

YAPAY ZEKADA YENİ BİR ALAN: YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMLERİ

Bilal Alataş, Erhan Akın

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

Özet: Son birkaç yıldır, bilgisayar bilimcileri, mühendisler, matematikçiler, filozoflar ve diğer araştırmacılar, karmaşıklığı beyne benzer olan bağışıklık sisteminin özellikle yetenekleri üzerine ilgi duymuştur. Bunun sonucunda teorik bağışıklık ve kompleks problem alanlarına uygulanan gözlemlenmiş bağışık fonksiyonlar, ilkeler ve modellerden esinlenmiş hesapsal sistemler olarak yapay bağışıklık sistemleri (YBS) önerilmiştir. Bu makale, bağışıklık hücrelerini modellemek için bir formalizm sunmakta ve bağışıklık fenomeninin mühendislik ve hesaplama aracı olarak nasıl kullanılabilirliğini göstermektedir. Özellikle uygulanabilir genel algoritmalarından negatif ve pozitif seçim algoritmaları, klonal seçim algoritması ve bağışık ağ modelleri açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Bağışıklık Sistemleri, Pozitif-Negatif Seçim, Klonal Seçim, Bağışık Ağ Teorisi*

A NEW FIELD IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE: ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS

Abstract: In the last few years, computer scientists, engineers, mathematicians, philosophers, and other researchers have particularly been interested in the capabilities of the immune system, whose complexity is comparable to that of the brain. In the result of this interest, artificial immune systems that are computational systems inspired by theoretical immunology and observed immune functions, principles and models, which are applied to complex problem domains have been proposed. This paper presents a formalism to model receptor molecules and methods of how to use immunological phenomena to develop engineering and computing tools. Especially, negative and positive selection algorithms, clonal selection algorithm, and immune network models that are main practicable algorithms have been presented.

Keywords: *Immune Systems, Positive-Negative Selection, Clonal Selection, Immune Network Theory*

1. Giriş

Doğal bağışıklık sistemleri canlıları bakteriler, virüsler, parazitler ve toksinler gibi tehlikeli dış patojenlerden, antijenlerden korumaktadır. Bağışıklık sisteminin örüntü tanıma, teklik, kendini tanıma, çeşitlilik, kullandıktan sonra atılabilme, özerklik, çok katmanlılık, güvenlik katmanı olmama, anomali tespiti, dinamik olarak değişen kapsama, dağımlılık, gürültü toleransı, esneklik, hata toleransı, sağlamlık, öğrenme ve hafıza, kendi kendine organizasyon ve diğer sistemlerle entegre gibi sahip olduğu karakteristik özellikleri ve işleyiş yapısının kolayca basit algoritmalara dönüştürülebilecek nitelikte olması bu sistemi bir metafor olarak kullanma fikrini getirmiştir. Bu şekilde YBS, örüntü tanıma, hesapsal güvenlik, anomali tespiti, optimizasyon, makine öğrenmesi, robotik, kontrol, çizelgeleme, hata teşhisi gibi alanlarda ve bunların alt dallarında; ayrıca ekoloji, üretim sistemleri, akıllı evler, adaptif gürültü nötralizasyonu, induktif problem çözümü, açık web sunucu koordinasyonu, protein yapısı tahmini gibi alanlarda başarıyla kullanılmış ve etkili sonuçlar alınmıştır (de Castro ve Timmis, 2002). Etkili olarak daha birçok alanda kullanılabilir.

2. Yapay Bağışıklık Sistemleri

YBS'nin yapısı, katmanlı bir yaklaşım olarak düşünülebilir. Her sistemin temeli uygulama alanıdır. Bu alan için sistemin bileşenlerinin uygun bir temsiline karar verildikten sonra bir ya da daha fazla afinite ölçüleri sistemin elemanları arasındaki etkileşimleri ölçmek için kullanılır. Birçok olası afinite ölçüleri Hamming ya da Öklit uzaklıkları gibi, vardır. Bir sonraki katman sistemin davranışını (dinamiğini) yöneten işlemler ya da algoritmaları içerir. Bu da bize cevabı verir. Buna göre yapı, şekil-uzay olarak adlandırılan bağışık hücreler ve moleküllerin genel soyut modelini çıkarmakla başlar.

2.1. Bağışık Hücre, Molekül ve Bunların Etkileşiminin Soyut Modelleri

Bir antijenin tanınabilmesi için moleküllerin (antijen ya da antikor) yüzeylerindeki belli bölgelerde birbirleriyle tümleyen olarak bağlanmaları gerekmektedir. Bu yüzden moleküller arasında geniş tümleyen bölgelerine ihtiyaç vardır.

Temsil olarak vektörler kullanılabilir. Antikor = $\langle Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_L \rangle$, Antijen = $\langle Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_L \rangle$ gibi. Gerçek değerli şekil uzayı, tam sayı şekil uzayı, Hamming şekil uzayı ve sembolik şekil uzayı da kullanılabilir. Hücreler arasındaki etkileşim de afinite ile açıklanır. Afinite çeşitli uzaklık ölçülerine bağlıdır. Bunun için Öklit, Hamming, Manhattan vb. uzaklıklar kullanılabilir.

