

Çok-Etmenli Sistemlerde İletişim

Akın Günay¹

¹ Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
akin.gunay@boun.edu.tr

Özet: Akıllı etmenler ve çok-etmenli sistemler, karmaşık yazılım sistemlerinin çözümlenmesi, tasarımı ve gerçekleştirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunmaktadırlar. Etmen-tabanlı bu yaklaşım yazılım geliştirme süreçlerinin farklı aşamalarının iyileştirilmesine yönelik bir çok yeni yöntem ve araç önermektedir. Günümüzde etmenler, kişisel e-posta yazılımları gibi gö-rece küçük sistemlerden, hava trafik kontrolü gibi oldukça büyük ve karmaşık sistemlere kadar bir çok alanda kullanılmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı çok-etmenli sistemlerde etmenler ara-sı iletişim konusunu ve bu alanda geliştirilen taahhüt-tabanlı iletişim yöntemlerini incelemek-tir. Ayrıca bu çalışmada, akıllı etmenler ve çok-etmenli sistemler konusundaki kuramsal çalış-malarında genel bir özeti sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Akıllı Etmen, Çok-etmenli Sistemler, Etmen İletişimi, Taahhütler

Communication in Multiagent Systems

Abstract: Intelligent agents and multiagent systems present a new approach to the analysis, design and implementation of complex software systems. This agent-based approach offers various new techniques and tools to improve various phases of software development processes. Today, agents are used in a wide variety of applications, ranging from relatively small personal e-mail clients to considerably large and complex air traffic control systems. The aim of this work is to investigate the agent communication mechanisms in multiagent systems focusing on the use of commitment-based techniques. Besides, in this work we present a general survey of the theoretical work in the intelligent agent and multiagent systems research.

Keywords: Intelligent Agent, Multiagent Systems, Agent Communication, Commitments

1. Giriş

Etmen-tabanlı yöntemler, yazılım sistemler-inin çözümlenmesi, tasarımı ve gerçekleştiril-mesine yönelik getirdikleri yeni yaklaşımla her geçen gün daha da önem kazanmaktadır-lar. Bir amaca ulaşmak için bulunduğu ortamı algılayan, algılarına ve amacına göre kararlar veren ve kararlarını eyleme dönüştürerek içinde bulunduğu ortamı etkileyen her türlü kalıcı hesaplama *etmen* denir [14]. Bir etmen tamamen sanal bir yapıda olabileceği gibi (örneğin, Internet ortamındaki bir yazılım [10]), fiziksel bir yapıda da olabilir (örne-ğin, afet alanında çalışan bir arama kurtarma robotu [9]). Etmenleri diğer geleneksel sistemlerden ayıran en önemli özellik, etmenler-in özerk bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu bağ-lamda etmenler, dışarıdan aldıkları komutları olduğu gibi yerine getirmek yerine, kendi ka-rar düzeneklerini kullanarak uygun buldukları şekilde hareket ederler. Bu özerk yapıları, et-menlerin gerçek dünyada karşılaşılan birçok problemin çözümünde geleneksel yöntemlere göre daha başarılı olmalarını sağlar.

Etmen-tabanlı sistemler genelde birden çok etmenin birbiri ile etkileşim içinde olduğu sistemlerdir. Bu tür sistemler, *çok-etmenli sistemler* olarak adlandırılırlar [17, 21]. Genel olarak bir çok etmenli sistem bünyesindeki her bir etmen sistemin gerçek dünyada mo-dellediği ortamın bağımsız bir bileşeni (kişi,

kurum, vb.) temsil eder. Örneğin, çok etmenli bir sistem olarak gerçekleşmiş bir e-ticaret ortamındaki alıcı ve satıcıların her biri farklı bir etmen tarafından temsil edilir.

