

GENETİK ALGORİTMALAR

Yrd. Doç. Dr. Necdet ÖZÇAKAR

i. Ü. İşletme Fakültesi
Üretim Anabilim Dalı

Giriş

Genetik algoritmalar ilk olarak, John Holland ve arkadaşlarının Michigan Üniversitesi'ndeki çalışmaları sonucunda ortaya atılmıştır. John Holland'ın bu konudaki kitabının 1975 yılında basılması, genetik algoritmalar ile ilgili ilk yayın olmasının yanı sıra, diğer araştırmacıların da bu konuda çalışmalar başlatmasına neden olmuştur. Ancak bu konudaki araştırmaların, daha çok 1985 yılından sonra yoğunlaştığı görülmektedir (Buckles) (Reeves).

Genetik Algoritma Kavramı

Genetik algoritmalar, karmaşık düzenli problemlerin çözümünü gerçekleştirmek amacıyla, kromozomların yeni diziler üretme esasını temel alan, sezgisel bir araştırma yöntemidir (Lee). Genetik algoritmalar, matematiksel fonksiyonların global optimizasyonunu hedeflerler (Hahnert) (Kumar). Genetik algoritmaları diğer araştırma yöntemlerinden ayıran özellik ise, bir çözüm seti ile başladıktan sonra, geliştirme için biyolojik evrimi esas alan bir prosesin kullanılmasıdır. Bu prosesin sonunda da en iyi kromozoma ulaşma amaçlanmaktadır (Cheng) (Glover). Problemlerle ilgili parametreler, genler halinde bir araya gelerek kromozomu oluşturmakta; en iyi kromozoma ulaşma ise, genlerin kromozom içindeki dizilişini değiştirerek; yani, yeni nesiller yaratılarak gerçekleştirilmektedir (Chu). Genetik algoritmaların, problem çözümünde uygulanabilmeleri için, problemin çözüm uzayı olarak, her bir problemin mümkün çözümlerinden olan yapı'lardan (ya da organizma'lardan) oluşan bir popülasyon ortaya konmaktadır. İlk neslin oluşması için, öncelikle belirli bir sayıda organizma seçildikten sonra, yeni bir neslin yaratılması için, mevcut nesilden seçilen aile'lere bazı genetik operatörler uygulanır. Burada "iyi çocuklar iyi aileden doğar" fikrine uygun olarak, mevcut nesil içinde yüksek

uygunluk değerine sahip organizmaların aile olarak seçilme şansları da doğal olarak yüksektir_(Chen).

Genetik algoritmaların özellikleri

Çeşitli problemlerin çözümünde kullanılan genetik algoritmalar, aşağıdaki özellikleri taşırlar_(Tate).

- a) Uygun çözümler için bir veya daha fazla "popülasyon" mümkündür.
- b) Önceden bilinen çoklu çözümlerin özelliklerini bir araya getirerek, yeni uygun çözümler üreten bir mekanizmaya sahiptir.
- c) Önceden bilinen bir çözümün düzenini rast gele (tesadüfi) bir şekilde değiştirerek, yeni uygun bir çözüm üreten bir mekanizmaya sahiptir.
- d) Popülasyon içinden, öncelik vererek, ayrı çözümleri seçen bir mekanizmaya sahiptir.
- e) Popülasyon içinden bazı çözümleri dışarı çıkaran bir mekanizmaya sahiptir.

Genetik algoritmaların sahip olması gereken koşullar.

Genetik algoritmaların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir_(Awadh).

- a) Araştırma uzayı parametreleri, ikili (0-1) sistemde veya alfabetik bir şekilde kodlanarak belirli bir uzunlukta kromozom-gen düzeni oluşturulmalıdır.
- b) Uygun çözüm sayısını azaltmak için problemin amacı doğrultusunda bir uygunluk fonksiyonu kullanılmalıdır.
- c) Paralel ve global araştırmaya imkân sağlanması açısından, araştırma uzayı içindeki her nokta taranmalıdır.
- d) Bir araştırma uzayından diğerine bir gelişme sağlanabilmesi için, olasılıklı geçiş (değişim) kuralı kullanılmalıdır.

Genetik Operatörler.

Genetik algoritmalarındaki kromozom yapıların kopyalanması işleminde üç temel operatör kullanılmaktadır.

