Evrimsel ve Metasezgisel Optimizasyon

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

Popülasyon ve uygunluk | Genetik algoritma | Yerel arama | Sürü zekâsı | Çok amaçlı arama | 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_10_Evrimsel_ve_Metasezgisel_Optimizasyon.html

GİRİŞ

Ders Hangi Soruyu Sorar?

> **Türev yokken ya da arama uzayı çok büyükken iyi bir çözüm nasıl bulunur?**

Evrimsel ve metasezgisel optimizasyon, türevi olmayan ya da arama uzayı çok büyük problemlerde iyi bir çözümü **deneme, seçme ve değiştirme** döngüsüyle arar. Doğal seçilim, metal tavlama ya da karınca kolonisi gibi süreçlerden esinlenen bu yöntemler en iyi çözümü garanti etmez, kısa sürede iyi bir çözüm verir.

Bir bakışta

YAKLAŞIM popülasyon ve sezgisel arama	**GİRDİ** amaç fonksiyonu ve çözüm gösterimi	**ÇIKTI** iyi bir çözüm (en iyisi garanti değil)
BAŞARI ÖLÇÜTÜ çözüm kalitesi, değerlendirme sayısı	**MATEMATİK YÜKÜ** düşük-orta	**VERİ İHTİYACI** gerekmez; değerlendirme yeter

Kısa Tarihçe

1975
Holland, genetik algoritmanın temelini atan "Adaptation in Natural and Artificial Systems"i yayımlar.

1983
Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi benzetilmiş tavlamayı (simulated annealing) tanıtır.

1992
Dorigo doktora tezinde karınca kolonisi optimizasyonunu önerir.

1995
Kennedy ve Eberhart parçacık sürüsü optimizasyonunu (PSO) yayımlar.

1997
Wolpert ve Macready "bedava öğle yemeği yok" teoremini yayımlar: tüm problemlerde üstün yöntem yok.

2002
Deb ve arkadaşları çok amaçlı arama için NSGA-II algoritmasını yayımlar.

DERS

Temel Kavramlar

Gösterim
Çözümün kodlanışı: ikili dizi, permütasyon, gerçel vektör.

Uygunluk
Bir çözümün ne kadar iyi olduğunu söyleyen amaç değeri.

Seçilim
İyi çözümlere çoğalma şansı vermek: turnuva, rulet.

Çaprazlama
İki ebeveynin parçalarını birleştirip yeni çözüm kurmak.

Mutasyon
Çözümü rastgele küçük adımlarla değiştirip çeşitlilik katmak.

Keşif ve sömürü
Yeni bölgeleri aramak ile iyi bölgeyi incelemek arasında denge.

Yerel arama
Tepe tırmanma, benzetilmiş tavlama, tabu araması.

Pareto cephesi
Çok amaçlı problemde birbirine üstün olmayan çözümler.

DERS

Tipik İş Akışı



Örnek: Bir kargo firması 50 durağı en kısa turla dolaşmak ister. Rastgele 100 tur üretilir, her turun uzunluğu ölçülür, kısa turlar ebeveyn seçilir, sıraları birleştirilip birkaç durak yer değiştirilir. Yüzlerce nesil sonra en iyi bilinen çözüme yakın bir tur bulunur.

DERS

Derste Neler İşlenir?

1. Optimizasyon problemi, arama uzayı ve gösterim
2. Yerel arama: tepe tırmanma, tabu araması
3. Benzetilmiş tavlama ve soğutma çizelgesi
4. Genetik algoritma: seçilim, çaprazlama, mutasyon
5. Evrim stratejileri ve CMA-ES
6. Diferansiyel evrim
7. Genetik programlama
8. Karınca kolonisi optimizasyonu
9. Parçacık sürüsü optimizasyonu
10. Kısıtları ele alma: ceza ve onarım
11. Çok amaçlı arama: Pareto, NSGA-II
12. Deney tasarımı ve istatistiksel karşılaştırma

