaralı uçtan sıcaklık değeri okunur ve "beginPacket function" kullanılarak UDP üzerinden gönderilir. Paket 24. satırda sona erer.

Çizelge-3: Sıcaklık verilerini örnekleme ve UDP aracılığıyla göndermek için ESP32 yazılımı.

```

1 #include <WiFi.h>
2 #include <WiFiUdp.h>
3 /* WiFi network name and password */
4 const char * ssid = "SSID";
5 const char * pwd = "password"
6 const char * udpAddress = "192.168.0.164";
7 const int udpPort = 4444;
8 //create UDP instance
9 WiFiUDP udp;
10 void setup(){
11 Serial.begin(115200);
12 //Connect to the WiFi network

```

```

13 WiFi.begin(ssid, pwd); Serial.println("");
14 // Wait for connection
15 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
16 delay(500);
17 Serial.print("."); }
18 //This initializes udp and transfer buffer
19 udp.begin(udpPort);
20 void loop(){
21 int sensorReading = analogRead(36);
22 udp.beginPacket(udpAddress, udpPort);
23 udp.printf("%u \n", sensorReading);
24 udp.endPacket();}

```

Çizelge-4: Jason ortamındaki UDP alıcı yazılımı.

```

1 ds = new DatagramSocket(4444);
2 receive = new byte[1024];
3 public void getUDPMessage() {
4UDPprev = new DatagramPacket(receive, receive.length);
ds.receive(UDPprev);
5updateFBDIPercepts(Double.parseDouble (data(receive)));
6 public, StringBuilder data(byte[] a){}

```

Çizelge 4, Jason ortamındaki UDP alıcı yazılımını göstermektedir. Jason, Java'yı bir altyapı ortamı olarak kullandığından, UDP paketlerini almak için bir Java işlevi uygulanmıştır. 1. satırda dinleme portu tanımlanır ve 2. satırda tampon (eng. buffer) oluşturulur. Gelen paketleri almak için "getUDPMessage" oluşturulur. Bir paket alındığında, kanı tabanına kaydedilir ve verileri insan tarafından okunabilir metne dönüştürmek için "StringBuilder" işlevi çağrılır. Jason etmeni, her döngü için bu işlevi çağırır ve kanı tabanını günceller, ardından verilerin bağlamına göre uygun planı seçer. Bunu gerçekleştirmek için Çizelge 2 de verilen kod parçası, Çizelge 5'teki gösterildiği gibi düzenlenmiştir. 3. satırda sistem 4 saniye bekletilerek gerekli API ayarlamalarının yapılması sağlanır. 4. satırda ise duyurga verisi her plan çağırımından sonra 1 milisaniye aralıkla tekrarlı olarak örneklenir.

Çizelge-5: İnanç güncellemesi ve bulanık plan seçimi için algılayıcı örnekleme.

```

1 isit(T) :- temp(T,D1) & not(temp(_,D2) & D2>D1).
2 !init.
3 +!init: true <- .print("starts"); .wait(4000);!sample.
4 +!sample: true <- .wait(1); sampleSensorData;!keepCool.
5+!keepCool : isit(cold)
<- ?temp(cold,D1);fanAction(250,D1); !sample.
6+!keepCool : isit(warm)
<- ?temp(warm,D1);fanAction(350,D1); !sample.
7+!keepCool : isit(hot)
<- ?temp(hot,D1);fanAction(500,D1); !sample.

```

2. satırda, aracı "!init" hedefi (eng. goal) kullanılarak başlatılır. 3. satır, uygun bir plan seçerek hedefi bildirir. İlk etapta etmenin donanım konfigürasyonlarının hazırlandığından

emin olması için 4 saniye beklenir. Daha sonra gelen verilere göre 1. satırda "isit(T)" kuralı kullanılarak bulanık tabanlı planlar seçilir.

5.2.6. Zaman Ölçümleri

Etmen tabanlı yaklaşımın uygulanması konusunda fikir vermek için verilerin aktarıldığı her fazın zaman parametreleri ölçülmüştür. Deneyler, özel bir modem ve kablosuz bağlantılar kullanılarak bir LAN ağında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6 da gösterildiği üzere, zaman eşzamanlılığı, ESP32-Arduino yazılımında bir NTP sunucusu kullanılarak, etmen yazılımında da bir Java kütüphanesi ve bir fiziksel- sayısal saat kullanılarak yapılmıştır. Zaman değişkeni, etmen yazılımına gönderilmiş ve o anki zamandan, gelen zaman çıkarılmıştır.

