



GÖRÜNTÜ EŞLEME

Gülsüm Çiğdem ÇAVDAROĞLU
Doç. Dr. Bülent BAYRAM



EPIPOLAR GEOMETRİ

- Epipolar geometri, stereo-vision geometrisidir. İki kamera, iki farklı noktadan 3B aynı nesneyi görüntülediğinde, bu 3B nokta ile kamera merkezleri ve noktaların 2B görüntü düzlemlerindeki izleri arasında bazı geometrik ilişkiler oluşur.



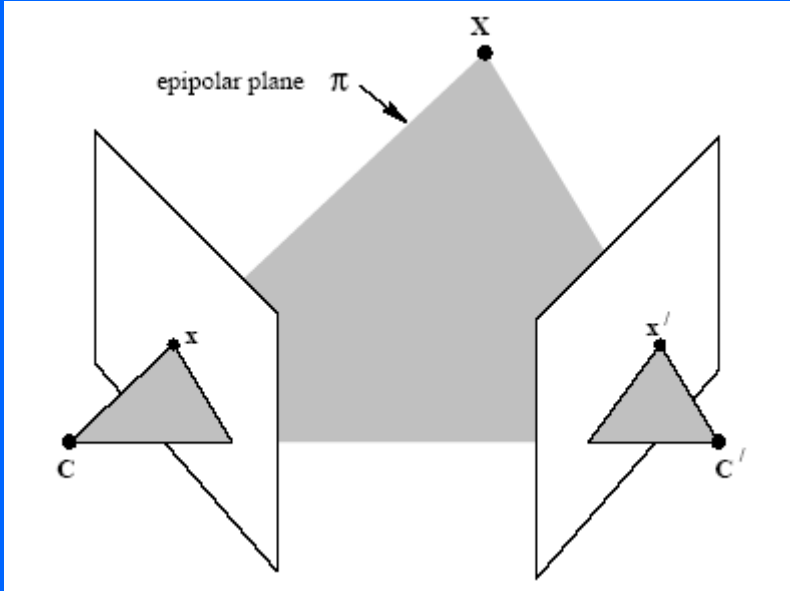
Epipolar Geometrinin Temel İlgili Alanları

- Epipolar geometri üç temel soruyu cevaplamaya çalışır :
 - Karşılık gelme geometrisi : İlk görüntüdeki bir x noktası, ikinci görüntüdeki bir x' noktasını nasıl belirler?
 - Kamera geometrisi : Birbirlerine karşılık olarak gelen $\{x_i \longleftrightarrow x_i'\}$ $i=1, 2, \dots, N$ görüntü noktalarından iki P, P' kamerası arasında nasıl bir ilişki kurulabilir?
 - Sahne geometrisi : $\{x_i \longleftrightarrow x_i'\}$ görüntü noktaları ve P, P' kameraları kullanılarak x noktasının uzaydaki konumu nasıl bulunabilir?



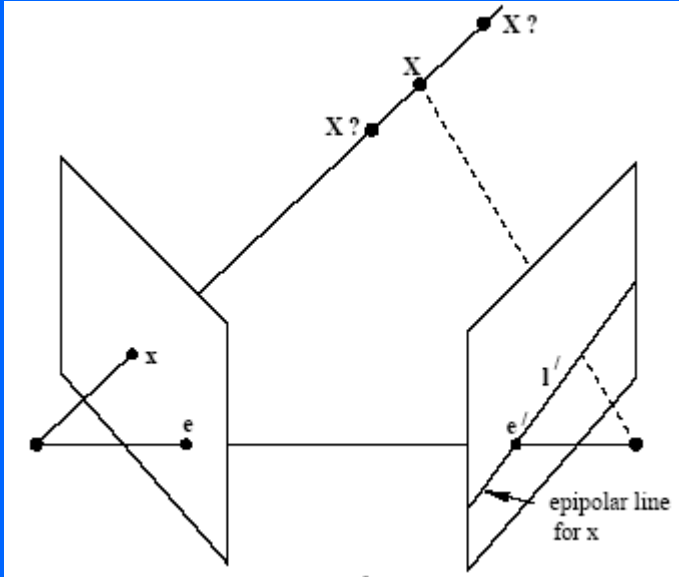
- Epipolar geometri, sahne yapısından bağımsızdır. Sadece kameraların iç parametrelerine ve rölatif konumlarına bağlıdır.

