Çok Etmenli Sistemler

Yapay Zekâ ve Veri Dersleri Rehberi · Kısım II: Yapay Zekânın Dalları

Özerk etmen | İletişim | Eşgüdüm | Uzlaşma ve ihale | Oyun kuramı | Komşu dersler

Sercan KÜLCÜ · Giresun Üniversitesi · Bilgisayar Mühendisliği

© Sercan Külcü. Tüm hakları saklıdır. · Sunumun etkileşimli HTML sürümü: https://sercankulcu.github.io/files/ai_courses/sunumlar/Bolum_14_Cok_Etmenli_Sistemler.html

GİRİŞ

Ders Hangi Soruyu Sorar?

> **Birden çok özerk etmen birlikte ya da birbirine karşı nasıl karar verir?**

Çok etmenli sistemler, her biri kendi hedefi ve bilgisiyle karar veren birden çok **özerk etmenin** aynı ortamda nasıl birlikte çalıştığını ya da yarıştığını inceler. Tek etmenin en iyi kararı yetmez: öteki etmenlerin ne yapacağı da hesaba katılmalı, ortak davranış iletişim ve kurallarla yönlendirilmelidir.

Bir bakışta

YAKLAŞIM	GİRDİ	ÇIKTI
etkileşen özerk etmenler	etmenler, hedefleri, iletişim kuralları	ortak davranış, denge, anlaşma

BAŞARI ÖLÇÜTÜ	MATEMATİK YÜKÜ	VERİ İHTİYACI
toplam fayda, kararlılık	orta: oyun kuramı	az; benzetim

Kısa Tarihçe

1950
Nash, her oyuncunun ötekilere göre en iyi yanıt verdiği denge kavramını tanımlar.

1980
Smith, görevleri etmenler arasında ihaleyle dağıtan Sözleşme Ağı (Contract Net) protokolünü yayımlar.

1987
Reynolds, üç basit kuralla sürü davranışı üreten boids benzetimini tanıtır.

1991
Rao ve Georgeff, inanç-istek-niyet (BDI) etmen mimarisini biçimsel olarak tanımlar.

1994
Littman, Markov oyunlarını çok etmenli pekiştirmeli öğrenmenin çerçevesi olarak önerir.

1997
İlk RoboCup robot futbol turnuvası Nagoya'da düzenlenir.

DERS

Temel Kavramlar

Özerk etmen
Dışarıdan yönetilmeden kendi hedefi için karar verir.

BDI mimarisi
İnanç, istek ve niyetle akıl yürüten etmen modeli.

İletişim dili
FIPA ACL gibi önerme, istek, bildirim mesajları.

Eşgüdüm
Etmenlerin eylemlerini çakışmadan uyumlu kılmak.

Uzlaşma
Çıkarları farklı etmenlerin anlaşmaya varması: pazarlık.

İhale ve görev dağıtma
Sözleşme Ağı ve açık artırmayla iş bölümü.

Nash dengesi
Hiçbir etmenin tek başına stratejisini değiştirmek istemediği durum.

Ortaya çıkan davranış
Basit yerel kurallardan doğan küresel düzen.

DERS

Tipik İş Akışı



Örnek: Bir depoda yüz robot siparişleri toplar. Yeni bir sipariş gelince her robot konumuna göre teklif verir, en uygun teklif işi alır; robotlar yollarını birbirine bildirerek koridorda çarpışmadan geçer. Merkezde her şeyi bilen bir planlayıcı yoktur.

DERS

Derste Neler İşlenir?

1. Akıllı etmenler ve ortam türleri
2. Tümdengelimli ve tepkisel etmen mimarileri
3. BDI mimarisi ve pratik akıl yürütme
4. Etmen iletişimi: söz edimleri, FIPA ACL
5. Etmen platformları: JADE, Jason
6. Görev paylaşımı: Sözleşme Ağı, dağıtık planlama
7. Oyun kuramı: Nash dengesi, mahkûm ikilemi
8. Toplumsal seçim ve oylama
9. Açık artırmalar ve mekanizma tasarımı
10. Pazarlık ve uzlaşma protokolleri
11. Etmen tabanlı benzetim ve ortaya çıkan davranış
12. Çok etmenli pekiştirmeli öğrenme

