



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KAYNAK ROBOTLARINDA ŞABLON
EŞLEŞTİRME ALGORİTMASININ
KULLANILMASI**

Muhammed Alperen AKSİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Alperen Aksin tarafından hazırlanan “Kaynak Robotlarında Şablon Eşleştirme Algoritmasının Kullanılması” adlı tez çalışması 17/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Adem Alparslan ALTUN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Levent CİVCİK

.....

Üye

Doç. Dr. Rahime CEYLAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Muhammed Alperen AKSİN

Tarih:17/05/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAYNAK ROBOTLARINDA ŞABLON EŞLEŞTİRME ALGORİTMASININ KULLANILMASI

Muhammed Alperen AKSİN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Levent CİVCİK

2023, 58 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Levent CİVCİK
Prof. Dr. Adem Alpaslan ALTUN
Doç. Dr. Rahime CEYLAN**

Akıllı kaynak teknolojisi için görüş tabanlı dikiş takibi ve kaynak şeklinin tipinin belirlenmesi anahtar teknolojilerden biridir. Robotik uygulamalardaki en büyük zorluk; görsel sensörlerin kapasitesi ve sinyal işleme algoritmalarının hesaplama maliyetiyle sınırlanan dinamik bir ortamla etkileşimdir. Amaç kaynak sürecini hızlandırmak ve maliyeti düşürmektir. Kaynak işlemi, işlem hızını artırmak için operatörler yerine görüntü sensörleri ve çeşitli görüntü işleme algoritmaları kullanılarak hızlandırılmaktadır. Bununla birlikte, kaynak uygulaması sırasında çoğu görüntü işleme algoritmasının uyarlanabilirliği ve sağlamlığı yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, özellik çıkarımı ve nesne tanıma için olay odaklı bir somutlaştırılmış sistem, robotik uygulamalarda yeni ve verimli bir duyuşsal yaklaşım olarak tasarlanmıştır. Nesne tanıma için ek bilgiler kullanılarak eşleşen olay özelliği geliştirilmiştir. Bu çalışmada, robotun gerçekleştirdiği kaynak işleminden sonra hangi kaynak türünün işleme daha yakın olduğuna karar vermek amaçlanmaktadır. Böylece kaynak tipine göre parametre seçimleri ve sonuçların işlenmesi kolaylaştırılmış ve kaynağın kaliteli bir şekilde yapılıp yapılmadığı kontrol edilmiştir. Test sonuçları, algoritmanın çoklu tipik kaynak dikişleri için iyi uyarlanabilirlik sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak Robotları, Görüntü İşleme, Görüntü Ön İşleme Süreci, Görüntüden Özellik Çıkarma, Şablon Eşleştirme

ABSTRACT

MS THESIS

**APPLICATION OF TEMPLATE MATCHING ALGORITHM IN WELDING
ROBOTS**

Muhammed Alperen AKSİN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electric Electronic Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Levent CİVCİK

2022, 58 Pages

Jury

**Asst. Prof. Dr. Levent CİVCİK
Prof. Dr. Adem Alpaslan ALTUN
Asst. Prof. Dr. Rahime CEYLAN**

One of the key technologies for intelligent welding is opinion-based seam tracking and determination of the welding shape. The biggest challenge in robotic applications is the interaction with a dynamic environment limited by the capacity of visual sensors and the calculation cost of signal processing algorithms. The goal is to speed up the welding process and reduce costs. Welding process is accelerated by using image sensors and various image processing algorithms instead of operators to increase the processing speed. However, the adaptability and robustness of most image processing algorithms during welding applications is insufficient. In this study, an event-driven concrete system for feature extraction and object recognition has been designed as a new and efficient sensory approach in robotic applications. The matching event feature has been developed by using additional information for object recognition. The aim of this study is to determine which welding type is closer to the welding process performed by the robot. Thus, parameter selections and processing of results are facilitated according to the welding type, and whether the welding is done in a high-quality manner is checked. Test results show that the algorithm provides good adaptability for multiple typical welding seams.

Keywords: Welding Robots, Image Processing, Image Preprocessing, Feature Extraction, Template Matching

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bulunduğu katkılardan dolayı Dr. Öğr. Üyesi Levent CİVCİK'e ayrıca görüntülerin elde edilmesine yardımcı olarak çalışmaya katkı yapan Ramazan PINARBAŞI ve Ali Rıza AKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Alperen AKSİN
KONYA-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Görüntü Ön İşleme	13
2.1.1 Görüntü işleme filtreleri.....	16
2.1.1.1. İyileştirme filtreleri	16
2.1.1.2. Onarma filtreleri	16
2.1.1.3. Bulanıklık giderme filtreleri	16
2.1.1.4. Ara değerlendirme filtreleri.....	17
2.1.1.5. Sıkıştırma hatası giderme filtreleri	17
2.1.1.6. Temel filtreler	17
2.1.1.7. Video filtreleri.....	17
2.2. Şablon Eşleştirme.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1 Servo Motorlar	22
3.2. Deney Düzenegi.....	22
3.2.1. Algoritma sağlamlık doğrulaması.....	24
3.3 İA Seçimi ve Kenar Bulma	25
3.4 Görüntü Ön İşleme Prosedürü	28
3.5 Şablon Eşleştirme Algoritması	34
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Görüntü Ön İşleme Sonuçları	39
4.2. Şablon Eşleştirme Sonuçları	41
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5.1 Sonuçlar	49
5.2 Öneriler	53
KAYNAKLAR	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ms	: Milisaniye
x, y	: Görüntü koordinatları
x_0, y_0	: Görüntünün sol üst köşesinin görüntü koordinatları
w, h	: Görüntünün genişliği ve yüksekliği
h	: Kaynak dikişinin yüksekliği
w	: Kaynak dikişinin genişliği
T_{am*n}	: Şablon
S	: Aranan görüntü
$S_{i,j}$: Şablonunun kapsadığı görüntü
i ve j	: Bir görüntüdeki sütun ve satır değeri

Kısaltmalar

İA	: İlgilenilen Bölge
YGH	: Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramı
GTAK	: Tungsten Gazı Ark Kaynağı
ŞKC	: Şarjlı Kaplin Cihazları
Al	: Alüminyum
Al/I	: Alüminyum- İyot Alaşımı
Al/Ti	: Alüminyum- Titanyum Alaşımı
LSD	: Hat Segment Dedektörü
YG	: Yinelenmiş Görüntü
PN	: Piksel Numarası
HT	: Hareket Tahmini
KSN	: Evrişimli Sinir Ağı
FTDO	: Farkın Tam Değerinin Ortalaması
NÇİ	: Normalize Edilmiş Çapraz İlinti
ABA	: Ardışıl Benzerlik Algılaması
FMDO	: Farkların Mutlak Değerlerinin Toplamı
FKT	: Farkların Karelerinin Toplamı
DVM	: Destek Vektör Makineleri
AA	: Alternatif Akım
KYM	: Kırmızı-Yeşil-Mavi
BFUG	: Birleşik Fotoğraf Uzmanları Grubu

1. GİRİŞ

İlk robotik tasarımlar 1400'lü yıllarda da Vinci tarafından yapılmıştır. Bu tasarımlar o devirdeki saat teknolojilerine dayanan insansı çizimler içeriyordu. Robotlaşmanın 1950'li yılların başında Isaac Asimov'un Ben Robot isimli kitabını yayınlamasıyla başlamıştır. Robot kolların temelleri de Devol tarafından yine 1950'li yılların başında atılmıştır. 1954 yılında Joseph Engelberg ile mekanik robot kol tasarımı gerçekleştirmişlerdir. 1961 yılında Unimation isimli bir şirket kurup endüstriyel robot kolların üretilmesini amaçlamışlardır. Unimate adı altında üretilen robotlar döküm fabrikalarında sıcak ve ağır paletlerin yerleştirilmesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1963 yılında Rancho isimli şirket hastanelerdeki felçli hastaların taşınması için robot kol uygulamaları gerçekleştirmişlerdir. Bu robot kollar bilgisayar kontrollü ilk robotlardır. 1966 yılında Minsky Tactile 12 eklemli joystick ile kontrol edilebilen bir robot geliştirmiştir. Çok yumuşak hareketler yapabilen bu robot tıp dünyasında kullanılmak adına tasarlanmıştır. 1969 yılında Unimation, Inc. GM adlı firmanın isteği üzerine robot kollardan oluşan bir otomobil üretim bandı kurmuştur. Bu bandın o günlerde en hızlı üretim bandından iki kat fazla üretim yapması diğer firmaların dikkatini çekmiş ve bu sayede robot kollar otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanmıştır.

1973 yılında KUKA, altı elektromanyetik aks kontrollü robot kol üretmiştir. Böylece robot kollar hidrolikle çalışma sisteminin dışına çıkmıştır. 1974 yılında David Silver, Silver Arm olarak adlandırdığı robot kolu geliştirmiştir. Bu robot kol dokunmatik sensörlere sahip olan ve geri bildirim verebilen ilk robottur. Bu robot kol gelişiminde büyük bir adım olarak görülmektedir. 1977 yılında Yaskawa 10 kg'a kadar taşıyabilen 5 eksenli robot kol geliştirmiştir. 1980'ler, sektörün büyümesi için en önemli yıllardandır. 1980'de robotik sektördeki girişimlere destek verilmesi ile robotik uygulamaların artması her ay piyasaya binlerce yeni robot sürülmesini sağlamıştır. 1981 yılında aynı zamanda pnömatik robotik kollar üretilmeye başlanmıştır, elektrik veya hidrolik sıvı yerine basınçlı hava kullanılarak robotik hareketler sağlanmıştır. 1985 yılında, Yaskawa Robotics, 12 eksenli bilgisayar kontrollü bir robot tanıtmıştır.

1992, yılında kurulan FANUC, robotik uygulamalar amacıyla kurulan okullardan çıkan dünyanın ilk akıllı robot prototipinin tanıtımını yapmıştır. 1985 yılında piyasaya giren Motoman ERC, 1994 yılında 21 eksenli robot kol tanıtmıştır. Robotik kolların gelişimi ile, bu on yılda tıp alanında protez amacıyla kullanılmıştır. 1993 yılında

Campbell Aird, 1982’de kolunu kas kanserinden kaybettikten sonra ilk sibernitik robot kolu geliştirdi. Aird, omuz kaslarını esneterek kolu vücuduna entegre etmiştir.

2000’li yıllar, robot endüstrisi için en heyecan verici dönemler olmuştur. Teknolojideki ilerlemeler robotların görevleri daha verimli ve doğru şekilde gerçekleştirmelerini sağlamıştır. 2000 yılında Da Vinci Surgical System hassas mikrocerrahi işlemler gerçekleştirebilen robot uygulamaları gerçekleştirmiştir. Bu düzenek bugüne kadar 1700’den fazla hastaneye kurulmuştur. Ayrıca robot kollar otomotiv sektöründe de oldukça yaygın bir kullanıma ulaşmıştır. Tek bir vardiyada, insan gücüyle 200’den fazla araba monte edilirken robot kol uygulamalarıyla 600’den fazla araba monte edilir hale gelmiştir.

Robotik kolların tarihi, da Vinci’nin tasarımlarından günümüzde kullanılan robotik sistemlere kadar, uzun ve zorlu bir süreç olarak ilerlemiştir. şu anda, robotlar uzay görevleri, endüstriyel üretim uygulamaları ve tıp uygulamaları gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. (Sarıkaya, 2019)

Bu gelişim sürecine bakılarak olarak modern imalat endüstrisinin hızlı gelişimi ile otomatik imalat süreçlerinde giderek daha fazla kaynak robotu uygulanmaktadır. Robot kolu, dönen ve kayan eklemlerle birbirlerine kenetlenmiş “uzuv” olarak adlandırılan nesnelere meydana gelen bir zincir oluşumudur. Zincirin bir ucu desteğe bağlı, diğer ucu ise serbesttir. Hareketlerin kontrollü bir şekilde yapılması için matematiksel olarak formüle edilmesi yani robot kol kinematik modelinin oluşturulması gerekmektedir. Yüksek verimlilik sağlama, kalitenin sürdürülebilirliği ve olumsuz çalışma koşullarında bile devamlı çalışma sayesinde birçok alanda kullanılmaktadır. Otomotiv sektörü, gemi imalat süreçleri gibi alanlarda çokça tercih edilen kaynak robotları operatör kaynaklı hataların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca daha otonom ve esnek çalışma koşulları sağlanabilmektedir. Bu esnekliği ve otonom çalışmayı sağlamak adına daha çok bilgisayar uygulamalarından yararlanılmaya başlanmıştır. Günümüzde gelinen noktada ise artık operatörlerin yerini bilgisayarlı görü sistemleri almaktadır.

Kaynak robotlarında konumlandırma amacıyla yaygın şekilde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden bazıları öğretim-oyun, görsel algılama, çevrim dışı programlama ve koordinat şeklinde sıralanabilir. Öğretim-oyun yöntemi yalnızca bir öğretim ve konumlandırma için kullanılır fakat bu yöntemde verim ve otonom kontrol düşüktür. Bu tip sistemlerde öğretim için kaynak dikişinin tespitinde için görsel algılama yöntemlerine başvurulabilir (Cai, Lei, 2021).

Bununla birlikte, kaynak robotlarının çoğu, öğret ve oynat robotlarından oluşmaktadır. Önceden alınan test sonuçlarından yararlanarak parametreler bilgisayara öğretilip bu öğrenme sonucunda yapılacak kaynaklar değerlendirilebilir. Ek olarak, kaynak işlemi sırasında distorsiyon, ısı yayma yolları, aralık değişkenliği, kademeli kenar vb. nedeniyle dikiş konumu sıklıkla bozulur. Bu dikiş konumu değişikliği düzeltilmezse, kaynak şekillendirme kalitesini etkileyecektir. Bu nedenle, bu sorunu gidermek için sensörler kullanılmalıdır. Dolayısıyla çevrimdışı programlama ile çok fazla hazırlık çalışması gerektirdiği gibi robotun ve kaynak parçalarının sanal ortamdaki konumunun gerçek ortamdaki konumla aynı olması gerekir. Bu parametrelerde yapılan ön çalışma ile uygulama anında bazı uyumsuzluklar yaşanabilir. Bu tip durumları gidermek için ciddi bir deneme süreci gerekmektedir.

Chen ve ark. (2013), akıllı robotik kaynağın geliştirilmesi için, kaynakçının çalışmasının, eylemini ve işlevini simüle etmenin önemli olduğunu konu alan bir çalışma yapmıştır. Kaynak makinesine benzer otomatik kaynak gerçekleştirmek için üç temel teknik adım gereklidir. Birincisi, iç ve dış kaynak koşullarını algılamak için insan algılama organlarına benzer şekilde kaynak dinamik süreci hakkında bilgi edinmeye yarayan ekipmanlar kullanılır. Bu algılama işlemleri kameralar ve yazılımlar ile sağlanmaktadır. Bu noktada kameralardan alınan görüntülerin hızlı ve doğru bir şekilde işlenmesi gerekmektedir. İkincisi, kaynak düzeneğinin özelliklerinin çıkarılması, yani dinamik kaynak sürecinin modellenmesidir; üçüncüsü ise, kontrol yöntemlerini belirlemek üzere süreci yönetecek insan beyni benzeri kontrolör geliştirmektir. Akıllı robotik kaynakta dikiş takibi önemli bir sorundur ve görsel algılama teknolojisi bununla başa çıkmanın verimli bir yöntemidir. Görüntü tabanlı dikiş izleme teknolojisinin yardımıyla, geleneksel öğret ve oynat robotları, kaynak uygulaması sırasında zorlu şartların üstesinden gelebilir ve yüksek kaliteli kaynak gereksinimlerini karşılayabilir.

Elde edilen görüntülerde oluşan problemlerden biri de gürültüdür. Görüntülerdeki gürültü genellikle görüntü elde edilirken ve aktarılırken oluşmaktadır ve birçok türü bulunmaktadır. Ayrıca gürültü, elde edilen görüntünün kalitesinin düşmesine ve görüntü sinyalinde bozulmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple görüntü işleme ve analizi uygulamalarının başarısının azalmasına yol açmaktadır. Görüntü işleme algoritmalarına gürültüsü egale edilmiş görüntüler vermek çok önem taşımaktadır. Gürültüyü önlemek için görüntülere filtreleme işlemi uygulanmaktadır. Filtreleme işlemi gürültünün azaltılmasının yanı sıra görüntüdeki kenar algılama, görüntü yumuşatma, keskinleştirme ve iyileştirme gibi işlemler için de kullanılmaktadır. Filtreleme işlemleri frekans

düzleminde ve uzaysal düzlemde uygulanabilmektedir. Uzaysal düzlemde gerçekleştirilen görüntü filtreleme metotları frekans düzlemindeki filtreleme metotlarına oranla uygulanması daha kolay ve daha hızlı özelliklerine sahiptir. Uzamsal düzlem filtrelerinde piksellerin yoğunluk değerleri ve bunların komşu piksellerle ilişkisi dikkate alınır. Uzamsal düzlem filtreleme yapılırken belirlenen filtre maskesi görüntüdeki tüm piksellere ayrı ayrı uygulanır. Bu işlem gürültülü piksellerdeki gürültünün azalmasını sağlarken, gürültülü olmayan piksellerin yoğunluk değerlerinin değişmesine yani bilgi kaybına neden olur. Bu nedenle, aynı filtre maskesinin görüntünün tamamına uygulanması, seçilen filtre tipine ve filtre maskesinin boyutlarına bağlı olarak, kenar piksellerin bulanıklaştırarak veri kaybına veya gürültünün etkili bir şekilde azaltılamamasına neden olur. Örneğin, ortalama filtre kullanılırken görüntüdeki gürültü etkili bir şekilde azaltılır fakat kenar piksellerin bulanıklaşmasına yol açar. Ayrıca filtre maskesi boyutunun büyütülmesi daha fazla pikselin yoğunluk değeri dikkate alındığından görüntüdeki kenarların bulanıklık miktarının artmasına neden olur. Kenarların bulanıklaşması görüntüdeki kenar piksellerinde bulunan önemli bilgilerin elde edilememesine yol açmaktadır. Böylece görüntüdeki bulanıklık, kenar bulma, görüntü keskinleştirme ve öznitelik çıkarma yöntemlerinin başarısını düşürür. Öte yandan uyarlamalı filtreler kullanıldığında, görüntünün tamamına sabit bir filtre maskesi uygulamak yerine, görüntüye farklı filtre yöntemlerinin uygulanmasına izin verdiği için daha iyi gürültü azaltma gerçekleştirebilirler (Gonzales ve Woods, 2002; Szeliski, 2010). Ancak “öğret ve oynat” gibi önceden programlama temelli robotlar, olumsuz çevre koşullarının olması, ark sıçramalarının meydana gelmesi, kaynak ısısından oluşan bozulmalar sebebiyle tam otonom kaynak robotlarının oluşmasını engellemektedir. Bu sebeplerden oluşan gürültü doğru bir şekilde görüntü işleme süreci oluşmasını engellemektedir. Çünkü çok değişken parametrenin olması öğrenme için çok fazla işlem yükü ve hesaplama maliyeti gerektirmektedir. Akıllı robotik kaynak sistemi üç temel bileşenden oluşur:

- 1) Kaynak dikişi, havuzunun izlenmesi ve karakteristiğinin çıkarılması,
- 2) Robot yörünge planlaması ve kontrolü,
- 3) Kaynak işleminin parametre kontrolü.

