

# GÖRÜNTÜ EŞLEME VE GENETİK ALGORİTMALAR KULLANARAK GÖRÜNTÜ İÇİNDE GÖRÜNTÜ ARAMA

## IMAGE SEARCHING WITHIN ANOTHER IMAGE USING IMAGE MATCHING AND GENETIC ALGORITHMS

Mehmet KARAKOC<sup>1</sup>, Kadir KAVAKLIOĞLU<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
mkarakoc05@pau.edu.tr

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
kadir.kavaklioglu@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 21.05.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 19.11.2014  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.49354  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada esas alınan problem, görüntü içinde görüntü aramayı etkin bir şekilde gerçekleştirebilmektir. Bu amaçla görüntü işleme kapsamında yer alan görüntü eşleme teknikleri ile arama algoritmaları birlikte kullanılmıştır. Görüntü eşleme için Yapay Sinir Ağları ile görüntünün ortalama renk değeri, görüntüdeki renk değerlerinin standart sapması, korelasyon ve görüntü kenar parametreleri gibi özellikler; görüntü arama için Genetik Algoritmalar kullanılmıştır. Bu çalışmada, akıllı arama algoritmaları, hızlı görüntü eşleme yöntemleri ve paralel programlama tekniklerine dayanan bütünlük bir yöntem önerilmiş ve kullanılmıştır. Önerilen yöntem çok sayıda düşük ve yüksek çözünürlüklü referans ve şablon görüntü üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin eşleşen görüntüleri elde etmede başarılı olduğunu ve toplam arama süresini azalttığını göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Görüntü içinde görüntü arama, Görüntü işleme, Görüntü eşleme, Yapay sinir ağları, Genetik algoritmalar, Paralel programlama

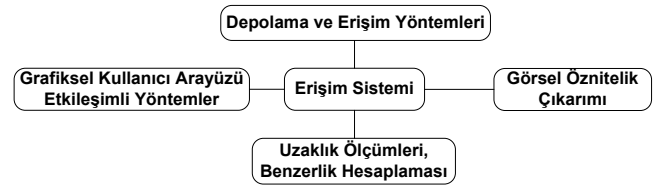
### Abstract

Main focus of this work is to realize image searching within another image in an efficient way. Image searching within another image is accomplished through the integrated use of image matching techniques and searching algorithms. Artificial neural networks along with various image features such as average color value, color standard deviation, correlation and edge parameters are used for image matching whereas genetic algorithms were used for image searching. In the work presented in this paper, an integrated method based on smart searching algorithms, quick image matching methods and parallel programming techniques were proposed and implemented. Proposed method was tested on several low and high-resolution reference and template images. Results revealed that the proposed method can successfully match images and significantly reduce the total search time.

**Keywords:** Image searching within another image, Image processing, Image matching, Artificial neural networks, Genetic algorithms, Parallel programming

## 1 Giriş

Görüntü işleme (Gİ) askeri endüstri, sualtı görüntüleme, robotik, astronomi, fizik, sanat, biyomedikal ve coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama, gözlem ve tahmin uygulamaları, hayvancılık, petrol arama, gazete ve fotoğraf endüstrisi, trafik, radar, tıp, güvenlik, suç laboratuvarları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [1]. Bu kapsamda Yapay Sinir Ağları (YSA), dalgacık dönüşümü, yönlendirme süzgeçleri, bulanık mantık, markov rasgele alan süzgeçleri ve görüntü iletimi gibi pek çok teknik kullanılmaktadır. Gİ'nin önemi, görüntülerin ürün pazarlama, yazıları süsleme, dijital görüntü veri tabanları, tarih, sanat, reklam, eğlence, bilim, endüstri, tıp ve uzay gibi pek çok alanda karşımıza çıkmasından kaynaklanır. Teknoloji dünyasındaki hızlı gelişmelere paralel olarak, sayısal görüntüler çok büyük bir artış göstermiş; kapsamlarının gittikçe genişlemesi ile birlikte, uygulamaya göre kullanımı değişen görüntü veri tabanlarının önemi artmıştır. Görüntüler (fotoğraf, çizim vs.), renk dağılımlarına, doku yapılarına, bölgesel şekillere, taslak uyumuna veya nesnel sınıflandırmalara göre sorgulanabilirler. İçerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin genel yapısı Şekil 1'de verilmiştir [2]. Bu sistemin bir parçası olarak, görüntü eşleme için tüm görüntüleri karşılaştırma ya da rasgele gözden geçirme gibi uygulamalar oldukça maliyetlidir.



Şekil 1: İçerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin temel bileşenleri (Müller ve diğ. [2]).

Gİ teknikleri kapsamında yer alan görüntü eşleme, bir görüntü parçasının diğer görüntüdeki yerinin araştırılması işlemidir. Sayısal Gİ kapsamındaki görüntü eşleme yöntemlerinden şablon eşleme ile bir görüntüde şablon bir görüntü aranabilir, yer alan şablon görüntü konumları tespit edilebilir. Görüntü eşleme, uzaktan görüntü algılama uygulamalarında, kalite kontrolünün bir parçası olarak üretimde, mobil bir robota erişim yolu ya da bir görüntüdeki kenarları tespit etme yolu olarak kullanılabilir. Ayrıca histoloji, patoloji, tomografi görüntülerini sınıflandırma, yüz/nesne tanıma, görüntüler arasındaki birtakım ilişkilerin belirlenmesi ve görüntülerin düzenlenmesi gibi pek çok alanda da uygulanabilir.

Şablon eşlemenin çok farklı uygulamaları vardır ve küçük bir görüntüyü büyük bir görüntü içerisinde arayacak eşleme algoritmalarının geliştirilmesine gerek duyar. Bu çalışmada ele

alınan, küçük bir görüntünün daha büyük olanının bir parçası olacağı şekilde tespit edilmesi ve eşleşen görüntülerin listelenmesidir. Örneğin kullanıcı, herhangi bir görüntüde yer alan bir tümörün dokusuna ya da şekline benzerlerinin yer aldığı diğer görüntülerin getirilmesini isteyebilir. Bir başka örnek ise şehir güvenlik kameralarından elde edilen görüntüler içinde şüpheli veya aranan kişilerin tespit edilmesidir. Çeşitli görüntü eşleme yöntemleri ve bütünlük yaklaşımlar bu kapsamda yer almaktadır.

### 1.1 Literatür Özeti

Literatürde, görüntüleri başka görüntülerde alt görüntü olarak konumlandırma şeklinde, yüz/plaka/şekil/nesne tanıma, kanser hücresi tespit etme, doku eşleme gibi pek çok özel ve genel görüntü eşleme çalışması yer almaktadır. Görüntü içinde Görüntü Arama (GIGA) için ise ilgili bir görüntüyü bir başkasında aramak amaçlanmıştır. Özel bir görüntü eşleme uygulaması yerine öznitelik çıkarımı uygulamalarını ve şablon eşleme yöntemlerini içeren bu çalışmalar, görüntü aramanın genetik tabanlı eniyilemesini gerektirir. Bu bağlamda bu çalışmada, tek ve çok sayıda iş parçacığı ile gerçekleştirilen 4 arama alternatifi karşılaştırılmıştır.

Kekre ve diğ. [3] görüntü içerikli sorgulamaları ortalama renk tabanlı tekniklerle yapmışlardır. Görüntü özniteliklerinin boyutlarını, her görüntü için özellik vektör boyutu, satır, sütun ve köşegen ortalamalarını kullanarak oldukça düşürmüşler; görüntü erişimi için içerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin zaman karmaşıklığını azaltıp daha iyi başarımlar sağlamışlardır. Dubey ve diğ. [4] kenar yoğunluğu için kenarların mekansal dağılımını yakalayan kenar histogramını kullanmışlardır. Dikey, yatay, 45 ve 135 derece köşegensel ve eş yönlü 5 grup içeren kenar niteliklerini ve tekniklerin ortalamalarını kullanarak görüntülere erişim sağlamışlardır. Singh ve diğ. [5] içerik tabanlı görüntü erişim sistemi tasarlamak için görüntülerin donuk yüzeylerini iyileştirmişlerdir. Görüntülere ışıklandırma ve gölgelemeyi dikkate alarak birtakım ön işlemler uygulamışlar ve öznitelikleri daha etkili şekilde (daha iyi renk deseni ve kenar yoğunluk değerleri) çıkararak gürbüz erişim sağlamışlardır.

Görüntü tanıma temel problemlerden biri görüntüler arasındaki benzerliği tespit etmektir ve bu *NP* (*Non-deterministic Polynomial Time* - Üstel Zaman Belirsizliği) türü problemin çözümü için bazı yakınsama algoritmaları ve basitleştirmeler gerekir Keysers ve Unger, [6]. Shu ve Wu, [7] 2 boyutlu şekil eşlemeleri için şeklin sınır noktalarının dağılım histogramını kullanmışlardır. ElAlami, [8] görüntü eşleme öncesinde görüntülerden elde edilen öznitelik uzayındaki karmaşıklığı azaltmak için Genetik Algoritmalar (GA) kullanmıştır. Bu yolla ayırt edilen öznitelikleri, görüntülere erişimde en ilgili olacak şekilde çıkarmıştır. Böylece, hesaplamalar basitleşmiş ve görüntülerin tespit edilme oranları artmıştır. Torres ve diğ. [9] çoklu öznitelik vektörlerinde hesaplanan görüntü benzerliklerinin ağırlıklandırılması ve doğrusal olmayan birleşimleri ile (benzerlik fonksiyonu karmaşıklaşabilir) içerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin etkisini geliştirmişler; bu problemi genetik programlama ile çözmüşlerdir. Ferreira ve diğ. [10] kullanıcının ilgili görüntüleri belirtmesi ile gerçekleştirilen içerik tabanlı görüntü erişimini, genetik programlama kullanarak ilgisiz görüntülerin de belirtilmesi ile geliştirmişlerdir.

İçerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin erişim doğruluğunu geliştirmek amacıyla, düşük seviyeli öznitelik

çıkarmayı yerine görsel öznitelikler ile kullanıcının ilgili olduğu görüntüler arasındaki anlamsal boşluğu azaltmaya odaklanılması gerektiğini vurgulayan Liu ve diğ. [11] anlamsal boşluğun düşürülmesinde 5 temel yöntem ifade etmişlerdir: Nesnelere gruplayarak yüksek seviyeli içerikleri tanımlamak, makine öğrenmesi yöntemleri ile düşük seviyeli öznitelikleri sorgu içerikleriyle ilişkilendirmek, uygunluk geri bildirimini ile kullanıcıların ilgili olduğu görüntüleri öğrenmek, anlamsal şablon üreterek yüksek seviyeli görüntü erişimini desteklemek ve doğrulamak, internet ortamında görüntü erişimi için görsel içerikleri ve metinsel verileri kullanmak.