Kazandırdığı beceriler

DEAP ile evrimsel algoritma kurmak

pymoo ile çok amaçlı arama

Optuna ile hiperparametre arama

probleme uygun gösterim seçmek

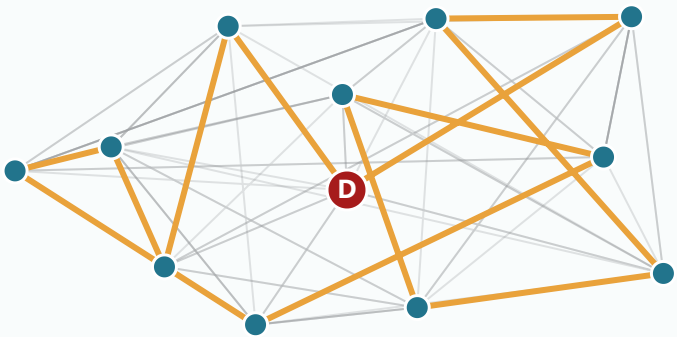
çok koşulu adil karşılaştırma yapmak

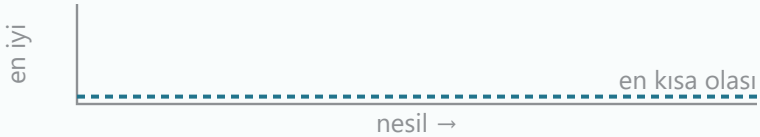
Tipik bir dönemin akışıdır; sıra ve kapsam üniversiteden üniversiteye değişir.

DENE

Kargo Aracının Turunu Evrimleştir

Kargo aracı depodan (D) çıkıp 11 adrese uğrayacak ve geri dönecek. Genetik algoritma 40 turluk bir nüfusu çaprazlama ve mutasyonla iyileştiriyor. Nesil ilerletin, mutasyon oranını değiştirip farkı görün.





Baştan | 1 nesil | 50 nesil

Mutasyon oranı = **%20**

Nesil **0** · en iyi tur **741,6 km**
İlk en iyi 741,6 km · en kısa olası 456,0 km
En kısadan %62,6 uzun. 0 tur denendi (olası tur sayısı yaklaşık 20 milyon).

Mutasyonu %0 yapıp baştan başlatın: nüfus birbirine benzeyen turlarla dolar ve arama çoğu zaman **erken takılır**. Mutasyon çeşitliliği korur.

Evrimsel yöntem çözümü **aramaz, yetiştirir**: iyi turların parçalarını birleştirir, küçük değişikliklerle yeniliği korur. En iyiyi garanti etmez ama dev arama uzaylarında hızla iyi tur bulur.

KONUM

Ön Koşullar

Bu dersten önce bilinmesi yararlı olan dersler ve neden gerektikleri.

Ders	Neden gerekir
Yapay Zekâ	sezgisel arama
Algoritmalar	karmaşıklık, NP-zor problemler ve açgözlü yöntemler
Programlama	diziler, rastgele sayı üretimi ve döngüler

KONUM

Bu Ders Sana Göre mi?

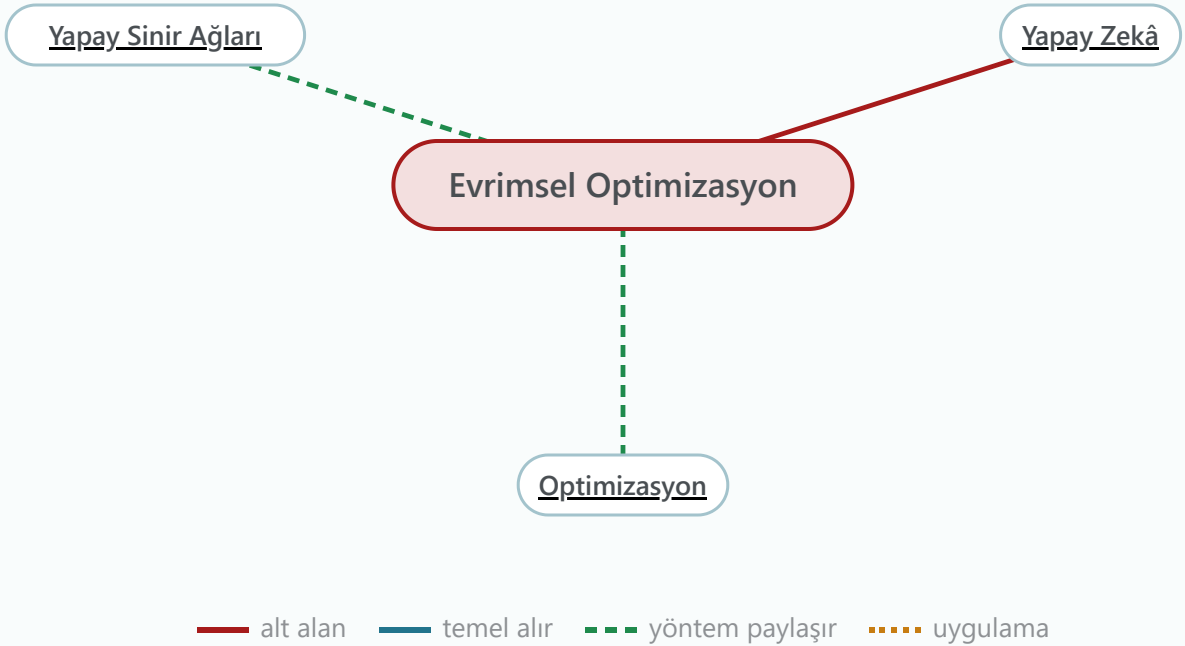
Kendine sor; "hayır" dediklerin için sağdaki sütun nereden başlayacağını gösterir.