Burada görme işleminin iyi olması için görme sensörleri çeşitli şekillerde desteklenmektedir. Bu destekler aydınlatma elemanları, lazer şeritler vb. şekillerde gerçekleştirilir. Kaynak havuzunu, dikişi izleme ve profil oluşturma yöntemlerini optik algılama ve optik olmayan algılama yöntemleri olarak kategorize edilebiliriz. Görüş

algılama teknolojisi pasif görüş ve aktif görüş olarak ikiye ayrılabilir. Pasif görüşte, ışık kaynağı olarak ark kullanır ve görüntüleri bol miktarda bilgi içerir. Aktif görüş ise harici bir ışık kaynağı kullanılan yöntemdir. En popüler optik olmayan algılama yöntemlerinden biri, ark boyunca algılama yöntemidir (Pires, Loureiro, Bölmsjo (2006); Cook, Andersen, Fernandez, Shepard, Wells (1987); Fridenfalk, 2003). Optik algılama yöntemi, pasif görme veya aktif görme yöntemlerine göre daha detaylı kategorize edilebilir. Bu iki yöntem arasındaki fark, isteğe bağlı ışık kaynağının kullanımına dayanır. Aktif görüşte bir kamera cihazı ve bir ışık kaynağı kullanılırken, pasif görüşte bir ışık kaynağı olmadan iki kamera cihazı kullanılır. Pasif görüşte, kaynak ortamlarının karmaşık doğası nedeniyle, araştırmacılar tarafından çok çeşitli yöntemler önerilmiştir. Pasif görüş sistemi kullanılarak iki grup bilgi elde edilebilir:

- (1) Alternatif olarak aktif görüş kullanılarak elde edilebilen dikiş profili
- (2) Sadece pasif görüş ile elde edilebilen kaynak havuzu profili.

Bir seferde yalnızca bir nokta sağlayan aktif görüşün aksine, pasif görüş sistemleri bütünsel olarak dikiş yolunu elde etmek için kullanılabilir. Pasif görüş sisteminin görüntü ön işleme, dikiş profili oluşturma ve kaynak havuzu profili oluşturma için çok sayıda teknik önerilmiştir. Aktif görme sisteminde ise dikiş geometrik özelliklerini bulmak için üçgenleme kavramı uygulanmaktadır. Kaynak dikişinin görüntüsünü yakalamak için bir kamera ve bir ışık kaynağı cihazı kullanır. Aktif görüşte dikiş bulma basitçe iki göreve ayrılabilir: görüntüdeki lazer şeridini tespit etmek ve tespit edilen lazer çizgisinden dikişi tanımlayan özellik noktalarını çıkarmaktır (Muhammad ve ark., 2018).

Lazer çizgisinin takibi ile özellik noktaları çıkarılıp bu noktaların merkezleri alınarak kaynak çizgisinin merkezi ve kenarları bulunabilir. Böylece görüntü işleme algoritmaları daha kolay kullanılabilir. Örneğin bulunan noktaların belirli şablonlarla karşılaştırılması ile kaynak tipi kolaylıkla tespit edilebilir. Yine kaynak fotoğrafının işlenmeden direkt olarak bir ön işleme sürecinden sonra karşılaştırma ile tespiti gerçekleştirilebilir. Böylece hem aktif hem pasif görüş teknikleri kullanılabilir. Seçilecek görüş tipinin sistemin özelliklerine göre seçilmesi gerekir.

Yapılan kaynak tipine göre kullanılacak parametreler değişiklik gösterebilir. Kaynaklar başlıca I tipi, U tipi ve V tipi ve punta olmak üzere belirli tiplerde atılmaktadır. Şekil eşleştirme algoritması ile bu kaynak tiplerini bilgisayara öğretip anlık alınan kamera verilerindeki kaynak izlerini doğruluklarına karar verilmesi öngörülmektedir. Bu çalışmada punta şeklindeki kaynakların ne derece doğru yapıldığının tespiti için şekil eşleştirme algoritmasının kullanılması amaçlanmaktadır. Böylece kısa zamanda yüksek

oranlarda doğru işlenmiş veriler elde edilerek kaynak sürecinin başarı yüzdesinin yükseltilmesi öngörülmektedir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Akıllı Robotik kaynak konusunun imalat süreci için önemli olması sebebiyle bu konuda birçok araştırmacı çeşitli çalışma yapmıştır. Birçok algoritma önerilmiş ve geliştirilmiştir. Çeşitli parametreler incelenerek ideal kaynak değerlendirmesi yapılmaya çalışılmıştır.

Cook ve ark. (1987) yenilikçi bir şekilde şeritler ve ana hat arasındaki mesafenin çıkarılması gereken bir özellik olarak kabul etmiş ve dikiş tiplerini tespit etmek adına özellikleri sınıflandırmak için DVM kullanmışlardır.

Kaynak havuzunun algılanması işlemini kolaylaştırmak gri seviyeye indirgeme yöntemi kullanılır. Kaynak havuzu profillemeye için temel görev, havuz boyutsal özelliklerinin belirlenebileceği kaynak havuzunun kenarlarını tespit etmektir. Havuz kenarlarını tespit etmek için araştırmacılar tarafından Canny ve Sobel kenar algılamaları gibi geleneksel kenar algılama yöntemlerinin kullanımı da dahil olmak üzere çeşitli yöntemler önerilmiştir. Dikkate değer diğer bir teknik, havuzun sınırlarını kenarlar olarak elde etmek için kaynak havuzu görüntüsünün histogramını analiz eden histogram analiz yöntemleridir. Gri seviye işleme yöntemleri ayrıca piksel gri değerlerini ve komşuluğunu doğrudan değerlendirerek kenarları tespit eden bir başka yöntemdir (Gao, Na, 2005; Shen, Lin, Chen, Li, 2010; Ohshima, Morita, Fujii, Yamamoto, Kubota, 1992).

Kaynak robotu, kaynak havuzu ve dikiş durumu gibi belirli türdeki bilgileri doğru bir şekilde algılayarak, alüminyum alaşımının dikiş kalitesini gerçek zamanlı olarak tanımlayacak kadar "akıllı" olabilir. Dinamik kaynak işlemi sırasında, duyulabilir kaynak sesi, ark ışığı, kaynak akımı ve voltajı dahil olmak üzere çok sayıda bilgi türü serbest kalır. Bu parametrelerdeki anormal değişiklikler sayesinde kaynak esnasındaki sorunlar tespit edilebilir. Kovacevic ve ark. (1997), zayıf kaynak görüntülerini yakalamak için darbeli bir lazerle desteklenen yüksek deklanşörlü hızlı bir kamera tarafından Gaz Tungsten Ark Kaynağı (GTAK) 'nda görsel algılamaya dayalı olarak kaynak havuzunun algılanmasını ve kontrolünü araştırmıştır.

Artık kaynak robotlarının çoğu torç ucunu, kaynakçının ve tüm otomatik kaynak teknolojisinin yapmasının beklendiği birincil öğretim ve oynatma yöntemiyle torcu başlangıç noktasına yönlendirmektedir. İlk kaynak konumunu bağımsız olarak bulmak, otomatik kaynak işlemini gerçekleştirmek için anahtar teknolojilerden biridir. Gao ve ark. (2005), görsel servo kontrol yöntemiyle ilk kaynak pozisyonunun kılavuzluğunu araştırmıştır, ancak sapma 30 ila 50 mm arasında olduğundan üretim gereksinimlerini

karşılayamamaktadır. Chen ve ark. (2006), ilk kaynak konumunun kılavuzluğunu gerçekleştirmenin temeli olan adım Şablon Eşleştirme teknolojisini kullanarak görüntü düzleminde kaynak girişinin konumunu ve yönünü tanımlamıştır. Başlangıç kaynak pozisyonunun lokalizasyonu hala tüm akıllı kaynak prosesinin gerçek endüstride yaygın olarak kullanılmasını engelleyen durumlardan biridir.

Chen ve ark. (2008), bu parametrelerden yararlanarak Alternatif Akım (AA) kaynak gücünün kutup değişiminin ark ses basıncı ve sinyal frekansı enerjisinin temel kaynağı olduğunu bulmuştur. Önerilen sınıflandırma modeli kullanılarak yetersiz delme ve yanma durumunda dikiş kusurları belirlenmiştir. Ancak, kaynak atölyesindeki ortam gürültüsü yüksek ve belirsiz olabilir, bu da normalde karmaşık algoritma gerektirir ve endüstri uygulaması için zordur. Bu çalışmalardan anlaşılacağı gibi çeşitli parametreler kullanılarak çeşitli kaynak takibi yöntemleri geliştirilmektedir.

Ferreira ve ark. (2012), geleneksel robot programlamayı, manuel öğretim programlama ve çevrimdışı programlama olarak iki kısımda toplamıştır. Manuel öğretim programlamasında karmaşık ve uzun süreli bir eğitim süreci oluşur. Bu da verimi ve üretimi olumsuz etkiler. Aynı zaman da bu yöntem operatörün tecrübesi ve yatkınlığına bağlıdır. Çevrimdışı programlama, sanal bir ortamda robotun hareket yörüngesini simüle ederek programın oluşturulmasına dayanır. Çevrimdışı programlamanın prosesi önceden tanınması gerektiğinden uygulama esnasında hatalar minimuma indirilir. Kaynak dikişlerinin karmaşık şekli ve öğretilmesi gereken çok fazla yörünge noktası nedeniyle manuel öğretim programlaması verimi düşürür. Ayrıca kaynak yapılan parçaların üç boyutlu modelinin hassasiyeti yoksa veya düşükse çevrimdışı programlama uygulanamaz. Bu nedenle robotun "akıllı algılama" yeteneğine sahip olması gerekir.

Günümüzde dijital görüntülerin bilgisayar sistemleri ile işlenmesi, insan gözünün algıladığı renge benzer bir mekanizmaya dayanan üç boyutlu renk modelleri, Kırmızı-Yeşil-Mavi (KYM) gibi renk ölçekleri de renklerin sayısal ifadelerle tanımlanmasında kullanılmaktadır (Turgut ve Bağış, 2012). Çeşitli nedenlerle bu renk modelini gri düzeyine indirmek gerekebilir. Örneğin farklı görüntülerin histogramındaki dağılımı kaldırmamız gerektiğinde, bu görüntüyü gri seviyeye indiririz. Bir görüntüyü gri seviyeye indirgemek için en çok kullanılan yöntemlerden biri renk ölçümü sonucunda elde edilen kırmızı, yeşil ve mavi değerlerin aritmetik ortalamasının alınmasıdır. İkinci yöntemde ise ölçülen kırmızı, yeşil ve mavi değerleri kırmızı renk değeri için 0,299; Yeşil renk değeri için 0,587 ile mavi renk değeri için 0,114 katsayılarının çarpılmasıyla elde

edilen değerdir ($0,299*R+0,587*G+0,114*B$) (Horozoğlu, 2013). Bu yöntem genellikle “luma” olarak adlandırılır ve renk kanallarının ağırlıklı toplamını bulmaya dayanır.

Liu ve ark. (2015), veriye dayalı bir yöntem kullanarak otomatik işleme kontrol etmek için GTAK işleme sırasında kaynak akımı ve kaynak havuzu görüş sinyalini almıştır.

He ve ark. (2016), lazer yapısı ışığını bir Şarjlı Kaplin Cihazların (ŞKC) görüntüsü ile entegre eden bir görüntü sensörü kullanarak bir segment boşluğu ve kaynak havuzunun görüntülerini toplamıştır. Görüntü işleme sayesinde kaynak ortamında çeşitli yöntemler kullanılarak sonuçların alınabileceği görülmüştür. Özellikle lazer şerit yansıması kullanılarak süreksiz kısımların kaynak olarak işlenmesi yöntemi yaygınlaşmıştır. Bu çalışmalar ışığında bu çalışma ile tespit edilen kaynak noktaları ile bir kaynak yörüngesi hesaplanabileceği görülmektedir.

Kaynak robotunun hareketi kaynak yapılacak bölgeye doğru olduğundan araştırmacılar kaynak şeridinin pozisyonunu çıkarmak amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Mirapeixa ve ark. (2016), tarafından, lazer kaynak işleminde usibor boşluklarının dikiş kalitesini nicel olarak araştırırken, 396.15 nm'de Alüminyum-Titanyum Alaşımı (Al/Ti) emisyon hattı için hat-süreklilik oranı izleme özelliği olarak çıkarılmıştır. Böylece nicel olarak bir kaynak dikişinin ölçümü yapılmıştır.

Kaynak şeridinin görüntülenmesinin ardından çeşitli görüntü işleme algoritmaları denenmiştir. Soares ve ark. (2017), kenar özelliklerini çıkarmak ve kaynak dikişinin merkezini belirlemek için Hat Segment Dedektörü (HSD) algoritmasını kullanmıştır. HSD algoritması gri seviyeye indirgenmiş bir görüntüyü girdi olarak alıp belirlenen çizgileri liste halinde döndürür. Canny kenar bulma algoritması bu aşamada çoğu algoritmaya konu olmuş ve çeşitli kaynak tiplerinde denenmiştir. Xu ve ark. (2017), alın kaynak dikişlerine yönelik kaynak dikişi ve kaynak havuzlarının kenarlarını çıkarmak için bir Canny algoritması ile özellik çıkarma algoritması önermiştir. V şeklindeki (V-Tipi) kaynak dikişlerini izlemek ve özelliklerini çıkarmak için Guo ve diğerleri tarafından Canny ve Hough algoritması önerilmiş ayrıca Soares ve ark. (2017), tarafından HSD algoritması kaynak dikişinin merkezini çıkarmak için ani değişimleri kullanmıştır. Yine Jawad ve ark. (2018), V-şekilli kaynak dikişlerinin öznitelik noktalarını çıkarmak için geliştirilmiş Otsu algoritması ve çizgi algılama algoritması kullanılmıştır. Jin ve ark. (2016), boru sac kaynak dikiş merkezini çıkarmak için Otsu eşik bölütleme yöntemini ve Canny algoritmasını kullanmıştır.

Song ve ark. (2017), Al/Ti hat-yoğunluk oranı ve destek vektörü regresyonu aracılığıyla bir lazer katkılı üretim süreci sırasında Alüminyum (Al) konsantrasyonunu öngörmüştür. Bu çalışmalar Al tabanlı kaynakların ve bu çalışmalardan yola çıkarak nicel ölçümlere ışık tutmuştur. Fakat ortam şartlarının zorluğu bu algoritmaları çok olumsuz etkilemiştir.

Bu özellik çıkarma algoritmalarının yanında makine öğrenmesine dayalı algoritmalarda geliştirilmiştir. Bu algoritmalar özellikle çalışma süresi olarak daha kısa sürede sonuçlandırma yapabilmektedir. Fan ve ark. (2017), yenilikçi bir şekilde şeritler ve ana hat arasındaki mesafeyi özellik olarak kabul etti ve dikiş tiplerini tespit etmek için özellikleri sınıflandıran bir Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritması kullanmıştır.

Başka bir çalışmada Liu ve ark. (2017), yeni nesil akıllı kaynak robotları için makine algoritması ile insan zekası arasındaki füzyon araştırmıştır. Yine Liu ve ark. (2017b), insan kaynakçının 3D kaynak havuzu yüzeyine tepkisini çıkarmak ve otomatik kaynak görevlerini gerçekleştirmek ve bunu kaynak robotlarına aktarmak için çalışmıştır.

Calta ve ark. (2018), bir lazer tozu yatak füzyon işleminde bir eriyik havuzunun dinamik bilgilerini toplamak için bir senkrotron X-ışını görüntüleme sistemi geliştirmiştir. Ti-6Al-4-V için anahtar deliği gözeneklerinin oluşumu ortaya çıkmıştır. X-ışını görüntüleme, kaynakla ilgili daha fazla iç bilgi toplayabilir, ancak daha az çözünürlük sağlayıp, daha yüksek radyasyon ile işçilere zarar verebilmektedir. Bu çalışmalar kaynak izinin yakalanabileceğinin göstermiştir. Kaynak izinin tespit edilmesinden sonra bu izin görüntü sensörleri veya kameralarla algılanıp özelliklerinin çıkarılması amaçlanmıştır.

Jawad ve arkadaşları (2018), havuzun kenar sınırlarına karşılık gelen gri seviye atlamalarını (gri seviye değerlerinde ani değişiklik) kullanmıştır. Görüntünün merkezinden dışına doğru bir arama yapılır ve gri seviye atlamalı pikseller kenar pikseller olarak algılanır. Kenar çıkarma algoritmalarının yanında kaynak izinin çizgileri ile belirtilip bu çizgilerin merkezleri bulunarak kaynak takibi yapılmıştır. Yine alın kaynağı dikişlerine yönelik, Fan ve ark. (2019), alın kaynak merkezini ve lazer şeridini sırasıyla satır taraması ve sütun taraması ile çıkarmıştır. Buna başka bir örnek olarak Xue ve ark. (2019), tarafından dikiş merkezini çıkarmak için kesin bir Hough dönüşümü algoritması tasarlanmıştır. Yine, Fang ve ark. (2019), köşe kaynak dikişinin merkezini tespit etmek için iki aşamalı bir öznitelik çıkarma yöntemi önermiştir.