Yeniden üretim (reproduction)

Her bireyi, bir nesilden diğerine aynen kopyalama işlemidir. Uygunluk derecesi yüksek olan kromozomlar üsütün nitelikli çocuk üretiminde kullanılmak üzere bu yöntemle çoğaltılırlar.

Çapraz değişim (crossover)

İki veya daha fazla kromozomdan (aile'den), yeni bir kromozom (çocuk) meydana getirme işlemidir. Burada da amaç, daha iyi niteliklere sahip çocuklara ulaşmaktır.

Dahili değişim (mutation)

Kromozom yapısı içinde değişiklikler yapma işlemidir. Mustasyon işlemi ile yeni uygun çözümler elde edilmeye çalışılır

Nümerik Kodlama

Problemdeki parametreleri temsil eden, kromozom yapısı içindeki genlerin dizilişinin gösterimi, daha çok ikili sistem (0-1 sistemi) veya diğer rakamların da kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Rakamların ikili sistem dışında kullanımında, problemin parametreleri gereği, sıralı veya sırasız rakamların birer defa kullanımının yanısıra, aynı rakamların birden çok kullanımına da rastlanmaktadır.

Çapraz değişim uygulamaları

Çapraz değişim ile ilgili olarak rastlanılan ilk uygulama şeklinde, önce kromozom yapı üzerinde rast gele bir ayırım noktası belirlenmektedir. Kromozomlar, çapraz değişim işleminde bu ayırım noktası öncesindeki gen yapısını aynen korurlarken, ayırım noktası sonrasındaki gen yapısını ise karşılıklı olarak değiştirmektedirler. Takip eden örnekte de görüleceği gibi, ayırım sonrası genleri (1100) ve (1010) karşılıklı olarak yer değiştirmiştir.^(Thomas)

Aile (A)	1	0	1	0	0	1	1	0	0
	ayırım								
Aile (B)	0	0	1	0	1	1	0	1	0
Çocuk (A)	1	0	1	0	0	1	0	1	0
	ayırım								
Çocuk (B)	0	0	1	0	1	1	1	0	0

Bazı uygulamalarda ise, iki ayırım noktası kullanılmaktadır. Ayırım noktalarının belirlenmesi ve karşılıklı değiştirilecek parçaların belirlenme işlemleri yine rast gele olmaktadır. Takip eden örnekte, iki ayırım noktası arasındaki (001) ve (011) genleri karşılıklı yer değiştirmiştir.^(Croce)

Aile (A)	1	0	1	0	0	1	1	0	0
	ayırım				ayırım				
Aile (B)	0	0	1	0	1	1	0	1	0
Çocuk (A)	1	0	1	0	1	1	1	0	0
Çocuk (B)	0	0	1	0	0	1	0	1	0

Bazı çapraz değişim uygulamalarında, ailedeki kalıtsal özelliklerin çocuğa taşındığı durumlara ratslanmaktadır. Tahip eden örnekte "*" ile işaretlenen kalıtsal özelliklerin, çocuk (A)'ya ne şekilde taşındığı gösterilmektedir.^(Thomas)

Aile (A)	1	0	1	0	0	1	1	0	0
Aile (B)	0	0	1	0	1	1	0	1	0
		*		*		*		*	*
Çocuk (A)	0	0	1	0	1	1	0	1	0
Çocuk (B)	1	0	1	0	0	1	1	0	0

Bazı uygulamalarda, çapraz değişimin hemen arkasında bir onarma işlemine ihtiyaç olmaktadır. Bunu, takip eden örnekte görebiliriz.^(Tsuji-mura)

Aile (A)	2	3	1	5	4	6	7
Aile (B)	1	3	2	4	5	7	6
Çocuk (A)	2	3	2	4	5	6	7
Çocuk (B)	1	3	1	5	4	7	6

İki ayırım arasındaki genler karşılıklı değiştirildiğinde, elde edilen sonucun uygun olmadığı açıkça gözükmektedir. Takip eden örnekteki onarma

işleminde, birinci sıradaki genler karşılıklı değiştirilerek uygunluk sağlanmıştır.