Wang ve diğ. [12] daha verimli görüntü erişimleri için renk, doku ve şekil bilgisini birleştirmişlerdir. Görüntülerden ilk olarak renk, ardından doku ve sonra şekil tabanlı öznitelikleri çıkarmışlar; görüntüye karşı gürbüz öznitelik kümesini elde etmişler ve kullanıcının ilgili olduğu görüntülere erişimi daha doğru ve verimli bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Lin ve Chang, [13] şablon eşleme ile tanıma, zaman açısından en düşük maliyetli fonksiyonları elde etmek (referans ve test kümeleri arasındaki benzerlik) amacıyla paralel programlama, veri kümeleri üzerinde eşleme için ise değişen eşik değerleri kullanmışlardır. Yuan ve diğ. [14] her aday nokta çiftini (2 görüntüde benzeşen noktalar) diğer aday nokta çiftleri için oylayıcı olarak değerlendirmişlerdir. Eşleşen çiftleri, diğer çiftlerin bu çift için belirlediği değerler üzerinde toplama ve sıralama işlemleriyle en uygun şekilde hesaplamışlardır. Eşleşen çiftlerin tutulduğu matris yapısındaki bilgi ve bu basit işlemlerle, ilgili çiftleri 1-1 eşlemeden birden çoğa eşlemeye genişletmişler; daha etkili ve yeterli görüntü eşleme uygulamışlardır.

Yan ve diğ. [15] yüz tanıma uygulamalarında eğitim ve test süreçlerini, karmaşıklığı daha az aşama ve daha basit ifadeler ile azaltarak çok daha düşük hatada daha az faktör ile gerçekleştirmişlerdir. Görüntüdeki insan faktörü ve doğrudan tanıma ile ilgili olmayan, ama bütün olarak ele alınabilen diğer faktörler (ışıklandırma, bakış açısı ve pikseller gibi) olarak 2 aşamada değerlendirdikleri modeli, benzer şekli ve biçimi paylaşan görüntüleri birleştirmeye genişletmişlerdir. Her parmak izi görüntüsünün gereksiz ayrıntı noktaları dağılımını içeren benzersiz birer içeriği olduğunu vurgulayan Kumar ve Vikram, [16] bu içerik ile parmak izi eşlemeleri yapmışlardır. Görüntülerin işlemler öncesi iyileştirilmesi ve inceltilmiş ikili parmak izi görüntülerinin elde edilmesi sonrasında, çok boyutlu YSA kullanarak görüntü eşleme gerçekleştirmişlerdir. Mattocchia ve diğ. [17] çok kanallı görüntüler için şablon eşlemenin verimli bir şekilde yapılabilmesi amacıyla, sıfır ortalamalı korelasyon tabanlı hızlı ve ayrıntılı bir teknik kullanarak eşleşmeyen aday noktaları tespit etmişlerdir.

Cilt hastalıklarının analizi için içerik tabanlı görüntü erişiminde renk güçlü bir araçtır. Bunte ve diğ. [18] en kaliteli renk tabanlı görüntü öznitelik kümesini (benzersiz tanımlayıcılar) elde edip boyutunu düşürerek, renk tabanlı erişimlerde iyileştirme sağlamışlardır. Moon ve diğ. [19] görüntü eşleme uygulamalarında, farklı ölçekler için görüntü sınırlarını parçala ve fethet algoritmaları ile belirlemişler; görüntü uzayından zaman serileri uzayına geçişle karmaşıklığı azaltmışlardır. Zaman serileri eşlemesini, verilen sorgu dizisine benzer veri dizilerini veri tabanında arayarak gerçekleştirmişlerdir. Choi ve Kim, [20] sadece eşleşen aday görüntü noktaları üzerinde görüntü eşleme uygulamışlardır. Böylelikle, daha düşük boyutlu öznitelik vektörleri ile daha hızlı görüntü eşleme uygulamalarını 2 aşamalı olarak gerçekleştirmişlerdir.

Chang ve diğ. [21] görüntü eşleme uygulamalarından nokta deseni eşlemenin, ölçeklendirme ve açma farkları gibi durumlarda ya da gürültü içeren görüntüler üzerinde başarılı olabilmesi gerektiğini vurgulamışlar; gürültü etkilerine karşı elde ettikleri gürbüz sistemi, çizgi ve sınır desenleri eşleme uygulamasına genişletmişlerdir. Görüntülerdeki benzer alanlardan bilgi çıkarmak için görüntü eşleme gerekebildiğinden, Ding ve diğ. [22] 2 görüntüde birbirine uyan kontrol noktaları ile açılabilir ve yönsel farklar içeren görüntüleri eşleştirmişler; bir şablon görüntüyü bir başka görüntüde konumlandırmışlardır. Kwok ve Zhao, [23] öznelikler açısından nispeten homojen olan görüntü kısımlarını çıkararak elde ettikleri yapılarla, görüntü verilerini düzenlemişler; benzerlik tabanlı görüntü sorgulamalarını çok boyutlu dizinleme ile yapmışlardır.

Fernandez, [24] gri tondaki görüntülerde ikili hedef nesnelere için şablon eşleme yöntemi olarak korelasyon yerine parametrik olmayan istatistiksel bir yapı (görüntü histogramlarının kümülatif dağılımı arasındaki mutlak farklılıklar dikkate alınır) ile daha hızlı sonuçlar elde etmiştir. Piksel boyutlarının artırılması ile eşleme hatalarının arttığını ifade eden Debella-Gilo ve Kaab, [25] temel piksel boyutunu düşürerek (alt piksel hassaslığı) eşleşen görüntülerin uzaysal çözünürlüklerini artırmışlar; aynı çözünürlüklü orijinal referans görüntüye göre hata değerini düşürmüşlerdir. Görüntü eşleme probleminin, piksel değerlerinin satır satır okunması ile tek boyutlu dizinlerde alt dizinin aranması problemine çevrilebildiğini ifade eden Fredriksson ve Ukkonen, [26] görüntü eşleme uygulamaları için kombinasyonel yöntemler ve işlem sürelerinin kısalması için seçizel yöntemler kullanmışlardır.

## 1.2 Çalışmanın Katkısı

Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmanın orijinal katkısı, akıllı arama algoritmalarının paralel programlama teknikleri ve kodlama iyileştirmeleri ile birleştirilmesi ve çeşitli görüntü eşleme yaklaşımlarıyla bütünleştirilmesidir.

Görsel özneliklere ek olarak görüntüyü tanımlayan betimlemelerin de kullanılması, görüntü içerikli aramalarda anlamsal boşluğu kapatmanın olası bir yoludur. Giriş görüntüsü ve taranacak görüntüler üzerinde uygun işlemler yapılmalı, kullanıcıya seçenekler sunulmalıdır. Görüntü içerikli arama uygulamalarından faydalanılması ve daha iyi bir erişim için genel ve yerel özelliklerden yararlanılması bu makale dâhilinde, fakat görüntüyü tanımlayan farklı betimlemelerden yararlanılması ve gürbüz özneliklere yoğunlaşılması bu kapsamda değildir.

Bu çalışmada, gürbüz arama algoritmalarının ve arama parametrelerinin hassasiyetini; ayrıştırıcılık ise eşleşen ve eşleşmeyen görüntülerin sayısını ve kalitesini artırarak sağlanmıştır. Görüntü eşleme için YSA ile bütünleşik yöntemler, görüntü arama için GA kullanılmakta ve paralel programlama tekniklerinden yararlanılmaktadır.

Görüntüler arası ilişki ölçümü için aradaki uzaklığı en aza düşürecek ve sınıflandırıcının başarımını yükseltecek ölçütü en iyi şekilde ifade eden altküme (öznelikler) karşılaştırılır.

Görüntü eşleme ve görüntü arama algoritmalarının verimli çalışabilmesi için akıllı algoritmalar (Yapay Zekâ (YZ) kapsamında YSA ve GA), paralel programlama teknikleri ve parçala ve fethet mantıklı algoritmalar bütünleştirilmiştir. Şablon görüntü ve şablon görüntü boyutundaki alt görüntüler

için karşılık gelen tüm pikseller karşılaştırılmamış, bu görüntülerden elde edilen çeşitli özellikler eşleştirilmiş ve böylelikle arama süresi kayda değer bir biçimde düşmüştür.

Yazılım, Gİ uygulamak ve çeşitli bileşenleri kullanmak (görüntüleme) için .NET kütüphanelerinden Emgu CV (<http://sourceforge.net/projects/emgucv/>) ve AForge.NET (<http://www.aforge.net.com/framework/downloads.html>) ile C# programlama dili aracılığıyla geliştirilmiştir. Gİ teknikleri ile ön işlemler, öznelik çıkarımı, bölümlenme/bölütlenme ve görüntü eşleme gerçekleştirilir; YZ yöntemleri ile çıkarılan veriler sınıflandırılarak şablon görüntü aranır.

Aranmak istenen görüntü, taranacak alandaki görüntülerin herhangi bir kısmında geçebilir. Sorgulamalar, "Bir kedi resmini ya da nesneyi, taranacak görüntü kümesindeki resimlerden hangileri içeriyor?" şeklinde olabilir. GİGA 5 kısımdan oluşmaktadır: Arama problemi, görüntü eşleme, paralel programlama, farklı ölçeklerde görüntü arama, iyileştirmeler. 5 farklı görüntü eşleme yöntemi ve 4 farklı görüntü arama yaklaşımı (20 alternatif) kullanılarak, farklı ölçeklendirme değerleri ile bir görüntüde bir başka görüntü aranabilir; çeşitli görüntülerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Çalışmada kullanılan görüntü eşleme yaklaşımlarından biri, görüntü tanıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan, genel görüntü tanıma uygulamalarında da başarılı olan sinir ağı tabanlı yöntemdir.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. 2. bölümde YZ yöntemleri ve Gİ anlatılmaktadır. 3. bölümde makalede ele alınan GİGA problemi, geliştirilen yazılım ve iyileştirmelere; son bölümde ise sonuçlara ve bu sonuçlara dayalı çıkarımlara yer verilmektedir.

## 2 Yöntem

YZ, insan zekâsına özgü olan algılama, öğrenme, çoğul kavramları bağlama, düşünme, fikir yürütme, sorun çözme, çıkarım yapma ve karar verme gibi fonksiyonları çözümlenerek (analiz) benzeri yönergeleri geliştirmeye çalışan bir alandır.

YZ ile veri madenciliği, bilgi sistemleri, doğal dil işleme, teorem ispatlama, yapay yaşam, strateji oyunları, makine öğrenmesi, robotik, mühendislik, ulaşım, dağıtım gibi pek çok alanda; tasarım, çizelgeleme, şekil/nesne tanıma gibi pek çok karmaşık problem ve uygulamada karşılaşılabılır.

Problem çözümünde, dilsel ifadeler kullanarak bulanık mantık, beyin sinir hücrelerinin (nöronlar) çalışma şekline yararlanarak YSA, doğal olayların eniyilemesi ile GA birer YZ alt dalı (ayrıca uzman sistemler ve görüntü tanıma) olarak kullanılırlar. Öğrenme, genelleme, yorumlama gibi eylemlerin benzetimi bilgisayar ortamında problemlere uygulanabilir.