Epipolar Geometri Temel Kavramlar



- **Taban çizgisi** : İki kamera merkezini birleştiren doğru parçası
- x, x' görüntü noktaları
- X nesne noktası
- c, c' kamera merkezleri

- x, x', X, c ve c' noktaları aynı düzlem içerisinde yer alırlar.
- x ve x' noktaları X noktasında kesişirler.



- x noktası kullanılarak x' noktası nasıl bulunabilir?
- π düzlemi, taban çizgisi ve x noktasına ait ışın tarafından belirlenir. x' noktasına ait ışın da aynı π düzlemi içerisinde yer alacaktır.

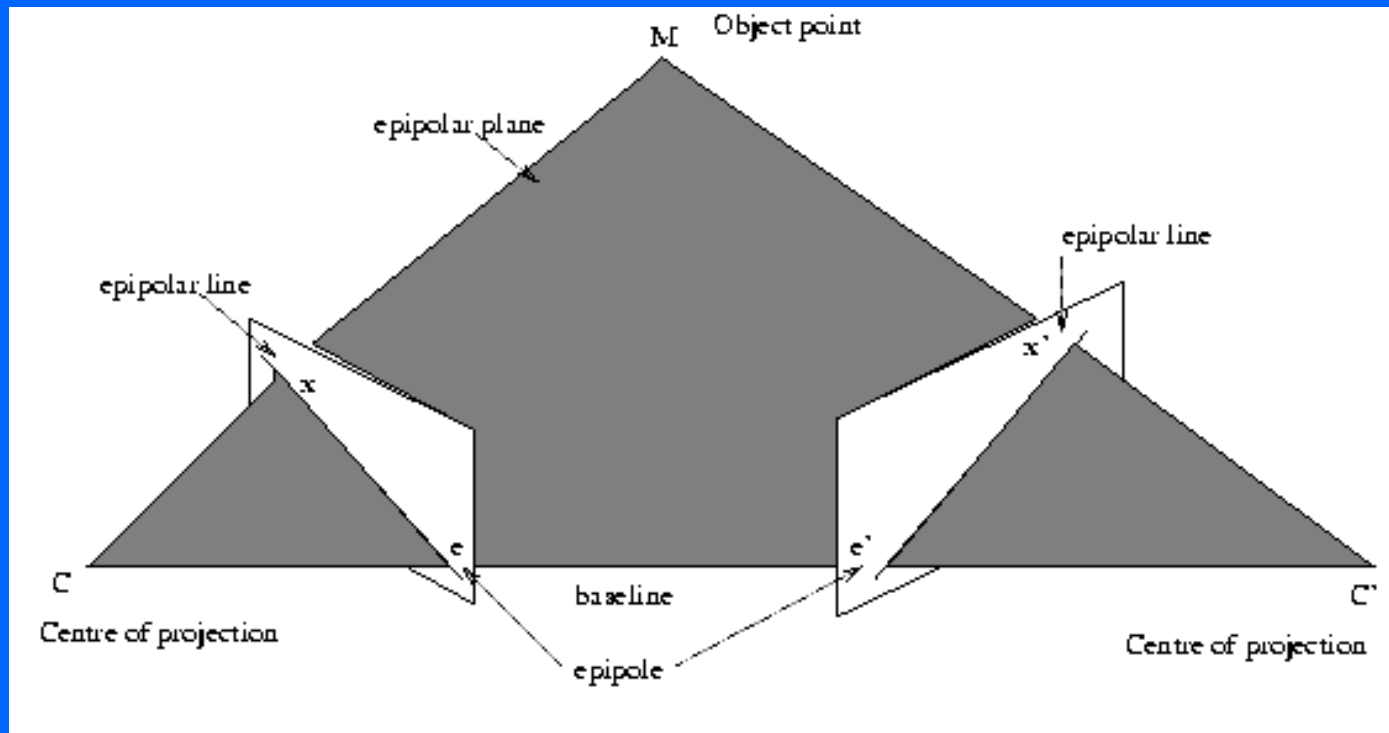
- Dolayısıyla x' noktası, π düzleminin ikinci görüntü düzlemi ile kesişiminden oluşan l' çizgisi üzerinde yer alacaktır. l' çizgisi, noktasının epipolar çizgisi. x' noktasını bulmak üzere çalışacak algoritma, bu noktayı ikinci görüntünün tamamı içerisinde aramak yerine sadece l' çizgisi üzerinde arayabilecektir.