Çocuk (A)

1	3	2	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Çocuk (B)

2	3	1	5	4	7	6
---	---	---	---	---	---	---

Görüldüğü gibi çapraz değişimle ilgili çok çeşitli uygulamalar söz konusudur. Burada önemli olan uygunluk derecesi yüksek olan aileleri bir araya getirerek, uygunluk derecesi daha yüksek çocuklar elde etmeye çalışmaktır. Bu arada, uygunsuz olan sonuçların ortaya çıkması durumunda, onarım işlemi uygulanmalıdır.

Dahili değişim (mutasyon) uygulamaları

Kromozom yapısı üzerindeki dahili değişim, genellikle rast gele bir şekilde belirlenen bir gen'in değiştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Yani, 1 ise 0'la veya 0 ise 1'le değiştirilmektedir.

İkili sistem yerine, problemin parametreleri gereği, sıralı veya sırasız rakamların birer defa ya da aynı rakamların birden çok kullanımının söz konusu olduğu durumlarda, rast gele belirlenmiş herhangi bir gene ait rakam, yine rast gele belirlenmiş diğer rakamla yer değiştirmektedir. Takip eden örnekte ise, kromozomda "*" ile işaretlenmiş gen rast gele bir şekilde belirlenerek değiştirilmiş, böylelikle mutasyon işlemi tamamlanmıştır^(Thomas).

Çocuk (A)

0	0	1	0	1	0	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

*

Çocuk (A)

1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Bazen de kromozom üzerinde iki gen rast gele seçilerek, karşılıklı olarak yer değiştirmeleri sağlanır. Takip eden örnekte, 3. ve 8. sıradaki genler rast gele seçilerek, yerleri değiştirilmiştir^(Croce).

Çocuk (A)

7	9	3	4	5	6	2	1	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

* * *

Çocuk (A)

7	9	1	4	5	6	2	3	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Bazı uygulamalarda ise, rast gele seçilen gen bulunduğu sıradan alınarak, yine rast gele olarak belirlenen başka bir sıradan yapıya dahil edilir.

Takip eden örnekte de gösterildiği gibi, 7. Sırada bulunan gen (2), sırasından çıkarılarak 1. Sıradan tekrar yapıya dahil edilmiştir^(Tsujiimura).

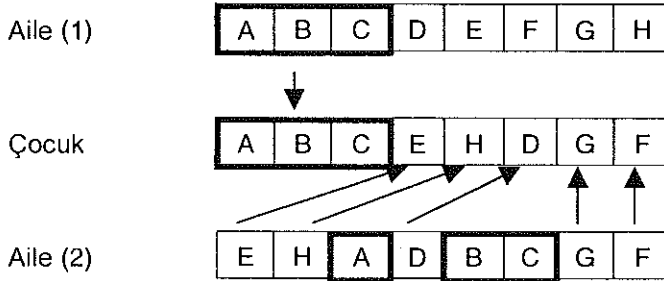
Çocuk (A)	7	9	3	4	5	6	2	1	8
	*						*		
Çocuk (A)	2	7	9	3	4	5	6	1	8

Alfabetik Kodlama

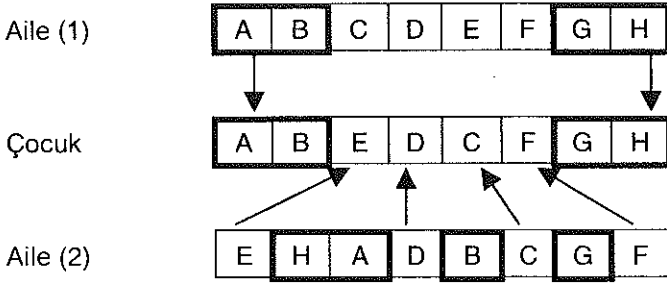
Prambledeki parametreleri temsil eden, kromozom yapısı içindeki genlerin dizilişinin gösterimi, alfabetik sembollerin kullanılmasıyla da gerçekleştirilmektedir. Bu gösterim şeklinde, rakamlarla gösterim şeklinde de olduğu gibi, sıralı veya sırasız harflerin birer defa ya da birden çok kullanımına rastlanmaktadır.

Çapraz değişim ile ilgili uygulamalar incelendiğinde, en çok rastlanılanların, takip eden dört örnekteki gibi olduğu görülecektir^{(Murata)(Kim)}.