Sensör sistemi, akıllı kaynak robotlarının en önemli halkasıdır. Son yirmi yılda, bir dizi araştırmacı, farklı kaynak görevlerini uyarlamak için robot sensörlerini

geliştirmeye ve iyileştirmeye çalışmıştır. Yang ve ark. (2020), kaynak robotlarındaki yaygın sensörleri ark sensörleri, ultrason sensörleri, kızılötesi sensörleri, ses sensörleri, manyeto-optik sensörleri ve görüş sensörleri şeklinde sıralamıştır. Diğer sensörlerle karşılaştırıldığında, görüntü sensörleri temassız ölçüm ve yüksek hassasiyet özelliklerine sahiptir. Bu arada, kaynak ortamı hakkında çok fazla bilgi edinebilir. Bu nedenle, görüş tabanlı algılama, dikiş izleme, dikiş çıkarma, kaynak kalite kontrolü ve kusur tespiti gibi birçok kaynak görevinde yaygın olarak uygulanmıştır.

Otonom bir kaynak sisteminde görsel algılama ve görüntü işleme çok önemlidir. WANG ve ark. (2021), bir görüntü analiz algoritmasının, düz olmayan uç yüzler ve ışıklandırma gibi faktörleri kısıtlaması gerektiği vurgulanırken, makine görüşüne yönelik çabaların kamera kalibrasyonuna odaklanması gerekir. Çalışmalarında, işaretleme konumunu doğru ve hızlı bir şekilde tespit edebilen, demet inşaat demirleri için bir otomatik etiket kaynak robot sistemi önermişlerdir.

Pourasad ve ark. (2021), endüstriyel sistemlerin istikrarsızlığı ve endüstriyel ortamdaki zorluklardan dolayı, birçok araştırma da olduğu gibi sinir ağlarının kullanımına yönelmişlerdir. Birçok uygulama da bu algoritmanın sistemlerin sürdürülebilirliğini ve güvenilirliğini artırdığı görülmüştür. Bazı çalışmalarda da sinir ağları ve bulanık mantık kombinasyonu kullanılmıştır. Ancak bu yöntemlerle ilgili problemler ortamdaki değişikliklere karşı fazla duyarlılığı sebebiyle dezavantajları vardır.

Yine Pourasad ve ark. (2021), farklı bir yaklaşımla segmentasyon kullanarak kaynak bölgesinin boru gövdesinden ayırmaya çalışmış fakat gerçek kaynak koşullarında oldukça zor olmuştur. İdeal görüntülerde kaynak bölgelerinin yoğunluğu etrafındaki alanlara göre daha fazladır ancak gerçek görüntülerde iki kaynak bölgesinin (başlangıç ve bitiş bölgeleri) yoğunluğu neredeyse eşittir. Bu nedenle, kaynak görüntülerine bölütleme işlemi uygulamak ve eşik seçmek genellikle zordur. Geçmişte yapılan bölge büyütme yöntemlerinin ve kümeleme kullanımının bu durumu aşmak için kullanılamayacağını göstermiştir, çünkü etkin yöntemler hem maliyet hem de benzerlik kriterini iyi tanımlayamamıştır. Bu çalışmada yapılan kaynak işleminin ve arka planda kalan kek kalıbının kenarları çıkarılarak belirtilen sorunlar aşılmaya çalışılmıştır.

Kaynak dikişi profili için, kaynak dikiş bölgesinin karanlık özelliğini dikkate alan gri seviye dağıtım yöntemleri, Canny kenar tespiti ve daha sonra dikişin çıkarıldığı görüntüdeki kenarları çıkaran Sobel kenar algılama ve bir görüntüde bilinen bir deseni arayan Şablon Eşleştirme yöntemi dikişi tanımlayan önceden tanımlanmış şablon kullanılabilir.

Bu algoritmalar nazaran Şablon Eşleştirme algoritması daha az maliyetle etiketleme veya kaynak tespiti gerçekleştirebilir. Şablon Eşleştirme, diğer algoritmalar oranla daha az hesap işlemi gerektirip, daha az karmaşık ve daha kararlı olduğundan, nesne tanıma ve özellik çıkarmada yaygın olarak kullanılır. Cai ve ark. (2021), radyografik görüntüde gri seviyeye indirgeyerek iyileştirme ve Şablon Eşleştirme algoritmasına dayalı kaynak bölgesi çıkarımını gerçekleştirmiştir.

Zhou ve ark (2021), kaynak dikişi çıkarmanın genel algoritmasına göre, kaynak parçalarının geometrik şekil özelliklerine göre farklı dikiş çıkarma algoritmaları gerektiğini önermiştir. Üç boyutlu uzayda kaynak parçalarının yüzeyindeki sıralı nokta bulutu çıkarılıp dağılımları incelenir ve kaynak dikişini çıkarmak için dağılım yasası ile bulutun karşılık gelen geometrik karakteristikleri bulunur. Farklı kaynak türleri için, tek bir kaynak satırından sıralı nokta bulutu bilgisinin çıkarılır ve görüntüden özellik çıkarma adımları aynen uygulanır.

Literatür taramasında bu kısma kadar bahsedilen algoritmalar kaynak tozu, kaynak sıçraması ve ark gibi güçlü kaynak gürültüsü altında sağlamlık tartışmasından yoksundur. Bu bahsedilen sorunları dikkate alan Aydın (2021), bir başka algoritma olarak nesne için özel haar-cascade sınıflandırıcısı oluşturmuştur. Bu sınıflandırıcıyı oluşturabilmek için pozitif ve negatif toplam 630 adet fotoğraf verisi kullanılmıştır. Bu verilerden pozitif verilerin hepsi cep telefonu kameraları ile çekilmişken, negatif bazı veriler internetteki fotoğraflardan elde edilmiştir. Sınıflandırıcı oluşturma işleminde tam istenilen sonuca ulaşılmamıştır. Bunun nedeni, çok verimli bir sınıflandırıcı oluşturmak için 1000'den fazla negatif ve pozitif fotoğraf verisinin gerekli olmasıdır. Ayrıca bu verilerin farklı çevre koşullarında alınarak veri çeşitliliğinin sağlanması önemlidir.

Bu literatür taramaları sonucunda birçok görüntü işleme algoritmasının farklı şekillerde akıllı kaynak teknolojisi için kullanıldığı görülmektedir. Bu algoritmalar kaynak dikişinin doğru şekilde işlenerek otonom imalat sürecine katkıda bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar ışığında kenar bulma algoritmalarının veri kayıpları ve makine öğrenmesi algoritmalarının kaynak ortamının zorlu şartlarından fazla etkilenmesi sebebiyle görüntü işleme algoritmalarından olan Şablon Eşleştirme algoritmasının kaynak robotlarında kullanılabileceği kanısına varılmıştır ve bu amaçla bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çeşitli filtrasyon teknikleri ile olumsuz şartlardan dolayı oluşabilecek gürültünün egale edilmesi ile algoritma desteklenmiştir.

2.1. Görüntü Ön İşleme

$$K = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'teki filtre çekirdeği görüntü üzerinde gezdirilerek gürültü 5x5 şeklinde bir çekirdeğe örnektir. Burada belirlenen çekirdek matrisinin boyutu gürültü analizinde elde edilen değere ve detayların belirginliğine göre seçilmiştir. Bu adımda dikkate alınan hususlar, matris boyutu çok küçük tutulduğunda görüntü egale edilememiştir. Çekirdek matrisinin boyutu büyütüldükçe gürültü egale edilmiş fakat detaylar kaybolmaya başlamıştır. Bu sebeple matris boyutunun hem gürültünün istenen seviyeye indirildiği hem de istenen detayların kaybolmadığı boyutlarda tutulması gerekmektedir. Denklem 2.2'de K, NxN boyutlarında filtreleme için kullanılan çekirdek matrisini, I_R , kameradan elde edilen renkli görüntüye ait matrisi, I_R^I , filtreleme işleminin sonucunda oluşan yeni görüntü matrisini temsil etmektedir. Bu denklem her piksel değerinin filtreleme işlemi esnasında yeni yoğunluk değerinin nasıl hesaplandığını göstermektedir.

$$temp = \frac{N}{2} \quad (2.2)$$

$$I_R^I(x, y) = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N K(i, j) * I_R(x+i-temp, y+i-temp)$$

Filtreleme işlemi esnasında, I_R matrisinde negatif değerlerde hesaplamaya katılabılır. Bu durumda, ilgili indislere en yakın indisteki değer kullanılmaktadır. Örneğin, işlem sırasında $I_R^I(0,0)$ için $K(0,0)*I_R(-1,-1)$ ile çarpılırken matris içerisindeki en yakın değer olan $I_R(0,0)$ kullanılmaktadır.

Görüntü üç kanallı olduğu ve RGB renk uzayında çekildiği için filtreleme işleminden sonra renkli görüntünün, gri seviyeye indirilmesi adımı gelmektedir. Gri seviyeye indirme işlemine ait formül denklem 2.3'te gösterilmektedir. Denklemde, I_G grileştirilmiş yeni görüntü matrisini, I_{RK} filtrelenmiş görüntüdeki kırmızı değerini, I_{RY} yeşil değerini ve I_{RM}^I mavi renk değerini ifade etmektedir (Bradski ve Kaehler, 2008; Pratt, 2007).

$$I_G(x, y) = 0,299 * I_{RK}^I(x, y) + 0,589 * I_{RY}^I(x, y) + 0,144 * I_{RM}^I(x, y) \quad (2.3)$$

Gri görüntü üzerinde ise eşikleme uygulanmakta ve sadece ilgili nesnelerin bulunduğu bölgeler kullanılmaktadır. Eşikleme işleminde kullanılan en küçük (min) ve en büyük (max) değerler deneysel çalışmalar sonucunda belirlenir. Gri görüntüdeki piksel değerlerinin en küçük ve en büyük değerler arasında olup olmadığı karşılaştırılarak ikili görüntü için yeni bir değer ataması yapılır. Denklem 2.4'da, ikili görüntüler oluşturmak için kullanılan formül gösterilmektedir.

$$I_I(x, y) \begin{cases} 255 \leftarrow (I_G(x, y) \geq \min) \text{ ve } (I_G(x, y) < \max) \\ 0 \leftarrow \text{Uymayan Veriler} \end{cases} \quad (2.4)$$

Eşikleme adımından sonra sadece siyah ve beyaz renkleri içeren bir görüntü oluşturulur. Görüntüde siyah alanlarda istenmeyen beyaz noktalar, beyaz alanlarda istenmeyen siyah noktalar bulunmaktadır. Elde edilen ikili görüntü üzerindeki gürültüyü gidermek için filtreleme işlemi uygulanmaktadır. Filtreleme işlemi sürecinde girdi olarak verilen ikili görüntü üzerinde çekirdek olarak adlandırılan 3x3, 5x5 vb. kare matris kaydırılır. Filtreleme işlemi adımında, çekirdek matrisi ile ikili görüntüdeki piksel değerlerindeki komşu piksel değerleri kullanılarak görüntü güncellenir.

Görüntü ön işleme işleminin amacı gürültüyü azaltmanın yanı sıra görüntüdeki önemli bilgileri de korumaktır. Gürültünün oluşmasına farklı etkenler sebep olduğundan çeşitli gürültü türleri meydana gelmektedir. İyi bir filtrenin farklı gürültü türlerine uygulandığında başarılı sonuçlar vermesi beklenir. Gürültülü görüntü Denklem 2.5' teki gibi ifade edilir.

$$f(i, j) = g(i, j) + n(i, j) \quad (2.5)$$

Burada $f(i, j)$ görüntüye ait yoğunluk değerini, $n(i, j)$ gürültünün gri seviye değerini ve $g(i, j)$ pikselin gürültüsüz durumdaki yoğunluk değerini göstermektedir. Filtre g matrisindeki değerleri kaybetmeden gürültüyü giderecek şekilde tasarlanmalıdır. Görüntülerdeki gürültüyü azaltmak için birçok filtre yöntemi bulunmaktadır. Uzaysal düzlem görüntü filtreleri, doğrusal ve doğrusal olmayan filtreler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Genel olarak, doğrusal olmayan yöntemlerde, filtre maskesindeki piksellerin yoğunluk değerlerinin belirlenmesi sırasında istatistiksel yöntemler kullanılarak filtrelenmiş görüntü oluşturulmaktadır. Doğrusal yöntemlerde ise filtreleme, filtre maskesinin tüm piksellere ayrı ayrı uygulanmasıyla gerçekleştirilir (Değirmenci ve ark., 2018).

Elde edilen görüntülerdeki gürültü, istenmeyen verilerin yok edilmesi ve ilgilenilen verilerin tutulması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu sayede

kullanılacak görüntünün sağlıklı sonuçlar vermesi amaçlanmaktadır. Örneğin gürültü içeren görüntüye uygulanacak çeşitli filtreler sayesinde gürültü egale edilir ve böylece algoritma daha doğru sonuçlar verebilir. Bu işlemler yapıldıktan sonra, görüntü üzerinde ilgilenilen nesnelere daha net ve kolay işlenebilir hale getirilir. Filtre uygulama adımında, görüntü üzerindeki tuz-biber gürültülerinin egale edilmesi ve gereksiz detayların azaltılması sağlanır. Kameradan alınan görüntü matrisi üzerinde, 3x3, 5x5 gibi küçük bir çekirdek matrisin kaydırılması sonucunda filtreleme işlemi gerçekleştirilir. En uygun çekirdek boyutu tespiti, bu boyutları görüntülere deneme yanılma yoluyla uygulayarak elde edilebilir (Solak, Altınışık, 2018). Çalışmada, 5x5 boyutlarında çekirdek matrisi kullanan, ortalama filtreleme yöntemi kullanılmaktadır. Çekirdek matrisin boyutlarının büyük seçilmesi, görüntü üzerindeki gürültüleri azaltırken, bulanıklaştırmada yapmaktadır.

Tuz ve biber gürültü tipinde doğrusal filtre kullanılması gürültünün işlenen pikseller üzerindeki etkisini azaltmakla birlikte gürültüsüz piksellerdeki bilgilerin dağılmasına sebep olduğundan bilginin bozulması yol açmaktadır. Bu nedenle tuz ve biber gürültüsünün egale edilmesi işleminde doğrusal filtreler yerine doğrusal olmayan filtreler kullanılmaktadır. Çünkü doğrusal olmayan filtreler sayesinde uç değerler kolaylıkla giderilebilmektedir. Filtre penceresi içindeki bölgelerdeki piksellerin en küçük yoğunluk değerini işleyen minimum filtre tuz tipindeki gürültülerde iyi sonuçlar vermektedir. Uygulandığı bölgedeki piksel değerine en büyük yoğunluk değerinin atandığı maksimum filtre ise biber tipindeki gürültülerde iyi sonuçlar vermektedir. Fakat minimum filtreler biber gürültüsünde, maksimum filtre ise tuz tipi gürültülerde başarılı sonuçlar verememektedir. Ortalama filtre ise tuz-biber dahil birçok gürültü tipini azaltmak için sıklıkla kullanılan doğrusal olmayan filtrelerden biridir. Ortalama filtre, Denklem 2.6'daki gibi ifade edilir.

$$y(i, j) = \text{median}\{x(m, n), (m, n) \in w\} \quad (2.6)$$

Burada w çekirdek boyutuna bağlı olarak komşuluk piksellerini belirtmektedir ve bu boyut uygulama özelinde değiştirilebilmektedir. Ortanca filtre, bir pikselin komşuluğundaki piksellerin yoğunluk değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanması ve ortanca değer işlenen pikselin yoğunluk değeri olarak atanması şeklinde çalışır. Bu sayede maksimum ve minimum değerlerin filtre çıkışı etkilemesi engellenir ve tuz biber gürültüsü gibi anlık yüksek veya düşük değerlerin filtre çıkışına yansımaları önlenir. Maksimum ve minimuma yakın değerler, yani gürültülü pikseller sıranın başında veya

sonunda bulunacağından ve ortalama değer filtreleme sonucunu oluşturacağından uç değerlere sahip yoğunluk değerleri elenir. Bu nedenle, medyan filtre, tuz ve biber gürültüsünü veya dürtü gürültüsünü ortadan kaldırmada oldukça etkilidir. Medyan filtrenin bir diğer faydası da filtreleme sonucunda oluşan gürültüyü azaltarak görüntüdeki detayların korunmasını sağlamasıdır (Değirmenci ve ark., 2021).

2.1.1 Görüntü işleme filtreleri

Görüntü işleme filtreleri ile gürültü, görüntü iyileştirme gibi sık karşılaşılan problemlerin çözümü sağlanmaktadır. Bu sorunlara çözüm sağlamak amacıyla aşağıda gruplar halinde açıklanan özgün görüntü işleme filtreleri geliştirilmiştir.

2.1.1.1. İyileştirme filtreleri

Bu filtrelerden bazıları görüntüdeki ışık ve aydınlatma koşullarını düzenlemek için geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak parlaklık, kontrast düzenleme, histogram tabanlı filtreler, düşük ışık geliştirme, yansıyan ışığı giderme, renk bilgilerini korurken kontrast geliştirme ve sis giderme filtreleri verilebilir. Bunların dışında görüntünün görsel özelliklerini düzenlemek için keskinleştirme, mercekle bozulması ve bindirme hataları için filtreler geliştirilmiştir.

2.1.1.2. Onarma filtreleri

Doğrusal ve doğrusal olmayan gürültü giderme filtreleri onarma filtreleri başlığının altında bulunmaktadır. Gürültünün yerel istatistiksel bilgilerine dayalı mekansal filtreler ve dalgacık dönüşümü gibi dönüşüm tabanlı filtreler geliştirilmiştir. Periyodik gürültü giderme filtresi de bu gruba dahildir.

2.1.1.3. Bulanıklık giderme filtreleri

Hareket ve odak bozukluğundan kaynaklı bulanıklığa çözüm olarak geliştirilen filtrelerdir. Ayrıca, bulanıklık modelinin kestirilerek çözüm sunulan yöntemler tasarlanmıştır.

2.1.1.4. Ara değerleme filtreleri

Temel ara değerleme yöntemleri sunulmaktadır. Ayrıca kenar uyarlamalı ve çekirdek tabanlı yöntemler geliştirilmiştir.

2.1.1.5. Sıkıştırma hatası giderme filtreleri

Özellikle BFUG hatasıyla yoğun olarak gözlendiği için BFUG hata onarma filtreleri sunulmaktadır.

2.1.1.6. Temel filtreler

Renk uzayı, renk ayrıştırma, iç boyama filtreleri, vb. filtreler uygulamalara eklenmiştir.