2.2. Algoritmalar ve İşlemler

İki temel bileşen (kemik iliği ve timus) ve iki ayrı teori (klonal seçim ve bağışık ağ) bağışıklık sistemini modellemek için kullanılır (de Castro ve Timmis, 2002).

- Kemik iliği modeli: Hücreler ve moleküllerin repertuarını üretmede kullanılır
- Timus modeli: Öz/öz olmayan ayrımı yapmaya yetenekli hücre ve moleküllerin repertuarını üretmede kullanılır.
- Klonal seçim algoritmaları: Bağışıklık sisteminin bileşenlerinin harici çevre ve antijenlerle nasıl etkileşim yaptığını kontrol etmede kullanılır
- Bağışık ağ modelleri: Yapılarını, dinamiğini ve metadinamiğini de içeren bağışık ağların benzetiminde kullanılır.

a) Kemik iliği modelleri: Gen kütüphanesi kemik iliğinden antikorları üretmek için kullanılır. Bu fikri reseptörleri temsil eden nitelik dizgelerini üretmek için kullanılır. Antikorlar gen kütüphanelerinden gelişigüzel birbirine bağlanma ile oluşur.

b) Timus modelleri: T hücreleri kemik iliğinde üretilir ve timusa göçer ve orada immünokompetent hücrelere farklılaşır (pozitif seçim) ve diğerleri öz peptit/MHC kompleksleriyle güçlü bir tanıma yaptığından repertuardan temizlenir (negatif seçim). Bu timik pozitif ve negatif seçim timustan ayrılan ve periferik giden T hücre popülasyonunun öz peptitleri tanıyan hücreleri ihtiva etmediğini ve aynı zamanda bir öz MHC molekülü tarafından sunulan bir peptit ile uyarılmaya hazır olduğunu garanti eder. *Pozitif seçim algoritmaları*, şu şekilde özetlenebilir (de Castro ve Timmis, 2002):

- Başlangıç: Olgunlaşmamış T hücrelerinin potansiyel repertuarını, P, üret. Tüm molekülleri (reseptör ve MHCler) aynı uzunluklu, L, ikili dizgeler ile temsil edildiği varsayıldığında 2^L ayrı hücre üretilir.
- Afinite değerlendirmesi: P'deki tüm elemanların öz hücre kümesi S'deki tüm elemanlar ile afinitelerini belirle.
- Uygun repertuarın üretimi: P'nin bir elemanı ile MHC'nin en az bir elemanı arasındaki afinite verilen çapraz reaktif eşliği ϵ 'den büyükse ya da buna eşitse o zaman T hücresi bu MHC'yi tanıyabilir ve pozitif olarak seçilir ve sisteme tanıtılır (uygun repertuar A'ya); değilse T hücresi yok edilir.

T hücrelerinin negatif seçimi reseptörleri öz MHC tarafından sunulan öz peptitlere bağlanma kabiliyeti olan T hücrelerinin yok edilmesinden sorumludur. Bu işlem timustan ayrılan T hücrelerinin herhangi bir öz hücreyi ya da molekülü tanımayacağını garanti eder. Bu işlemlerden esinlenerek geliştirilen *negatif seçim algoritması*, (Gonzales ve diğ. (2003)), şu şekilde özetlenebilir:

- Başlangıç: Gelişigüzel dizgeler üret ve bunları olgunlaşmamış T hücrelerinin bir P kümesine yerleştir. Tüm moleküllerin (reseptör, öz peptitler) aynı uzunlukta, L, ikili dizgeler olarak temsil edildiğini varsay
- Afinite değerlendirmesi: P'deki tüm T hücrelerinin S'deki tüm elemanlarla afinitesini belirle.
- Uygun repertuarın üretimi: Olgunlaşmamış bir T hücresinin (P'nin elemanı) en az bir öz peptitle afinitesi verilen çapraz reaktif eşliğinden, ϵ , büyükse ya da buna eşitse o zaman T hücresi bu öz peptidi tanıyabilir ve yok edilmelidir (negatif seçim); değilse T hücresi uygun repertuar A'ya tanıtılır.

Negatif seçim iki aşamaya bölünmüştür. Yukarıda anlatılan algılama safhasıdır. Diğer safha ise gözetleme safhasıdır. Bu safhada korunmuş dizgeler kümesi, S* uygun repertuar A'nın elemanları ile karşılaştırılır. S* kümesi S'in kendisi olabilir ya da tamamen yeni bir küme olabilir ya da, S'nin elemanlarından oluşmuş olabilir. Bir tanıma olursa o zaman bir öz olmayan örüntü tespit edilmiştir.