Çizelge-6: ESP32-Arduino yazılımında NTP sunucusu kurmak için kod kümesi.

```

1 #include "time.h"
2 char timeSeconds[3];
3 const char* NTPServer = "pool.ntp.org";
4 const long GMTOffset_sec = 3600;
5 const int DayLightOffset_sec = 0;
6 configTime(GMTOffset_sec,DayLightOffset_sec,NTPServer);

```

Etmen, ESP32 tarafından gönderilen sıcaklık verilerini toplamak için her bir akıl yürütme döngüsü için UDP alıcı işlevine talimat verir. Ancak, etmenin muhakeme döngüsünün daha yavaş olduğunu ve gerçek zamanlı sıcaklık değişimi ile aktivasyon arasında eşzamanlılık olduğu keşfedilmiştir. Bu nedenle, bu varsayımı doğrulamak için her aşama test edilmiştir. Ayrıca, bulanık üyelik fonksiyonları sadece bir Java ve sadece bir Python uygulamalarıyla da test edilmiştir. Zaman farkını ölçmek için, gelen zaman değişkeni hedef cihazın yerel saatinden çıkarılmıştır. Bu durumda hedef cihaz, aracıyı çalıştıran RaspberryPI idi. Bunu sağlamak için "LocalDateTime.now().getSecond()" fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge-7: Gecikme süresi ve eylemler.

Evre	Zaman gecikmesi	Eylem
ESP32/Arduino	≈ 1 ms	Örnekle ve gönder
Jason(Sense) Sadece	≈ 0 ms	Sensor Verilerini Al
Jason(Sense)-to-Jason(Muhakeme)	≈ 8-10 saniye	Plan Seçiminden Sonra
Jason(Plan)-to-Jason(Çalıştırma)	≈ 0 ms	Niyet ve Eylem Planı
ESP32(Gönderen)-Java(Alıcı)	≈ 0 ms	UDP İletişimi
Sadece Java	≈ 0 ms	Verileri Bulanık işlevlerle eşleştirin
ESP32'den Python'a	≈ 0 ms	UDP İletişimi

Sadece Python	≈ 0 ms	Verileri Bulanık işlevlerle eşleştirin
---------------	--------	--

Çizelge 7'deki değerleri göz önünde bulundurarak, belirli paket numaralarını kullanarak sadece UDP paketlerini alan tek plan kullanmaya karar verilmiştir (Çizelge 8'e bakınız). Çünkü numaralandırılmamış bir paket iletimi düşünüldüğünde zaman gecikmesinin ve veri eşzamanlılığının bozulmasının nedenini tespit etmek mümkün değildir. Datagram paket iletimi sırasında paket kayıpları olduğunu keşfedilmiştir. Bu nedenle, ESP32 ve PC olmak üzere iki farklı cihaz kullanarak darboğazın nedeni test edilmiştir. Paket kayıplarını tespit etmek için farklı mesaj sayıları uygulanmıştır. Deneyleri çalıştıran PC 16GB RAM ve Intel(R) Core(TM) i7-10850H 2.70GHz 2.71 GHz MiB'ya sahiptir.

Çizelge-8: UDP Mesajlarını almak için basit bir plan.

```
+lsample: true <- sampleSensorData; lsample.
```

Çizelge-9: Cihaz ve veri paketlerine dayalı deneyler.

Cihaz	# Paket	Zaman gecikmesi	# Kayıp Paket
ESP32	5	0	2
ESP32	50	1 s	5
ESP32	100	3 s	5
ESP32	150	3 s	8
ESP32	250	4 s	9
ESP32	300	5 s	19
ESP32	500	5 s	221
ESP32	1000	5 s	721
PC	5	0	0
PC	50	1 s	0
PC	100	2 s	0
PC	150	2 s	0
PC	250	4 s	0
PC	300	5 s	15
PC	500	5 s	215
PC	1000	5 s	715

Çizelge 7 ve 9 göz önüne alındığında, etmenin bilgi tabanını herhangi bir algılama eylemi çağırmadan otomatik olarak güncellemek için bir iş parçacığı mekanizması oluşturulabilir. Bu iş parçacığı Jason ortamında oluşturulmalıdır. Bu şekilde, temsilci mevcut sıcaklık değerine erişebilir.