GÖRÜNTÜ EŞLEME

- **Epipole** : Kamera merkezlerini birleştiren taban çizgisinin görüntü düzlemleriyle kesiştiği noktalardır. (e ve e')
- **Epipolar düzlem** : İki projeksiyon merkezi ve ilgili nesne noktasının oluşturduğu düzlemdir. Bu düzlem taban çizgisini içerir.
- **Epipolar çizgi** : Epipolar düzlem ile görüntü düzleminin kesişimi sonucu oluşan arakesitlerdir. Tüm epipolar çizgiler bir epipole ile de kesişirler.
- **Eşlenik noktalar**, eşlenik epipolar çizgiler üzerinde yer almalıdır.

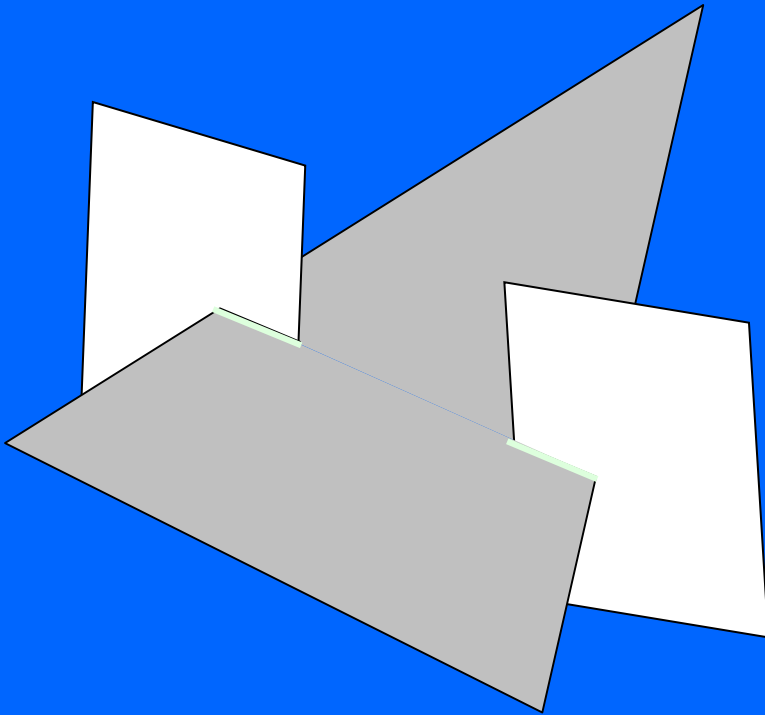
GÖRÜNTÜ EŞLEME



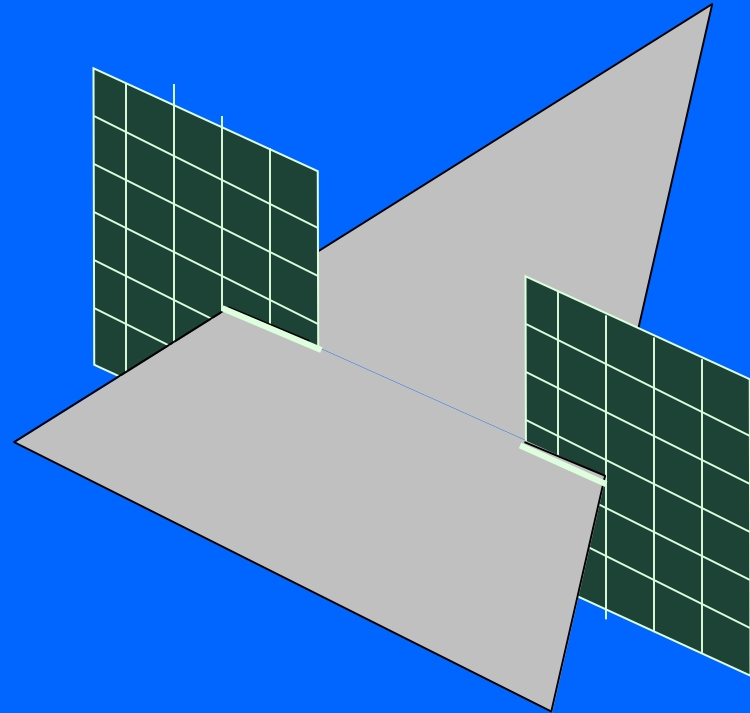


- Epipolar çizgilerin kullanımı, arama penceresi boyutunu düşürür.
- Epipolar çizgiler genellikle x eksenine paralel değildirler.
- Bu nedenle görüntüler, epipolar çizgileri birbirine paralel olacak şekilde dönüşüme tabi tutulurlar. Bu işlem “**görüntü normalizasyonu**” olarak adlandırılır.