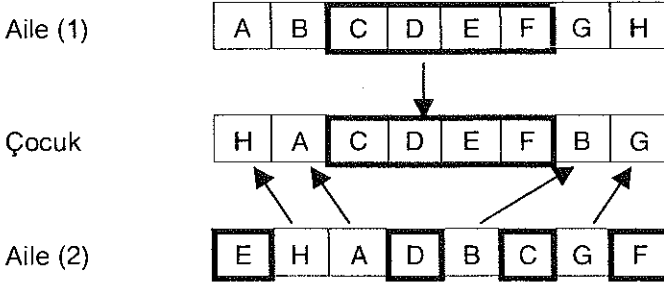
Takip eden örnekte, tek ayırım noktasının söz konusu olması durumundaki çapraz değişim gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, Aile (1)'den alınan (ABC) genleri, Çocuk'ta aynı sırada ve aynı pozisyonda yer alırken; (EHDGH) genleri ise, Aile (2)'den alınarak yine aynı sıra ile sıralanmaktadır.



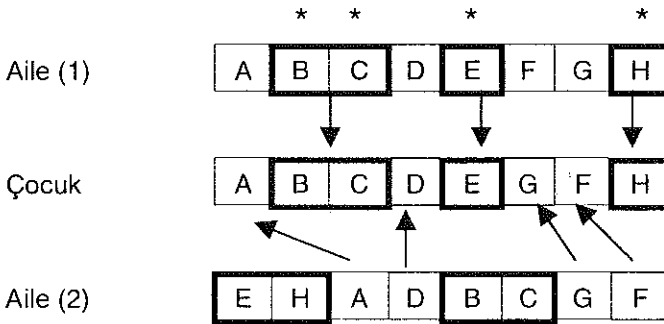
İki ayırım noktasının olması durumunda, takip eden örnekte de görüldüğü gibi, Aile (1)'den alınan (AB) ve (GH) genleri aynı pozisyonda Çocuk'ta da yer alırken; Aile (2)'den alınan diğer genler (EDCF) de aynı sıra içerisinde Çocuk'ta da yer almaktadır.



Yine iki ayırım noktasının olması durumunda, ancak bu defa Aile (1)'den alınan (CDEF) genleri aynı pozisyonda olmak üzere Çocuk'ta yer alırken; Aile (2)'den alınan diğer genler de aynı sırada Çocuk'ta yer almaktadır.



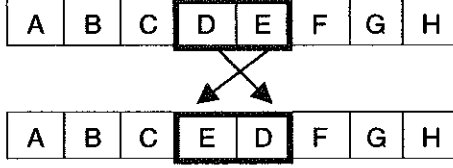
Takip eden örnekte ise, Aile (1)'den rast gele seçilen "*" işaretli genler, Çocuk'ta kalıtsal olarak aynı pozisyonlarda yer alırken; Aile (2)'den alınan diğer genler (ADGF) de, kalan pozisyonları yine aynı sırada doldurmuştur.



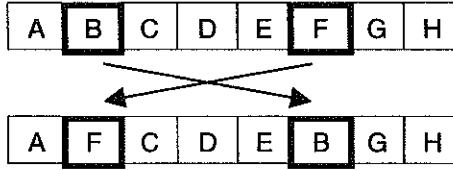
Dahili değişim (mutasyon uygulamaları)

Dahili değişim (mutasyon) ile ilgili uygulamalar incelendiğinde, en çok rastlanılanların, genellikle takip eden dört örnekte gösterildiği gibi olduğu

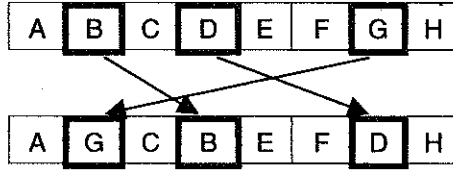
görülecektir^(Murata). Takip eden ilk örnekte, rast gele seçilen iki komşu genin, karşılıklı olarak değiştirilmesiyle mutasyon gerçekleştirilmektedir.



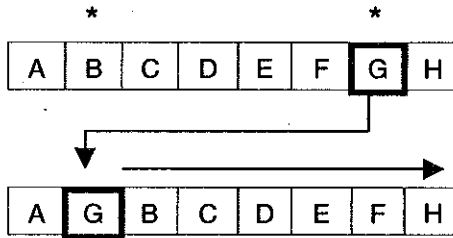
Takip eden diğer örnekte de gösterildiği gibi rast gele seçilen iki gen, karşılıklı olarak da değiştirilebilmektedir.