2.1.1.7. Video filtreleri

Yukarıda listelenen tüm filtreler video verilerine de uygulanabilir. Bunların dışında video verileri için özel olarak tasarlanmış video sabitleme ve süper çözünürlük yöntemleri tasarlanmıştır (Mendi, Kahraman, Hüroğlu, 2015).

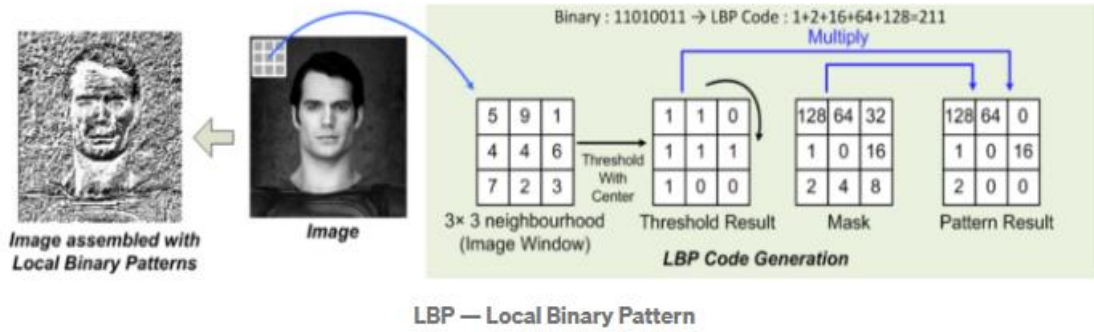
2.2. Şablon Eşleştirme

Görüntü işlemede; bir parçayı, o parçanın çıkarıldığı bütün resimden bağımsız bir şekilde değerlendirip içeriğinde yer aldığını tespit edebilmek için birden çok yaklaşım ve yöntem yer alır. Nesneyi temel düzeyde tespit edebilme yöntemlerinden biri de Şablon Eşleştirme işlemidir.

Zhu ve ark. (2000), ilk kaynak konumunun kılavuzluğunu gerçekleştirmenin temeli olan adım Desen Eşleştirme teknolojisini kullanarak görüntü düzleminde kaynak kirişinin konumunu ve yönünü tanımıştır. Bu yazıda, geliştirilmiş Şablon Eşleştirme yöntemi kullanılarak doğrudan alüminyum alaşımının ilk kaynak konumunu tanınmıştır.

Şablon Eşleştirme yöntemi ile kaynak görsel üzerinde aranan şablon, Kayan Çerçeve yöntemi ile taranır. Şekil 1.1'deki gibi şablon kaynağa (0,0) koordinatlarında yerleştirilir ve tüm pikseller ayrı ayrı kaydırılarak eşleştirilir, belirlediğimiz benzerlik yöntemine göre

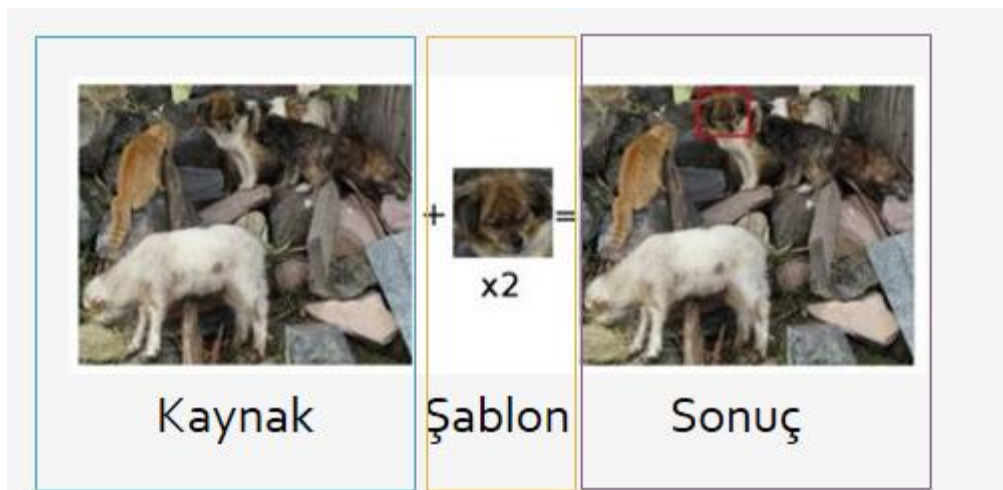
bir benzerlik oranı oluşturulur. Eğer kaynak görüntümüzdeki pikseller ile mevcut döndürülen şablonun piksel değerleri benzerse, o pikselleri çıktı olarak döndürür. Belirlenen eşik değeri sayesinde algoritma sonuçları daha seçici ve doğru olarak elde edilebilir.



Şekil 1.1. Şablonun Görüntü Üzerinde İşlenmesi

Bu yöntem kaynak görüntüde aranan kırılmış görüntüyü piksel yoğunluk değerine göre tespit eder. Bir pixelin etrafındaki piksellerin yoğunluk değerlerine göre oluşan ikili örüntülerden çıkarılır ve bu örüntüler üzerinde işlemler gerçekleştirilerek nesneyi arama işlemi yapar.

Kaynak görüntüde aranan kırılmış görüntüyü piksel yoğunluk değerine göre tespit eden bu yöntem, pikselin etrafındaki piksellerin yoğunluk değerlerine göre oluşan ikili örüntülerden çıkarılır ve bu örüntüler üzerinde işlemler yapılarak nesne aranır.



Şekil 1.2. Şablonun Görüntüdeki Sonucu

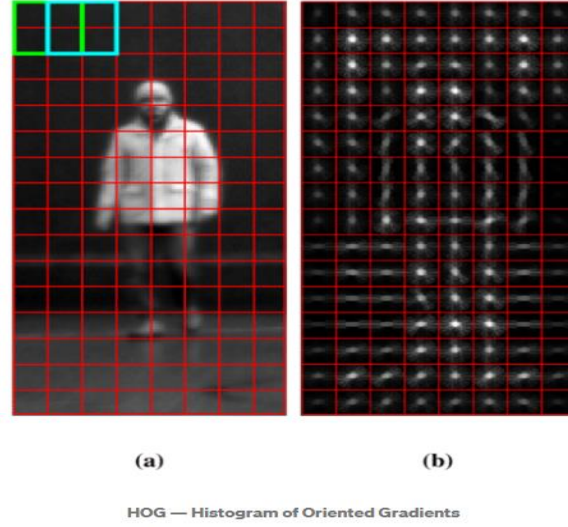
Şekil 1.2’de, kaynak görüntüde yer alan hayvanlar, bir köpeğin yüzünün kırıldığı şablon olarak kullanıldığı kaynak görüntüsü olarak alınmıştır. Kaynak değiştirilirse, aynı köpek farklı ışık açısı, farklı poz veya farklı bir zemin üzerinde olursa sonuç yukarıdaki kadar başarılı olmayacaktı. Benzerlik bulunması için piksellerin belirtilen bu özelliklerinin birbirine çok benzemesi gerekir.



Şekil 1.3. Şablonun Görüntüde Gezdirilmesi

Şekil 1.3’te gösterildiği gibi, kaynak üzerinde şablon aranırken, (0,0) koordinatlarına yerleştirilerek tüm matris elemanları soldan sağa ve yukarıdan aşağı kaydırılarak taranır. Kayan pencere aramasının amacı, şablonla aynı boyut ve görüntü öğelerine sahip bölgeyi bulmaktır.

2.1.1.Yönlendirilmiş gradyanların histogramı



Şekil 1.4. Şablonun Pikseller Üzerindeki Benzerlik Oranlarına Sonuçları

Yönlendirilmiş gradyanların histogramı yönteminde ise Şekil 1.4'teki gibi benzerlik oranının yüksek olduğu piksellerin kontrast yönelimi çıkarılarak nesne ayrımı yapılabilmektedir (Aslıhan, 2020).

Bu şekilde görüldüğü üzere piksellerin birbirine olan benzerlik oranlarına göre ve bu oranları bir eşik değerler seçilmesiyle fotoğraftaki nesnelere belirlenebilir. Eşik değeri gereksiz bilgi içeren piksel benzerliklerini egele etmeye ve sonuçları doğru bulmayı sağlamaktadır.

2.2.1. Tipik şablonu örnekleme

Yaşar ve ark. (2019), ilk kaynak konumunun koordinatlarını, kaynak işlemi başlamadan önce hesaplayıp, şablonu doğrudan orijin görüntüsünden örneklemiştir. Önce Denklem 3.1'e göre kaynak noktalarının IA'nı bulduktan sonra şablon (0,0) noktasına yerleştirilip eşleştirme işlemine başlanabilir. Bununla birlikte, ışık kaynağı ve çalışma ortamının zamanla değişmesi ilgili bölgenin karakteristik değişikliklerine neden olabilir. Aynı şablon kullanılarak her taramada kesin sonuçlar elde edilemeyebilir. İlgili bölgenin tüm yapısının değişmediğini varsayarak, ön bilgilere göre şablonu örnekleme için tipik bir görüntü seçilir. Şablon, bir tür kaynak dikişinin tüm ortak özelliklerine sahip olmalıdır.

Kaynaklı alan ölçümleri yukarıda belirtildiği gibi yapılmış ve her numunenin ölçüm sonuçları belirlenmiştir. Ölçüm algoritması kullanılarak sayısal değerler elde edildi. Bu işlemde sonra kaynak yapılan bölge ile tüm yüzeyin renk benzerliği araştırılmıştır. Ancak ölçüler her kaynaklı iş parçası için yapılır ve diğer iş parçalarını içermez. Benzerlik oranlarının yüzdelik dilimleri, Denklem 2.10 kullanılarak belirlendi.

$$\mathbf{Benzerlik(\%)} = \frac{\mathbf{Tüm\ Bölgelerin\ Ölçüm\ Değeri}}{\mathbf{Kaynaklı\ Bölgenin\ Ölçüm\ Değeri}} * \mathbf{100} \quad (2.10)$$

Benzerlikler hesaplandıktan sonra, aralıkların belirlenmesi ve öznel değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. Bu değerlendirmeler, renk ölçümleriyle birlikte kullanılarak sonuçların doğruluğunu artırabilir. Bu değerlendirmeler sonucunda eşik değeri seçilip hangi seviyenin üstündeki benzerliklerin alınacağı belirlenmiştir.

Benzerlik oranı tespit edildikten sonra sonuçlar eşik değeri ile karşılaştırılarak belirlenen eşik üzerinde olup olmaması durumuna bakılmıştır. Eşik değerinden büyük olan değerler etiketlenip, eşik değerinin altında kalan değerler elenmiştir. Bu durum kaynak işlemi kötü olan kısımları tespit edip sorunun tespiti için kullanılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Servo Motorlar

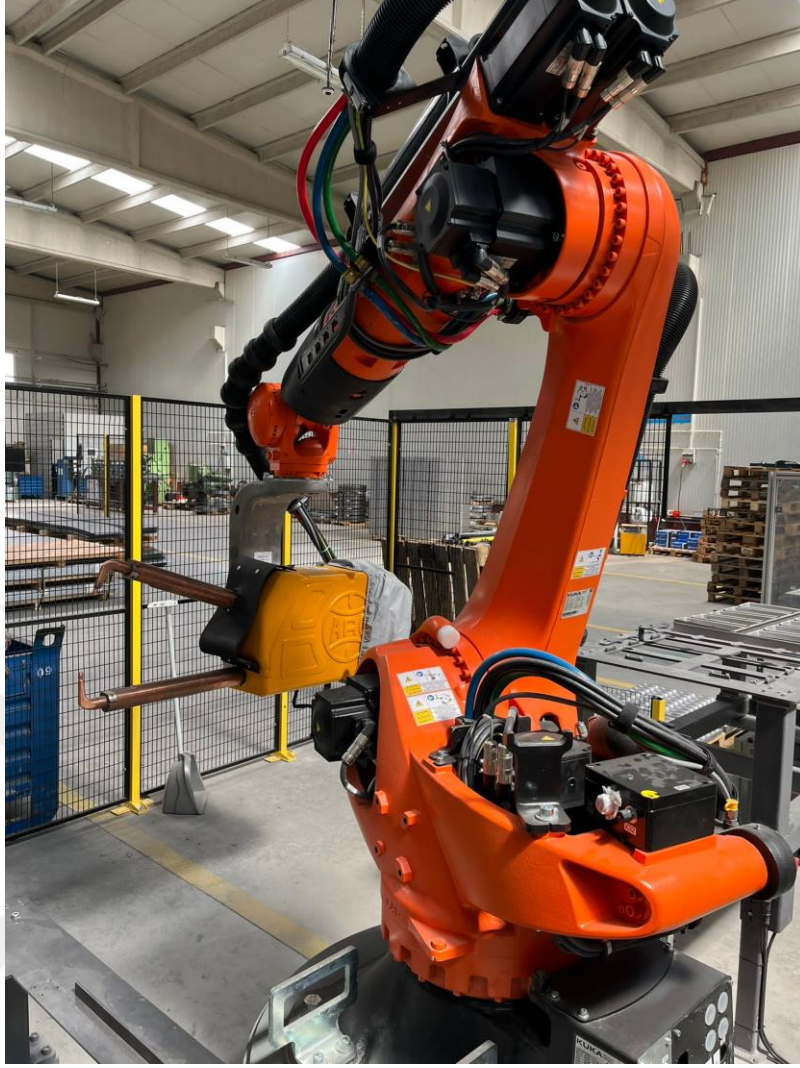
Servo motorlar, çok yüksek hızlara çıkabilen ve yüksek pozisyon kontrolü sağlayabilen motorlardır. Bu özellikleriyle geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Robotikte en çok kullanılan motor çeşididir. Yine yüksek pozisyon kontrolü özellikleri sayesinde radar sistemleri, nümerik kontrollü makine sistemleri, otomatik kaynak makineleri, basınç makineleri, paketleme makineleri, ambalaj makineleri, yüksek hızlı çip yerleştiricileri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Servo motorlar özellikle kaynak robotuna yörünge hesaplayarak hareket komutu veren algoritmalar için vazgeçilmezdir.

3.2. Deney Düzenegi

Öznitelik çıkarma algoritmasının uyarlanabilirliği, sağlamlığı ve doğruluğu, gerçek kaynak koşulları altında doğrulanır. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilen deney sistemi, KUKA kaynak robotu, Fronius CMT kaynak güç kaynağı ve kamera gibi kullanılan ekipmanları içermektedir.



Şekil 3.3. Kaynak Robotunun Görüntüsü



Şekil 3.4. Torç Ucu ve Eklemlerin Görüntüsü

3.2.1. Algoritma sağlamlık doğrulaması

Bu uygulamada kullanılan görüntüler kaynak yapıldıktan sonra kameralar yardımıyla toplanmıştır. Algoritma, sağlamlığını doğrulamak için kaynak gürültüsü kaynak noktalarının bulunduğu görüntüye uygulanır. Filtreleme kullanılmasıyla, gürültüyü makul bir şekilde filtreleyebilir ve doğru kaynak görüntüleri elde edebilir. Bu nedenle, noktalar ark, kaynak sıçraması ve bağlantı yansıması gibi kaynak gürültüsünden olumsuz etkilendiğinde, algoritma Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterildiği gibi iyi bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla algoritma, ark sıçraması ve kaynak sıçraması durumlarında çalışmaya devam edebilir.

3.3 İA Seçimi ve Kenar Bulma

Gerçek endüstriyel üretimde birçok kaynak dikişi çeşidi vardır. Yang ve ark. (2020), morfolojik görüntü işlemeye dayalı dikiş çıkarma yöntemi her zaman belirli bir kaynak dikişi için tasarlanmıştır. Farklı dikiş türlerinin dikiş çıkarma işlemini gerçekleştirmek için, özellik çıkarma algoritması farklı kaynak dikişlerinin şekil özelliklerine göre düşünülmelidir. Bu nedenle, algoritma esnekliği nispeten zayıftır. Bu arada, birçok görüntü morfolojik işleme adımıyla karşı karşıya kalındığında, dikiş izlemenin gerçek zamanlı performansı düşecektir. Ayrıca alüminyum ve alaşımları çelikten farklıdır; görünür ışığı tüm dalga aralığında yansıtır ve bu literatürdeki birçok algoritmayı devre dışı bırakır.

Bu çalışma için alınan görüntülerde yapılan kaynağın türü de şablon eşleştirme algoritmasını diğer görüntü işleme algoritmalarından ayırmıştır. Çünkü punta şeklinde yuvarlak olarak atılmış kaynakların benzerliği şablon eşleştirme algoritması ile kolayca tespit edilebilecek şekildedir. Şablonun görüntülerdeki özellikleri içermesi gerekir. Bu tür kaynakların birbirine benzemesi algoritma seçiminin Şablon Eşleştirme olarak belirlenmesinde önemli rol oynamıştır.