Görüntü Normalizasyonu

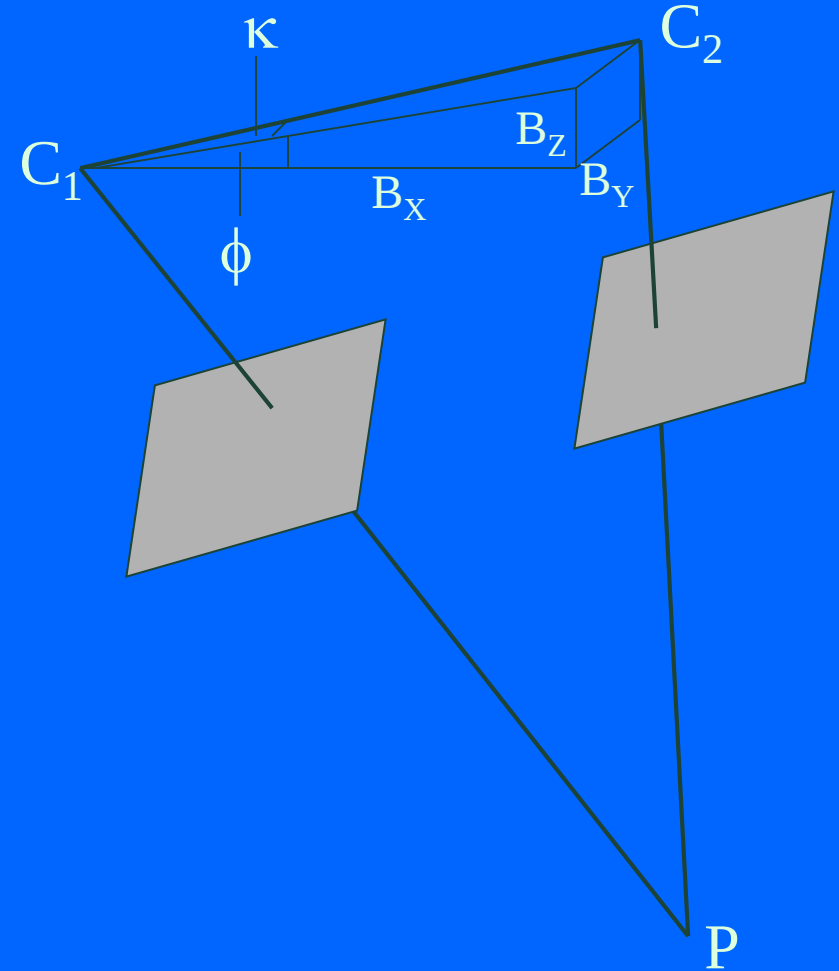


Orijinal görüntü



Epipolar geometri ile normalize edilmiş görüntü

- Görüntü normalizasyonu yapılabilmesi için iç ve dış yöneltme elemanları bilinmelidir.
- Görüntü orjinal konumundan gerçek düşey konuma dönüklük matrisi transpozesi ile transfer edilir.
- Gerçek düşey konumdan normalize edilmiş konuma dönüşüm, bazın döndürülmesi ile gerçekleşir.





GÖRÜNTÜ EŞLEME

$$B_X = X_c'' - X_c'$$

$$B_Y = Y_c'' - Y_c'$$

$$B_Z = Z_c'' - Z_c'$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{B_Z}{B_X}\right)$$

$$\Omega = \frac{\omega' + \omega''}{2}$$

$$\kappa = \arctan\left(\frac{B_Y}{\left(B_X^2 + B_Z^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

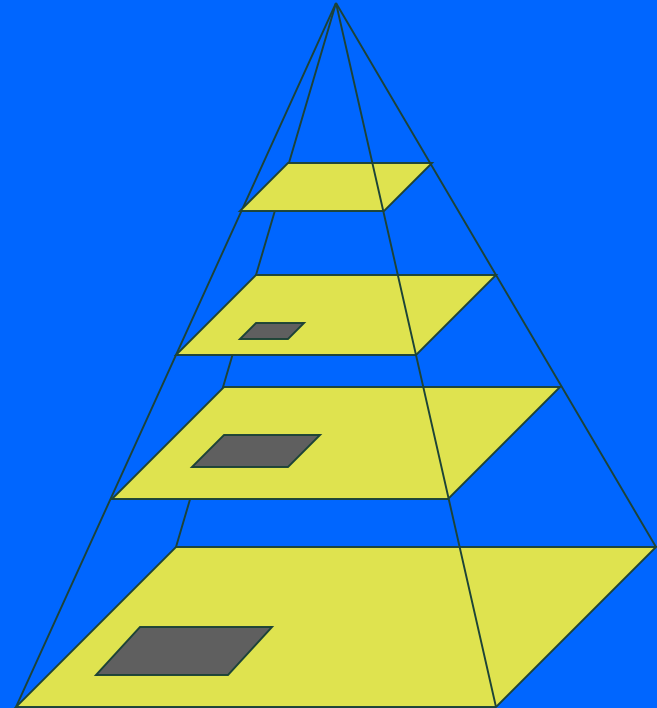
$$\mathbf{R}_b = \mathbf{R}_\kappa \mathbf{R}_\phi \mathbf{R}_\Omega$$