İlk iki örneğin özel bir durumu olarak nitelendirebileceğimiz üçüncü örnekte, üç gen rast gele seçilerek, yine rast gele sırada yeniden sıralanmaktadır.



Takip eden bu son örnekte ise, rast gele geçilen bir gen, yine rast gele bir şekilde seçilen pozisyonda araya sokulmakta; diğer genler ise ok istikametine kaydırılmaktadır.



Değerlendirme

Yeniden üretim (reproduction), çapraz değişim (crossover) ve dahili değişim ya da mutasyon (mutation) aşamalarının her tamamlanışında,

sonuçların öncekilerle karşılaştırılması gerekmektedir. Buradaki amaç en iyi kromozomu elde etmek; başka bir ifade ile, en iyi çözüme ulaşmaktır. Bu nedenle, her çevrimde elde edilen yeni kromozomların uygunluk dereceleri belirlenerek, sıralamaya dahil edilirler. En iyiler "Aile" görevi ile yeni nesil üretimine devam ederek, daha iyi nitelikli "çocuk" elde edilmesine çalışırlar. Bu süreç, amaç gerçekleşinceye kadar devam eder.

Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları

Genetik algoritmalar, özellikle 1985 yılından sonra, gittikçe artan bir ilgiyle geniş bir kullanım alanına sahip olmaya başlamıştır. Bu kısımda özellikle son yıllarda gerçekleştirilen genetik algoritma uygulamaları tanıtılmaya çalışılmıştır.

GA'ların doğrusal olmayan tam sayılı programlamada kullanımı

Bu konuda yapılan çalışmalara, Yokota ve arkadaşlarının (Gen - Kim - Taguchi - Li), 1995 yılında yayınlanan iki makalesinde rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda, optimum sistem güvenilirliği ile ilgili doğrusal olmayan tam sayılı programlama problemi, aralık katsayıları kullanılmadan, doğrudan, amaç fonksiyonunun doğrusal olmama durumu da korunarak, genetik algoritmaların kullanılmasıyla çözülmüştür.^{(Yokota1)(Yokota2)}

GA'ların Hüresel imalat problemlerinde kullanımı

Bu konuda yapılan çalışmalardan bir tanesinde (1996), Joines ve arkadaşları (Culbreth & King), hüresel imalat tasarımı probleminin çözümünde, tam sayılı programlama ve genetik algoritmaları beraberce kullanmışlardır.^(Joines) Hwang ve arkadaşı (Sun) ise yine 1996 yılında yayınlanan makalede, hücre oluşumu probleminin çözümü için, genetik algoritma tabanlı, iki fazlı sezgisel bir çözüm önermişlerdir.^(Hwang)

GA'lann montaj hattı dengeleme problemlerinde kullanımı

Bu konuda, Gen ve Tsujimura ile arkadaşlarının (LI & Kubota) Gerçekleştirdikleri çalışmalarla ilgili olarak 1995 yılında yayınlanan makalelerinde; her bir iş istasyonundaki toplam işlem zamanlarını minimize etmeyi hedefleyen genetik algoritma amaç fonksiyonu ile bulanık küme mantığı beraberce kullanılarak, montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü gerçekleştirilmiştir.^{(Gen2)(Tsujimura)}

GA'lann yerleşim (layout) problemlerinde kullanımı

Yerleşim konusunda çalışma yapan Cheng ve arkadaşlarının (Gen & Tosowa) 1995 yılında yayınlanan makalelerinde, makinaların dairesel olarak

yerleştirildiği ve malzeme hareketinin tek bir yöne doğru gerçekleştirildiği durum ile ilgili problemin, genetik algoritmalar ile sezgisel bir yöntem kullanarak çözülebileceğini göstermişlerdir_(Cheng). Yerleşim konusundaki bir diğer çalışma ise Gen ve arkadaşları (Ida & Cheng) tarafından 1995 yılındaki makalelerinde sunulmuştur. Bu makalede, makinalar arası toplam taşıma maliyetlerinin minimize edilmesinin hedeflendiği, çok hatlı makine yerleşim problemi, bulanık küme mantığı ile genetik algoritmalar kullanılarak çözülmüştür_(Gen).