6. Sonuç ve Gelecek İş

Bu çalışmada, bir SFS için ortamı algılamak ve bununla beraber bulanık mantığa dayalı plan seçimi ve işlemi gerçekleştirmek hedeflenmiştir. Dilsel değişkenleri, bu değişkenlerin değerlerini ve üyelik derecelerini kullanan bulanık mantık tabanlı KİH etmenleri önerilmiştir. Önerilen KİH etmeni Jason ortamında AgentSpeak dili kullanılarak gerçekleştirilmiş ve etkinliğini göstermek için deneysel bir çalışma tasarlanmış ve sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, önerilen KİH etmen yaklaşımının verimli olduğunu ve istenen sonuçları verdiğini göstermiştir. Gelecekte, bulanık KİH tabanlı yaklaşımlar, çoklu SFS'den oluşan siber-fiziksel

sistemlerin sistemlerine entegre edilebilir. Etmen tabanlı programlama, bu çoklu karmaşık SFS'ler arasında iletişime ve organizasyona yardımcı olurken, bulanık KİH teknikleri, hem iç etkileşimlerden hem de dış olaylardan ortaya çıkabilecek belirsizliğin üstesinden gelmenin bir yolu olabilir. Bulanık-KİH yaklaşımı, öngörülemeyen olayların meydana gelme yüzdesinin yüksek olduğu kendi kendine uyarlanan sistemlerin karar verme yeteneklerini geliştirmek için de uygundur.

Bu çalışmada sadece bir SFS önerilmiştir. Ancak, tek bir SFS'nin bir görevi yerine getirememesi durumunda Siber-Fiziksel Sistemler Sistemi (SFSS) kurulur. Bu nedenle, birden çok aynı örnek veya çokturlu bir SFSS, ortak hedeflere ve görevlere ulaşmak için işbirliği yapmak zorundadır. Bu SFSS, zorluklarının üstesinden gelmek için akıllı etmenler entegre edilebilir [15], [16]. Ayrıca, CPSoS, kendinden uyarlamalı sistemin (eng. self-adaptive) etki alanında [26] iyi bilinen bir mimari olan MAPE-K döngüsü kullanılarak tasarlanabilir ve bulanık-KİH, MAPE-K döngüsü ile sistematik hale getirilebilir. Bulanık-KİH, sistemin gelecekteki durumunu tahmin etmek için pekiştirmeli öğrenme teknikleri (eng. reinforcement learning) ile de desteklenebilir. Başka bir geliştirme olarak, izleme ve duyurga örnekleme hataları, füzyon ve filtreleme gibi yöntemler kullanılarak azaltılabilir. Platformdan bağımsız mantıksal yaklaşımlar [27] da bu yaklaşımlarla birleştirilebilir. Son olarak, bulanık mantık ve KİH mimarisinin temel teorisi, sistematik prosedürlere dayalı olarak birleştirilmeli ve çoklu vaka çalışmaları kullanılarak değerlendirilmelidir. Ancak uygulamaya dayalı yöntemlere başlamadan önce kuramsal temellerin ilerideki çalışmalara zemin oluşturması gerekmektedir. Belirsizlik azaltma teorisi (eng. Uncertainty reduction theory), belirsiz olayları kategorize etmek için bir başlangıç noktası olabilir [28]. Belirsizliğin kökenini beş unsur altında kabul edilir: Davranışsal, Bilişsel, İlişki, Benlik ve Diğer. Burada Diğer, Diğer sistemler veya Diğer kaynaklar vb. olarak ortaya çıkabilecek bir tür belirsizliği ifade eder.