Gerçek dünyadaki birçok durumda etmenlerin temsil ettiği bileşenlerin amaçları birbirleri ile çatışır. Örneğin, yukarıda bahsedilen e-ticaret ortamında bir alıcının amacı bir ürünü en dü-şük fiyattan satın almaktır. Öte yandan bir sa-tıcının amacı ise, sahip olduğu ürünü en yük-sek fiyattan satmaktır. Bu durumda satıcı ve alıcının amaçları, dolayısı ile de satıcı ve alı-cıyı temsil eden etmenlerin amaçları birbiri ile çatışır. Bu çatışmaya bağlı olarak da ortaya rekabetçi bir ortam çıkar. Öte yandan bazı çok-etmenli sistemlerde ise etmenler he-deflerine ulaşmak için işbirliğine gidebilirler. Örneğin, aynı e-ticaret ortamında satılan bir ürünün alıcıya ulaştırılması için, satıcıyı tem-sil eden etmen, bir nakliyeciyi temsil eden et-menle ortak çalışarak ürünün alıcıya ulaşm-asını sağlayabilir. E-ticaret örneğimizden de görüldüğü gibi birçok-etmenli sistemdeki et-menler aynı anda hem rekabetçi hem de işbir-likçi yapıda bir ortam içinde bulunabilirler.

İster rekabetçi, isterse de işbirlikçi yapıda ol-sun, her çok-etmenli sistem, etmenler arasın-daki eşgüdümü sağlamak amacı ile bir etmen iletişim yöntemine ihtiyaç duyar [16]. Bu bağlamda etmen iletişim yöntemlerinin geli-tirilmesi, çok-etmenli sistemler

araştırmaları-nın temel konularının başında gelmektedir. Geleneksel dağıtık sistemler literatüründeki ağ iletişim kurallarını temel alan iletişim yön-temleri, etmenlerin özerk yapılarını göz ardı ettiği için çok-etmenli sistemler için uygun değildirler. Bu yüzden çok-etmenli sistemler için bir çok yeni iletişim yöntemi geliştiril-miştir. Bunlardan en geniş çaplı kabul göreni ise taahhüt (commitment) tabanlı yaklaşım-lardır [2, 15]. Bu yaklaşımların temelinde et-menler arasındaki iletişim bileşenlerinin et-menlerin birbirlerine yaptıkları taahhütler şeklinde modellenmesi yatar. Bu bağlamda biz de bu çalışmada taahhüt-tabanlı yaklaşım-lar çerçevesinde taahhütlerin biçimselleştiril-mesi (formalisation), yaratılması ve taah-hütler arası çatışmalar konularını inceleye-ceğiz. Bu bildiri şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölüm, etmenlerin ve çok-etmenli sistemlerin karakteristik özelliklerini incelemektedir. 3. Bölüm, çok-etmenli sistemlerdeki iletişim yöntemlerinin genel özellikleri açıklamakta-dır. 4. Bölüm, etmen iletişiminde taahhüt-ta-banlı yaklaşımı açıklamaktadır. 5. Bölüm bu çalışmanın sonucunu özetler.

2. Akıllı Etmenler ve Çok-etmenli Sistemler

Bu bölümde akıllı etmenlerin ve çok-etmenli sistemlerin temel özelliklerini çeşitli örnekler üzerinden inceleyeceğiz.

2.1 Etmenlerin Özellikleri

Bir etmen, temel olarak, bir amacı olan ve bu amaca ulaşmak için bulunduğu ortamı algılayan, algı ve amacına göre karar veren ve kararlarına göre eylemde bulunarak içinde bulunduğu ortamı değiştiren kalıcı bir hesaplama-bir [14]. Örneğin, bir e-ticaret ortamında bir alıcıyı temsil eden bir etmenin amacı, alıcının istediği bir ürünü satın almaktır. Böyle bir etmen, satıcıların ürünlerini elektronik ortamda tarayan bir algılayıcı yazılım bileşeni-ne sahip olabilir ve bu bileşen sayesinde hangi satıcıların istenen ürünü sattığını algılaya-bilir. Bu algılamanın sonucunu, amacı olan ürünü satın almakla birleştiren etmen, bu amaca ulaşmak için ürünü satan bir satıcıya sipariş verme ve ürünün ücretini ödeme eylemlerini gerçekleştirmesi gerektiğine karar verebilir. Son olarak da bu eylemleri gerçekleştirmek için sahip olduğu yazılım bileşenlerini kullanarak içinde bulunduğu ortamı değiştirebilir.