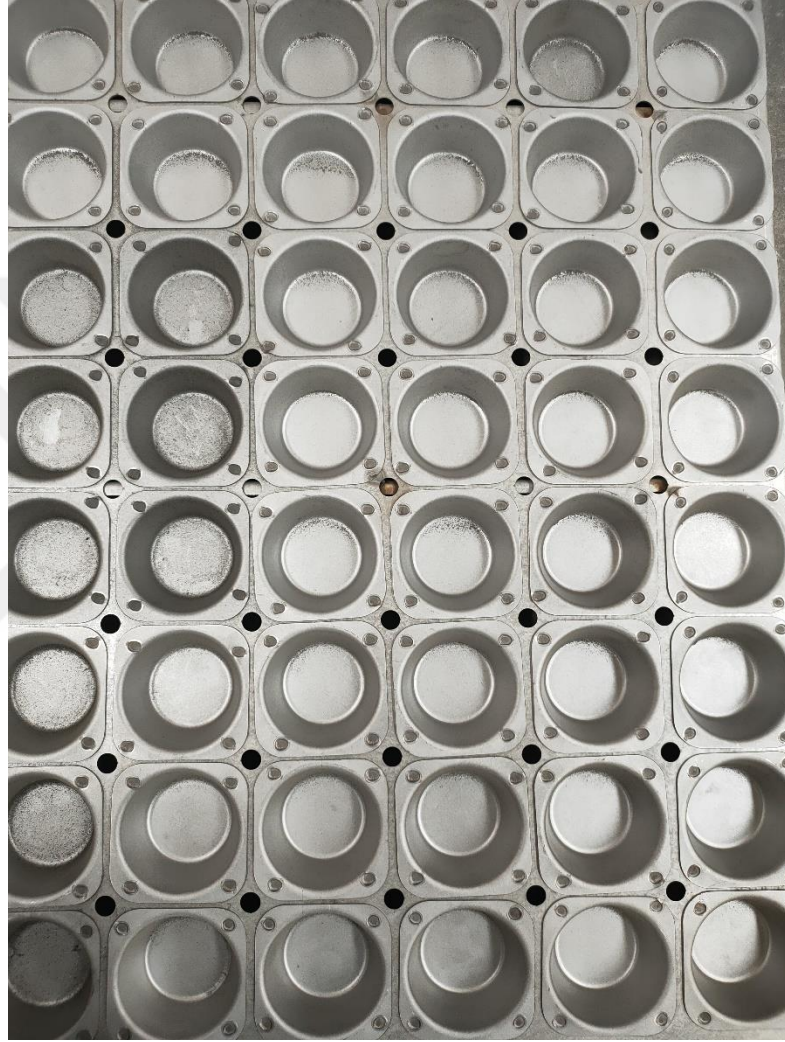
Wang ve ark. (2021), ana işlevi demet halindeki demir ve çelik çubukların olduğu bir görüntüde kaynak yapılabilir noktaların koordinatlarını elde etmek, bu demetteki donatıların sayısını hesaplamak ve etiket deliklerinin koordinatlarını bulmak için Şablon Eşleştirme'ye dayalı bir algoritma önermiştir. Bu çalışmada da kaynak yapılmış bir bölgenin koordinatlarını hesaplamak ve bu bölgedeki kaynağın doğruluğuna bulmak amacıyla şablon eşleştirme algoritmasına başvurulmuştur. Ayrıca etiketlenen kaynak izlerinin koordinatları da bu şekilde bulunabilir. Bu şekilde birbirine benzeyen nesnelere için kullanılacak uygulamalarda Şablon Eşleştirme isteği karşılayabilmektedir.

Yapılan malzemeler alüminyum-nikel karışımı kek kalıplarıdır. Yapılan işlem özetle kaynak kek hamurunun gireceği kalıbın tava şeklindeki boşluklu malzemeye kaynatılması işlemidir. Bu kalıplar tavaya dört köşesinden kaynatılarak yapılmaktadır. Örnek olarak alınan görüntüler, Python yazılım dili ortamında bu dile entegre olan OpenCV (Open Source Computer Vision) adlı açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi kullanılarak Şablon Eşleştirme algoritmasıyla işlenmiştir.

Kaynak noktalarının tespiti için örnek şablon kullanılarak kaynak noktaları belirlenebilir. Her kaynak birbirine benzediğinden öğretilen şablon sayesinde tespit işlemi

zor olmamaktadır. Ancak kaynak noktalarının koordinatları farklı olduğundan tespit işlemi için bir engel teşkil edebilir. Bu noktada ön işleme sürecine tabi tutulan ve gürültüsü yok edilen görüntünün İA 'nı buna göre belirlenmiştir.

Şekil 3.1'de kek kalıplarının tavalara nasıl punta kaynak ile tutturulduğu gösterilmektedir. Kalıplar tavaya dört köşesinden kaynatılmaktadır.



Şekil 3.1. Kek Tavalarının Görüntüsü

Bu resmin bu haliyle yapılacak görüntü işleme hem sağlıklı sonuç vermeyecek hem de çalışma süresi çok daha uzun olacaktır. Bu nedenle görüntünün çeşitli bölgelerine dağılmış kaynak noktalarını daha kolay tespit etmek için görüntüden İA bölgesi seçilerek kaynak noktasının arandığı kısım daraltılır. Böylece diğer kaynak noktalarının bulunduğu kısımlar göz ardı edilerek daha kolay tespit işlemi gerçekleştirilebilir. Şekil 3.2'de İA ile daha küçük bir bölgeye odaklanılmış görüntü görülmektedir.



Şekil 3.2. İA ile Elde Edilen Görüntü

Xiao ve ark. (2019), tarafından yapılan çalışmada ise İA seçimi kaynak dikişine yansıtılan lazer şeritinin kalınlığı ve yüksekliği kapsanacak şekilde formülize edilmiştir. Lazer şeridinin iki süreksizlik noktası kaynağın kenarlarıdır. Dikiş ve süreksiz kaynak dikişinin merkezi olarak ifade edilir. Bu yazıda kaynağın süreksizlik noktalarına kenar bulma sayesinde odaklanılıp, görüntü çeşitli ön işleme süreçlerine tabi tutulup kaynak tespiti gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Alın kaynağı dikişi örnek olarak alınırsa, süreksiz kaynak dikişi tespiti ayrıntılı olarak şu şekilde tarif edilmiştir:

1) İA seçimi; özellik çıkarmadan önce sırasıyla lazer şeritleri ve kaynak dikişleri dahil olmak üzere iki İA seçilmesini önermiştir. Şablon olarak seçilen görüntünün sadece kaynak tipini içermesi İA seçimine çok yardımcı olabilir. Böylece görüntüde sadece kaynağın olduğu bölgeye daha çabuk odaklanılabilir.

$$\begin{cases} x = x_0 / 4 \\ y = y_0 + h / 2 - w \\ w = x_0 / 2 \\ h = 2 * w \end{cases} \quad (3.1)$$

(x, y) kaynak dikişi İA'nın sol üst köşesinin görüntü koordinatları; (x₀, y₀) Lazer şerit İA'nın sol üst köşesinin görüntü koordinatları; (w, h) kaynak dikişi İA'nın genişliği ve yüksekliği; h lazer şerit İA'nın yüksekliği; w kaynak dikişinin genişliğidir.

2) Kaynak dikiş kenarlarının çıkarılması: Kenar çıkarmadan önce, görüntünün ortalama gri değeri bir eşikten düşükse orijinal görüntüyü geliştirmek için logaritmik dönüşüm ve normalleştirme kullanılır. Canny kenar bulma algoritması kullanılarak görüntüdeki yüksek frekans geçişleri tespit edilerek kenarlar bulunabilir. Kenar kriterlerini karşılayan noktalar, kesin kenar noktaları olarak korunabilmektedir.

3) Kenar denklemleri uydurma: İki kenardaki noktaların gradyanları zıttır. Bu nedenle kolayca ayırt edilebilirler. Bu gradyanlar önce yatayda ve dikeyde birinci türev alınıp ani piksel değeri değişimlerinin olduğu bölgeler kenar olarak adlandırılarak tespit edilir. Daha sonra belirlenen eşik histerezisleri ile kenarlara eşikleme işlemi uygulanarak istenilen kenarlar tutulur.

3.4 Görüntü Ön İşleme Prosedürü

Görüntü işleme ve Şablon Eşleştirme işlemlerinden önce, görüntü iyileştirme ve gürültü giderme adımları yaygın uygulamalardır. Bu, kaynak sırasında ark parlamalarından, kaynak dumanından ve sıçramalardan dolayı çok fazla gürültü olduğundan robotik kaynakta önemli bir adımdır. Aynı tip kaynak dikişlerinin ortak karakterlerini çıkarmak için, görüntüye karışan gürültülerden kurtulmak için görüntü ön işlemeye tabi tutulmalıdır. Bu adımın önemi alınan görüntülerde gürültü tespit edilmesinden dolayı artmıştır. Immaker (1996), çalışmasında görüntülerdeki gürültüyü tahmin etme amacıyla uyguladığı yöntem ile gürültüler tespit edilmiştir. Bu yöntem gürültü varyansını tahin etmek için gri seviyeye indirgenmiş görüntü ile belirlenmiş bir maske matrisinin 2 boyutlu konvolüsyonunun bulunmasına dayanır. Ön işlemeyen sonra görüntüyü, görüntü yumuşatma, piksel parlaklık dönüşümü ve aşındırma prosedürleri gösterir. Yapılan literatür taramasından elde edilen çıkarımlardan biri de alınan görüntülerin gürültüleri ve istenmeyen verilerini eale etmek için görüntü ön işleme uygulanmasıdır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar çeşitli filtreler aracılığıyla bunun yapılabileceğini göstermiştir. Kaynak ortamı çok karmaşıktır; yüzeyin düzgün olmaması (çentik, oksidasyon tonu, yağ lekesi ve işaretleyici vb.), ark etkisi vb. gibi birçok gürültü oluşturan etken vardır. Bu sebeple öncelikle bu etkenlerden oluşan gürültünün ön işleme yöntemleri ile giderilmesi gerekmektedir. Ön işleme yüksek frekanslı gürültüyü bastırmak için görüntüye Gauss filtresi, Medyan filtresi, Laplacian filtresi gibi filtre kombinasyonları uygulamaktan ibarettir. Böylece resimdeki gürültü giderilerek istenen veriler daha kolay işlenebilmektedir (Fang, Xu, Tan, 2013; Kong, Shi, Chen, Lin, 2007).

Fu ve ark. (2009), kaynak ortamındaki gürültünün genellikle tuz-karabiber kaynaklı bir gürültü olması nedeniyle, girdiyi iyileştirmek için medyan filtrasyon önermiştir. Giriş görüntüsü üzerinde herhangi bir işlem gerçekleştirmeden önce görüntüye medyan filtre uygulanır. Medyan filtrelemenin ana avantajları, daha verimli olması, beyaz ve uzun iz gürültülerini filtrelemede iyi performansa sahip olmasıdır.

Görüntü kalitesini iyileştirmek için morfolojik bir filtre kullanılarak daha fazla filtreleme kullanılmıştır. Sung ve ark. (2009), Medyan filtrelemeden sonra, gürültüyü bastırmaya yardımcı olan erozyon ve dilatasyon maskesi ile ek bir filtreleme yapılmıştır.

Lee ve ark. (2014), tarafından bir Gauss filtresi ile görüntünün filtrelenmesi de benimsenmiştir. Gauss filtresinin görüntüyü yumuşatarak yüksek frekanslı gürültüyü bastırarak detayları azalması nedeniyle, bu filtreleme stratejisini kaynak görüntüleri ile kullanmak araştırmacılar arasında çok popüler değildir. Ancak bazı araştırmacılar, daha büyük çekirdek boyutuna sahip bir Gauss filtresinin kullanılmasının görüntüyü iyileştirebileceğini iddia etmiştir. Medyan filtresi ve Gauss filtresinin kullanımı üzerine oluşturulan yakın tarihli bir karşılaştırma çalışması, medyan filtresinin daha iyi iyileştirme etkisi sağlayabileceğini göstermiştir.

Jawad ve ark. (2017), Medyan filtrelemeden sonra erozyon, genişleme, kapama ve açma filtrelerinin kullanımı üzerine yapılan bir karşılaştırma çalışması, kapama filtresinin daha iyi performans sağlayabileceğini göstermiştir.

Kaynak gibi endüstriyel ortamda yer alan dinamikler nedeniyle, medyan ve Gauss filtreleri gibi geleneksel filtrelerin kullanımı birçok araştırmacı arasında her zaman geçerli olmamıştır. Pousarad ve ark. (2021), farklı görüntüler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ve farklı koşullarda kaynak incelemeleri sonucunda, medyan filtre kullanımının Gauss filtresinden daha iyi olduğuna kanaat getirmiştir. Orta filtrenin, piksel yoğunluklarındaki anlık değişimlere karşı Gauss filtresine göre oldukça dirençli olduğu söylenebilir. Bender ve ark. (2021), tarafından, ark ışınmasını görüntüleme kullanarak kaynak dikişini tespit etmek için, algoritmanın önceki yöntemlerine benzer şekilde, orta filtre (medyan) kullanmayı, manuel eşiklemeyi, küçük alanların çıkarılması, kenar algılamayı önermiştir. Pourasad ve ark. (2021), kaynak parçasının yüzeyi taranıp sıralı nokta bulutu çıkarıldıktan sonra, görüntü ön işleme uygulanmalıdır. Taranan noktalar birbirine ne kadar yakınsa bölgedeki olası bilgi o kadar fazladır. Dağınık noktalar içerdikleri bilgiler küçük olduğundan göz ardı edilebilir veya gürültü olarak kabul edilebilir. Çünkü çok fazla gereksiz nokta ve gürültü içermektedir. Doğrudan geçiş filtreleme yöntemine dayalı olarak İlgilenilen Alan (İA) çıkarılmıştır ve aykırı değerler

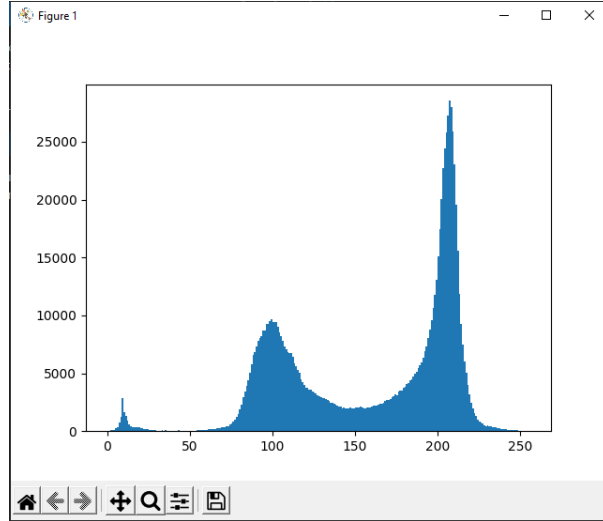
Gauss filtreleme yöntemi kullanılarak kaldırılmıştır. Gauss filtresi, bir nokta bulutunun yoğunluğunun belirli bir eşik değerinin altında olması durumunda, bu bölgeyi egale etmek için kullanılır. Bu sayede gereksiz işlem yükünden kurtulmuş olunur.

Önerilen yöntemlerden biri olan kenar belirlemede de amaç, göz ardı edilebilecek veya tarama esnasında zaman kaybettirebilecek bilgiyi egale etmektir. O'Malley (2005), görüntülerde kenar belirlemek için bir noktadaki birinci dereceden türev alınmasını önermiştir. Yine karanlıkta ya da ışık tarafında uzanan ikinci türev bir noktanın kenar piksellerini algılamak ve belirleyebilmek için kullanılır. Dijital olan görüntülerde "görüntü frekansı" ifadesi, görüntüdeki piksellerin gri seviyedeki değerlerinin değişimini ifade etmektedir. Frekans, görüntünün pikselleri arasındaki geçiş esnasındaki parlaklık değeri değişim ölçüsüdür. Gri tondaki piksel değerlerinin küçük farklarla değişmesi, düşük frekans özelliğinin ağırlıkta olduğunu gösterir. Renklerdeki ton farkının fazla olduğu bölgeler veya küçük detayların ağırlıkta olduğu görüntülerde yüksek ya da düşük frekansları egale etmek veya vurgulamak mümkündür. Görüntü filtreleri bunun için kullanılır. Filtre yüksek frekansları geçirmesi durumunda, görüntünün alçak frekanslı bileşenlerinin zayıflamasına veya kaybolmasına neden olur ve böylelikle yüksek frekanslı olan alanlar vurgulanmış olur. Yüksek geçiren filtreler görüntüdeki detayları öne çıkararak görüntüyü daha fazla keskinleştirir. Özetle filtreleme, girdi görüntüdeki istenmeyen detayların çıkış görüntüsünde egale edilmesine yardımcı olur.

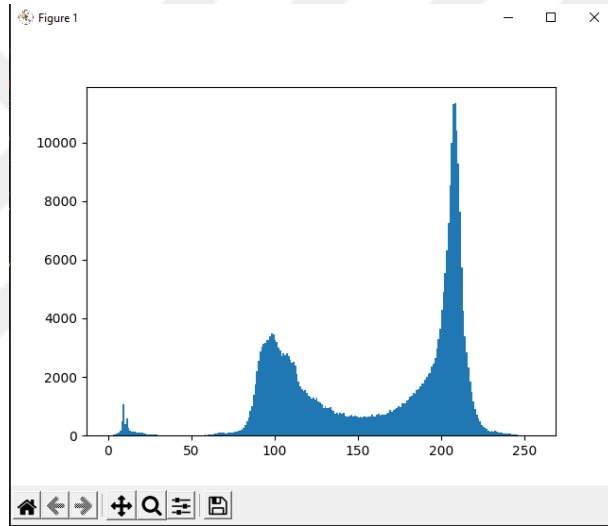
Medyan filtre gibi orta doğrusal olmayan filtrelemenin kullanılması, rastgele gürültünün yanı sıra şiddetli gürültünün ortadan kaldırılmasında çok etkilidir ve kaynağın kenarlarının egale edilmesinde doğrusal filtrelere göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Pourasad ve ark. (2021), Filtrenin boyutu ne kadar küçük olursa, kaynak kenarları o kadar az egale edildiğini göstermiştir. Filtre boyutu seçilirken gürültüyü yok eden en küçük filtre seçilmelidir.

Çeşitli gürültü türlerinin farklı faktörlerin gürültü oluşumuna neden olduğundan oluştuğunu söylemiştik. İyi bir görüntü filtreleme algoritmasının farklı gürültü türlerine uygulandığında başarılı sonuçlar vermesi beklenir. Gürültülü görüntü Denklem 1.1 ile gösterilmişti. Genel olarak doğrusal olmayan yöntemlerde sıralamalı istatistik yöntemleri yardımıyla filtrelenmiş görüntü filtre maskesindeki piksellerin yoğunluk değerleri ile belirlenir. Doğrusal yöntemlerde filtreleme, filtre maskesini tüm piksellere ayrı ayrı uygulayarak yapılır. Filtrelemeden önceki gri seviyeye indirgeme, filtrelemeyi daha etkili hale getirmiştir.



Şekil 3.5. Orijinal Görüntünün Histogramı



Şekil 3.6. Gri Seviyeye İndirgenmiş Görüntünün Histogramı

Görüntü analizi kısmında Şekil 3.5'te görüntünün orijinal histogramı vardır. Görüntünün gri tonlama değeri, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi ağırlıklı olarak 100 ile 240 arasında değişmektedir. Bu, görüntünün parlaklık değerinin büyük olduğu anlamına gelir. Görüntüde histogram değerlerinde iki tepe görünmektedir. En büyük gri tonlamalı histogram değeri 210 civarındadır. İkinci en büyük gri tonlamalı değer sayısı ise 100 civarındadır. Görüntünün orijinal histogram değerleri ile gri seviyeye indirgenmiş değerler arasında çok fazla fark görünmemektedir. Bu da görüntünün zaten gri tonlarda olduğunu gösterir. Fakat yine de bazı bölgelerde histogramın daha sıklaştığı görülmektedir. Bu iki tepeden 210 civarında olan kalıp bölgesini; 100 civarında olan arka planı temsil etmektedir.