Kazandırdığı beceriler

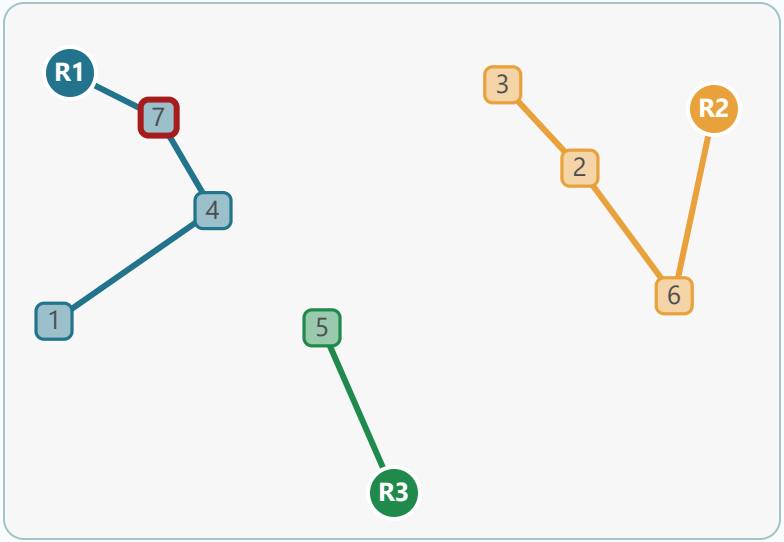
- JADE ile etmen ve mesajlaşma yazmak
- NetLogo ya da Mesa ile benzetim
- PettingZoo ile öğrenen etmenler
- küçük oyunlarda Nash dengesi bulmak
- ihale ve pazarlık protokolü tasarlamak

Tipik bir dönemin akışıdır; sıra ve kapsam üniversiteden üniversiteye değişir.

DENE

Teslimat Robotları İhaleye Çıkıyor

Kampüste üç teslimat robotu var, yönetici yok. Her paket ihaleye çıkar; her robot rotasına ekleyeceği yolu teklif eder, en ucuzu kazanır. Adım adım ihale yapın ya da haritaya tıklayıp paket ekleyin.



Baştan | Bir ihale | Tümünü dağıt

Paket sayısı = **7**

Paket 7 ihalesi, ek yol teklifleri:
R1 9 m · R2 346 m · R3 266 m
→ **R1** kazandı. Kalan paket: 0

Toplam yol: ihaleyle **1044 m**, sırayla paylaştırmada 1465 m. Her robot yalnız kendi rotasını bilerek teklif verdi.

Sorun tek bir programla değil, **pazarlık eden etmenlerle** çözüldü: sözleşme ağında yönetici görevi duyurur, etmenler kendi maliyetine göre teklif verir. Robot eklemek merkezi planı bozmaz.

KONUM

Ön Koşullar

Bu dersten önce bilinmesi yararlı olan dersler ve neden gerektikleri.

Ders	Neden gerekir
Yapay Zekâ	etmen kavramı, ortak karar
Algoritmik Oyun Kuramı	Nash dengesi, mekanizma tasarımı ve açık artırmalar
Java ile NYP	nesne ve mesajlaşma: JADE gibi etmen platformlarının dili
Algoritmalar	çizge algoritmaları ve dağıtık problemlerin karmaşıklığı

KONUM

Bu Ders Sana Göre mi?

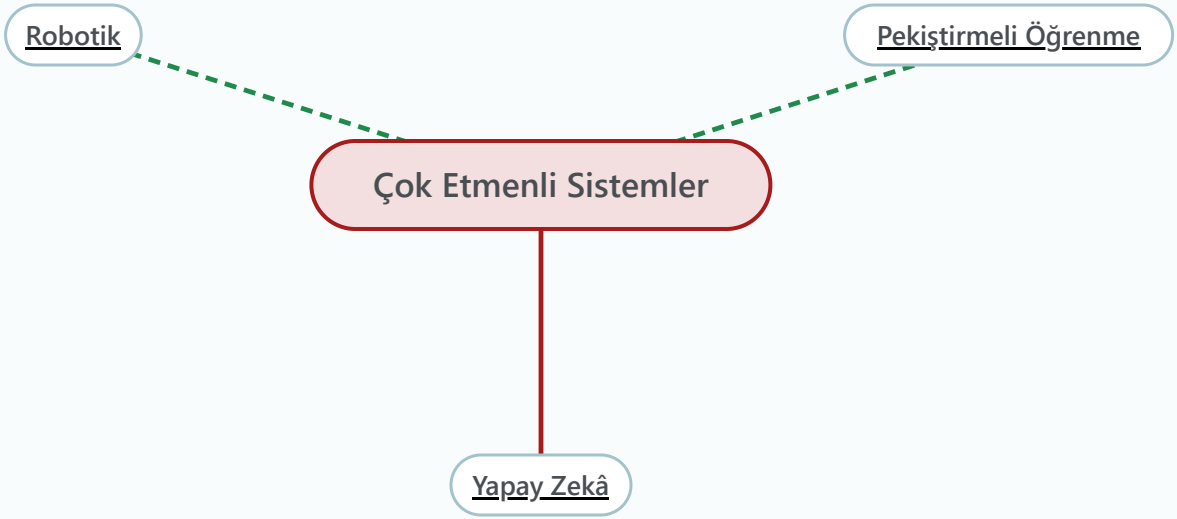
Kendine sor; "hayır" dediklerin için sağdaki sütun nereden başlayacağını gösterir.