Bilgi arama sürecini geliştirmek için, bilgi toplamayı ilerletmek için mantıksal yaklaşımlar uygulanabilir. Siber-fiziksel sistem-sistemler çokturlu, karmaşık ve dağıtık olduğundan, çevresel değişiklikleri gözlemlemeli ve uyum sağlamalıdır. Mantıksal yaklaşımlardan biri Subjektif Mantık'tır [27]. Bir ortamda dağıtılmış bir grup örnek için karar verme doğruluğunu artırır. Subjektif mantık belirsizlik alanında öne çıkan yeni bir olasılıksal akıl yürütmedir [29]. Subjektif mantığın arkasındaki motivasyon, kolektif kanıları sunmanın imkansız olduğu durumlarda failer tarafından tutulan görüşlere dayanmasıdır. Ayrıca, belirsizlik bu kanıları etkileyebilir; bu nedenle, etmenlerin ağırlıkları, hakikat temsili için ortak bir fikir birliği oluşturmak için esastır. Subjektif mantığı uygulamanın avantajı, gerçek dünya olaylarının, belirsiz girdi argümanlarından türetilen belirsizlikleri ele alarak, bu durumların nasıl algılandığına ilişkin gerçekçi bir şekilde modellenenibilesidir. Aslında, bu girdi argümanları, veri girdilerini geliştirmek için duyurga füzyonu, duyusal veri filtreleme ve kendi kendine adaptasyon/öz-farkındalık metodolojileri, bilgi çıkarımına yönelik bilgi dönüşümleri ile de geliştirilmelidir. Son bir iyileştirme olarak, daha doğru belirsizlik yönetimi sağlamak için bu yaklaşımlar

bulanıklaştırılmalıdır. Gelecekte, çalışmalarımızı genişletmek için statik yöntemler, makine öğrenmesi yaklaşımları ve aktif algı toplama tekniğinden [30] yararlanmayı hedeflemekteyiz [31]. Ek olarak, bölüm 5.2.6 daki gecikmeyi elimine etmek için Jason'un bir genişlemesi olan Cartago ortamından da faydalanılacaktır [32-33-34].

Kaynaklar

- [1] Khan A. R. ve Asghar M. Z., "An intelligent agent for a vacuum cleaner," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 3, no. 2, pp. 143–146, 2009.
- [2] Bratman M., "Intention, plans, and practical reason," Cambridge: Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.
- [3] Bratman M. E., Israel D. J. ve Pollack M. E., "Plans and resource bounded practical reasoning," *Computational intelligence*, vol. 4, no. 3, pp. 349–355, 1988.
- [4] Rao A. S., Georgeff M. P. ve ark., "Bdi agents: From theory to practice." in *ICMAS*, vol. 95, 1995, pp. 312–319.
- [5] Rao A. S. ve Georgeff M. P., "In Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'91)". Cambridge, MA, USA, April 22-25, 1991. Morgan Kaufmann, 473-484.
- [6] Lee S., Son Y.-J., ve Jin J., "An integrated human decision making model for evacuation scenarios under a bdi framework," *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)*, vol. 20, no. 4, pp. 1–24, 2010.
- [7] Kacprzak M. ve Kosiński W., "Modelling fuzzy beliefs of agents," *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Informatyka*, no. 9, pp. 45–60, 2012.
- [8] Wu X. ve Zhang J.-L., "Rough set models based on random fuzzy sets and belief function of fuzzy sets," *International Journal of General Systems*, vol. 41, no. 2, pp. 123–141, 2012.
- [9] Jing X. ve Luo X., "A fuzzy dynamic belief logic." in *International Conference on Agents and Artificial Intelligence ICAART*, Nguyen N. T., eds. ,Barcelona, Spain, 2013, pp. 289–294.
- [10] Rosales R., Castañón-Puga M., Lara-Rosano F., Evans R. D., Osuna-Millan N. ve Flores-Ortiz M. V., "Modelling the interruption on hci using bdi agents with the fuzzy perceptions approach: An interactive museum case study in Mexico," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 8, p. 832, 2017.
- [11] Broujey R. S., Madani K., Chebira A., Amarger V., ve Hurtard L., "A heating controller designing based on living space heating dynamic's model approach in a smart building," *Energies*, vol. 14, no. 4, p. 998, 2021.
- [12] Xiaochao W., Ying C., ve Longfei C., "A cgf behavior decision making model based on fuzzy bdi framework," in *2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*. IEEE, 2019, pp. 1487–1490, 24-26 May 2019, Chongqing, China.
- [13] Mekki A. B., Tounsi J., ve Said L. B., "Fuzzy bdi agents for supply chain monitoring in an uncertain environment," in *Supply Chain Forum: An International Journal*, vol. 17, no. 2. Taylor & Francis, 2016, pp. 109–123.
- [14] Tezel B. T., Kardas G. ve Uğur A., "Bulanık mantık tabanlı bdi etmenleri fuzzy logic based bdi agents," in *1st International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK 16)*, Tekirdağ, Turkey, 20-23 October 2016.
- [15] Yalcin M. M., Karaduman B., Kardas G. ve Challenger M., "An agent-based cyber-physical production system using lego technology," in *2021 16th Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. IEEE, Sofia, Bulgaria, 02-05 September, 2021.
- [16] Schoofs E., Kisaakye J., Karaduman B., ve Challenger M., "Software agent-based multi-robot development: A case study," in *2021 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, pp. 1–8, Budva, Montenegro, 07-10 June 2021,
- [17] Tezel B. T. ve Mert A., "A cooperative system for metaheuristic algorithms," *Expert Systems with Applications*, vol. 165, p. 113976, 2021.
- [18] Arslan S., Challenger M. ve Dagdeviren O., "Wireless sensor network based fire detection system for libraries". In *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) 2017*, October (pp. 271-276). IEEE.
- [19] Cakmaz Y. E., Alaca O. F., Durmaz C., Akdal B., Tezel B., Challenger M., ve Kardas G., "Engineering a bdi agent-based semantic e-barter system". In *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) 2017*, October, IEEE (pp. 1072-1077).
- [20] Bordini R. H., Hubner J. F., ve Wooldridge M., *Programming multiagent systems in AgentSpeak using Jason*. John Wiley & Sons, 2007, vol. 8.
- [21] Rao A. S., "Agentspeak (I): Bdi agents speak out in a logical computable language," in *European workshop on modelling autonomous agents in a multi-agent world*. Van de Velde, W., Perram, J.W. (eds), *Lecture Notes in Computer Science*, vol 1038. Springer, Berlin, Heidelberg, 1996, pp. 42–55.
- [22] Georgeff M. ve Ingrand F., "Decision-making in an embedded reasoning system," in *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1989, Detroit, United States, pp. 972-978.
- [23] Rao A. S. ve Georgeff M. P., "Decision procedures for bdi logics," *Journal of logic and computation*, vol. 8, no. 3, pp. 293–343, 1998.
- [24] Zadeh L. A., "Fuzzy sets," in *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh*. World Scientific, USA, ISBN 9810224214Ö 1996, vol.6 pp. 394–432.
- [25] Alcalá-Fdez J. ve Alonso J. M., "A survey of fuzzy systems software: Taxonomy, current research trends, and prospects," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 24, no. 1, pp. 40–56, 2015.
- [26] Arcaini P., Riccobene E. ve Scandurra P., "Modeling and analyzing mape-k feedback loops for self-adaptation," in *2015 IEEE/ACM 10th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems*. IEEE, 2015, Florence, Italy, 18-19 May 2015, pp. 13–23.
- [27] Petrovska A., Neuss M., Gerostathopoulos I. ve Pretschner A., "Runtime reasoning from uncertain observations with subjective logic in multi-agent self-adaptive cyber-physical systems," in *16th Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems, SEAMS*, Madrid, Spain, 18-24 May, 2021.