Şimdi, bu örnek üzerinden bir etmende olması beklenen dört temel özelliği inceleyelim [16, 17, 21]. Bu özelliklerden ilki ve belki de en önemlisi etmenin özerk (autonomous) yapıya sahip olmasıdır. Etmenlerin bu özelliği onları diğer geleneksel sistemlerden (örneğin, yazılım nesnelere) ayıran en önemli özelliktir. Özerk bir etmen, bir eylemi sadece başka bir etmenin isteği üzerine gerçekleştirmez. Bir etmenin bir eylemi gerçekleştirmesi için bu eylemin kendi karar sürecinin sonuçlarıyla da uyumu

gerekir. Yukarıdaki örneğe döner-sek, alıcıyı temsil eden bir etmen, sadece satıcıyı temsil eden bir etmenin isteği üzerine bir ürünü satın almaz.

Etmenlerin bir diğer özelliği ise uyum sağlayabilme yetenekleridir (adaptivity). Uyum sağlayabilme özelliğine sahip etmenler içinde buldukları ortamdaki değişikliklere göre davranışlarını (örneğin, karar verme süreçlerini) düzenleyebilirler. Örneğin, e-ticaret örneğimizdeki alıcıyı temsil eden etmen, temsil ettiği alıcının satın almak istediği ürünün yeni bir sürümü çıktığında, kullanıcıdan herhangi bir talep gelmese dahi, ürünün yeni sürümünü almaya karar verebilir.

Etmenlerin başka bir özelliği eş olmayan (heterogeneous) bir yapıda olmalarıdır. Et-menler farklı ihtiyaçlar için, farklı donanımlar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak geliştirilebilirler. Örneğin, iki farklı alıcıyı temsil eden iki etmen birbirinden tamamen farklı programlama yöntemleri kullanılarak farklı donanımlar üzerinde çalışacak şekilde geliştirilmiş olabilirler. Bu yüzden çok-etmenli sistemler için geliştirilen yöntemler etmenlerin tasarım ve hesaplama yeteneklerinden bağımsız olmalıdır.

Son olarak etmenler genel olarak kendi (yada temsil ettiği bileşenin) menfaatlerini öne çıkaran (self-interested) bir yapıya sahiptirler. Örneğin, bahsi geçen e-ticaret sisteminde bir alıcıyı temsil eden etmen doğal olarak alıcının çıkarlarını sistemin genelinin veya bazı bileşenlerinin çıkarlarından önde tutar.

2.2 Çok-etmenli Sistemlerin Özellikleri

Etmen-tabanlı sistemler genelde birden çok etmenin birbiri ile etkileşim içinde olduğu sistemlerdir. Bu tür sistemlere, çok-etmenli sistemler diyoruz. Örneğin, bir önceki bölüm-de incelediğimiz alıcı etmeninin de içinde bulunduğu e-ticaret ortamını çok-etmenli bir sistem olarak düşünmek oldukça kolaydır. Böyle bir sistemde alıcıları ve satıcıları temsil eden etmenler aynı ortamda çeşitli şekillerde diğer etmenlerle etkileşime girerek kendi amaçlarına ulaşmaya çalışırlar. Hatta, bu sistemi daha da genişleterek sistemde tedarikçi, nakliyeciler, vb. birçok başka etmenin olduğunu da varsayabiliriz. Şimdi, yine bu e-ticaret örneğini takip ederek çok-etmenli sistemlerin bazı karakteristik özelliklerini inceleyeceğiz.

Çok-etmenli sistemlerde her etmen, içinde bulunduğu ortamla ilgili kısmi bir bilgi birikimine sahiptir. E-ticaret örneğimizi düşünür-sek, böyle bir sistemdeki her etmen sadece temsil ettiği alıcı veya satıcı ile ilgili net bir bilgiye sahiptir. Örneğin, bir alıcıyı temsil eden etmen, bu alıcının ne kadar parası olduğunu, hangi ürünlere sahip olduğunu veya hangi ürünleri almak istediğini bilirken, bir satıcıyı temsil eden etmenin ne kadar parası olduğunu veya bu etmenin elinde bir üründen ne kadar olduğunu bilemez. Elbette bir etmen diğer etmenlerle ilgili çeşitli bilgiler edinebilir. Bu iş için diğer etmenlerin eylemlerini izleyebilir ya da başka etmenlerle bilgi paylaşımında bulunabilir.