Kendine sor	Hayırsa önce
İki oyunculu bir ödeme matrisinde Nash dengesini bulabiliyor musun?	Algoritmik Oyun Kuramı dersinin ilk bölümleri
Durum uzayında arama yapan tek bir etmeni açıklayabiliyor musun?	Yapay Zekâ
Sınıf yazıp nesneler arasında yöntem çağrısıyla mesaj gönderebiliyor musun?	Java ile nesne yönelimli programlamaya giriş
Bir çizgede en kısa yolu bulan algoritmayı yazabiliyor musun?	Algoritmalar dersindeki çizge algoritmaları

Çoğuna "evet" diyebiliyorsan derse hazırsın; bir ya da iki "hayır" dönem içinde kapanabilir.

KONUM

Dersin Komşuları



ÖRTÜŞME

Örtüştüğü Dersler

İlişki	Ders	Ortak konu
alt alan	Bu ders, Yapay Zekâ dersinin alt alanıdır	etmen kavramı, ortak karar
yöntem paylaşır	Pekiştirmeli Öğrenme ile yöntem paylaşır	çok etmenli pekiştirmeli öğrenme, oyun kuramı
yöntem paylaşır	Robotik ve Robot Görüsü ile yöntem paylaşır	sürü robotlar, eşgüdüm

Ayrıştığı Noktalar (1/2)

Ölçüt	Çok Etmenli Sistemler	Yapay Zekâ	Pekiştirmeli Öğrenme
Temel soru	Birden çok özerk etmen birlikte ya da birbirine karşı nasıl karar verir?	Bir makine arayarak, çıkarım yaparak ve plan kurarak nasıl akıllıca davranır?	Yalnız ödül sinyaliyle, deneme yanılma yoluyla iyi kararlar nasıl öğrenilir?
Yaklaşım	etkileşen özerk etmenler	arama, mantık, olasılık ve öğrenme bir arada	ödülle deneme yanılma
Girdi	etmenler, hedefleri, iletişim kuralları	problem tanımı: durumlar, eylemler, hedef	ortamla etkileşim: durum ve ödül
Çıktı	ortak davranış, denge, anlaşma	eylem dizisi, plan ya da karar	politika: durumdan eyleme kural
Başarı ölçütü	toplam fayda, kararlılık	hedefe ulaşma, maliyet, rasyonellik	toplam beklenen ödül
Matematik yükü	orta: oyun kuramı	orta: mantık, olasılık, çizge	yüksek: olasılık, dinamik programlama
Veri ihtiyacı	az; benzetim	az; çoğu zaman model ve bilgi yeter	etkileşimle üretilir

- **Yapay Zekâ:** YZ tek etmenin çevresine karşı en iyi kararını arar; bu ders öteki etmenlerin de karar verdiği ortamda ortak davranışı inceler.
- **Pekiştirmeli Öğrenme:** PÖ tek etmenin ödülle öğrenmesini inceler; bu ders öğrenme şart olmadan iletişim, uzlaşma ve eşgüdüm kurallarını da kapsar.

Ayrıştığı Noktalar (2/2)

Ölçüt	Çok Etmenli Sistemler	Robotik	Evrimsel Optimizasyon
Temel soru	Birden çok özerk etmen birlikte ya da birbirine karşı nasıl karar verir?	Bir makine fiziksel dünyayı nasıl algılar, konumunu nasıl bilir ve nasıl hareket eder?	Türev yokken ya da arama uzayı çok büyükken iyi bir çözüm nasıl bulunur?
Yaklaşım	etkileşen özerk etmenler	algıla, planla, eyle döngüsü	popülasyon ve sezgisel arama
Girdi	etmenler, hedefleri, iletişim kuralları	algılayıcı ölçümleri	amaç fonksiyonu ve çözüm gösterimi
Çıktı	ortak davranış, denge, anlaşma	motor komutları, yol	iyi bir çözüm (en iyisi garanti değil)
Başarı ölçütü	toplam fayda, kararlılık	görev başarısı, güvenlik	çözüm kalitesi, değerlendirme sayısı
Matematik yükü	orta: oyun kuramı	yüksek: dönüşümler, denetim	düşük-orta
Veri ihtiyacı	az; benzetim	fiziksel deney ve benzetim	gerekmez; değerlendirme yeter

- **Robotik:** Robotik tek bir makinenin algılama ve hareketini çözer; bu ders birçok robotun ya da yazılım etmeninin iş bölümünü ele alır.
- **Evrimsel Optimizasyon:** Sürü zekâsı algoritmaları sürüyü bir problemi çözmek için araç olarak kullanır; bu derste etmenlerin kendisi ve etkileşimi konudur.