Kendine sor	Hayırsa önce
Bir algoritmanın zaman karmaşıklığını O gösterimiyle söyleyebiliyor musun?	Algoritmalar dersindeki karmaşıklık ve NP-zorluk
Türev alarak bir fonksiyonun en küçük noktasını bulabiliyor musun?	Optimizasyon
Ortalama, standart sapma ve bir hipotez testini açıklayabiliyor musun?	Olasılık ve İstatistik
Python'da dizi, döngü ve rastgele sayıyla küçük bir program yazabiliyor musun?	Programlamaya giriş, ardından NumPy'a kısa bir giriş

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	sezgisel arama
yöntem paylaşır	Yapay Sinir Ağları ile yöntem paylaşır	nöroevrim, hiperparametre arama
yöntem paylaşır	Optimizasyon ile yöntem paylaşır	türevsiz ve global optimizasyon

AYRIŞMA

Ayrıştığı Noktalar (1/2)

Ölçüt	Evrimsel Optimizasyon	Optimizasyon	Yapay Zekâ
Temel soru	Türev yokken ya da arama uzayı çok büyükken iyi bir çözüm nasıl bulunur?	Bir amaç fonksiyonunu en iyi yapan değerler nasıl bulunur?	Bir makine arayarak, çıkarım yaparak ve plan kurarak nasıl akıllıca davranır?
Yaklaşım	popülasyon ve sezgisel arama	amaç ve kısıtların matematiksel modeli	arama, mantık, olasılık ve öğrenme bir arada
Girdi	amaç fonksiyonu ve çözüm gösterimi	amaç fonksiyonu ve kısıtlar	problem tanımı: durumlar, eylemler, hedef
Çıktı	iyi bir çözüm (en iyisi garanti değil)	en iyi ya da ona yakın çözüm	eylem dizisi, plan ya da karar
Başarı ölçütü	çözüm kalitesi, değerlendirme sayısı	amaç değeri, yakınsama hızı	hedefe ulaşma, maliyet, rasyonellik
Matematik yükü	düşük-orta	kuramın kendisi	orta: mantık, olasılık, çizge
Veri ihtiyacı	gerekmez; değerlendirme yeter	gerekmez	az; çoğu zaman model ve bilgi yeter

- **Optimizasyon:** Optimizasyon türev ve konvekslikle kanıtlanabilir en iyiye ulaşır; bu ders türevsiz, garantisiz ama geniş uygulanabilir aramayı öğretir.
- **Yapay Zekâ:** YZ'deki A* gibi aramalar durum uzayında hedefe giden yolu bulur; bu ders doğrudan iyi bir tam çözüm arar.

Ayrıştığı Noktalar (2/2)

Ölçüt	Evrimsel Optimizasyon	Pekiştirmeli Öğrenme	Yapay Sinir Ağları
Temel soru	Türev yokken ya da arama uzayı çok büyükken iyi bir çözüm nasıl bulunur?	Yalnız ödül sinyaliyle, deneme yanılma yoluyla iyi kararlar nasıl öğrenilir?	Basit birimlerden kurulan ağlar ağırlıklarını ayarlayarak nasıl öğrenir?
Yaklaşım	popülasyon ve sezgisel arama	ödülle deneme yanılma	ağırlıklı basit birimlerden ağ
Girdi	amaç fonksiyonu ve çözüm gösterimi	ortamla etkileşim: durum ve ödül	sayısal öznitelik vektörü
Çıktı	iyi bir çözüm (en iyisi garanti değil)	politika: durumdan eyleme kural	sınıf ya da sayı tahmini
Başarı ölçütü	çözüm kalitesi, değerlendirme sayısı	toplam beklenen ödül	kayıp ve doğruluk
Matematik yükü	düşük-orta	yüksek: olasılık, dinamik programlama	orta-yüksek: türev, matris
Veri ihtiyacı	gerekmez; değerlendirme yeter	etkileşimle üretilir	orta

- **Pekiştirmeli Öğrenme:** PÖ ortamla etkileşerek durumdan eyleme bir politika öğrenir; bu ders tek bir amaç fonksiyonu için iyi çözüm arar.
- **Yapay Sinir Ağları:** YSA ağırlıkları gradyanla eğitir; bu ders gradyan olmadan, örneğin ağ yapısını ya da hiperparametreleri evrimle arar.