Ancak genel olarak bu tür bilgilerin kesinliğinden emin olmak mümkün değildir. Bu bağlamda çok-etmenli sistemler-deki en önemli konulardan biri etmenler arası güven (trust) konusudur. Etmenler arası güven ilişkilerinin nasıl modellenebileceği ile ilgili çok-etmenli sistemler literatüründe çok sayıda çalışma bulunmaktadır [8, 13].

Etmenlerin bilgileri kısıtlı olduğu gibi, yetenekleri de genelde kısıtlıdır. E-ticaret örneği-mizi düşünürsek, bir satıcı çeşitli ürünleri satabilir, ancak bu ürünleri kendi üretemez. Satacağı ürünlere ulaşmak için bir tedarikçiye ihtiyaç duyar. Öte yandan tedarikçinin de ürünleri satıcıya iletmek için nakliye yeteneği olan başka bir etmene ihtiyacı vardır. Bu örnek bizi çok-etmenli sistemlerin başka bir karakteristik özelliği olan birlikte iş yapabilme konusuna getirir. Örneğimize geri dönersek, bir ürünün tedarikçiden alıcıya ulaşması için bir çok etmenin bir arada çalışması gerekmektedir. Bir arada çalışma konusundaki önemli bir problem, etmenlerin eşgüdümüdür. Etmenlerin işbirliği içinde ortak bir amaca ulaşabilmeleri için eşgüdüm içinde çalışmalarını gerekmektedir. Bu eşgüdümün nasıl sağlanacağı ile ilgili çok-etmenli sistemler alanında çeşitli yaklaşımlar vardır. Örneğin daha merkezîyetçi bir yaklaşımda bir etmen diğer etmenlerin eşgüdümünü sağlama görevini üstlenebilir. Ancak bu etmeni belirlemede ayrı bir sorun oluşturur. Çok-etmenli sistemlerde bu sorunun çözümü için sanal kurumlar (virtual organizations) çerçevesindeki yaklaşımlar oldukça önemlidir [11].

Yukarıda anlattığımız gibi, etmenler, örtüşen amaçlarına ulaşmak için çeşitli şekillerde bir arada çalışabilirler. Öte yandan etmenlerin amaçları her zaman birbirleri ile örtüşmeye-bilir. Örneğimize dönersek, bir alıcı bir ürünü mümkün olan en düşük fiyattan almaya çalışırken, bir satıcı da aynı ürünü mümkün olan en yüksek fiyattan satmaya çalışacaktır. Bu türdeki rekabetçi durumlarda etmenlerin kendi amaçlarına ulaşabilmeleri için birbirleriyle pazarlık (negotiation) etmeleri ve çeşitli taahhütler vererek bir anlaşmaya varmaları (agreement) gerekir. Çok etmenli sistemler literatüründe menfaat (utility) ve oyun teorisi (game theory) temelli bir çok pazarlık yaklaşımı geliştirilmiştir [12].

3. Çok-etmenli Sistemlerde İletişim

Bir önceki bölümde bahsettiğimiz konuların tümünde ve genel olarak her türlü çok-etmenli sistemin temelinde etmenler arası iletişim yatar. Etmenler bilgi paylaşımı, eşgüdüm sağlama, pazarlık etme gibi her türlü eylemi gerçekleştirebilmek için birbirleri ile başarılı bir şekilde iletişim kurabilmek zorundadırlar. Bunu gerçekleştirebilmenin temel yolu ise etmenlerin özerklik, eş olmama gibi özelliklerini destekleyecek iletişim yöntemleri geliştirmekten geçer. İletişim yöntemleri dağıtık sistemler literatüründe uzun yıllardır çalışılmaktadır. Bu alandaki genel yaklaşım, bileşenler arasındaki iletişimin çeşitli seviyelerdeki ağ

iletişim kuralları yolu ile sağlanmaktadır. Ancak bu yaklaşım, çok-etmenli sistemlerin ihtiyaçları ve etmenlerin özellikleri göz önüne alındığında yetersiz kalmaktadır. Buradaki temel sorun çok-etmenli bir sistemdeki etmenlerin (bileşenlerin) özerk bir yapıya sahip olmalarıdır. Ağ iletişim kurallarına dayalı bir iletişim yaklaşımında, bileşenlerin iletişim sırasında kullanabilecekleri tüm ifadeler, bu ifadelerin içerikleri ve bu ifadelerin hangi durumlarda, hangi sıra ile kullanılabilecekleri kesin kurallarla belirlenir. Bu şekilde tanımlanmış kurallara bağlı iletişim yöntemleri etmenlerin özerk yapılarını kısıtladığı için çok-etmenli sistemler için uygun değildirler.