GA'ların atama problemlerinde kullanımı

Bu konuda araştırma yapan Chu & Beasley, 1996 yılında yayınlanan makalelerinde, minimum maliyetli atamanın hedeflendiği problem için genetik algoritmaların kullanıldığı bir çözüm önermişlerdir_(Chu). Bu konudaki diğer bir çalışma da, Tate ve Smith tarafından 1994 yılında yayınlanan makalelerinde sunulmuştur. Bu çalışmada, kuadratik atama probleminin çözümü genetik algoritmalar ile gerçekleştirilmiştir_(Tate). Yine bu konudaki başka bir çalışmada, Zhao ve arkadaşları (Tsujimura & Gen) 1995 yılında yayınlanan makalelerinde, iş istasyonu atama problemi (ve robot seçimi) için genetik algoritmaları kullanmışlardır_(Zhao).

GA'ların sıralama problemlerinde kullanımı

Bu konuda yapılan çalışmalarda, Reeves 1994 yılında yayınlanan makalesinde, genetik algoritmaları n-adet iş ve m-adet makine'nin söz konusu olduğu akış atölyesi sıralama probleminin çözümünde kullanılmasını tanıtmıştır_(Reeves). Bir başka çalışmada ise, Yip-Hoi ve Dutta, 1996 yılında yayınlanan makalede, bir tezgahın iki farklı talaş kaldırma işlemi yapabilmesi durumunda, proses planlamadaki sıralama probleminin çözümü için genetik algoritmaları kullanmışlardır_(Yip-Hoi). Kim ve arkadaşlarının (Hyun & Kim), karışık model montaj hatlarındaki sıralama problemi için, 1996 yılında yayınlanan makalelerinde, önerdikleri genetik algoritmalar yaklaşımı, büyük çaplı sıralama problemlerinin çözümünde, makul bir hesaplama süresi içinde optimuma yakın sonuçlar vermektedir_(Kim). Yine aynı konuda gerçekleştirilen bir diğer çalışmada da, Leu ve arkadaşları (Matheson & Rees) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma ile ilgili olarak 1996 yılında yayınlanan makalede, kullanılan yapay zeka tabanlı genetik algoritma yöntemi ile iyi bir sonuç elde edildiği vurgulanmaktadır_(Leu). Bir başka çalışmada ise Rubin ve Ragatz, tek makina-n-adet iş, sıralama probleminin çözümü için 1994 yılında yayınlanan makalelerinde, önerdikleri genetik algoritmalar yaklaşımının, dairesel algoritması kadar iyi sonuç vermese de, kullanımını tavsiye etmektedirler_(Rubin). Bir diğer çalışmada ise Usher ve Bowden, 1996 yılında

yayınlanan makalelerinde, bilgisayarla bütünleşik proses planlamada operasyon sıralama probleminin çözümü için genetik algoritmaların kullanılması ile iyi bir performans sağladıklarını vurgulamaktadırlar^(Usher).