Gri seviyeye indirgeme adımının ardından gürültü giderme adımı uygulanmıştır. Bu gürültü türlerinden olan tuz-biber; dürtü veya ikili olarak tanımlanır. (Qidwai, 2010). Bu gürültü görüntüde keskin bir şekilde dağılsa da görüntü üzerinde net bir şekilde siyah beyaz noktalar şeklinde görülebilir. (PERİHANOĞLU, ÖZERMAN, ŞEKER, 2016).

Jawad ve ark. (2017), yaptığı uygulamada kaynak ortamındaki gürültünün tuz ve biber olması nedeniyle ve bu tipteki gürültüyü azaltmada sıklıkla tercih edilmesi nedeniyle, girdiyi iyileştirmek için medyan filtrasyon önermiştir. Elde edilen görüntülerde tuz ve biber gürültüsü ağırlıklı olduğundan bu çalışmada medyan filtre tercih edilmiştir. Medyan filtre uygulanan görüntülerde gürültü başarılı bir şekilde giderilmiş ve görüntüdeki kaynak bilgilerindeki kayıplar minimuma indirilmiştir.

Gri seviyeye indirgenmiş görüntüye uygulanan medyan filtre daha sade bir görüntü elde edilmesini sağlamıştır. Böylece Canny kenar bulma algoritması ile kenar noktalarının çıkarılması daha kolay hale gelebilmektedir. Bu ön işleme işlemlerinin neticesinde şablon ile görüntüdeki benzerlikler daha kolay bir şekilde elde edilerek hem işlemci ve grafik kartının işlemlerinin kısılması hem de gereksiz verilerden kaynaklanan benzerlik oranındaki düşmelerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de uygulanan medyan filtrenin sonuçları görülmektedir. Gürültünün giderilmesi amacıyla uygulanan bu filtreleme işleminin oluşturduğu farklılıklar açıkça gösterilmektedir. Medyan filtre özellik olarak Denklem 3’te gösterildiği gibi 5x5 boyutunda bir çekirdek kullanılarak uygulanmıştır. Resmin özelliğine ve gürültünün miktarına göre bu çekirdek boyutu değiştirilebilir.



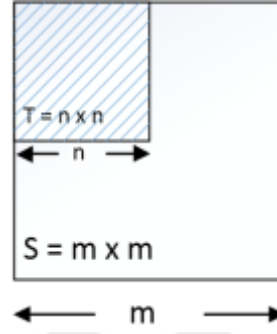
Şekil 3.7. Görüntü Ön İşleme Uygulanmamış Görüntü



Şekil 3.8. Görüntü Ön İşleme Uygulanmış Görüntü

3.5 Şablon Eşleştirme Algoritması

Bağlantılı bölge etiketleme, ikili görüntüde bağlı bir grup oluşturan bir piksel kümesine nesne veya bağlantılı bölge denir. Bu kısıtlama altında seçilebilecek bazı bağlantılı bölgeler vardır. Etiket matrisi, mevcut pikselin ve komşularının aynı bölgede olup olmadığına karar verebilen bağlantı kurallarına göre oluşturulabilir.



Şekil 2.1. S ve T Çerçeveleri

Brown ve ark. (1992), Şablon Eşleştirme algoritması alan-tabanlı ve öznitelik-tabanlı algoritmalar olmak sınıflandırmıştır. En çok tercih edilen alan tabanlı Şablon Eşleştirme algoritmaları: Farkın Tam Değerinin Ortalaması (FTDO), Normalize Edilmiş Çapraz İlinti (NÇİ), Ardışıl Benzerlik Algılaması (ABA), Farkların Mutlak Değerlerinin Toplamı (FMDT) ve Farkların Karelerinin Toplamı (FKT) algoritmalarıdır. Özellik tabanlı algoritmalarda şablondaki nesnelerin kenar, köşe, şekil ve doku özellikleri çıkartılır ve bu bilgiler bir sonraki çerçevede aranır (Lowe 2004). Şekil 2.1'deki gibi $T = n \times n$ ve $S = m \times m$; T'ye ait pikseller $T(i, j)$, S'e ait pikseller $S(i, j)$, $r = \{0, 1, \dots, m-n\}$ ve $c = \{0, 1, \dots, m-n\}$ olmak üzere satırdaki ilerleme r ile, sütundaki ilerleme c ile gösterilmek üzere SAD, MAD, SDD ve NCC algoritmalarının genel denklemleri sırasıyla 3.2, 3.3, 3.4, 3.5'teki gibidir.

$$FMDT(r, c) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n |S(i+r, j+c) - T(i, j)| \quad (3.2)$$

$$FTDO(r, c) = \frac{1}{n \times n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n |S(i+r, j+c) - T(i, j)| \quad (3.3)$$

$$FKT(r, c) = a_0 + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (S(i+r, j+c) - T(i, j))^2 \quad (3.4)$$

$$NÇİ(r, c) = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n [S(i+r, j+c) - \bar{S}(i, j)][T(i, j) - \bar{T}]}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n [S^2(i+r, j+c) - n^2 \bar{S}^2(i, j)] \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n [T^2(i, j) - n^2 \bar{T}^2]}} \quad (3.5)$$

Denklem 2.2'ye göre FTDO(r,c) ne kadar küçük bir değer alırsa T şablonu (r,c) S çerçevesinde daha yüksek eşleşme oranı vermektedir. FTDO ile FMDT algoritmaları

arasındaki fark, elde edilen toplam sonucunun $n \times n$ boyutundaki şablonun piksel sayısına bölünüp ortalama değer bulunmasıdır. Bu durumda denklem 3.3, denklem 3.2'e göre Denklem 3.6'daki gibi ifade edilebilir.

$$FTDO(r, c) = \frac{1}{n \times n} FTMO(R, C) \quad (3.6)$$

FKT, FTMO ve FTDO algoritmaları denklem olarak birbirine benzese de işlem yükü açısından en belirgin fark FTDO'nda bölme işlemi her iterasyonda bir, FKT tekniğinde ise çarpma işlemi $n \times n$ kez yapılmaktadır. Bu sebeple FKT işlemi FTDO ve FMDT algoritmalarına göre çok daha fazla işlem yükü içermektedir. SDD algoritmasında FKT (r, c) değerinin en küçük olduğu iterasyonda T örüntüsü (r, c) değerleri için S örüntüsünde eşleşme oranının yüksek olduğu söylenebilir. NÇİ algoritmasının denklemi 3.5'teki gibi olup buradaki S ve T ifadelerinin denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\bar{S}(r, c) = \frac{1}{n \times n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (S(i+r, j+c) - T(i, j)) \quad (3.7)$$

$$\bar{T}(r, c) = \frac{1}{n \times n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n T(i, j) \quad (3.8)$$

Sahani ve ark. (2011), NCC algoritmasında NÇİ (r, c) -1 ile 1 arasında değerler aldığı göstermiştir. NÇİ (r, c) 1 değerini alırsa eşleşme gerçekleşmiştir, -1 değerini alırsa ters eşleşme gerçekleşir. Eşleşmenin sağlanması için değer 1'e yakın olması gerekmektedir. Denklem 3.5'teki gibi ifade edilen NÇİ denklemi, donanım üzerinde daha efektif bir şekilde gerçeklemek için denklem 3.9'deki şekilde yazılabilir.

$$NCC(r, c) = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n [S(i+r, j+c)T(i, j) - n^2 \bar{S}(i, j)\bar{T}]}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n [S^2(i+r, j+c) - n^2 \bar{S}^2(i, j)] \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n [T^2(i, j) - n^2 \bar{T}^2]}} \quad (3.9)$$

Brahim ve ark. (2011), her yöntemin kendine özgü farklı uygulama alanları, avantaj ve dezavantajları olduğunu göstermiştir. FKT yöntemi, matematiksel ifadesi ve kolay uygulanabilirliği sayesinde şablon eşleştirmede de kullanılmasına rağmen en yaygın mesafe ölçüm algoritmasıdır. Öte yandan, FKT yöntemi gürültü ve parlaklık değişimlerinden diğer algoritmalara nazaran çok etkilenmektedir. NÇİ yöntemi, yüksek hızlı endüstriyel uygulamalarda kullanılır ve aynı anda birden fazla şablon bulmak için çok uygun bir yöntemdir. Ancak bu yöntem, parlaklık değişiklikleri ve nesne yer değiştirmesi sonucu hata verebilir. Örneğin, dış ortamda güneş gibi ışık faktörlerinin değişimi NÇİ yönteminin uygulanabilirliğini olumsuz etkileyebilir. Öte yandan kayıtlı görseller üzerinden şablon aramak ve bulmak için oldukça etkili bir yöntemdir. Saravanan ve ark. (2013), NÇİ ve FKT 'nin parlaklıktan ve karmaşık arka plandan çok hızlı ve kötü etkilenmesi sorununu FMDT yöntemiyle çözmeyi önermiştir. FMDT yöntemi, nesne izleme ve dış mekan uygulamalarında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, piksel

koordinatlarının tam olarak belirlenmesi için optimizasyon gerektirir. Buradan elde edilen sonuçlar, bu çalışmada NÇİ algoritmasının da kullanılabilceğini göstermektedir. Bununla birlikte, algoritma hızı açısından yetersiz bir algoritmadır. Yapılan çalışma özelinde de NÇİ algoritmasının sağladığı birden fazla şablon tanımlama özelliğinden dolayı bu algoritma tercih edilmiştir.

Şablon eşleştirme bir görüntünün şablon görüntüsüyle eşleşen küçük parçalarını bulmak için dijital görüntü işlemede kullanılan bir tekniktir. Üretimde kalite kontrolünün veya bir mobil robotta gezinmenin veya görüntülerdeki kenarları algılamanın bir yolu olarak kullanılabilir. Şablon eşleştirme görevindeki ana zorluklar kapatma, katı olmayan dönüşümlerin tespiti, aydınlatma, arka plan değişiklikleri, arka plan dağınıklığı ve ölçek değişiklikleridir. Bu uygulamada da karşılaşılan zorluklar ölçek değişikliği ve aydınlatmadır. Ölçek değişikliği İA seçimiyle ve aydınlatma problemi gri seviye indirgeme ve kenar bulma ile aşılmaya çalışılmıştır.

Algoritmada öncelikle filtrelenen görüntüler gri seviyeye indirilip daha sonra Canny Kenar Bulma algoritması ile kenarlar bulunmuştur. Bu durum yukarıda bahsedilen sorunların giderilmesine yardımcı olmuştur. Daha sonra bu çizgiler hedef görüntüdeki özelliklerle Şekil Eşleştirme ile karşılaştırılarak kaynak tipleri belirlenmeye ve punta şeklindeki kaynakların tespit edilmesi için çalışılmıştır. Şekil Eşleştirme ile robot çalışırken karar mekanizmasının daha hızlı ve isabetli olması amaçlanmaktadır.

Kaynak ortamını tanımak zor olsa da, ilgilendiğimiz konu yalnızca kaynak dikişinin ilk konumudur. Sadece ilk pozisyonu aramak daha pratik bir yöntemdir. Jawad ve ark. (2017), şablon eşleştirme, şablonu bir görüntüdeki bir konuma yerleştirip, şablondaki yoğunluk değerlerini görüntüdeki karşılık gelen değerlerle karşılaştırarak hedef nesnenin o noktadaki varlığını tespit etmiştir. Bu ilke, karmaşık kaynak ortamının tanınmasını önler ve ilk kaynak konumunun tanınmasının gerekliliklerini karşılar. Denklem 3.10'da şablonun yerleştirildiği kısmın değerinin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [s^{i,j}(m, n) * T(m, n)]}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [s^{i,j}(m, n)]^2} \quad (3.10)$$

Burada $T_{am \times n}$ şablon, S aranan görüntüdür, $S^{i,j}$ T şablonunun kapsadığı görüntüdür, i ve j bir görüntüdeki sütun ve satır değeridir. Bu denklem sayesinde kaynak koordinatları belirlenir.

Aslında, yoğunluk değerlerinin tam olarak eşleşmesi nadirdir. Şablonun yoğunluk değerleri ile görüntüdeki değerlerin arasında bir farklılık ölçüsüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir eşik değerinin belirlenmesiyle benzerliğin belli bir değerden yüksek oranda uyuşmasına bakılabilir. Böylece tam benzemesine gerek duyulmamaktadır.

Endüstriyel uygulamalarda hızlı bir şekilde karar vermek gerektiğinden algoritmanın anlık karar verme mekanizmasının hızlı olması gerekmektedir. Bu sebeple endüstriyel uygulamalarda daha çok tercih edilen NÇİ şablon eşleştirme kullanılmıştır. Çeşitli dezavantajları olsa da işlem yükünün az olması ve hızlı çalışması sebebiyle bu yöntem seçilmiştir.



Şekil 3.9. Kullanılan Şablonlar

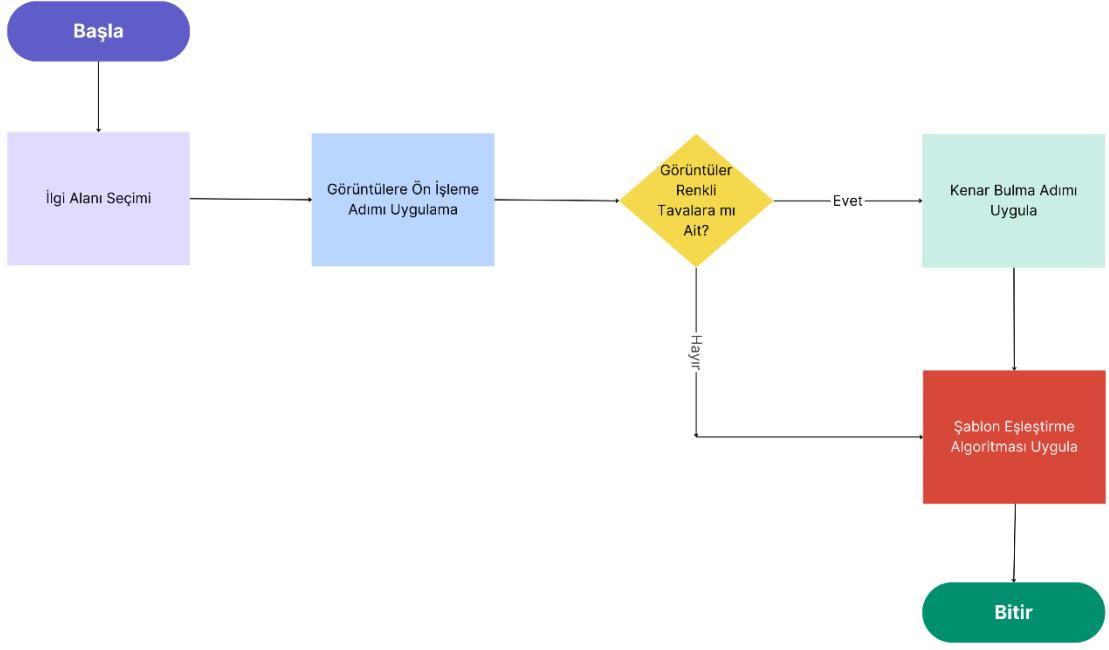
Şekil 3.9 'da kullanılan şablonlar gösterilmektedir. Birden fazla şablon seçilerek veri kayıplarının önüne geçip daha fazla eşleşme bulunması amaçlanmaktadır. Bu şablonlardan üç tanesi iyi şekilde yapılmış biri ise kötü şekilde yapılmış kaynağı temsil etmektedir. Bu sayede hem iyi hem kötü tipteki kaynakların tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.1. Algoritmanın Parametreleri

Algoritma	Değerler
Threshold	0.7
Ortalama Algoritma Süresi (ms)	189,90
Medyan Filtre Çekirdek Matrisi	5x5

Bu çizelgede kullanılan algoritmanın bazı parametreleri verilmiştir. En olumlu sonuç veren eşik değeri 0.7 olarak tespit edilmiştir. Ortalama algoritma süresi 189.9 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç AMD Ryzen 7 5600 işlemci ile elde edilmiştir. Görüntüleri türüne göre en olumlu medyan filtre çekirdeği 5x5 olarak seçilmiştir.

Şablon eşleştirme, Kümelenmiş olan piksel gruplarından hangisinin şablon ile aynı özellikleri gösterdiğine karar verip etiketleneceğine karar vermektedir. Bir eşik değeri belirlenip bu benzerliğin seviyesi belirlenerek kaynak tespiti yapılmıştır. Bu, bağlı bölgelerin etiketlenmesine dayalı olarak Şablon Eşleştirme olarak adlandırılabilir. Robotun hassas konumlandırılmayı gerçekleştirmesi için kaynak bölgesi merkezinin koordinatı daha isabetli sağlanacaktır.



Şekil 3.10. Algoritma Akış Diyagramı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Önerilen özellik çıkarma algoritması, zaman tüketimi ve performans arasında iyileştirme amaçlamıştır. Uygulamada kullanılan kek tavalarının tamamını işleme tabi tuttuğumuzda geçen süre 1.5 saniye civarındayken küçük parçalara odaklanıldığında geçen süre 200-250 ms civarına düşmektedir. İA kullanımı bu noktada faydalı olarak nitelendirilebilir. Bu süre uygulamalara bağlı olmak üzere iyi kabul edilebilir. Yine görülmüştür ki işlenen kaynak aranan bölgenin boyutu küçüldükçe algoritmanın verdiği cevap için geçen süre de azalmaktadır. NÇİ algoritmaları sayesinde bu süre 189.90 ms civarına düşmüştür.

4.1. Görüntü Ön İşleme Sonuçları

Elde edilen sonuçların gölgesinde medyan filtre uygulanan görüntülerin verdiği sonuçların filtrelenmeyen görüntülerin verdiği sonuçlarla karşılaştırılınca ön işleme çok faydalı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada bulunan görüntülerdeki gürültü seviyesi 1.61688 civarında tespit edilmiş ve 5x5'lik bir çekirdek bu değer 0.52164 seviyelerine düşürülmüştür. Bu varyans değeri 3x3'lük bir çekirdek matrisinde 0.59702 değerine yükselmiştir. 7x7'lik bir maske kullanıldığında ise değer 0.44577 seviyelerine gerilemiştir fakat bu maske görüntüdeki detayların kaybolmasına yol açmıştır. Bu nedenle bu çalışma da çekirdek matrisinin boyutu 5x5 olarak belirlenmiştir.