Bu çerçevede Singh başarılı bir etmen iletişim yönteminin şu dört ölçütü sağlaması gerektiğini ifade etmiştir [16].

- Biçimsellik (Formality): Etmen iletişim mekanizması, iletişim sırasında kullanılan ifadelerin anlamlarını biçimsel bir yapıda tanımlamalıdır. Bu sayede ifadeler her etmen tarafından aynı şekilde yorumlanır ve işlenir.
- Bildirimsellik (Declarativity): Etmen iletişim mekanizması, etmenlerin iletişim sırasında hangi ifadeleri kullanabileceklerini belirlemeli, ancak bu ifadelerin nerede ve ne şekilde kullanılacağı ile ilgili bir kısıtlama getirmemelidir. Bu sayede etmenler hangi ifadeyi hangi durumda kullanacaklarına kendileri karar verebilirler.
- Doğrulanabilirlik (Verifiability): Etmenler arasındaki iletişim doğrulanabilir olmalıdır. Bu sayede etmenlerin eylemlerinin, iletişimleriyle uyumlu olduğu kontrol edilebilir.
- Anlamlılık (Meaningful): İletişim sırasında kullanılan ifadelerin içerikleri amaçlanan uygulama alanına ve genel iletişim mantığına uygun olmalıdır.

4. Taahhüt-tabanlı Etmen İletişimi

Taahhüt-tabanlı iletişim yaklaşımı günümüzde çok-etmenli sistemlerde en yaygın olarak kabul görmüş iletişim yaklaşımıdır [2, 5, 15, 19]. Bir taahhüt temel olarak, borçlu ve alacaklı olarak tanımlanan iki etmen arasında gerçekleştirilen bir sözleşmedir. Bir taahhütte, borçlu olan etmen, alacaklı olsun etmene, belirli koşulların sağlanması şartıyla, yine belirli bir yükümlülüğün altına gireceğini taahhüt eder. Örneğin, e-ticaret ortamındaki bir satıcı, bir alıcıya, belirli bir ürünün ücretinin ödenmesi koşuluyla, bu ürünü alıcıya satacağını taahhüt eder. Ürünün ücretinin ödenmesi durumunda taahhüdün koşulu sağlanmayacağı için, satıcının, yaptığı taahhüt dolayısıyla herhangi bir yükümlülüğü olmaz. Öte yandan, ürünün ücretinin ödemesi durumunda ise, taahhüdün koşulu sağlanacağı için, satıcı ürünü alıcıya satmakla yükümlü hale gelir.

Taahhütler biçimsel olarak aşağıdaki şekilde gösterilirler:

C(borçlu, alacaklı, koşul, yükümlülük)

Bu gösterimi kullanarak yukarıda verdiğimiz örnekteki taahhüdü biçimsel bir şekilde aşağıdaki gibi gösterebiliriz:

C(satıcı, alıcı, ücretÖdendi, ürünSatıldı)

Bu gösterimde *ücretÖdendi* ve *ürünSatıldı* şeklinde basitleştirilmiş olarak verilen önermeler, gerçekleşen çok-etmenli sistemin uy-gulama alanının gereksinimlerine göre farklı içerikleri barındırmaları da mümkündür. Örneğin, *ücretÖdendi* şeklindeki önerme ödeme zamanı, ödeme miktarı, vs., gibi ek bilgiler kullanılarak detaylandırılabilir. Bu noktada önemli bir konu, taahhüt içeriğinde verilen önermelerin gerçekleşen sistem içeri-sinde doğrulanabilir olmasıdır.

Yukarıdaki örnekte de gösterdiğimiz şekilde, taahhütler ilişkilendirildikleri etmenlerin eylemlerine bağlı olarak durumlarını değiştiren nesnelere. Örneğin, yukarıdaki örnekte alıcının, ürünün ücretini ödemesi mevcut taahhüt dolayısıyla satıcıya ürünü alıcıya satmakla yükümlü hale getirmiştir. Bu bağlamda taahhütler, yaşam döngüleri içerisinde aşağıda listelenen durumlarda bulunabilirler [19].