UYGULAMA

Uygulama Alanları

Araç rotalama
Kargo ve dağıtım turlarını kısaltmak.

Çizelgeleme
Ders programı, üretim ve vardiya planı.

Mühendislik tasarımı
Anten, kanat ve yapı biçimi tasarlamak.

Hiperparametre arama
Öğrenme modellerinin ayarlarını bulmak.

Yerleşim
Devre elemanı ve tesis yerleşimi.

Portföy seçimi
Getiri ile risk arasında çok amaçlı denge.

UYGULAMA

Riskler ve Etik

Uygunluk fonksiyonunun açığı

Arama, amacın kusurunu bulup sömürür: puan yükselir ama istenen davranış çıkmaz; evrimsel deneylerde sık görülür.

Haksız karşılaştırma

Tek koşu, farklı değerlendirme bütçesi ya da yalnız kendi yöntemine ayar yapmak yeni algoritmayı olduğundan iyi gösterir.

Benzetimde kalan tasarım

Benzetimde iyi görünen anten ya da yapı, modelin dışında kalan etkiler yüzünden gerçekte başarısız olabilir.

Hesaplama ve enerji maliyeti

Pahalı benzetimleri binlerce nesil boyunca çalıştırmak günlerce işlemci zamanı ve ciddi enerji tüketir.

Ayrıntılı tartışma: Açıklanabilir Yapay Zekâ ve Yapay Zekâ Etiği.

UYGULAMA

Araçlar ve Örnek Veriler

Araçlar ve kütüphaneler

DEAP | pymoo | jMetal | PyGAD | ECJ | MATLAB Global Optimization Toolbox | Optuna

Klasik örnek problemler

TSPLIB (gezgin satıcı) | Sırt çantası problemi | OneMax | Rastrigin ve Ackley fonksiyonları | ZDT ve DTLZ çok amaçlı testler | CEC kıyaslama fonksiyonları

Bu derste veri seti yerine **kıyaslama problemleri** kullanılır: yöntemler aynı problemlerde aynı değerlendirme bütçesiyle karşılaştırılır.

UYGULAMA

Sık Karıştırılanlar

Yaygın düşünce	Doğrusu
Genetik algoritma en iyi çözümü bulur.	Metasezgiseller en iyiyi garanti etmez; makul sürede iyi bir çözüm bulmayı hedefler.
Doğadan esinlenen yöntem daha güçlüdür.	Esin kaynağı başarımı belirlemez; yeni adlı birçok yöntem eskilerin küçük çeşitlemesidir.
Bir yöntem her probleme en iyisidir.	"Bedava öğle yemeği yok" teoremine göre tüm problemler üzerinde ortalamada hiçbir yöntem üstün değildir.
Türev varken de evrimsel yöntem seçilmeli.	Türev kullanılabiliyorsa gradyan yöntemleri çoğunlukla çok daha az değerlendirmeyle sonuca ulaşır.

SONRASI

Bu Dersten Sonra

Bu dersi temel alan ya da genişleten dersler

Bu ders çoğunlukla uç noktadır; öteki dersleri temel alır.

İlgili meslekler

Yöneylem araştırmacısı

Lojistik ve planlama mühendisi

Tasarım optimizasyonu mühendisi

Makine öğrenmesi mühendisi

Bu ders klasik optimizasyonun eriştiği yerin ötesine geçer. Sonrasında kanıtlanabilir yöntemler için optimizasyona, ağ yapılarını evrimle aramak için yapay sinir ağlarına ya da sürü davranışının etmen bakışı için çok etmenli sistemlere geçilebilir.

SONRASI

Kaynaklar

- Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.
- Eiben ve Smith, *Introduction to Evolutionary Computing*, 2. baskı, Springer, 2015.
- Talbi, *Metaheuristics: From Design to Implementation*, Wiley, 2009.
- Luke, *Essentials of Metaheuristics*, 2. baskı, Lulu, 2013.

Son

Bölüm 10: Evrimsel ve Metasezgisel Optimizasyon

← Önceki bölüm · Alanın haritası · Sonraki bölüm →