UYGULAMA

Uygulama Alanları

Depo robotları
Yüzlerce robotun görev ve yol paylaşımı.

Akıllı şebeke
Üretici ve tüketicilerin enerji ticareti.

Trafik yönetimi
Kavşakların ve araçların eşgüdümü.

Otomatik pazarlık
Çevrim içi ihale ve reklam açık artırması.

Oyunlar
Takım hâlinde oynayan bilgisayar rakipler.

Toplum benzetimi
Salgın, pazar ve kalabalık davranışı.

UYGULAMA

Riskler ve Etik

Öngörülemeyen ortak davranış

Tek tek doğru çalışan etmenler birlikte beklenmedik sonuç doğurur: 2010 Flash Crash'te otomatik işlemler çöküşü hızlandırdı.

Konuşmadan kartel

Fiyat belirleyen öğrenen etmenler, hiç anlaşmadan birbirini cezalandırmayı öğrenip rekabetten yüksek fiyatta buluşabilir.

Kuralı oyuna getirmek

İhale ya da oylama kuralındaki bir açığı bulan etmen yanlış teklif ya da oy vererek sonucu kendi lehine çevirir.

Benzetimi gerçek sanmak

Etmen tabanlı salgın ya da pazar benzetiminin sonucu varsayılan kurallara bağlıdır; politika kararına doğrudan taşınmamalı.

Ayrıntılı tartışma: Açıklanabilir Yapay Zekâ ve Yapay Zekâ Etiği.

UYGULAMA

Araçlar ve Örnek Veriler

Araçlar ve kütüphaneler

JADE | NetLogo | Mesa | PettingZoo | Jason (AgentSpeak) | Repast | MASON

Klasik örnek problemler

Mahkûm ikilemi | Avcı-av problemi | RoboCup futbolu | StarCraft Çok Etmenli Meydan Okuması (SMAC) | Schelling ayrışma modeli | Sürü (boids) benzetimi

Bu derste veri çoğunlukla toplanmaz, **benzetimle üretilir**: etmenlerin kuralları yazılır ve ortak davranış çalıştırılarak gözlenir.

UYGULAMA

Sık Karıştırılanlar

Yaygın düşünce	Doğrusu
Çok etmenli sistem, çok çekirdekli programdır.	Paralel programda parçalar tek bir hedefe hizmet eder; etmenler özerktir ve hedefleri çatışabilir.
Her etmen en iyisini yaparsa toplam da en iyidir.	Mahkûm ikileminde olduğu gibi bireysel olarak akılcı seçimler herkes için kötü bir sonuca varabilir.
Eşgüdüm için merkezî bir yönetici gerekir.	Sürüler ve ihale protokolleri yerel kurallar ve mesajlarla merkezsiz eşgüdüm kurar.
Etmenler hep işbirliği yapar.	Etmenler rakip de olabilir; ders işbirliğini, rekabeti ve ikisinin karışımını birlikte inceler.

SONRASI

Bu Dersten Sonra

Bu dersi temel alan ya da genişleten dersler

Bu ders çoğunlukla uç noktadır; öteki dersleri temel alır.

İlgili meslekler

Robotik yazılım mühendisi

Benzetim ve modelleme uzmanı

Oyun YZ geliştiricisi

Lojistik sistemleri mühendisi

Araştırmacı

Çok etmenli sistemler YZ'yi toplumsal bir bakışla genişletir. Bu dersten sonra öğrenen etmenler için çok etmenli pekiştirmeli öğrenmeye, fiziksel ekipler için sürü robotiğine, teşvik ve kural tasarımı için algoritmik oyun kuramına geçilebilir.

Kaynaklar

- Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, 2. baskı, Wiley, 2009.
- Shoham ve Leyton-Brown, *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*, Cambridge University Press, 2009.
- Weiss (ed.), *Multiagent Systems*, 2. baskı, MIT Press, 2013.
- Albrecht, Christianos ve Schäfer, *Multi-Agent Reinforcement Learning: Foundations and Modern Approaches*, MIT Press, 2024.

Son

Bölüm 14: Çok Etmenli Sistemler

← Önceki bölüm · Alanın haritası · Sonraki bölüm →