- Koşullu: Taahhüdün koşulu henüz sağlanmamıştır. Borçlu herhangi bir yükümlülük altında değildir.
- Etkin: Taahhüdün koşulu sağlanmış, ancak yükümlülüğü henüz yerine getirilmemiştir. Borçlu taahhüdün yükümlülüğü altındadır.
- Erişilmiş: Taahhüdün yükümlülüğü yerine getirilmiştir. Borçlunun yükümlülüğü bitmiştir.
- Çiğnenmiş: Taahhüt çiğnenmiştir. Borçlu gerçekleşen sistem içinde cezalandırılabilir.

4.1 Taahhütler ile İletişimin Modellenmesi

Bu bölümde taahhütleri kullanarak basit bir çok-etmenli e-ticaret sistemindeki örnek bir etmen iletişiminin modellenmesini inceleyeceğiz.

Böyle bir sistemde *alıcı, satıcı* ve *nakliyecisi* olmak üzere üç etmenin bulunduğunu varsayalım ve oluşabilecek aşağıdaki bazı durumları inceleyelim.

1. Satıcı, alıcıya belirli bir ürün için fiyat teklifi yapar. Alıcının bu fiyatı kabul edip ücreti ödemesi halinde, satıcı ürünün teslimi için ürünü nakliyeciyeye teslim eder. Ürün nakliyecisi tarafından alıcıya teslim edildikten sonra, satıcı taşıma ücretini nakliyeciyeye öder.

2. Alıcı, satıcının teklifini beklemeden kendisi bir ürünle ilgili satıcıya fiyat teklifi yapabilir. Satıcının teklifi kabulü ve ürünü teslim etmesi halinde alıcı ürünün ücretini öder.

3. Satıcı bir ürünü reklam amacıyla alıcıya ücretsiz gönderebilir.

Böyle bir çok-etmenli sistemdeki iletişimin modellenmesindeki temel nokta, etmenlerin eylemlerinin taahhütler ile ilişkilendirilmesi-dir. Örneğin birinci durumda satıcının alıcıya bir ürün için fiyat teklifi yapması eylemi *C(satıcı, alıcı, ücretÖdendi, teslimEdildi)* taahhüdünün koşullu durumda yaratılmasına sebep olur. Alıcının ücret ödeme eylemi ise bu taahhüdü etkin hale geçirir. Ürünün teslim edilmesi ile de taahhüt edilen duruma erişilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, satıcının ürünü teslim etme eylemini kendisinin gerçekleştiremeyecek olmasıdır. Bu eylemin gerçekleştirilebilmesi için satıcı ve nakliyecisi arasında *C(satıcı, kurye, teslimEdildi, taşımaÜcretiÖdendi)* şeklinde bir taahhüt satıcının isteği üzerine oluşturulur. İkinci durumda ise, alıcının satıcıya yaptığı teklif *C(alıcı, satıcı, teslimEdildi, ücretÖdendi)* taahhüdünün oluşmasıyla sonuçlanır. Son durumda ise alıcı ve satıcı arasında herhangi bir taahhüt oluşturulmaz. Buna karşılık, birinci durumda satıcı ve kurye arasında oluşan taahhüt, bu durumda da geçerlidir.

Bu örneklerden de anlaşılabilir olduğu şekilde, taahhüt-tabanlı iletişimde (ağ iletişim kurallarının aksine) etmenlerin kullanabilecekleri ifadelerin içerikleri veya sıraları belirtilmemiştir. Bunun yerine etmenlerin yapacakları eylemlerin hangi taahhütleri oluşturacağı ya da hangi mevcut taahhütleri ne şekilde etkileyeceği tanımlanmıştır. Bir diğer deyişle etmenlere yaptıkları eylemlerin sonuçları bildirilmiş, ancak bu eylemleri yapıp yapmamaları veya hangi şekilde yapmaları gerektiği ile ilgili bir kısıtlama getirilmemiştir. Buna bağlı olarak, etmenler, hangi eylemleri ne zaman, ne şekilde gerçekleştireceklerine kendi özerk yapıları içinde karar verebilmektedirler. Bu sayede etmenlerin özerklikleri taahhütler tarafından etkilenmemiş olur.