### 2.1 Yapay Sinir Ağları

YSA, birbirine bağlı düğümlerden (sinir hücreleri) oluşan, insan beyninin bilgi işleme sürecinden esinlenerek geliştirilmiş bir yöntemdir [27]. Zor ve karmaşık problemler için geleneksel algoritmalara alternatiflerdir. Çok basit bir yapıya sahip temel bir sinir ağı hücresinde, giriş verileri, ağırlık/bağlantı değerleri, ara fonksiyonlar ve çıkışlar bulunmaktadır. Girdiler ağırlıklar ile sinir hücrelerine bağlanır, çıkışı ise aktivasyon fonksiyonu belirler.

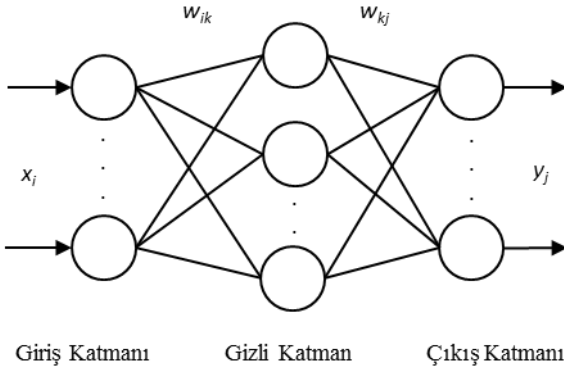
Çok katmanlı sinir ağı (Şekil 2), önceki katmanın çıkışlarını bir sonraki katmana yayan ve sonraki katmanın hatasını bir önceki katmana geçiren gizli/ara katmanlar içerir.

Girdi çıktı arasındaki ilişkiyi mevcut örneklerden öğrenebilme, yeni bilgiler üretebilme gibi yetenekleri olup; gürültülü, eksik, zarar görmüş ve belirsiz veri kümeleri ile çalışabilirler. Hata toleransları olması dereceli bozulma göstermelerini sağlar.

İzlenecek adımların ve problemin nasıl çözüleceğinin tam olarak bilinmemesi ya da çözümün kolay olmadığı durumlarda problemleri çözmek için geleneksel sınıflandırıcılardan olmayan YSA kullanılabilir. Sınıflandırma, örüntü tanıma, tahmin, kümeleme, genelleme, düzenleme, karar verme, virüs tespiti gibi problemler için uygulanabilen YSA, birçok basit işlem biriminden (sinir hücreleri) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bu paralel yapı ile gerçek zamanlılık sağlanabilir.

Geri yayımlı öğrenme, en yaygın sinir ağı öğrenme algoritmasıdır. İleri beslemeli/sürümlü ağlar için çok kullanışlı bir danışmanlı öğrenme yöntemidir ve hata her öğrenme süreci ardından geriye yayılır. Çalışma prosedürü şöyle ifade edilebilir: Örnekler, ağın topolojisi ve parametreler belirlenir; öğrenme kümesindeki tüm örnekler belirlenen süreç tekrarları kadar ağa öğretilir ve yakınsama sağlanana kadar bağlantı ağırlıkları tekrar tekrar ayarlanır. Daha sonra, ağa yeni örnekler verilir ve ağı bu örneklerle yaklaşabilmesi beklenir.

Gİ (hastalık teşhisi), güvenlik (yüz eşleme), sağlık, otomotiv (otomatik yol izleme), savunma (hedef seçme, mayın arama), eğitim, finans (bütçe kestirimi), endüstri (ürün kalite kontrolü), bankacılık, robotik, kontrol, sinyal işleme gibi alanlar YSA kullanım alanlarından bazılarıdır.



Şekil 2: Çok katmanlı sinir ağı örneği.

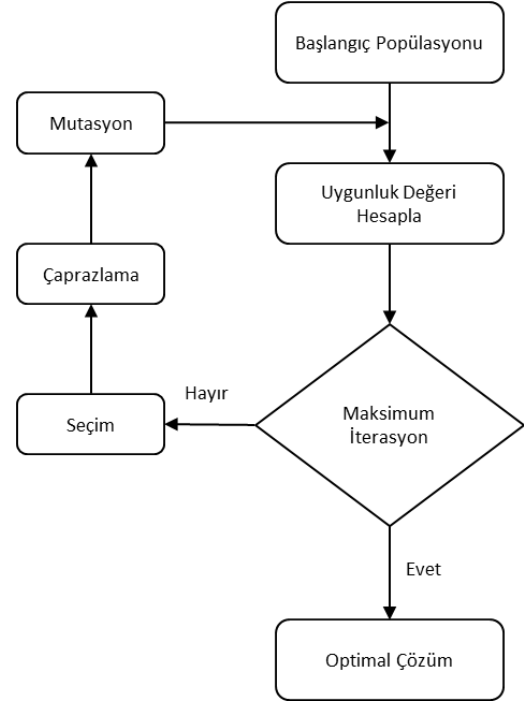
## 2.2 Genetik Algoritmalar

GA, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir [28]. Karmaşık ve oldukça büyük arama uzayında bütünsel en iyi çözümü ararlar. Problemlere tek bir çözüm yerine bağımsız çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretirler. Arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilir (paralel arama) ve bütünsel en iyi çözüme ulaşma olasılığı artar; garanti vermezler, ancak makul bir süre içinde kabul edilebilir çözümler sunarlar.

Uzun matematiksel işlemler ve yoğun bellek kullanımı gerektiren, problemin belirli bir matematiksel modelle ifade edilemediği durumlarda (zor problemler) başarı gösterirler.

Problem için olası pek çok çözümü (kromozom/birey) temsil eden bir küme (popülasyon/nüfus) oluştururlar. Her eleman bir sayı (gen/bit) dizisidir ve çözüme uygunluğu uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir. Kısa sürede daha iyi uygunluk değerlerine sahip bireylerin oluşturulması beklenir. Bilgileri

matematiksel bir taban üzerinde kullanmak yerine, doğrudan amaç fonksiyonunu kullanırlar ve çözüm evrimleşir. Bu sürece, bir problemin çözümünü çok miktarda olası çözüm adayının arasından bir değerlendirme yaparak bulma işlemi olan arama denir. Bu süreç, evrimsel bilgi işlemenin (evrimsel berim) bir parçası olan GA ile (genel işleyişi Şekil 3'te verilmiştir) gerçekleştirilebilir.



Şekil 3: GA'nın genel işleyişi.

Seçim, çaprazlama/çeşitlilik ve mutasyon/değişim işlemlerine tabi tutulacak bireylerin ve bir sonraki nesle aktarılacak (kalıtım) bireylerin seçimini içerir.

Yeni bireyleri oluşturmak için bireyler tamamen rasgele seçilebildiği gibi belli uygunluk değeri aralığından da seçilebilir. Uygunluk bireylerin istenen özelliklere uyumunu ifade eder ve uygunluğun daha iyiye gitmesi arzu edilir.

GA problemlerin çözümünü parametrelerin kodlarıyla arar. Süreksizlik noktalarında da çözüm üretilebilir. Olasılıksal kurallar kullanılır ve daha iyi çözüm alanlarına yönlendirme ile mevcut verilerden daha iyi bireyler elde edilmeye çalışılır. Süreç, durdurma ölçütü sağlanana kadar devam eder.

Olası her (aday) çözümün/bireyin probleme uygun gösterimlerde (100110 gibi sayısal dizi) temsil edilmesi gerekir. Ayrıca bu gösterime uygun değişim işlemleri (çaprazlama/mutasyon) seçilmelidir. Seçim işlemleri sadece uygunluğu değerlendireceğinden gösterimden bağımsızdır.

Yeni neslin oluşturulmasında, ebeveynlerin ve çocukların uygunluğu en iyi olanlarının seçimi uygunluk tabanlı yöntem, en iyilerinin karışımı en iyilerin seçilmesi yöntemi, ebeveyn sayısı kadar çocuk yaratılması ise yaş tabanlı yöntemdir.

Başlangıç çözüm kümesi, rasgele dağıtılmış genetik özellikler ve çözüme ulaşmayı kolaylaştıracak bilinen çözüm ve özellikler içerebilir. Algoritma, beklenen uygunluk değerine erişilmesi, belirlenen eşik değerine yakınsanması, nesil sayısına ulaşılması, çeşitliliğin belirli değerin altına düşmesi, belli nesil geçmesine rağmen sonuçların iyileşmemesi veya belirlenen sürenin tamamlanması durumlarında sonlanır.



Yeniden üretim için rulet tekeri yönteminde kromozomlar uygunluk değeri orantılı olarak bir rulet etrafına gruplanırlar. Daha büyük alana sahip (uygunluk değeri daha iyi) bireyin seçilme şansı (bireyin uygunluk değeri/tüm bireylerin uygunluk değerleri toplamı) daha büyüktür. Sıra tabanlı yöntemde ise bireylerin sıralaması baz alınır. Turnuva seçim yönteminde ise nesilden seçilen bireylerden en iyi olanı işlemlere tabi tutulur. Herhangi bir bireyin süreç esnasında kaybedilme olasılığı rulet tekerleği yöntemine göre daha azdır.

Genetik işleçlerin uygulanacağı ebeveynlerin seçimi tamamen rasgele de olabilir. Uygunluğa göre uygulanan yöntemlerle seçilen bireylerin iyi olma olasılığı artar ve bu bireylerden elde edilecek yeni bireyler daha iyi olabilir.

Çaprazlama ile daha iyi bireylerin elde edilmesi beklenir (çoğu zaman ebeveynlere göre çok daha kötü). Ebeveynlerin genlerinin birleşmesiyle oluşan çocuklar ebeveynlerden özellikler taşırlar. Hangi kromozom özelliklerinin iyi özellikler sağlayacağı bilinmediğinden işlemler rasgele yapılır. 2 ebeveynin rasgele belirlenen bir çaprazlama noktasından kromozomlarının bölünüp yarı parçalarının değiştirildiği çaprazlama işlemi Şekil 4'te üsttedir. Kromozomlar birden fazla çaprazlama noktasından da bölünebilir.



Şekil 4: Çaprazlama ve mutasyon örnekleri.

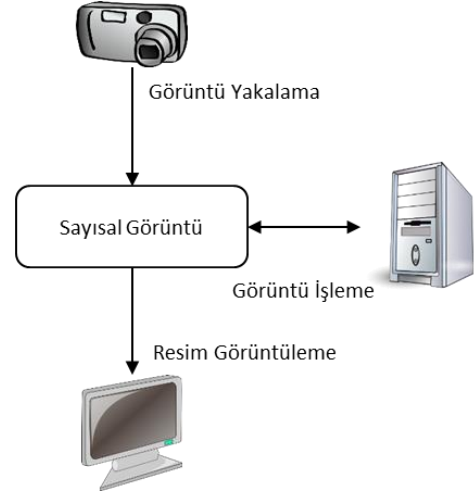
Yerel en iyi noktalara takılmadan daha iyi çözümleri aramanın kolaylaştırılması ve birey üzerinde çeşitlilik yaratmak amacıyla mutasyon işleci kullanılır (çaprazlama ile ortaya çıkan çocuklara uygulanır). Her elemanı bağımsız olarak belli bir olasılıkla değiştirilen (1<->0) bir birey için mutasyon örneği Şekil 4'te alttadır.