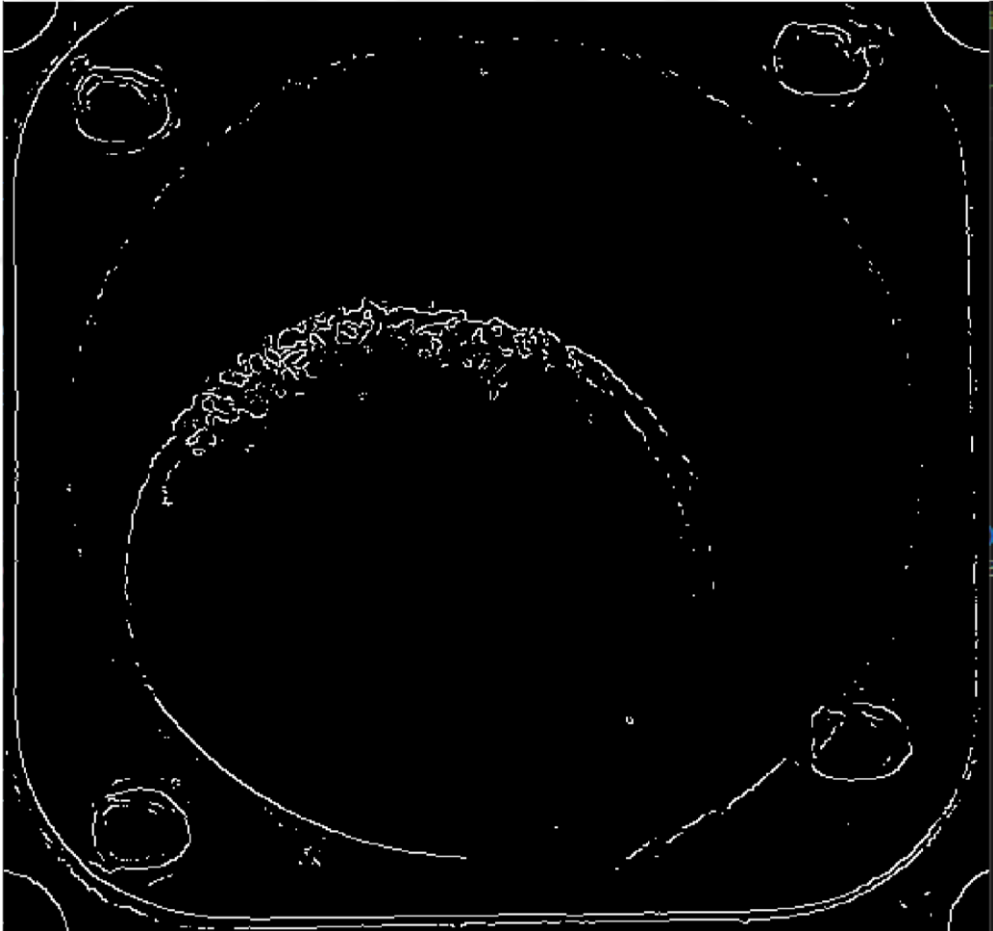
Tablo 5.1. Veri Setinde Tespit Edilen Şablonların Sayısı

Matris Boyutu	Gürültü Değeri
Maskelenmemiş Görüntü	1.61688
3x3'lük Bir Kernel ile Maskelenmiş	0.59702
5x5'lik Bir Kernel ile Maskelenmiş	0.52164
7x7'lik Bir Kernel ile Maskelenmiş	0.44577

Elde edilen benzerlik oranlarının değerlerinin artışı, bu benzerlik oranlarının artışıyla belirlenen eşik değerine göre daha çok doğru sonuç ön işleme parçasının ne kadar doğru olduğunu göstermektedir. Görüntülere otomatik eşik belirleme amacıyla gri seviyeye indirilmesi tavsiye edilmiştir. Böylece farklı renkte üretilen kek tavalarının

işlenmesi daha kolay olmaktadır. Koyu renkli tavalar gri seviyeye indirilmeden şablon eşleştirme doğru bir şekilde yapılamamaktadır. Gri seviyeye indirilen görüntüler Otsu fonksiyonuna girdi olarak verilerek görüntüler için otomatik eşik belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece her görüntü için sabit eşik belirlemek gerekmemektedir. Aynı zamanda tek bir yeniden belirlenen eşik değerleriyle veri kayıplarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca farklı renkteki kek tavalarının kaynak noktalarını tespit edebilmek için Canny kenar bulma algoritması kullanılmıştır. Şekil 4.1’de kenar bulma algoritmasının sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere algoritma gereksiz birçok detayı kenar olarak kabul etmiştir. Bunun sebebi görüntüleri alındığı ışık kaynağının yetersiz oluşudur. Kalıbın orasının çukur olması sebebiyle yansıyan ışık kenar olarak algılanmıştır. Bu sorunu aşmak için harici bir ışık kaynağı ile kalıp dikey olarak aydınlatılmalıdır.



Şekil 4.1. Canny Kenar Bulma Algoritmasının Sonucu

Cai ve ark. (2021), Otsu fonksiyonu ile belirlenen eşik, kaynak bölgesi ile kaynak kalıbını doğru bir şekilde ikili hale getirebileceğini göstermiştir. Bunun nedeni, kaynak bölgesinin gri tonlamalı histogramının orijinal görüntüden olan farkları nedeniyle farklı özellikler göstermesidir. İki tepe noktasından biri tepe noktası kaynak bölgesini, diğeri arka planı temsil eder. Bu sayede eşik seçimi otomatik olarak tamamlanır. Her görüntüde arka plan ve kaynak bölgesinin histogram değerlerindeki tepe değerleri arasındaki farka göre farklı eşikler belirlenerek veri kaybı olabildiğince azaltılır.

4.2. Şablon Eşleştirme Sonuçları

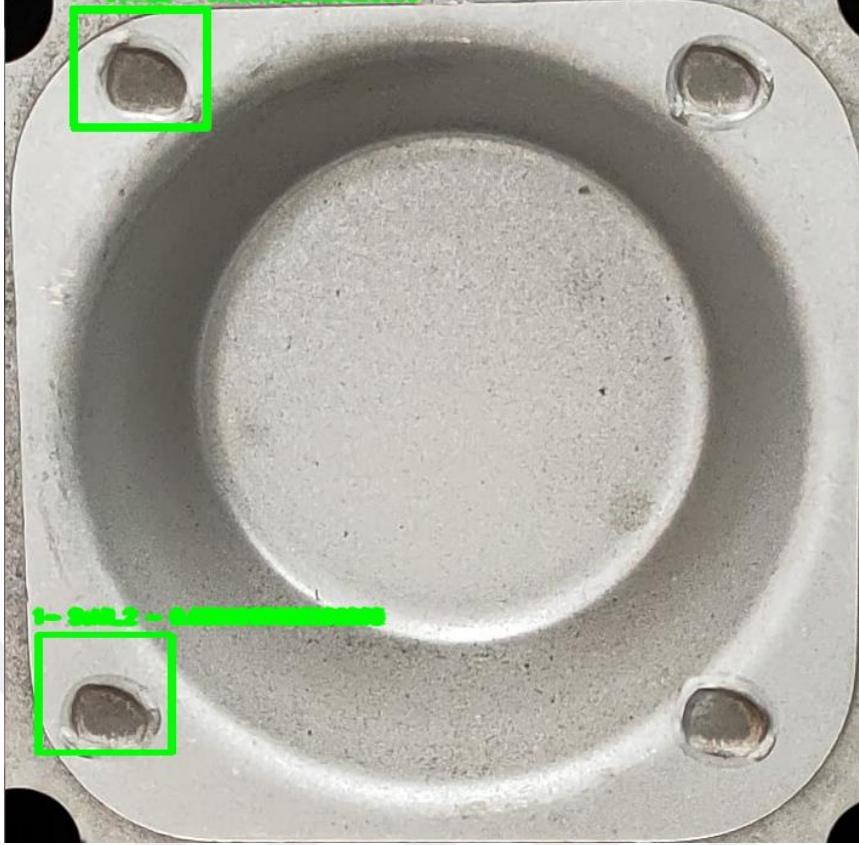
Yapılan kaynakların belirlenen şablonlara ne kadar benzediğinin ölçülmesini amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre belirli aralıklarla torç ucunun aşırı ısınması ve zamanla tahriş olması sebebiyle kaynak işleminde bozulmalar gerçekleşmektedir. Yine torç uçlarının ilk konumunun yanlış yere koyulması ile bazı kaynakların kaydığı görülmüştür. Algoritma ile belirlenen kaynak koordinatları bu kayganlığın giderilmesi için kullanılabilir. Elde edilen koordinatların orta noktaları belirlenip işlemciye gönderilip robota geri besleme verilmesi amaçlanmıştır.

Yine zamanla aşınan torç ucunun tespiti için algoritmanın verdiği sonuçlar kullanılarak öngörülüş bakım algoritmaları için kullanılması amaçlanmaktadır.



Şekil 4.2. Bozulmuş Kaynak Torç'unun Yaptığı Kaynak Görüntüsü

Şekil 4.2'de bozulmaya başlayan bir kaynak ucunun kaynak konumunu ve kaynak tipini nasıl etkilediği gösterilmektedir. Burada görülen sonuçlarda tespit edilen kaynak sayısı düşmekte ve kaynak noktası aranılan konumlar oldukça değişmiştir.



Şekil 4.3. Kaymış Kaynak Görüntüsü

Şekil 4.3'teki gibi kayan ve bozuk kaynak noktalarının tespiti için önemli olabilecek konumlar elde edilmiştir. Kaynak bölgelerinin yanlış konumlandırılmadan dolayı kayması kaynak tespitini imkansız hale getirmektedir. Bu pozisyonlama hatası kaynak şeklinin önemli derecede bozulmasına sebep olmaktadır. Bu koordinatların kaynakların olması gereken yer ile yapıldığı yer arasındaki fark alınarak geri besleme sisteminde düzeltmeler veya bakımlar için kullanılabilir.

Farklı şablonlarla bulunan kaynak noktaları farklı renklerde gösterilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi bulunan kaynak noktaları çeşitli şablonlar ile bulunmuş, böylece veri kaybının azalması hedefine ulaşılmıştır. Şablon sayısı artırılıp azaltılabilir. Şablon sayısı artırılırsa veri kayıpları azalır bununla beraber algoritmanın süresi uzayacaktır. Uygulamaya göre değerlendirme yapılarak bu duruma karar verilmelidir.



Şekil 4.4. Şablon Eşleştirme Algoritması Sonuçları

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kaynaklar her zaman aynı hiza da veya olması gerektiği yere atılamamaktadır. Böyle durumlarda kaynak koordinatları hassas bir şekilde belirlenip aranacak yerin tespit edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.5. Medyan Filtre Uygulanmış Görüntü ile alınan Sonuç

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere Medyan Filtre uygulanmış görüntüde hatalı olarak tespit edilen sonuçlar egale edilmiştir. Bunun yanında doğru tespit edilen kaynak noktasının doğruluğu artmıştır. Bu sonuca eşik değerindeki artıştan ulaşılabilir. Burada eşik değeri %74 mertebesine yaklaşmıştır ve bu durum filtreleme işleminin daha isabetli sonuçlar verebileceğini göstermektedir.



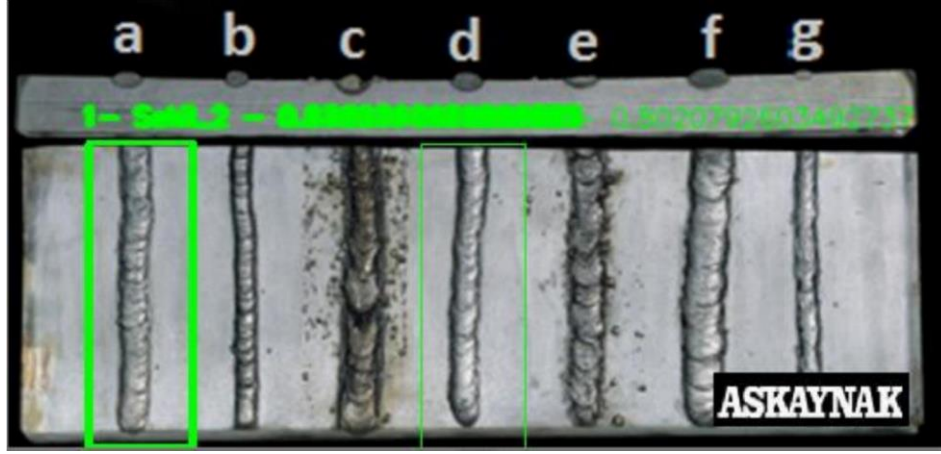
Şekil 4.6. Şablon Eşleştirme Algoritması Sonuçları

Şekil 4.6'da ise filtreleme işlemi uygulanmamış görüntüde hatalı olarak tespit kalitesi düşmüştür. Burada eşik değeri %60 mertebesine yaklaşmıştır.



Şekil 4.7. Şablon Eşleştirme Algoritması Sonuçları

Şekil 4.7’de alınan kaynak görüntülerine uygulanan şablon eşleştirme algoritması sonuçları verilmiştir. Yine Şekil 3.9’da da görüldüğü gibi filtreleme uygulanmadığında eşleşme oranının değerleri ile tespit edilen noktaların konumları etiketlenmiştir.



Şekil 4.8. Farklı Kaynak Tiplerine Uygulanan Şablon Eşleştirme Algoritması Sonuçları

Şekil 4.8’de gösterilen görselde ise I tipi kaynağın Şablon Eşleştirme algoritması ile kaynak tespiti gösterilmiştir. Buradan hareketle I, U ve V tipi kaynakların tespitinin de mümkün olduğu görülmektedir. Kaynak esnasında değişen kaynak şekline anlık olarak tepki vererek parametre değişikliklerinin uygulanması sağlanabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Karmaşık kaynak koşulları altında öznitelik çıkarma algoritmalarının uyarlanabilirliğini ve sağlamlığını geliştirmek için, bu yazıda uyarlanabilir bir öznitelik çıkarma algoritması önerilmiştir. Algoritma sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Yazılımı bağımsız olarak geliştirilen bir şablon eşleştirmeye dayalı robotik dikiş şekilleri incelenmiştir.

Algoritma direkt olarak eldeki görüntülerle çalıştırıldığında sonuçlar doğru elde edilememiştir. Bunun sebebi kaynak noktalarının arka plan ile benzer renkte olması, tavanın deliklerinin kaynak noktası olarak algılanması sebep gösterilebilir. Bu sebeple İA belirtilerek kaynak noktalarının aranılacağı yerler algoritmaya belirtilerek bu durumdan kurtulmaya çalışılmıştır.

Pourasad ve ark. (2021), kaynak görüntülerinin uygulamalı testlerde incelenmesi, kaynağın düzgün yapılmamasından, kaynak torcunun aşınmasından kaynaklanan bozulmaların ve kaynak parametrelerindeki anlık değişimlerin kaynağın hasarlı ve deforme olmuş bölgelerine neden olduğunu göstermiştir. Bu sebepler kaynak karakteristiğinin çıkarılmasını zorlaştırmıştır. Kaynak histogramı bu durumlardan çok etkilenir. Bu çıkarımlar eşik anlık olarak görüntü özelinde belirlenmesi gerektiğini ve şablonun da her görüntü özelinde seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Her iki gereksinim Otsu ile sağlanabilir. Bu çalışmada bu durum göz önüne alınarak Otsu fonksiyonu denenmiş fakat eşik değeri istenilen seviyenin çok altına düşmüştür. Görüntü ön işleme uygulanmayan denemelerde eşik değeri Otsu fonksiyonuyla 0.45 değerlerine inmiştir. Bu da istenmeyen özelliklerin işlenmesine yol açmıştır. Uygulamanın süresi yükselmiş aynı zamanda başarı oranı düşmüştür. Görüntülerdeki gürültü çoğu zaman benzerlik bulunmasına engel olmuş veya benzerlik eşik değerinde azalmalara neden olmuştur. Bu durum gereksiz özelliklerinde işlenmesine yol açarak işlem yükünü artırmıştır. Görüntü ön işleme prosedürü ile uygulanan ortanca filtre yardımıyla görüntülerdeki gürültünün giderilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan filtrenin çekirdek matrisinin denemeler sonucunda 5x5 olarak belirlenmiştir. Görüntü ön işleme işlemi uygulanmayan görüntülerde, her görüntü de dört kaynak noktası olacak şekilde ayarlandığında ve eşik değeri manuel olarak 0.77 ile 0.8 civarında tutulunca tespit edilen kaynak noktası %25-%70 gibi geniş bir aralıkta tespit edilmiştir. Yani her görüntüdeki

dört kaynak noktasından biri veya ikisi tespit edilebilmiştir. Fakat eşik değeri 0.7 değerinde tespit oranı %70 civarındadır. Bu nedenle en ideal eşik değeri 0.7 olarak belirlenmiştir. Eşik değerinin daha fazla düşürülmesi ile %80'in üzerinde tespit seviyesine erişilebilir ancak algoritma süresi uzayacağından bu durum tavsiye edilmemektedir.

Görüntü ön işleme kullanılarak gürültüsü giderilen görüntüler gri seviye indirilmesi kullanılarak arka planı farklı renklerde olan tavalarda da kaynak dikişlerinin belirlenmesi adına çalışma yapılmıştır. Bunun amacı farklı renklerde tavalarda kaynak dikişi tespiti için şablon sayısının artmasını engellemek ve bu sayede algoritma hızını yükseltmektir. Siyah renkli tavalarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yine Canny kenar bulma algoritması ile kenar bulunarak tespit yöntemi denenmiş ve bazı gri renkli tava görüntülerinde elde edilen sonuçlara kıyasla daha iyi sonuçlar alınmıştır. Fakat çoğu fotoğrafta kenarların süreksiz olmasından dolayı düzgün sonuçlar alınamamıştır. Alınan sonuçlar neticesinde kaynak dikişlerinde meydana gelen veri kayıpları kenar bulma algoritmasının kullanılmasının olumsuz etkiler oluşturabileceği görülmüştür. Bu sebeple Canny kenar bulma algoritması bu çalışma özelinde çoğu fotoğrafa uygulanmamıştır. Benzerlik oranları bazı şablonlar özelinde %78 civarına yükselmiş buna bağlı olarak eşik değeri 0.72 civarına çıkarılmıştır. Bu değişimler sonuçların çok daha iyi elde edilmesini sağlamıştır. Algoritma süresi ortalama 200-250 ms seviyelerine yükselse de elde edilen sonuçların iyileşmesi bu durum uygulamanın tipine göre göz ardı edilebilir.