Taahhütler, literatürde çeşitli biçimsel yöntemler kullanılarak gösterilmişlerdir. Bunlardan en genel kabul göreni olay analizini (event calculus) temel alan yaklaşımdır [3, 6, 19]. Bunun haricinde zamansal mantık (temporal logic) da bazı çalışmalarda kullanılmıştır [1]. Bu biçimsel yöntemler sayesinde taahhütler bir önceki bölümde açıkladığımız bildirimsellik ve doğrulanabilirlik özelliklerine de sahip olmuşlardır [4, 18, 20].

4.2 İhtiyaca Göre Taahhüt Yaratılması

Taahhüt-tabanlı sistemlerdeki önemli konulardan biri, bir etmenin belirli bir amacına veya amaçlarına ulaşmak için hangi taahhütleri yapması gerektiğidir. Örneğin, e-ticaret örneğimizdeki bir satıcı etmen, para

kazan-mak amacı ile bir alıcı etmene belirli bir ürü-nü satmak için bir taahhüt yapabilir. Fakat satıcı etmenin elinde bu ürün mevcut değil ise, satıcı etmenin bu taahhüdünü yerine getirmesi mümkün değildir. Böyle bir durumda, satıcı etmenin bir tedarikçiden bu ürünü elde etme-sini sağlayacak yeni bir taahhüt alması gerek-tiği sonucuna varabilmesi gerekmektedir.

Mevcut çalışmalar, bir etmenin belirli bir amacına ulaşmak için hangi şartlarda hangi taahhütlere girmesi gerektiğinin o etmenin ta-sarımı sırasında belirleneceğini ve etmenin bu belirlenen taahhütlerden durumuna uygun olanını seçeceğini var sayarlar. Ancak çok-etmenli sistemler göz önüne alındığında bu varsayım çoğu durum için geçersizdir. Bunun sebebi çok-etmenli sistemlerin açık sistemler (open systems) olmalarından kaynaklanır. Bu tipteki sistemler sürekli bir devinim içinde-dirler. Bu nedenle, bu tür sistemler için gelişt-irilen etmenlerin tasarımı sırasında etmenin karşılaşılabileceği her tür durumu göz önüne almak mümkün olmamaktadır.

Günay, Yolum ve Winikoff bu problemin çö-zümü için bir yaklaşım geliştirmişlerdir [7]. Bu yaklaşımın temelinde özyineli bir arama süreci yatar. Bu süreç bir etmenin mevcut amaçlarını girdi olarak alır ve etmenin tüm amaçlarına ulaşabilmesi için yapması gereken taahhütleri üretir. Bu süreç etmenin ulaşmak istediği amaçların yanı sıra, etmenin yetenek-lerini, diğer etmenlerin bilinen yeteneklerini ve amaçlarını da göz önünde bulundurur. Bu sayede taahhütün yapılacağı etmen için de kabul edilebilir bir yapıda olması amaçlanmıştır.

4.3 Taahhüt Çatışmaları

Çok-etmenli bir sistemdeki etmenler genel-de aynı anda birden çok taahhüt içinde bulu-nurlar. Bir etmenin aynı kaynakları gerektiren birden fazla taahhüt içine girmesi, çeşitli du-rumlarda bu taahhütler arasında çatışmalara neden olabilir. Bu çatışmalar mantıksal ve işlevsel çatışmalar olmak üzere iki farklı tipte olabilirler. Örneğin, bir satıcı etmenin, bir alıcı etmene aynı anda bir ürünü hem sataca-ğını, hem de satmayacağını taahhüt etmesi mantıksal bir çatışmadır. Öte yandan, bir satıcının elinde sadece bir adet bulunan bir ürün için, iki farklı alıcıya aynı ürünü sataca-ğını taahhüt etmesi işlevsel bir çatışmadır.