GA'ların çizelgeleme problemlerinde kullanımı

Bu konuda yapılan çalışmalarda, Chen ve arkadaşlarının (Nepalli & Aljaber) 1996 yılında yayınlanan makalelerinde, akış atölyesi çizelgeleme probleminin çözümü için genetik algoritmalar esaslı sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Yine bu makaledeki uygulamada, genetik algoritmaların çizelgeleme problemlerinde kullanımının (daha da geliştirilebilir) iyi sonuçlar verdiği vurgulanmaktadır^(Chen). Bir başka çalışmada ise, Murata ve arkadaşları (Ishibuchi & Tanaka) 1996 yılında yayınlanan bir makalelerinde, akış atölyesi çizelgeleme probleminin çözümü için iki hibrit genetik algoritma önerilmiştir^(Murata1). Aynı ekibin bir başka makalesinde ise, bu defa çok-amaçlı genetik algoritmaları, akış atölyesi çizelgeleme probleminin çözümü için önermektedirler. Çok-amaçlı genetik algoritmaların; tek-amaçlı genetik algoritmalarından ve Schaffer'in önerdiği VEGA'dan (Vector Evaluated Genetic Algorithm) daha iyi sonuç verdiği vurgulanmaktadır^(Murata2). Çizelgeleme konusunda yapılan bir başka çalışmada ise, Sakawa ve arkadaşları (Kato & Mori) 1996 yılında yayınlanan makalelerinde, uygulanan genetik algoritmaların, çözümü istenen probleme uygun olması gerektiğini belirterek; esnekliğin göz önüne alındığı, uygun bir genetik algoritmayı, bir işleme merkezindeki çizelgeleme problemi için önermişlerdir^(Sakawa). Croce ve arkadaşlarının (Tadei & Volta) yaptığı çalışma ise, sipariş atölyesi çizelgeleme probleminin çözümü ile ilgilidir. 1994 yılında yayınlanan makalelerinde önerdikleri genetik algoritmanın, gerek önceki GA uygulamaları gerekse de diğer bazı sezgisel yöntemlere üstünlüğü vurgulanmaktadır^(Croce). Bir diğer araştırmada, Sikora tarafından yapılan çalışma 1996 yılında yayınlanan makalesinde tanıtılmıştır. Bu çalışmada, parti hacmi ve sıralama kararlarını beraberce içeren bir çizelgeleme problemi üzerinde durulmuştur. Önerilen genetik algoritma ile bu zor problemin çözümü gerçekleştirilmiştir^(Sikora).

GA'lann diğer kullanım alanları

Bu makalede tanıtma imkanı bulunamayan daha bir çok konuda da, genetik algoritmaların kullanımına rastlanmaktadır. Bunlar, bilgisayarla bütünleşik tasarım, gezgin-satıcı problemi, tamir-bakım politikası, tahmin yöntemleri, dağıtım ve transport problemleri, Araç-rota problemleri, Paketleme problemleri ve vb. gibi konulardır.

Sonuç

Bu makalede, son yıllarda kullanım alanı oldukça genişleyen genetik algoritmaların, problemlerin çözümlerinde ne şekilde kullanılacağı, özellikle genetik operatörler üzerinde geniş bir şekilde durularak verilmeye çalışılmıştır. Son yıllarda canlı varlıkların biyolojik yapısından esinlenerek geliştirilen, yapay zeka ve yapay sinir ağları gibi, genetik algoritmalara olan ilginin daha da artacağı açıktır. Bir kısmı bu makalede tanıtılmaya çalışılmış olan genetik algoritma araştırma sahalarının, çok daha geniş alana yayılacağı ve elde edilen sonuçlarda da büyük gelişmeler sağlanacağı beklenmektedir.

Kaynaklar

Awadh, B. - Sepehri, N. - Hawaleshka, O., "A Computer-Aided Process Planning Model Based on Genetic Algorithms", *Computers & Operations Research*, Vol.22, No.8, 1995.

Buckles, Bili P. - Petry, Frederick E., "Genetic Algorithms", IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, sf. 1-4, 1992.

Chen, Chuen-Lung - Nepalli, Ranga V. - Aljaber, Nasser, "Genetic Algorithm Applied to the Continuous Flow Shop Problem", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.30, No.4, 1996.

Cheng, Runwei - Gen, Mitsuo - Tosawa, Tatsumi, "Genetic Algorithms for Designing Loop Layout Manufacturing Systems", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.31, No.3/4, 1995.

Chu, P.C. - Beasley, J.E., "A Genetic Algorithm for the Generalised Assignment Problem", *Computers & Operations Research*, Vol.24, No.1, 1996.

Croce, Della Federico - Tadei, Roberto - Volta, Giuseppe, "A genetic Algorithm for the Job Shop Problem", *Computers & Operations Research*, Vol.22, No.1, 1994.

Gen, Mitsuo - Ida, Kenichi - Cheng, Chunhui, "Multirow Machine Layout Problem in Fuzzy Environment Using Genetic Algorithms", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.29, No.1-4, 1995.

Gen, Mitsuo - Tsujimura, Yashuhiro - Li, Yinxu, "Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.31, No.3/4, 1995.

Glover, Fred - Kelly, James P. - Laguna, Manuel, "Genetic Algorithms and Tabu Search: Hybrids for Optimization", *Computers & Operations Research*, Vol.22, No.1, 1994.