c) Klonal seçim algoritmaları: Klonal seçim prensibi, bağışıklık sisteminin bir antijenik uyarıya karşı bağışıklık cevabının temel özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılır. Bu prensip sadece antijenleri tanıyan hücrelerin çoğaldığı yani tanımayanlara göre seçildiği fikrini vurgular. Bu seçilmiş hücreler, afinite olgunlaşma işlemine mazur kalırlar ve bu işlem seçilmiş hücrelerin antijenlere benzerliğini geliştirir. Burada, bağışıklıkla ilgili dikkate alınan temel olaylar aşağıda verilmiştir:

- Dağarcıktan fonksiyonel olarak ayırt edilmiş olan hafıza hücrelerinin varlığının sağlanması
- En fazla uyarılmış hücrelerin seçimi ve klonlaşması

- Uyarılmamış hücrelerin ölümü
 - Daha yüksek afiniteli klonların afinite olgunlaşması ve tekrar seçimi
 - Farklılaşmanın üretilmesi ve sağlanması
 - Hücre afinitesi ile orantılı olarak hipermutasyon işleminin uygulanması
 -
- Algoritma (de Castro ve Von Zuben, 2000a) Şekil 2.1’de özetlenmiştir:

```

Gelişigüzel bir populasyon (P) üret
For Antijendeki her örüntü için
  Her P ile afiniteyi belirle
  P ile en yüksek n afiniteliyi seç
  Antijen afinitesi ile doğru orantılı olarak klonlama ve mutasyon yap
  P'ye yeni mutantlar ekle
endFor
M nin bölümünü oluşturmak için en yüksek afiniteli P'yi seç
n tanesini yeni oluşturulmuşlarla yer değiştir
Sonlandırma kriterine kadar

```

Şekil 2.1. Klonal seçim algoritması

d) Bağışık ağ modelleri: Diferansiyel denklemler temelli sürekli ağ modelleri başarılı bir şekilde özerk hareket, optimizasyon ve otomatik kontrol gibi kompleks problemlere uygulanmıştır. Bunlar aynı zamanda fark denklemleri temelli ayrık ağ modellerine de ilham olmuştur. De Castro ve Von Zuben (2000b)'in önerdiği model Şekil 2.2’de özetlenmiştir.

```

1. Başlangıç: Ağ antikorlarının gelişigüzel bir başlangıç populasyonunu üret
2. Antijenik temsil: Her antijenik örüntü için do:
  2.1. Klonal seçim ve genişletme: Her ağ elemanı için sunulan antijen için afiniteyi
    hesapla. Yüksek afiniteli birkaç elemanı seç ve afiniteleri ile doğru orantılı olarak
    bunları tekrar üret (klonla)
  2.2. Afinite olgunlaşması: Afinitelerle ters orantılı olarak her klona mutasyon uygula. En iyi
    afiniteli birkaç klonu tekrar seç ve bunları klonal bellek setine yerleştir
  2.3. Metadinamik: Antijenle afinitesi verilen eşikten düşük olan hafıza klonlarını yok et
  2.4. Klonal etkileşim: Klonal hafıza setinin tüm elemanları arasında ağ etkileşimini (afinite)
    belirle
  2.5. Klonal baskı: Birbirleriyle afinitesi verilen eşikten az olan hafıza klonlarını elime et
  2.6. Ağ yapımı: Kalan klonal hafızanın klonlarını tüm ağ antikorları ile dahil et
3. Ağ etkileşimi: Her ağ antikor çifti arasındaki benzerliği belirle
4. Ağ baskılama: Afinitesi verilen eşikten az olan ağ antikorlarını yok et
5. Çeşitlilik: Ağa yeni gelişigüzel üretilmiş antikorlar ilave et
6. Çevrim: İkidenden beşinciye kadarki aşamaları verilen iterasyon sayısına kadar tekrar et.

```

Şekil 2.2. De Castro ve Von Zuben’in ağ modeli

3. Sonuç

Geleneksel hesaplama yöntemleri ile çözülemeyen veya çözümünü çok uzun zaman alan ya da oldukça karmaşık olup tam modelleri tanımlanamayan mühendislik problemlerinin birçoğunda, biyolojik sistemlerden esinlenerek yapılan çalışmalar çoğu durumlarda etkili sonuçlar vermiştir. Bunlardan son zamanlarda en popüler olanı yapay bağışıklık sistemleridir. Bu makale, bağışıklık hücrelerini modellemek için bir formalizm ve bağışıklık fenomeninin mühendislik ve hesaplama aracı olarak nasıl kullanılabileceğini sunmuş ve birçok gerçek dünya problemlerinde etkili sonuçlar verebileceğini vurgulamıştır.

Kaynaklar

- De Castro, L.N. ve Timmis, J.,** *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Systems*, Springer, 357 pages, 2002.
- Gonzalez, F. ve diğerleri,** 'A Randomized Real-Valued Negative Selection Algorithm', *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Immune Systems*, UK, 2003.
- De Castro, L. N. ve Von Zuben, F. J.,** The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, *GECCO'2000*, pp. 36-37, 2000a.
- De Castro, L. N. ve Von Zuben, F. J.,** An Evolutionary Immune Network for Data Clustering, *IEEE SBRN'2000*, pp. 84-89, 2000b.