Günay ve Yolum, taahhütler arasındaki bu tür çatışmaların belirlenebilmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir [6]. Bu çalışmada taahhütler olay analizi kullanılarak gösterilmişlerdir. Bu sayede her taahhüdün koşulu ve yükümlü-lüğünün hangi zamanda gerçekleştirilmesi ge-rektiği açık bir şekilde gösterilebilmiştir. Bu zaman gösterimlerinin mantıksal kurallar ile birleştirilmesi sonucunda da taahhütler arasında oluşan çatışmalar belirlenmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmada taahhütlerin çok-etmenli sis-temlerde bir iletişim yöntemi olarak nasıl kul-lanıldığını inceledik. Bu çerçevede, taahhüt-lerin biçimsel gösterimi, yaratılması ve çatış-ması konularını detaylı olarak inceledik. Bu çalışmada ayrıca akıllı etmenler ve çok-etmenli sistemlerin genel özelliklerinden bah-settik ve buna bağlı olarak etmen iletişim yöntemlerinde olması gereken temel özellik-leri açıkladık.

6. Kaynaklar

[1] Bentahar , J., Moulin, B., Meyer, J-J. C., Lesperance, Y., "A New Logical Semantics for Agent Communication", In Proceedings of the 7th International Conference on Computational Logic in Multi-Agent Systems, pp. 151–170, Springer-Verlag, (2007).

[2] Castelfranchi, C., "Commitments: From Individual Intentions to Groups and Organizations", ICMAS, pp. 41–48, (1995).

[3] Chesani, F., Mello, P., Montali, M., Torroni, P., "Commitment Tracking via the Reactive Event Calculus", In Proceedings of the International Joint Conference in Artificial Intelligence, pp. 91–96, (2009).

[4] El-Menshawey, M., Bentahar, J., El Kholy, W., Dssouli, R., "Verifying conformance of multi-agent commitment-based protocols", Expert System Applications, 40(1), pp. 122–138, (2013).

[5] Fornara, N., Colombetti, M., "Operational Specification of a Commitment-Based Agent Communication Language", In Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 536–542, (2002).

[6] Günay, A., Yolum P., "Detecting Conflicts in Commitments", DALT 2011, LNAI 7169, pp. 51–66, Springer, (2011).

[7] Günay, A., Yolum, P., Winikoff, M., "Commitment Protocol Generation", DALT 2012, pp. 51–66, Springer, (In Print).

[8] Kafalı, Ö., Yolum, P., "Adapting Reinforcement Learning for Trust: Effective Modeling in Dynamic Environments". Web Intelligence, pp. 383–386, (2009).

[9] Kitano, H., Tadokoro, S., "RoboCup Rescue: A Grand Challenge for Multiagent and Intelligent Systems", AI Magazine, 22(1), pp. 39–52, (2001).

- [10] Klusch, M., "Information Agent Technology for the Internet: A Survey", *Data & Knowledge Engineering*, 36, pp. 337–372, (2001).
- [11] Kolp, M., Giorgini, P., Mylopoulos, J., "Multi-Agent Architectures as Organizational Structures", *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 13(1), pp. 3–25, (2006)
- [12] Kraus, S., *Strategic Negotiation in Multiagent Environments*, MIT Press, (2001).
- [13] Ramchurn, S. D., Huynh, D., Jennings, N. R., "Trust in multi-agent systems", *Knowledge Engineering Review*, 19(1), pp. 1–25, (2004).
- [14] Russel, S., Norvig, P., *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd Edition, Prentice Hall Press, (2009).
- [15] Singh, M. P., "An Ontology for Commitments in Multiagent Systems", *Artificial Intelligence and Law*, 7(1), pp. 97–113, (1999).
- [16] Singh, M. P., "A Social Semantics for Agent Communication Languages", *Issues in Agent Communication*, pp. 31–45, Springer-Verlag, (2000).
- [17] Singh, M. P., Huhns, M. N., *Service-Oriented Computing: Semantics, Processes, Agents*, Wiley & Sons, (2005).
- [18] Singh, M. P., "Semantics and Verification of Information-Based Protocols", In *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, pp. 1149–1156, (2012).
- [19] Yolum, P., Singh, M. P., "Flexible Protocol Specification and Execution: Applying Event Calculus Planning using Commitments", *AAMAS'02: Proceedings of the first International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 527–534, (2002) .
- [20] Winikoff, M., "Designing Commitment-Based Agent Interactions", In *Proceedings of the IEEE / WIC / ACM International Conference on Intelligent Agent Technology*, pp. 363–370, (2006).
- [21] Wooldridge, M., *An Introduction to MultiAgent Systems*, 2nd Edition, Wiley & Sons, (2009).