Hahnert, W.F. - Ralston, P.A.S., "Analysis of Population Size in the Accuracy and Performance of Genetic Training for Rule-Based Control Systems", *Computers & Operations Research*, Vol.22, No.1, 1994.

Hwang, Hark - Sun, Ji & Ung, "A genetic Algorithm-Based Heuristic for the Cell Formation Problem", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.30, No.4, 1996.

Joines, Jeffrey - Culbreth, C. Thomas - King, Russell E., "Manufacturing Cell Design: an Integer Programming Model Employing Genetic Algorithms", *IEE Transactions*, V.28, 1996.

Kim, Yeo Keun - Hyn, Chul Ju - Kim Yeongho, "Sequencing in Mixed Model Assembly Lines: A Genetic Algorithm Approach", *Computers & Operations Research*, Vol.23, No.12, 1996.

Kumar, Anup - Pathak, Rakesh M. - Gupta, Yash P., "Genetic Algorithm Based Approach for File Allocation on Distributed systems" *Computers & Operations Research*, Vol.22, No.1, 1994.

Lee, Chae Y. - Kim, Seok J. "Parallel Genetic Algorithm for the Earliness-Tardiness Job Scheduling Problem With General Penalty Weights", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 28, No.2, 1995.

Leu, Yow-Yuh - Matheson, Lance a. - Rees, Loren Paul, "Sequencing Mixed-Model Assembly Lines with Genetic Algorithms", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.30, No.4, 1996.

Murata1, Tadahiko - Ishibuchi, Hisao - Tanaka, Hideo, "Genetic Algorithms For Flowshop Scheduling Problems", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.30, No.4, 1996.

Murata2, Taodahiko - Ishibuchi, Hisao - Tanaka, Hideo, "Genetic Algorithms For Flowshop Scheduling Problems", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.30, No.4, 1996.

Reeves, Colin R., "Genetic Algorithm for Flowshop Sequencing", *Computers & Operations Research*, Vol.22, No.1, 1994.

Rubin, Paul A. - Ragatz, Gary LI, "Scheduling in a Sequence Dependent Setup Environment with Genetic Search", *Computers & Operations Research*, Vol.22, No.1, 1994.

Sakawa, Masatoshi - Kato, Kosuke - Mori, Tetsuya, "Flexible Scheduling in a Machining Center Through Genetic Algorithms", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.30, No.4, 1996.

Sikora, Riyaz, "A Genetic Algorithm for Integrating Lot-Sizing and Sequencing in Scheduling a Capacitated Flow Line", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.30, No.4, 1996.

Tate, David M. - Smith Alice E., "A Genetic approach to the Quadratic Assignment Problem", Computers & Operations Research, Vol.22, No.1, 1994.

Thomas, G.M. - Gerth, R. - Velasco, T. - Rabelo, L.C., "Using Real-Coded Genetic Algorithms for Weibull Parameter Estimation", Computers & Industrial Engineering, Vol.29, No. 1-4, 1995.

Tsujimura, Yasuhiro - Gen, Mitsuo - Kubota, Erika, "Solving Fuzzy Assembly-Line Problem with Genetic Algorithms", Computers & Industrial Engineering, Vol.29, No.1-4, 1995.

Usher, John M. - Bowden Royce O., "The Application of Genetic Algorithms to Operation Sequencing for Use in Computer-Aided Process Planning", Computers & Industrial Engineering, Vol.30, No.4, 1995.

Yip-Hoi, Derek - Dutta, Debasish, "A genetic Algorithm Application for Sequencing Operations in Process Planning for Parellel Machining", IEE Transactions, Vol.28, 1996.

Yokota 1, Takao - Gen, Mitsuo - Takeaki - Li, Yinxu, "A Method for Interval 0-1 Nonlinear Programming Problem Using a Genetic Algorithm", Computers & Industrial Engineering, Vol.29, No.1-4, 1995.

Yokota2, Takao - Gen, Mitsuo - Li, Yinxu - Kim, Chang Eun, "A Genetic Algorithm for Interval Nonlinear Integer Programming Problem", Computers & Industrial Engineering, Vol.31, No.3/4, 1995.

Zhao, Linhu - Tsujimura, Yashuhiro - Gen, Mitsuo, "Genetic Algorithm for Robot Selection and Work Station Assignment Problem", Computers & Industrial Engineering, Vol.31, No.3/4, 1995.