- [28] Knobloch L. K., "Uncertainty reduction theory," The international encyclopedia of interpersonal communication, pp. 1–9, 2015.
- [29] Jsang A., Subjective Logic: A Formalism for Reasoning Under Uncertainty, Springer Publishing Company, Incorporated, 2018.
- [30] Silva, G. R., Hübner, J. F., & Becker, L. B. (2021, May). Active Perception within BDI Agents Reasoning Cycle. In Proceedings of the 20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems pp. 1218-1225.
- [31] Karaduman B., Tezel B. T. Ve Challenger M,. "Towards Applying Fuzzy Systems in Intelligent Agent-based CPS: A Case Study". In 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), September 2021, IEEE, pp. 735-740.
- [32] Ricci A., Piunti M., Viroli M. ve Omicini A., Environment programming in CArtaGO. In Multi-agent programming, Springer, Boston, MA. 2009, pp. 259-288.
- [33] Karaduman B., Tezel B. T., ve Challenger M,. Enhancing BDI Agents Using Fuzzy Logic for CPS and IoT Interoperability Using the JaCa Platform. Special Issue on Fuzzy Techniques for Emerging Conditions & Digital Transformation, Symmetry, 14(7), 1447, 2022.
- [34] Karaduman B., Tezel B. T., ve Challenger M,.. Deployment of Software Agents and Application of Fuzzy Controller on the UWB Localization based Mobile Robots. In: International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems. Springer, Cham, 2022. pp. 98-105.