İşlem yükünü azaltmak için NÇİ algoritmasının yardımıyla ilk olarak alt şablonlar kullanılması yöntemi önerilmiştir. Bu durumda da dört farklı şablon belirlenmiştir. Bu şablonların üçü ideale yakın, biri bozuk şablonlardan seçilmiştir. Böylece yanlış yapılan kaynak işlemlerinin de sınıflandırması amaçlanmıştır. Dört şablon belirlenmesi yine veri kayıplarının da önüne geçmiştir. Farklı şablonlarla bulunan kaynak noktaları farklı renklerde etiketlenmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi bulunan kaynak noktaları çeşitli şablonlar ile tespit edilmiş böylece veri kaybının azalması hedefine ulaşılmıştır. Şablon sayısı artırılıp azaltılabilir. Şablon sayısı artırılırsa veri kayıpları azalır bununla beraber algoritmanın süresi uzayacaktır. Böylece algoritma süresinin 189.9 ms seviyelerine inmesi NÇİ yöntemleriyle sağlanmıştır.

Şablon eşleştirme algoritmasının sonucu olarak kaynak noktaları belirli veri kayıpları dışında tespit edilmiştir. Yapılmış kaynak noktasının hangi şablona ne kadar benzedikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Burada şablonların doku, şekil gibi özelliklerinden yararlanılmıştır. Bu sonuçlar torç ucunun durumuna, ışığın şiddeti ve

geldiği yöne bağlı olarak değişebilir. Fakat elde edilen bulgular çoğunlukla eşleşmelerin olduğunu göstermektedir. Eşleşme sonuçları şablonların daha iyi koşullarla elde edilmesi, daha çok seçilmesiyle daha iyi hale getirilebilir. Bu ortalama uygulamaya göre iyi bir sonuç olarak nitelendirilebilir. Gerek görülürse sürenin uzamasının göze alınmasıyla şablon sayısı çoğaltılabilir. Bu sayede elde edilen eşleşmelerin sayısı ve niteliği artırılabilir.

Tablo 5.1. Veri Setinde Tespit Edilen Şablonların Sayısı

Eşik Değerleri	Görüntü Ön İşleme Uygulanmamış Görüntülerde Tespit Adedi				Toplam Tespit Edilen Kaynak Sayısı	Görüntü Ön İşleme Uygulanmış Görüntülerde Tespit Adedi				Toplam Tespit Edilen Kaynak Sayısı
	Şablon 1	Şablon 2	Şablon 3	Şablon 4		Şablon 1	Şablon 2	Şablon 3	Şablon 4	
0.45	105	94	176	59	434	111	101	193	64	469
0.60	98	88	169	56	411	109	97	187	62	455
0.70	94	85	162	55	396	107	94	182	61	444
0.75	90	81	155	53	379	104	92	179	60	435

Tablo 5.1’de de görüldüğü üzere görüntü ön işleme uygulanan görüntülerde daha fazla şablon tespiti gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak çalışmanın daha efektif çalıştığı

söylenbilir. Ayrıca eşik değeri arttıkça tespit edilen noktaların sayısı daha yavaş azalmaktadır. Buradan algoritmanın doğruluğunun arttığı da tespit edilmiştir. Bu çalışmada veri seti olarak 784 adet kaynak noktası kullanılmıştır.

Tablo 5.2. Veri Setinde Bulunan Görüntülere Görüntü Ön İşleme Adımı Uygulanmadan Yapılan Şablonların Tespit Yüzdeleri

Şablon Adı	Şablon Adedi	Tespit Adedi				Tespit Yüzdesi			
		0.45	0.60	0.70	0.75	0.45	0.60	0.70	0.75
Eşik Değerleri		0.45	0.60	0.70	0.75	0.45	0.60	0.70	0.75
Şablon 1	149	105	98	94	90	%70.4	%65.7	%63	%60.4
Şablon 2	130	94	88	85	81	%72.3	%67.6	%65.3	%62.3
Şablon 3	292	176	169	162	155	%60.2	%57.8	%55.4	%53
Şablon 4	213	59	56	55	53	%27.6	%26.2	%25.8	%24.8

Tablo 5.2’de görüntü ön işleme adımı uygulanmayan görüntülerde yapılan çalışma sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre tespit işlemi düşük seviyelerde kalmıştır. Bunun sebebi şablon sayısının az tutulmasıdır. Kaynakların hangi şablona benzediği operatör yardımıyla tespit edilmiştir. İlk üç şablona benzemeyen kaynaklar 4. Şablona yani yanlış olarak tanımlanan kaynak sınıfına konmuştur. Burada yanlış kaynak olarak adlandırılan gruptaki kaynakların tespit yüzdelerinin düşük kalmasının sebebi çok çeşitli şekillerde yanlış kaynak yapılmış ancak bir şablon belirtilmiş olmasıdır. Yanlış tipteki kaynak şablonunun sayısı artırılarak bu yüzdeler artırılabilir.

Tablo 5.3. Veri Setinde Bulunan Görüntülere Görüntü Ön İşleme Adımı Uygulandıktan Sonra Yapılan Şablonların Tespit Yüzdeleri

Şablon Adı	Şablon Adedi	Tespit Adedi				Tespit Yüzdesi			
		0.45	0.60	0.70	0.75	0.45	0.60	0.70	0.75
Eşik Değerleri		0.45	0.60	0.70	0.75	0.45	0.60	0.70	0.75
Şablon 1	149	111	109	107	104	%74.5	%73.1	%71.8	%69.8
Şablon 2	130	101	97	94	92	%77.7	%74.6	%72.3	%70.7
Şablon 3	292	193	187	182	179	%66.1	%64	%62.3	%61.3
Şablon 4	213	64	62	61	60	%30	%29.1	%28.6	%28.1

Tablo 5.3'te ise görüntü ön işleme uygulanmış görüntülerden alınan tespit sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlara göre görüntü ön işleme uygulanan görüntülerde tespit oranlarında artış görülmektedir. Yine şablon sayısı artırılarak tespit oranları yükseltilebilir.

5.2 Öneriler

Elde edilen sonuçlara göre belirli aralıklarla torç ucunun aşırı ısınması ve zamanla tahriş olması sebebiyle kaynak işleminde bozulmalar gerçekleşmektedir. Yine torç uçlarının ilk kaynak esnasında yanlış konumlandırılması ile bazı kaynakların kaydığı görülmüştür. Bu durumlar sebebiyle alınan her görüntü özelinde İA, eşik ve şablon belirlenebilir. Algoritma ile belirlenen kaynak koordinatları bu kayganlığın giderilmesi için kullanılabilir. Elde edilen koordinatların orta noktaları belirlenip işlemciye gönderilip robota geri besleme verilebilir.

Endüstriyel ortamların zorluğundan dolayı kamera veya görüntü sensörünün dış ortam ile ilişkisinin kesilerek yapay bir ışık kaynağıyla görüntü elde edilebilir. Bu durum ark ışınması dışındaki olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltacaktır.

ZHOU ve ark. (2021), kaynak yapılacak parçaların standart olmaması durumunda manuel öğretim programlaması kullanılarak yönlendirme yöntemleri ayrı ayrı programlanabileceğini göstermiştir. Bu durum bu çalışma özelinde farklı renkte olup gri seviye indirgemesinin yeterli olmadığı kek kalıplarına uygulanabilir.

Algoritmada kullanılan şablon sayısı uygulamanın tipine göre artırılıp azaltılarak daha hızlı veya daha isabetli sonuçlar elde edilebilir. Uygulamaya göre şablon sayısı azaltılarak daha hızlı sonuçlar elde edilebilir. Yine NÇİ, FMDT gibi yöntemler yardımıyla farklı hızlandırma yöntemleri kullanılabilir. Elde edilen etiketlenmiş sonuçlar KSA vb. algoritmalar için girdi olarak kullanılarak daha hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ali DEĞİRMENCİ, İlyas ÇANKAYA, Recep DEMİRCİ, Gradyan Anahtarlamalı Gauss Görüntü Filtresi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 2018 196-215.
- Aslıhan, M., 2020, Nesneyi Temel Düzeyde Tespit Edebilme (Template Matching) Aşamaları, <https://medium.com/kodcular/nesneyi-temel-duzeyde-tespitedebilme-template-matching-asamaları-6e11f8bd0a0d> , [Ziyaret Tarihi: 25 Ağustos 2022].
- Bender, G. and Simonsen, R.R., "Photography's materialities: Transatlantic photographic practices over the long nineteenth century, Leuven University Press, (2021).
- Bo ZHOU, Yirong LIU, Yao XIAO, Rui ZHOU, Yahui GAN, AND Fang FANG, Intelligent Guidance Programming of Welding Robot for 3D Curved Welding Seam, Received December 24, 2020, accepted February 18, 2021, date of publication March 17, 2021, date of current version March 23, 2021. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2021.3065956.
- Brahim, B.S., JOSEFINA J. and NOURAIN, N. 2011. "Fast Template Matching Method based Optimized Sum of Absolute Difference Algorithm for Face Localization". *International Journal of Computer Applications (IJCA)*, Mart. <http://eprints.utp.edu.my/4685/>.
- Burak Sarıkaya, 2019, Robot Kolların Yakın Tarihi ve Kronolojik gelişimi, <https://donanimplus.com/robot-kolun-yakin-tarihi-neden-icat-edildi-kronolojisi/>, [Ziyaret Tarihi: 19 Mayıs 2023]
- Chen, L.G., CHEN, W.T., JEHNG, Y.S. and CHIUCH, T.D. 1991. "An efficient parallel motion estimation algorithm for digital image processing". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 1 (4)*: 378–85. doi:10.1109/76.120779.
- Chen, M.J., CHEN, L.G. and CHİUEH, T.D. 1994. "One-dimensional full search motion estimation algorithm for video coding". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 4 (5)*: 504–9. doi:10.1109/76.322998.
- Chen, O.T.C. 2000. "Motion estimation using a one-dimensional gradient descent search". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 10 (4)*: 608–16. doi:10.1109/76.845006.
- Cook GE, Andersen K, Fernandez KR, Shepard ME, Wells Jr AM (1987) Electric arc sensing for robot positioning control. IFS(Publications) Ltd., Robotic Welding, 181–216.
- Deniz Mendi, Fatih Kahraman, Cengiz Hüroğlu, İYON: ADLİ GÖRÜNTÜ İNCELEME YAZILIMI, 2015.

- Fridenfalk M (2003) Development of intelligent robot systems based on sensor control. Lund University.
- Fang Z, Xu D, Tan M (2013) Vision-based initial weld point positioning using the geometric relationship between two seams. *Int J Adv Manuf Technol* 66(9–12):1535–1543.
- Hakan AKTAŞ, ŞABLON EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE NESNE TAKİBİ VE YÜKSEK HIZLI FPGA GERÇEKLEMESİ, ŞABLON EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE NESNE TAKİBİ VE YÜKSEK HIZLI FPGA GERÇEKLEMESİ, 2015.
- HE, Z.L., TSUI, C.Y., CHAN, K.K. and LIOU, M.L. 2016. “Low-power VLSI design for motion estimation using adaptive pixel truncation”. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 10 (5): 669–78. doi:10.1109/76.856445.
- Horozoğlu, E. 2013. Görüntü işleme ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elektronik ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
- Hüseyin YAŞAR, Kadir ÇAVDAR, Umut O., ŞAHİN F., Yıldız ÇAVDAR, DEĞİŞİK KAYNAK ELEKTROTLARI KULLANILARAK YAPILAN DİRENÇ NOKTA KAYNAKLI AISI 304 PASLANMAZ ÇELİK SAÇLARIN KAYNAK İZİ GÖRÜNTÜSÜ VE KAYNAK PARAMETRELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 2, 2019
- Gao XD, Na SJ (2005) Detection of weld position and seam tracking based on Kalman filtering of weld pool images. *J Manuf Syst* 24(1):1–12 39.
- Güzide Miray PERİHANOĞLU, Ufuk ÖZERMAN, Dursun Zafer ŞEKER, DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK GÖRÜNTÜLERDEN DETAY ÇIKARIMI, 2016.
- G. Bradski and A. Kaehler, “Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library”, *O’Reilly Media, Inc.*, 2008.
- Jain, J., and JAIN, A. 1981. “Displacement Measurement and Its Application in Interframe Image Coding”. *IEEE Transactions on Communications* 29 (12): 1799–1808. doi:10.1109/TCOM.1981.1094950.
- Jawad Muhammad & Halis Altun & Essam Abo-Serie, A robust butt welding seam finding technique for intelligent robotic welding system using active laser vision, *Int J Adv Manuf Technol* (2018) 94:13–29.
- Jawad Muhammad & Halis Altun & Essam Abo-Serie, Welding seam profiling techniques based on active vision sensing for intelligent robotic welding, *Int J Adv Manuf Technol* (2017) 88:127–145.

- John Immerkær, Fast Noise Variance Estimation, *Computer Vision and Image Understanding*, Volume 64, Issue 2, September 1996, Pages 300-302
- Junqiong Cai and Ting Lei, An Autonomous Positioning Method of Tube-to-Tubesheet Welding Robot Based on Coordinate Transformation and Template Matching, *IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS*, VOL. 6, NO. 2, APRIL 2021.
- KEXIN WANG, YANG WANG, SHIZHONG ZHANG, JIANHAI ZHANG, AND SHUBO SUN, *Automatic Label Welding Robot System for Bundled Rebars*, Received November 10, 2021, accepted November 22, 2021, date of publication November 25, 2021, date of current version December 9, 2021.
- Kong M, Shi FH, Chen SB, Lin T (2007) Recognition of the initial position of weld based on the corner detection for welding robot in global environment. *In: Robotic welding. Springer, Berlin, pp 249– 255.*
- Lee, J.H. and LEE, N.S. 2004. “Variable block size motion estimation algorithm and its hardware architecture for H.264/AVC”., 741–44. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=18144409>.
- Lee JP, Wu QQ, Park MH, Park CK, Kim IS (2014) A study on optimal algorithms to find joint tracking in GMAwelding. *Int J Eng Sci Innov Technol* 3:370–380.
- Lei Yang, Yanhong Liu & Jinzhu Peng, Advances techniques of the structured light sensing in intelligent welding robots: a review, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2020) 110:1027–1046.
- Li L, Fu L, Zhou X, Li X (2007) Image processing of seam tracking system using laser vision. *In: Robotic welding, intelligence and automation. Springer, Berlin, pp 319–324.*
- Li, W. and SALARI, E. 1995. “Successive elimination algorithm for motion estimation”. *IEEE Transactions on Image Processing* 4 (1): 105–7. doi:10.1109/83.350809.
- LI, R., ZENG, B. and LIU, M.L. 1994. “A new three-step search algorithm for block motion estimation”. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 4 (4): 438–42. doi:10.1109/76.313138.
- M. Ferreira, A. P. Moreira, and P. Neto, “A low-cost laser scanning solution for flexible robotic cells: Spray coating,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 58, nos. 9–12, pp. 1031–1041. 2012.
- Ohshima K, Morita M, Fujii K, Yamamoto M, Kubota T (1992) Sensing and digital control of weld pool in pulsed MIG welding. *Trans Jpn Weld Soc* 23(1):17–23.
- Ömer Aydın, See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/359579377> Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Konum Belirleme, Robot Kolu Yönlendirme ve Parça

Yerleştirme Sistemi, Manisa Celal Bayar University 82 PUBLICATIONS 206 CITATIONS, 2021.

Pires JN, Loureiro A, Bölmsjö G (2006) Welding robots: technology, system issues and application. Springer Science & Business Media.

Runquan Xiao, Yanling Xu, Zhen Hou, Chao Chen, Shanben Chen, An adaptive feature extraction algorithm for multiple typical seam tracking based on vision sensor in robotic arc welding, *Sensors and Actuators A: Physical* 297 (2019) 111533.

R. Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications," Springer, 2010.

Sahani, S.K., ADHIKARI, G. and DAS, B.K. 2011. "A fast template matching algorithm for aerial object tracking". 2011 *International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*, 1–6. doi:10.1109/ICIIP.2011.6108841.

Saravanan, C. and SURENDER, M. 2013. "Algorithm for Face Matching Using Normalized Cross-Correlation". *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN, 2249–8958*.

Serdar Solak, Umut Altınışık, Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması, (2018), AKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE.

Shen H, Lin T, Chen S, Li L (2010) Real-time seam tracking technology of welding robot with visual sensing. *J Intell Robot Syst* 59(3–4):283–298 40.

Sung K, Lee H, Choi YS, Rhee S (2009) Development of a multiline laser vision sensor for joint tracking in welding. *Weld J*.

Turgut, S., Bağış, B. 2012. Dış hekimliğinde renk ve renk ölçüm yöntemleri. Atatürk Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi, 5: 65- 75.

Qidwai, U. ve Chen, C.H. (2010). Digital image processing: an algorithmic approach with MATLAB, CRC Press.

Wang, Y., WANG Y. and KURODA, H. 2000. "A globally adaptive pixel-decimation algorithm for block-motion estimation". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 10 (6): 1006–11. doi:10.1109/76.867940.

W. Pratt, "Digital image processing", Wiley-Interscience, 2007.

Xizhang Chen . Shanben Chen . Tao Lin . Yucheng Lei, Practical method to locate the initial weld position using visual technology, *Int J Adv Manuf Technol* (2006) 30: 663–668.

Y. Pourasad* a , A. Afkarb, A Study on the Modified Algorithm for Image Processing in Tracking Seam Welding, *International Journal of Engineering, IJE TRANSACTIONS B: Applications* Vol. 34, No. 08, (August 2021) 1913-1922.

Zhang L, Wu C, Zou Y (2009) An on-line visual seam tracking sensor system during laser beam welding. In: Information Technology and Computer Science, 2009. ITCS 2009. International Conference on (Vol. 2, pp. 361–364) IEEE.

Zhu, S. and MA, K.K. 2000. "A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation". *IEEE Transactions on Image Processing* 9 (2): 287–90. doi:10.1109/83.821744.