GA ile eniyileme problemleri (iş gücü, tedarik, zaman gibi sınırlı kaynakların en verimli şekilde tahsisi), planlama problemleri, gezgin satıcı problemi (ağ/devre tasarımı, rota belirleme) gibi problemlerde; YSA, Gİ, uzman sistemler, otomatik programlama (iş çizelgeleme, veri tabanı yönetimi), yönelem araştırması (atama, taşıma), graf teorisi, robotik, veri madenciliği gibi alanlarda yaygın olarak karşılaşırlar.

Arama uzayı büyüdükçe çok daha büyük bir oranda artan zamanda çözüme ulaştırılabilen problemlerin çözümü için GA kullanılabilir. GA, eniyileme gerektiren böyle problemleri klasik yöntemlere göre çok daha kısa sürede çözmekte; genel yapıları ile herhangi bir probleme uygulanabilmektedirler.

## 2.3 Görüntü İşleme

Gİ, sayısal hâle getirilmiş gerçek yaşamdaki görüntülerin resmi olarak işlenerek özelliklerinin ve görüntüsünün değişmesi sonucu yeni bir resim oluşturulmasıdır (Şekil 5).



Şekil 5: Gİ sistem yapısı blok şeması.

Sayısal resimler, gerçek yaşamdaki 3 boyutlu nesnelere oluşan bir sahnenin (görünüm) 2 boyut üzerindeki haritasıdır. Gİ, işaret işleme kapsamında olup; mevcut görüntüleri, resim ve grafikleri işlemek için pek çok alanda kullanılan son derece önemli bir çalışma alanıdır. İnsanlar ve hayvanlar gözleri ile analog temelli (çevrim içi ve paralel) Gİ gerçekleştirirler.

Resimlerin bilgisayar ortamında değerlendirilebilmeleri için veri biçimleri sayısallaştırılmalıdır. Bir resmin fotoğrafik sunumu (sayısal biçimi) çeşitli şekillerde mümkündür: Farklı tekniklerle ya da analog/sayısal (analog işaret: nesne tarafından yayılan enerji) dönüşümle resmin sayısallaştırıldığı tarayıcılar ve sistemler, uzaktan algılamada uçaklara/uydulara yerleştirilen çok kanallı tarayıcılar.

Resimlerin analog ortamlardan sayısal ortamlara geçirilmesi sonrasında yeni görüntü gürültü içerir. Gİ bu bozuklukların giderilmesi için kullanılabilir. Görüntünün içerdiği piksel değerlerinin ağırlığını belirten grafiksel bir gösterim olan histogramın daha ayırık ve düzgün bir yapıya gelmesi ile (histogram eşitleme) görüntüler belirginleştirilebilir.

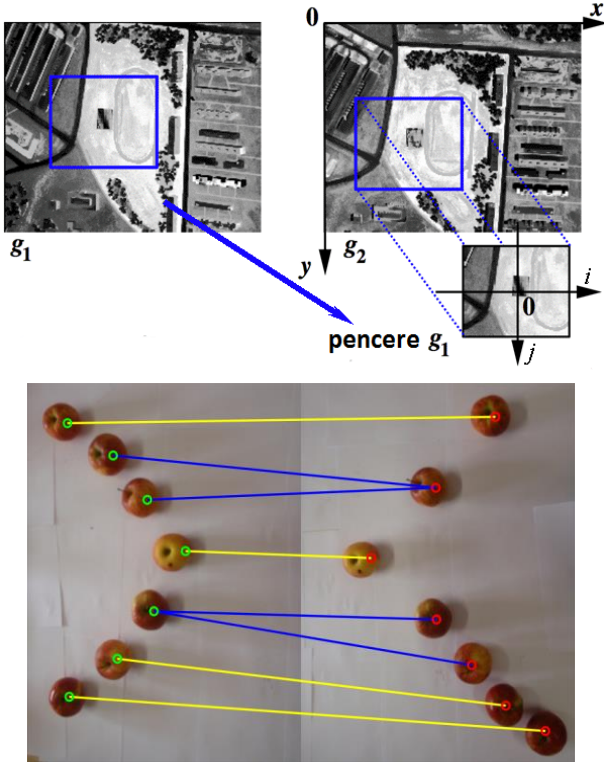
$I(x, y)$  gibi bir fonksiyonla temsil edilen analog bir görüntü/resim ( $I$  bir şiddet birimi [örneğin parlaklık],  $x$  ve  $y$  ise görüntünün yatay ve dikey düzlemdeki koordinatları) örneklenerek sayısal görüntü elde edilir ( $M$  sütun ve  $N$  satır:  $M \times N$  piksel [görüntünün en temel parçası]). Her piksele ilişkin bir renk söz konusudur ve en sık kullanılan renk uzaylarından biri RGB (Red-Green-Blue: Kırmızı-Yeşil-Mavi) renk uzayıdır.

Denizaltı ses dalga taramaları, tümör, damar gibi yapıların belirginleştirilmesi, tomografi, ultrason, sığır eti kalite tayini, uydu görüntüleri üzerinde nüfus yoğunluğu, çevre kirliliği tespiti ve hava tahmini gibi pek çok alanda Gİ ile karşılaşırlar.

Görüntü dönüşümleri (büyütme/küçültme/döndürme), görüntü iyileştirme (gürültü giderme, keskinlik/parlaklık/renk ayarlama), görüntü onarma, görüntü bölümlenme (kenar belirleme, alan yakalama), sıkıştırma, sunma, algılama, görüntüleri birleştirme, görüntüde bilgi gizleme, morfoloji, bilgi çıkarma vb. uygulama ve teknikler Gİ teknikleri kapsamındadır.

Gİ teknikleri kullanılarak, kamera ile uzaktan izleme, görüntü, yüz, parmak izi, karakter, kâğıt para, plaka, el yazısı, nesne tanıma, herhangi bir şeyi takip eden robot kolu tasarımı gibi çalışmalar yapılabilir. Ayrıca, bir ürünün görüntü kalitesini test etmek, bozuk paraları ayırmak, hatalı ya da belli boyutlardaki ürünleri ayırmak, şekillerin kenarları arasındaki açılar ölçmek amacıyla da Gİ'ye başvurulmaktadır.

Bir görüntünün başka bir görüntüdeki yerinin araştırılması işlemine görüntü eşleme adı verilir. Şekil 6'da görüntü eşleme örnekleri verilmiştir. Görüntüden nokta detaylar, kenarlar ya da alanlar çıkarılarak bu ayrıntılara dayalı eşleme gerçekleştirilebilir.



Şekil 6: Görüntüde alan bulma ve eşleştirme örnekleri.

(<http://www.intechopen.com/source/html/37764/media/image6.png>) ([http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/Publications/2011/Dra11/dagm2011\\_2.png](http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/Publications/2011/Dra11/dagm2011_2.png)).

Görüntü eşlemede kullanılan renk, doku, şekil gibi özellikler karşılaştırılacak verilerdir. Aranmak istenen görüntüyü tanımlayan kaliteli ve yeterli bilgi ile insan yüzü, bir ifade, belirli bir nesne veya bir metindeki karakterler aranabilir. Bu bağlamda nesne tanıma araştırmaları büyük önem taşımaktadır. Bir resmin belirli bir rengi/dokusu (genel özellikler) olup olmadığı mesafe ölçümleri ile belirlenir. Renk benzerliği görüntünün her pikseli için söz konusu iken, daha karmaşık olan doku benzerliği bir aradaki piksellerin oluşturduğu yapı için geçerlidir. Belli bir dokuya benzer doku içeren görüntülerde, benzer bir renk dağılımı veya gri tonlama olabilir. Doku tabanlı görüntü aramada, görüntüdeki renklerden tamamen bağımsız bir benzerlik ölçümü (uzaklık ölçütü ile ters orantılı) kullanılır. Şekil (görüntü içeriğindeki özel bir bölgeyi ifade eden yapı) benzerliği ise ölçüm için bölge tanıma işlemlerini gerektirir. Şekilleri görüntüden ayırmak zor bir uygulamadır ve uygulamaya özel yapılmalıdır. İlişkisel benzerlik ölçümü olarak, önceden belirlenmiş mekânsal

ilişkilere göre mekânsal uyum, karşılaştırılacak görüntülerin sınırlarının gösterimi ile sınır uyumu kullanılabilir.

### 3 Görüntü İçinde Görüntü Arama

GİGA oldukça maliyetli bir problemdir. Daha büyük bir görüntüde aranmak istenen küçük görüntü şablon görüntü ya da alt görüntü olarak adlandırılır. Şablon görüntünün yer alıp almadığının ve yer alıyor ise hangi konumlarında yer aldığının tespit edilmesi için taranacak büyük görüntü ise referans görüntü ya da sorgu görüntü olarak adlandırılır. Referans görüntü şablon görüntüyü boyutsal olarak kapsamalıdır ( $M$  ve  $N$  referans görüntünün,  $m$  ve  $n$  şablon görüntünün sırayla yatay ve dikey boyutları olup;  $M \geq m$  ve  $N \geq n$ ).

Referans görüntü tek bir görüntü, şablon görüntü ise referans görüntünün kapsadığı herhangi bir görüntü/çizim/taslak ya da referans görüntüden elde edilen görüntü parçası olabilir. Bu görüntüler gerçek bir nesne için herhangi bir sahnenin fotoğrafı da olabilirler. Çalışma kapsamında, herhangi bir arama alternatifi işletilirken, tek referans görüntü baz alınmış; birden fazla görüntü ile çalışılmamıştır.

Aynı boyutlardaki referans görüntü ve şablon görüntü için tek karşılaştırma (görüntü eşleme) gerekir. GİGA ise bir arama problemidir ve çok sayıda görüntünün eşleştirilmesini gerektirir. Hiçbir olası durum göz ardı edilmeden yapılan kaba kuvvet arama için toplam alt görüntü sayısı ( $S$ ) Denklem (1)'de verilmiştir ( $mx: M-m, ky: N-n, g: 2$  pencere (alt görüntü) arası geçiş değeridir).

$$S = ((mx - mx\%g) \div g + 1) \times ((ky - ky\%g) \div g + 1) \quad (1)$$

$g$  değeri 1 ise  $S$  değeri  $(mx+1) \times (ky+1)$  olur. Eşleşecek görüntü sayısının artması, görüntü arama süresini görüntü boyutlarının artış oranına göre daha büyük bir oranda uzatır.

Görüntü arama, referans görüntü ve şablon görüntü tekrar boyutlandırılarak (resim kutusu fonksiyonları ile doğrusal olarak eşit oranda) yapılabilir. Çoklu boyutlandırma aktif iken en küçük ve en büyük boyutlandırma değerleri (sırayla  $mns: 0.25$  ve  $mxs: 1.00$ ) aynı ise o değerde, diğer durumda bu aralıkta belirlenen boyutlandırma sayısı ( $ns: 4$ ) kadar boyutlandırma; aktif değil iken sadece orijinal boyutta aramalar yapılır. Her yeni boyutlandırma değeri için bir önceki değere Denklem (2)'deki  $inc$  değeri eklenir.

$$inc = (mxs - mns) \div (ns - 1) \quad (2)$$

Referans görüntüyü ve şablon görüntüyü yeniden boyutlandırma işlemi Denklem (3)'te verilmiştir ( $sc$  boyutlandırma değeridir).

$$M = M \times sc : N = N \times sc : m = m \times sc : n = n \times sc \quad (3)$$

YSA ve korelasyon için eşik değeri kullanılırken (Denklem (4) -1); ortalama renk değeri, renk değerlerinin standart sapması ve kenar tespiti için karşılaştırma (Denklem (4) -2) yapılır.

$$1. (s \geq th) \quad 2. (s == d) \quad (4)$$

Burada  $th$  görüntü eşlemenin kabul edilebilirliği için eşik değeri ( $0.92$ ),  $d$  ve  $s$  sırayla şablon görüntü ve alt görüntüler için çıkış değerleridir.

#### 3.1 Görüntü Arama

GİGA, paralel olmayan (tek iş parçacıklı) kaba kuvvet arama, paralel (çok iş parçacıklı, alt problemler söz konusu) kaba

kuvvet arama, paralel olmayan akıllı arama ve paralel akıllı arama olmak üzere 4 farklı arama seçeneği içermektedir.

### 3.1.1 Kaba Kuvvet Arama

Kaba kuvvet arama, her alt görüntünün şablon görüntü ile potansiyel uyum sağlayacak (örtüşme) şekilde tek tek eşleştirilmesi ile yapılan maliyetli aramadır. Şablon görüntü ile eşleştirilecek 2 pencere arasındaki geçiş değeri artırıldığında, atlanan pencereler şablon görüntü ile karşılaştırılmaz. Referans görüntü aranırken, yatayda/düşeyde  $g$  sonraki (yatayda ilerlerken  $(X+g, Y)$ , düşeyde ilerlerken  $(X, Y+g)$  olacak şekilde) alt görüntüye bakılır. Her karşılaştırmada  $g-1$  alt görüntü göz ardı edilir.

### 3.1.2 Genetik Tabanlı Akıllı Arama

Şablon görüntü ile eşleşen görüntülerin referans görüntüdeki sol üst piksel konumlarının  $X$  ve  $Y$  değerleri, 10'luk sistemde yeterince çeşitlilik sağlanmadığı için 2'lik sistemde (her kromozom için  $X: 0011$  [3] ve  $Y: 0100$  [4] gibi) ifade edilmiştir. Yatay değer  $mx$ 'ten, dikey değer  $ky$ 'den büyük olmamalı (her alt görüntü (birey) referans görüntüde yer almalı);  $mx$  değeri ile  $X$ ,  $ky$  değeri ile  $Y$  aynı uzunluklarda olmalıdırlar (diğer durumda en sola 0 eklenir).

Algoritma veri yapısı olan listeye (daha hızlı arama/erişim) eklenecek elemanın uygunluk değeri ile sıralı listede ikili arama yapılır, en iyiden en kötüye sıra korunarak birey listeye yerleştirilir ve her nesilde listelerin sıralanmasına gerek kalmaz. Sıralı listelerde dizin (indeks)/anahtar kullanarak nesnelere erişmek hızlıdır. Ayrıca doğrudan nesli içeren liste üzerinde işlemler yapılmış, kopyalama işlemi gerekmemiştir.

Akıllı arama ile daraltılan çözüm uzayının çözüm adaylarından, daha iyi ve hatta en iyi sonuçlara ulaşılabilir. Her zaman en iyi çözümleri içermeseler de çoğu zaman en iyiye yakın çözümlere ulaşılmasını sağlarlar. İlk olarak, daha iyi sonuçlar verme ihtimali düşük alanlarda arama yapılmamış; fakat bu durumda pek çok çevrimde ele alınan uygunluk değeri kontrolleri ve ek koşullar arama süresini oldukça uzatmıştır. Elde edilen yeni bireyler, nüfustaki bireylerden daha iyi ya da daha kötü ve hatta nüfustaki bireyler ile aynı olabirler.

Bu çalışmada, yeni neslin oluşturulması için çocukların uygunluk değeri en iyi olan belli miktarının ebeveynlerin uygunluk değeri en kötü olan aynı miktar ile değiştirilmesi söz konusu değildir. Nesildeki en iyi bireylerin bir kısmı çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulmadan bir sonraki nesle aktarılır (*elitizm*: seçkinlik). Yeni nesildeki en iyi birey bir önceki nesildeki en iyi bireyden daha kötü olamaz. Kalan bireylerden rasgele bir kısım (uygunluk değeri kötü bireylere de şans tanınır), kalanların bir kısmı ile çaprazlama yaparak, geriye kalanları da mutasyona uğratarak yeni nesil elde edilir (fazlalık birey eleme yok). Son nesildeki uygunluk değerleri en iyi bireyler çözüm kümesi olarak değerlendirilir.

En iyi ya da en iyiye yakın çözümler arama uzayında belli bir alanda yoğunlaşmış olmayabilirler. GA görüntü arama probleminde kolayca uyarlanmış, özellikle eş zamanlı yapılan paralel akıllı arama bu çalışma için en önemli katkılardan biri olmuş ve arama zamanını genel olarak kısaltmıştır.

### 3.1.3 Paralel Arama

Referans görüntü küçük bloklara ayrılmıştır. İlk olarak dikey şekilde (dikey boyutları referans görüntünün dikey boyutu ile aynı, yatay boyutları ise referans görüntünün yatay boyutundan daha küçük referans görüntü parçaları) alt

parçalara bölünür ve ardından aynı yükseklik değerindeki bu görüntüler kendi içlerinde benzer şekilde yatay olarak bölünürler. Şablon görüntü ve alt görüntüler için alt parçalara ayırma söz konusu değildir. Şablon görüntü her blok üzerinde paralel olarak sorgulanır. Alt bloklara ayırmada kullanılan bilgisayarın özelliklerine dikkat edilmelidir: Örneğin ilk iş parçasına verilecek alt görüntünün aynı boyuttaki diğer bloklara göre çok daha dar bir alan kaplaması, bu iş parçasının daha erken, diğerlerinin çoğu zaman birbirine yakın zamanlarda bitmesine neden olur. Verimlilik, blokların boyut olarak birbirine daha yakın olması ile genel olarak artar.

### 3.2 Görüntü Eşleme

Bu çalışma, farklı uzaklık ölçü birimleri ve farklı tanımlayıcılarla birden fazla öznitelik çıkarımı (benzersiz nitelikler) ve ağırlıklandırma içermektedir. Arama sürecindeki eşleşmeler şu bilgileri içerir (Tablo 1).

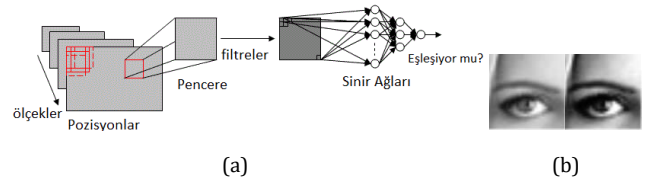
Tablo 1: Arama sonuçları.

Sütun	İçerdiği Veri [eşleşen görüntü]
Eşleşme	Görüntü ve sıra numarası
Uygunluk	Eşleşme oranı (uygunluk değeri)
$X: Y$	Referans görüntüde sol üst köşe konumu
Ölçek	Referans görüntünün boyutlandırma değeri

Bu makalede görüntü eşleme için çeşitli yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu yöntemler takip eden alt madde başlıklarında anlatılmıştır.

#### 3.2.1 Sinir Ağı Tabanlı Yöntem

Geliştirilerek GIGA için daha hızlı hâle getirilen sinir ağı kütüphanesi (.NET sinir ağı kütüphanesinin ilk sürümü: 5 ana sınıf sinir hücresi, katman, sinir ağı, öğrenme algoritması ve aktivasyon fonksiyonu [*Sigmoid, Linear, Heaviside, Gaussian*]) ile değiştirilerek çalışmaya uyarlanan grafiksel kullanıcı arayüzüne ve örnek sinir ağı uygulamalarına (Franck Fleurey tarafından C#'ta geliştirilmiştir) <http://franck.fleurey.free.fr/NeuralNetwork/> adresinden; sinir ağı kütüphanesinin uml diyagramına ise bu adresin sınıf hiyerarşisi bağlantısından ulaşılabilir. <http://franck.fleurey.free.fr/FaceDetection/> adresinden, incelenen sinir ağı tabanlı yüz bulma çalışması ve ilgili uygulamaya ulaşmak mümkündür. Ayrıca genel kamu lisansına da erişilebilir. Farklı ölçeklerde sinir ağı tabanlı kaba kuvvet arama süreci (yararlanılan çalışmadan uyarlanmıştır) Şekil 7(a)'da verilmiştir.



Şekil 7: (a): Görüntü eşleme sürecinin genel gösterimi, (b): Şablon görüntü ve sinir ağı girişi.

Renk farklarından kurtulmak için referans görüntüler gri tonlara çevrilir ve histogram eşitleme ile hem aydınlatma için normalleştirilirler hem de görüntülerin gri ton aralıkları genişletilir (zıtlığın normalleştirilmesi). Referans görüntünün her farklı boyutlandırma örneği için filtreli referans görüntüden elde edilen her alt görüntü sinir ağına giriş olarak verilir (Şekil 7(a)). Daha sonra, sinir ağı şablon görüntü ile ilgili ve ilgili olmayan alt görüntüler (referans görüntüden kırılan küçük görüntüler) kullanılarak eğitilir. Şekil 7(b)'de solda referans görüntüden kırılan/seçilen şablon görüntü,

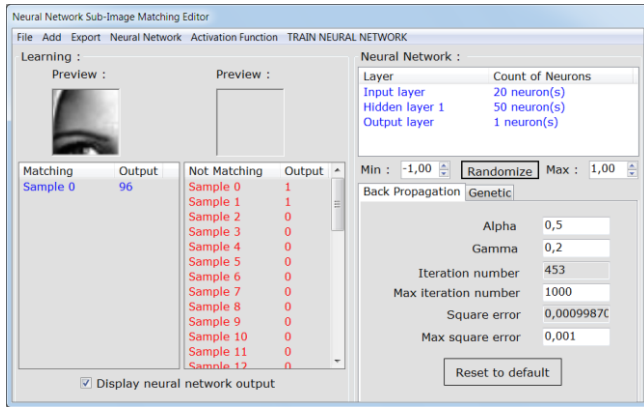


sağda ise gri ve histogram eşitlemeli hâli görülmektedir. Kaba kuvvet arama yüksek eşik değeri ile pek çok alt görüntü atlanarak yapılır. Hatalı görüntülerin en aza indirilmesi için belli bir kısmı eşleşmeyen görüntülere dâhil edilir. Eşik değeri artırılıp pencereler arası geçiş değeri düşürülerek ağ yeniden eğitilir ve böylece daha doğru ve kaliteli sonuçlar çok daha az sayıda görüntü ile elde edilmiş olur.

Sinir ağı, en iyi ya da en iyiye yakın sonuçlar verdiği alt konumların 1 piksel komşuluklarında çok farklı değerler (çoğu zaman 0 ya da 0'a yakın değerler) verebildiğinden; bu noktalardan daha iyi sonuçlara ulaşma genelleştirilememiştir.

Girişler için önemli olan, aranan görüntüye göre ilgililerin ne kadar ilgili olduğu iken ilgisizlerin ne kadar ilgisiz olduğudur. En düşük hata değeri ile daha iyi erişim sonuçları için sorgu sonuçları arasından ilgili olanlar eşleşen, ilgili olmayanlar eşleşmeyen filtreli gri görüntülere (şablon görüntüye benzer görüntüler birer kez) dâhil edilerek; sinir ağı kararlı bir hâle gelene kadar eğitilir ve gittikçe arzu edilen görüntüler elde edilir.

Görüntü eşlemede kullanılan YSA bir giriş, bir gizli ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanı 20, gizli katman 50, çıkış katmanı 1 sinir hücresi içermektedir. Giriş katmanındaki sinir hücresi sayısı söz konusu görüntüden çıkarılan öznitelik sayısına eşit olacak şekilde seçilmiştir. Çıkış katmanında ise tek sinir hücresi mevcut olup; çıkış değeri eşleşen görüntüler için 1 ve eşleşmeyen görüntüler için ise 0 olacak şekilde belirlenmiştir. Gizli katmanda bulunan sinir hücresi sayısı 50 ise deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. YSA eğitiminde kullanılan arayüz Şekil 8'de ve kullanılan parametreler Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 8: Yapay sinir ağı eğitim arayüzü ana formu.

Tablo 2: Eğitim için geri yayımlı öğrenme parametreleri.

Parametre	Değer
Alfa ( <i>Alpha</i> ) ve Gama ( <i>Gamma</i> )	0.5-0.2
Nesil/yineleme sayısı ve en büyük karesel hata	1000-0.001

Tablo 3: Eğitim için genetik tabanlı öğrenme parametreleri.

Parametre	Değer
Birey sayısı ve birey seçim oranı (%)	50-10
Çaprazlama işleci (olasılık yok)	Normal
Mutasyon olasılığı (%) - işleç - genişlik	4 Gen değiştirme 1
Aynı birey üzerinde iki işleç	Var
Nesil sayısı ve en büyük karesel hata	1000-0.001
Yeni nesle aktarılacak en iyi çocuk sayısı	1

Genetik öğrenme algoritması için başlangıç nüfus sinir ağı örnekleri ile rasgele oluşturulur. Hata değeri > eşik değeri olduğu sürece, öğrenme verileri üzerinde karesel hata ile uygunluk değerlendirilir; en iyi ağlar çaprazlanır ve mutasyon uygulanır. Şekil 9'daki 25x25'lik taslak görüntü (sinir ağı tabanlı yüz tanıma çalışmasındaki arama maskesi), şablon görüntü ile eşleştirilecek her alt görüntü için 625 yerine karşılık gelen 521 (sinir ağı giriş sayısı) (beyaz) pikselin kontrol edilmesini sağlar (örneğin yüz eşleme için).



Şekil 9: Örnek taslak (şablon görüntü için tahsis edilen giriş deseni).

Ağ eğitimi, eşleşen kısma aranmak istenen ve aranılana yakın görüntüler, eşleşmeyen kısma ise eşlenen görüntülere uzak ve aranmak istenen görüntülerin haricindeki görüntüler verilerle gerçekleştirilmiştir; yapılan bazı örnek uygulamalarda Şekil 9'da verilen örnek taslak baz alınmıştır.

### 3.2.2 Diğer Görüntü Eşleme Yöntemleri

**Ortalama Renk Değeri:** İlgili görüntü alanları tüm piksellerin ortalama renk değeri ile ifade edilmiştir (Denklem (5)),  $n$  bu denklemde ve takip eden 2 denklemde görüntüdeki toplam piksel sayısıdır). Şablon görüntü ve alt görüntüler için ortalama renk değerleri karşılaştırılmıştır. Görüntünün piksellerinin renk değeri  $c$ , ortalama renk değeri ise  $\bar{c}$ 'dir (K, Y veya M renk kanalı).

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (5)$$

**Renk Değerlerinin Standart Sapması:** Standart sapma ( $\sigma$ ), verilerin ortalamaya göre yayılımını gösteren istatistiksel bir ölçü (Denklem (6)) olup; şablon görüntü ve alt görüntüler için ortalama renk değerlerinden elde edilmiştir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \quad (6)$$

**Korelasyon:** Korelasyon, nicel 2 veri grubu arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve kuvvetini belirten ilinti tabanlı bir yöntemdir ve bağımsızlık durumundan ne kadar uzaklaştığını gösterir. Şablon görüntü ve alt görüntüler için renk değerlerinden elde edilen tek boyutlu diziler (K, Y veya M renk kanalı için piksel değerleri) arasında AForge.NET ile korelasyon hesaplanarak (Denklem (7)) ilişki değerleri ölçülmüştür. Tek boyutlu diziler ise Emgu CV'de piksel değerlerinin tutulduğu matris veri yapısından (görüntü özelliklerinden *Data*) elde edilmiştir. Bu 2 görüntünün piksel renk değerleri  $c$  ve  $l$ , ortalama renk değerleri  $\bar{c}$  ve  $\bar{l}$ , renk değerleri arasındaki *korelasyon* katsayısı ise  $cc'$ 'dir.

$$cc' = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})(l_i - \bar{l})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2 \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}} \quad (7)$$

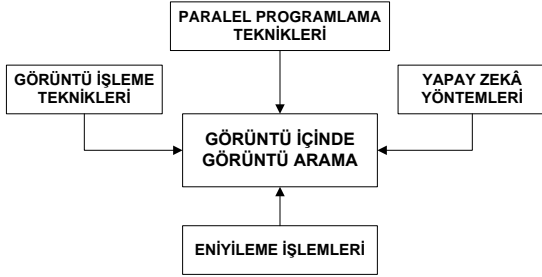


**Kenar Tespiti:** Önemli ve zor bir Gİ tekniği olan bölümlenme, görüntüde çeşitli bölge tanıma işlemlerini gerektirir ve ilgili olunan kısımları görüntünün diğer kısımlarından ayırmak için kullanılır.

**Canny** kenar bulma algoritması kullanılarak, şablon ve alt görüntülerin kenarları çıkarılmış, elde edilen gri tonlu görüntüler (görüntü içeriklerinin ana hatları) 1-1 piksel karşılaştırması ile (Emgu CV *Equals* komutu ile) eşleştirilerek aramalar dar bir alanda yapılmıştır. Bu kapsamda, ilk olarak görüntüler siyah beyaz olarak elde edilmiş ve kenarları ifade eden siyah piksel sayıları karşılaştırılmıştır.

### 3.3 Geliştirilen Yazılım

Görüntüdeki nesnelerin yönsel, açıl ve şekilsel değişiklikleri, ortalama renk değeri, renk değerlerinin standart sapması, korelasyon ve kenar tespiti için gürbüz öznelik çıkarımı; sınır ağı tabanlı eşleme için ise geniş öğrenme kümesi ile eğitim gerektirir. Genel işleyiş Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Yazılımın blok diyagramı (Tablo 4: Temel işlemler ve ilgili yaklaşımlar, Tablo 5: Görüntü eşleme yöntemleri).

Tablo 4: GİGA işlemleri ve yaklaşımları.

Uygulanan İşlem	Yaklaşım
Gİ teknikleri	Gİ kütüphanesi fonksiyonları
YZ yöntemleri	YSA ve GA
Paralel programlama	Çoklu iş parçacıkları
Eniyileme işlemleri	Kodlama ve arayüz iyileştirmeleri

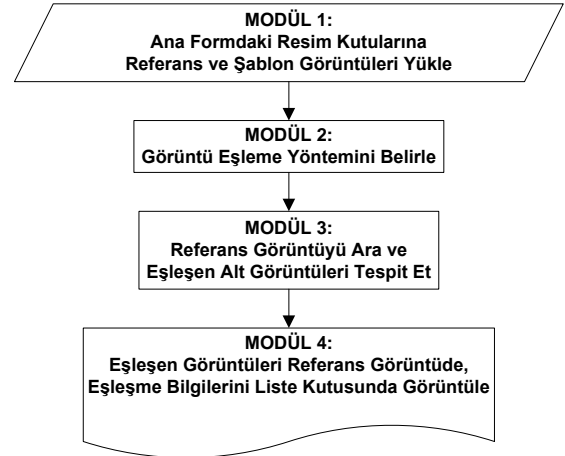
Tablo 5 : Görüntü eşleme için alternatifler.

Yöntem	Yaklaşım
YSA	Ağ eğitimi
Ortalama renk değeri (ORD)	Tüm pikseller
Renk değerlerinin standart sapması	ORD (tüm pikseller)
Korelasyon	İlişki tabanlı
Kenar tespiti	Bölümlenme

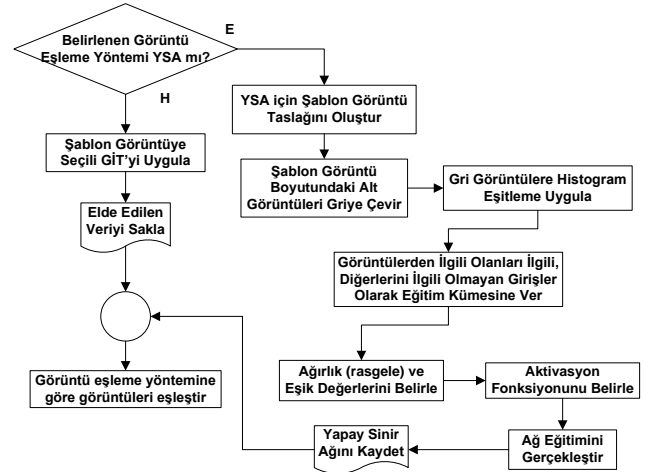
GİGA için temel süreç Şekil 11'de verilen (görüntü eşleme süreci Şekil 12'de) akış diyagramında görülmektedir.

Görüntü eşleme yöntemleri arasında, arama süresi en azdan en çoğa, ortalama renk değeri, renk değerlerinin standart sapması, korelasyon, kenar tespiti ve YSA (en maliyetli olan) olarak sıralanır. Şekil 13'te, akıllı arama süreci (genetik tabanlı arama için parametre değerleri Tablo 6'da) ile paralel ve farklı boyutlandırılmalardaki arama süreçleri alt alta verilmiştir.

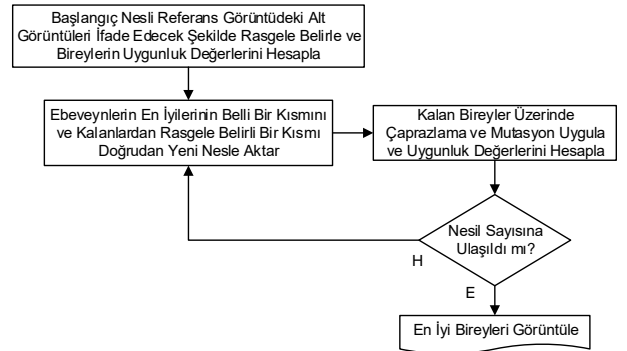
C# paralel programlama için gerekli altyapıyı sunmaktadır. Paralel programlama için pek çok sınıf ve program da mevcuttur, fakat bu uygulamaların çoğunu probleme özelleştirerek esnek bir şekilde dâhil etmek sorun olabilmekte ve birtakım bağımlılık problemleri de ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeple, bu kısım *Thread* sınıfı kullanılarak geliştirilmiş ve probleme uyarlanarak iyileştirilmiştir.



Şekil 11: GİGA sürecini gösteren akış diyagramı.



Şekil 12: Görüntü eşleme sürecini gösteren akış diyagramı.



Şekil 13: Akıllı arama, paralel arama ve çoklu boyutlandırma.

Tablo 6: Genetik tabanlı arama için parametre değerleri.

Parametre	Değer
Nesil ve birey sayıları	100-100
Birey seçim yöntemi ve oranı	Rasgele seçim-10
Çaprazlama olasılığı (%) ve işleci	80/Normal
Mutasyon olasılığı (%) ve işleci	5/Gen değiştirme
Aynı birey üzerinde iki işleç	Yok
Seçkinlik	Var
Yeni nesil için en iyi ebeveynler (%)	20
Kalan bireylerden rasgele (%)	5
Kalanlara çaprazlama ve mutasyon (%)	50-50
En yakın komşuluk değeri [piksel]	2

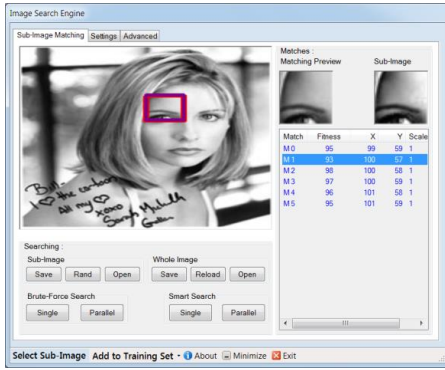
Çalışma kapsamında, referans görüntü ve şablon görüntü içerik belirsizleşmeden düşük boyutlara örneklenip (daha dar kapsamda arama), bu boyutlardan daha yüksek boyutlara kadar çeşitli aralıklarla da karşılaştırılmıştır.

En yakın komşuluk değeri, sonuçların belli miktara kadar komşuluklarındaki sonuçları da elde etmek için kullanılır. Bireylerin seçimi 3 farklı şekilde yapılmıştır (Tablo 7). Çaprazlamada bir alt görüntünün  $X$  değeri ile diğer alt görüntünün  $Y$  değeri, mutasyonda (ters çevirme, bir yöne öteleme, araya sokma, yer değiştirme, kırpmaya) ise bir alt görüntünün  $X$  ya da  $Y$  değerleri değiştirilir.

Tablo 7 : Genetik tabanlı arama için birey seçim yöntemleri.

Yöntem	Yaklaşım
1	Rasgele seçim [tüm nüfus]
2	Belli oranda (%10) rasgele seçim
3	Uygunluk değeri tabanlı rulet tekerleği seçimi

2. yöntemde nüfustaki en iyi bireylerin bir kısmı dikkate alınır. Basit bir örnek arama uygulaması Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14: Sinir ağı tabanlı kaba kuvvet arama örneği (şablon görüntü referans görüntünün bir parçasıdır).

Kaba kuvvet arama 1 iş parçacığı ile (çalışma süresi: 11060 milisaniye (ms)) ve 4 iş parçacığı ile (7621 ms), akıllı arama ise 100 nesil süren 1 iş parçacığı ile (3017 ms) ve her biri 25 nesil süren 4 iş parçacığı ile (1781 ms) gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, genel olarak akıllı arama ile kaba kuvvet aramaya göre, paralel arama ile tek iş parçacıklı aramalara göre ciddi iyileştirmeler sağlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Aranacak görüntü için çok sayıda alt görüntü olması (referans görüntü çok büyük ya da şablon görüntü çok küçük ise [arama uzayı dar değil]), paralel akıllı arama yapılmasını gerektirir. Çok iş parçacıklı akıllı arama için yeni birey sayısı nüfustaki toplam birey sayısı / toplam iş parçacığı sayısıdır.

Paralel arama, geliştirilen algoritma dışında, kullanılan bilgisayarın özelliklerine ve sistemin arama sürecindeki

durumuna (çalışan programlar) da bağlıdır. Paralel arama arama süresini genel olarak kısaltırken, iş parçacığı sayısının artırılmaya devam edilmesi bir noktadan sonra arama sürecini kötüleştirir.

YSA eğitiminin zaman alması ve güncelleme gereği birer dezavantaj olarak görünse de pek çok üstün yönü gürbüz görüntü eşleme için başarılı bir şekilde kullanımını sağlamıştır. Diğer yandan, diğer görüntü eşleme yöntemlerinin üstün tarafları ise görüntü eşleme öncesinde eğitim ve ek uygulamaların gerekmemesi ve hız olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, görüntü eşleme yaklaşımları birbirinden bağımsız olarak kullanılmıştır.

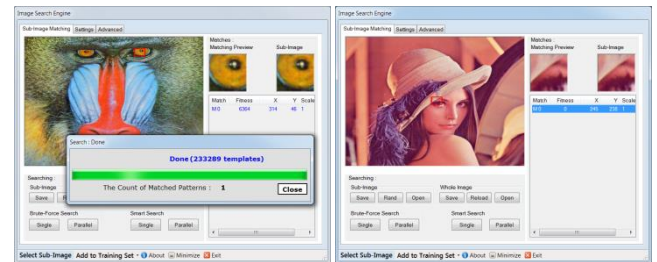
Akıllı aramada, ilk olarak 2 bireyden uygunluk değeri daha iyi olana daha yakın olacak şekilde yeni birey seçimi gerçekleştirilmiş; çok sayıda uygunluk değeri hesabı işlemleri oldukça yoğunlaştırmıştır. Daha iyi birey elde etme olasılığının artması için süreç tekrarını artırarak, birey sayısını artırarak çeşitlilik sağlamak, paralel arama için çözüm kümesini genişletmek, parametre değerlerini hassaslaştırmak ya da genetik yapıyı genişletmek gibi yollar tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, GİGA için akıllı algoritmalara ve paralel programlama tekniklerine dayanan zeki bir yöntem önerilmiştir. Görüntüler üzerinde kaba kuvvet ve akıllı yolla gerçekleştirilen tek iş parçacıklı ve çok iş parçacıklı arama sonuçları karşılaştırılmış, süreç çeşitli yöntemlerle iyileştirilmiştir. Parametre düzenleme, ilgili olunan görüntüyü seçebilme ve sonuçların iyi bir şekilde kullanıcıya yansıtılabilmesi esneklikleriyle, çeşitli görüntülerle (Şekil 15) alınan sonuçlar Şekil 16'da ve Tablo 8'de verilmiştir.

Süreci doğrulamak için başka görüntüler de kullanılmıştır.



Şekil 15: Örnek referans görüntüler (512x512-200x219-512x512).



Şekil 16: Örnek GİGA uygulamaları.

Tablo 8'deki kısaltmalar şunlardır: RG: Referans Görüntü ŞG: Şablon Görüntü AG: Alt Görüntü GE: Görüntü Eşleme ORD: Ortalama Renk Değeri KT: Kenar Tespiti RDSS: Renk Değerlerinin Standart Sapması TİP/ÇİP: Tek/Çok İş Parçacıklı.

Tablo 8'deki ilk örnek için akıllı arama TİP: 1651, ÇİP: 3247 (/4: iş parçacığı sayısı) ms sürmüştür. Üzerinde çalışılan bilgisayar, 2.20 GHZ (çift çekirdek) işlemciye (CPU) ve 3.00 GB belleğe (RAM) sahiptir. Paralel aramada kullanılan bazı görüntülerden elde edilen alt görüntüler ise Tablo 9'dadır.

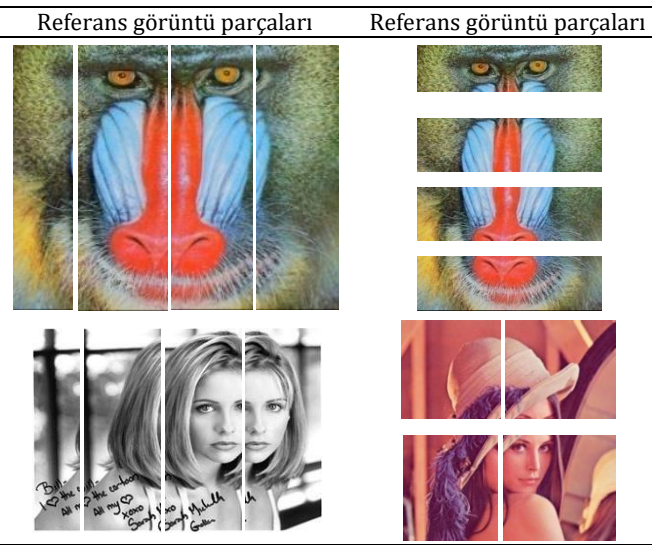
Tablo 9'da, üstte dikey 4 iş parçacığı (şablon görüntü 30x30) ve yatay 4 iş parçacığı (şablon görüntü 30x30); altta ise dikey

4 iş parçacığı (şablon görüntü 30x30) ve dikey yatay 2'şer iş parçacığı (şablon görüntü 30x24) verilmiştir.

Tablo 8: Örnek GİGA uygulamaları (kaba kuvvet arama (ms)).

RG ŞG-Toplam AG Sayısı	GE Yöntemi	TİP	ÇİP
200x219 30x30-32490	YSA	6825	3432
512x512 30x30-233289	ORD	2040	1069
200x219 30x30-32490	YSA	11523	7069
512x512 166x288-78075	ORD	15917	11867/4
512x512 30x30-233289	ORD	2915	2117
512x512 30x24-236187	KT	26133	16569/4
200x219 30x30-32490	YSA	6390	3930
349x446 30x30-133440	RDSS	2732	1277

Tablo 9: Paralel arama için örnek görüntü blokları.



Sinir ağı için az giriş ile ilk öğrenme süreci oldukça hızlı bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Ağın daha kararlı bir yapıya gelmesi için gereken eğitim, giriş sayısına göre gittikçe daha zaman alıcı olur; fakat test sürecinde verimlilik sağlamıştır.

Sinir ağı eğitiminde farklılıklar söz konusudur: Süreç boyunca, GA'nın doğası gereği elde edilen en iyi çözüm bir önceki nesilde elde edilen en iyi çözümden daha kötü olamaz; fakat geri yayımlı öğrenmede kötüye gidiş gözlemlenebilir.

Tek iş parçacıklı kaba kuvvet arama için  $TT$  şablon görüntü ile alt görüntüyü eşleme süresi olmak üzere, zaman karmaşıklığı (toplam arama süresi) şudur:  $O(mx \times ky \times TT)$ . Paralel arama için iş parçacığı sayısı artırılarak ya da akıllı arama ile arama uzayı daraltılarak zaman karmaşıklığı düşürülebilir.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen temel çıkarım önerilen tümleşik görüntü içinde görüntü arama yönteminin etkin bir biçimde kullanılabileceğidir. Çalışmada, genetik algoritmalar kullanılarak sağlanan akıllı aramanın kaba kuvvet aramaya göre çok daha başarılı olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak, paralel programlama teknikleri kapsamındaki çoklu iş parçacıkları kullanımının, arama süresinde önemli bir azalma sağladığı sonucuna varılmıştır. Görüntü eşlemede kullanılan yapay sinir ağları yönteminin de bu alanda yüksek performans gösterdiği görülmüştür.

Bu alanda ileriye yönelik olarak, görüntüleri kesin nitelikler içeren nesne görüntüleri ile sorgulamada, belli bir nesne

yerine şablon görüntüyü tanıma yönünde daha fazla araştırma yapılabilir. YSA ve GA'nın birleştirilip bütünleştirilmesi ile gerçekleştirilen melez zeki sistem (GİGA), görüntüyü başka görüntüde aramaya ek olarak taslak görüntü ve çizimleri başka görüntülerde sorgulama, bilgisayar destekli tanı/çıkartım ve çeşitli teşhis ve güvenlik uygulamaları gibi değişik alanlara da uygulanabilir.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Gonzalez RC, Woods RE. *Digital Image Processing*. 3<sup>rd</sup> ed. London, England, Prentice Hall, 2008.
- [2] Müller H, Michoux N, Bandon D, Geissbuhler A. "A Review of Content-Based Image Retrieval Systems in Medical Applications-Clinical Benefits and fuTure Directions". *International Journal of Medical Informatics*, 73(1), 1-23, 2004.
- [3] Kekre HB, Thepade SD, Maloo A. "Query by Image Content Using Colour Averaging Techniques". *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(6), 1612-1622, 2010.
- [4] Dubey RS, Choubey R, Bhattacharjee J. "Multi Feature Content Based Image Retrieval". *(IJCSSE) International Journal on Computer Science and Engineering*, 2(6), 2145-2149, 2010.
- [5] Singh UP, Jain S, Ahmed GF. "Content Base Image Retrieval Using Phong Shading". *(IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security*, 8(1), 301-306, 2010.
- [6] Keyzers D, Unger W. "Elastic Image Matching is NP-Complete". *Pattern Recognition Letters*, 24(1-3), 445-453, 2003.
- [7] Shu X, Wu XJ. "A Novel Contour Descriptor for 2D Shape Matching and its Application to Image Retrieval". *Image and Vision Computing*, 29(4), 286-294, 2011.
- [8] ElAlami ME. "A Novel Image Retrieval Model Based on the Most Relevant Features". *Knowledge-Based Systems*, 24(1), 23-32, 2011.
- [9] Torres RS, Falcao AX, Gonçalves MA, Papa JP, Zhang B, Fan W, Fox EA. "A Genetic Programming Framework for Content-Based Image Retrieval". *Pattern Recognition*, 42(2), 283-292, 2009.
- [10] Ferreira CD, Santos JA, Torres RS, Gonçalves MA, Rezende RC, Fan W. "Relevance Feedback Based on Genetic Programming for Image Retrieval". *Pattern Recognition Letters*, 32(1), 27-37, 2011.
- [11] Liu Y, Zhang D, Lu G, Ma WY. "A Survey of Content-Based Image Retrieval with High-Level Semantics". *Pattern Recognition*, 40(1), 262-282, 2007.
- [12] Wang XY, Yu YJ, Yang HY. "An Effective Image Retrieval Scheme Using Color, Texture and Shape Features". *Computer Standards & Interfaces*, 33(1), 59-68, 2011.
- [13] Lin C, Chang HJ. "Identification of Pressurized Water Reactor Transient Using Template Matching". *Annals of Nuclear Energy*, 38(7), 1662-1666, 2011.
- [14] Yuan Y, Pang Y, Wang K, Shang M. "Efficient Image Matching Using Weighted Voting". *Pattern Recognition Letters*, 33(4), 471-475, 2011.
- [15] Yan H, Yang J, Yang J. "Bimode Model for Face Recognition and Face Representation". *Neurocomputing*, 74(5), 741-748, 2011.
- [16] Kumar R, Vikram BRD. "Fingerprint Matching Using Multi-Dimensional ANN". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(2), 222-228, 2010.



- [17] Mattoccia S, Tombari F, Stefano LD. "Efficient Template Matching for Multi-Channel Images". *Pattern Recognition Letters*, 32(5), 694-700, 2011.
- [18] Bunte K, Biehl M, Jonkman MF, Petkov N. "Learning Effective Color Features for Content Based Image Retrieval in Dermatology". *Pattern Recognition*, 44(9), 1892-1902, 2010.
- [19] Moon YS, Kim BM, Kim MS, Whang KY. "Scaling-Invariant Boundary Image Matching Using Time-Series Matching Techniques". *Data & Knowledge Engineering*, 69(1), 1022-1042, 2010.
- [20] Choi MS, Kim WY. "A Novel two Stage Template Matching Method for Rotation and Illumination Invariance". *Pattern Recognition*, 35(1), 119-129, 2002.
- [21] Chang SH, Cheng FH, Hsu WH, Wu GZ. "Fast Algorithm for Point Pattern Matching: Invariant to Translations, Rotations and Scale Changes". *Pattern Recognition*, 30(2), 311-320, 1997.
- [22] Ding L, Goshtasby A, Satter M. "Volume Image Registration by Template Matching". *Image and Vision Computing*, 19(12), 821-832, 2001.
- [23] Kwok SH, Zhao JL. "Content-Based Object Organization for Efficient Image Retrieval in Image Databases". *Decision Support Systems*, 42(3), 1901-1916, 2006.
- [24] Fernandez X. "Template Matching of Binary Targets in Grey-Scale Images: A Nonparametric Approach". *Pattern Recognition*, 30(7), 1175-1182, 1997.
- [25] Debella-Gilo M, Kaab A. "Sub-Pixel Precision Image Matching for Measuring Surface Displacements on Mass Movements Using Normalized Cross-Correlation". *Remote Sensing of Environment*, 115(1), 130-142, 2011.
- [26] Fredriksson K, Ukkonen E. "Combinatorial Methods for Approximate Image Matching Under Translations and Rotations". *Pattern Recognition Letters*, 20(11-13), 1249-1258, 1999.
- [27] Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. 3<sup>rd</sup> ed. New Jersey, USA, Prentice Hall, 2009.
- [28] Goldberg DE. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. 1<sup>st</sup> ed. Boston, MA, USA, Addison-Wesley Professional, 1989.

## Ek A: Sözdde Kodlar

### Genetik Algoritmalar için Tanımlanan Popülasyon Veri

#### Yapısına Birey Ekleme

1. Başla,
2. Listeye eklenecek elemanın uygunluk değeri ile sıralı listede ikili arama yap,
3. Arama sonucunda dönen değer (indis) negatif ise,
  - a. Listenin -indis-1 konumuna yeni bireyi yerleştir,
  - b. 5. adıma git,
4. Listenin indis konumuna yeni bireyi yerleştir,
5. Bitir.

#### Genetik Öğrenme Algoritması

1. Başla,
2. Başlangıç nüfusu sinir ağı örnekleri ile rasgele oluştur,
3. Hata Değeri > Eşik Değeri Olduğu Sürece Tekrarla,

- a. Öğrenme verileri üzerinde karesel hata ile uygunluk değerlendir,
- b. En iyi ağı çaprazla,
- c. Mutasyon uygula,

#### 4. Bitir.

#### Görüntü içinde görüntü arama sürecini gösteren akış

##### diyagramı (Şekil 11)

1. Başla,
2. Ana formdaki resim kutularına referans ve şablon görüntüleri yükler (modül1),
3. Görüntü eşleme yöntemini belirle (modül2),
4. Referans görüntüyü ara ve eşleşen alt görüntüleri tespit et (modül3),
5. Eşleşen görüntüleri referans görüntüde, eşleşme bilgilerini liste kutusunda görüntüle (modül4),
6. Bitir.

#### Görüntü eşleme sürecini gösteren akış diyagramı (Şekil 12)

1. Belirlenen görüntü eşleme yöntemi yapay sinir ağı (YSA) ise,
  - a. YSA için şablon görüntü taslağını oluştur,
  - b. Şablon görüntü boyutundaki alt görüntüleri griye çevir,
  - c. Gri görüntüleri histogram eşitleme uygula
  - d. Görüntülerden ilgili olanları ilgili diğerlerini ilgili olmayan girişler olarak eğitim kümesine ver,
  - e. Ağırlık (rasgele) ve eşik değerlerini belirle,
  - f. Aktivasyon fonksiyonunu belirle,
  - g. Ağ eğitimi gerçekleştir,
  - h. Yapay sinir ağını kaydet.
2. Değilse,
  - a. Şablon görüntüye seçili görüntü işleme tekniğini uygula,
  - b. Elde edilen veriyi sakla,
3. Görüntü eşleme yöntemine göre görüntüleri eşleştir.

#### Akıllı arama (Şekil 13)

1. Başlangıç nesli (alt görüntüler için konum [X-Y] bilgisi) rasgele belirle,
2. Ebeveynlerin en iyilerinin belli bir kısmını ve kalanlardan rasgele belirli bir kısmı doğrudan yeni nesle aktar,
3. Kalan bireyler üzerinde çaprazlama ve mutasyon uygula,
4. Bireylerin uygunluk değerlerini hesapla,
5. Nesil sayısına ulaşılmadı ise 2. adıma git,
6. En iyi bireyleri görüntüle (nesil sayısına ulaşıldı).

#### Paralel arama ve çoklu boyutlandırma (Şekil 13)

1. Görüntü ölçeklendirme bitmedi ise tekrarla,
  - a. Yeni ölçeklendirmeyi referans görüntüye ve şablon görüntüye uygula,
  - b. Tüm iş parçacıkları sonlanana kadar tekrarla (mevcut ölçekte),
    - i. Referans görüntüyü ara ve eşleşen görüntüleri tespit et,
  - c. 1. adıma git.
2. Arama sonuçlarını göster (görüntü ölçeklendirme tamamlandı).