$$\mathbf{R}_n = \mathbf{R}_b \mathbf{R}^T$$

Normalize görüntü dönüklük
matrisi

Görüntü Piramitleri

- Arama penceresini küçültmenin bir başka yolu da görüntü piramitlerinin kullanımıdır.
- Piksel boyutu büyütülerek arama penceresi küçültülebilir.
- Kötü çözünürlükten iyi çözünürlüğe doğru kademe kademe eşleştirme yapılır.
- Eşleştirme her aşamada ya da düzeyde tabandaki düzeye kadar yapılır.





GÖRÜNTÜ EŞLEME

Sayısal görüntüler fotogrametrik amaçla iki açıdan incelenir:

Metrik bilginin elde edilmesi (noktalar/çizgiler)

Semantik bilginin elde edilmesi

Görüntü eşleme yöntemleri stereo görüntülerde eşlenik noktaların bulunmasını amaçlar. Bunun için bir eleme operasyonu tanımlanarak iki ya da daha fazla görüntü setinde uygulanır

İç Yöneltilme için resim çerçeve işaretlerinin otomatik olarak ölçümünde Karşılıklı yöneltilme ve fotogrametrik nirengi amacıyla görüntü bağlama noktalarının belirlenmesinde,

Mutlak yöneltilmede küçük görüntü alanları yer kontrol noktası tanımları veya işaretler yardımıyla karşılaştırılır.

SAM oluşturmada: Eşlenik noktalar bulunur.



GÖRÜNTÜ EŞLEME

Bazı hipotezler:

- Görüntülerdeki aynı banda ait gri değerler benzer ya da aynıdır.
- Görüntülerin elde edilişleri sırasında ışık ve atmopsferik etkiler sabittir
- Obje yüzeyi genellikle smoottur.
- Ek bilgiler mevcuttur (enine boyuna bindirme oranları, uuş yüksekliği, vb.)

Fotogrametrinin ana problemi eşlenik noktaların otomatik olarak elde edilmesidir. Ünkü bu işlem operatörler tarafından yapıldığında uzun zaman almaktadır.

En eski ve basit yöntem gri değerler arasındaki korelasyonun bulunmasıdır.



- Hava fotoğrafları, coğrafi konum bilgisi gereksiniminin ana kaynaklarından birisidir. Analog fotoğrafların yerini sayısal fotoğrafların alması sonucunda, nesnelerin fotoğraflar içerisinde belirlenebilmesi için yapılacak işlemlerin otomatik hale getirilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu konu üzerine yapılan çalışmalar temel olarak şu üç problem üzerinde yoğunlaşmaktadır:
 - Hava fotoğraflarının otomatik yöneltmesi
 - Sayısal yükseklik modeli oluşturulması
 - Bina, yol vb nesnelerin yakalanması için prosedürler geliştirilmesi



GÖRÜNTÜ EŞLEME

- Ortofoto ve sayısal yükseklik modeli, sayısal fotogrametrinin iki ana ürünüdür. Bunlar coğrafi bilgi sistemlerinin temel bileşenleridir. Geniş kullanım alanları vardır :
 - Harita üretimi
 - Kent planlama
 - Telekomünikasyon
 - Yol yapımı vb...
- Bu ürünlerin güncel olmaları önemlidir.
- Hızlı ve ekonomik bir biçimde oluşturulmalıdırlar.
- Elde edilen veri grubunun doğruluğu kontrol edilebilir olmalıdır. Bu nedenle de belirli kalite testlerinden geçmeleri gereklidir.
- Kalite kontrolü için kullanılan yöntemler de otomatik, doğru ve güvenilir olmalıdır.



GÖRÜNTÜ EŞLEME

- Fotogrametride sıklıkla kullanılan ana işlemlerden birisi de, iki ya da daha fazla sayıda görüntü içerisinde yer alan çakışık noktaların bulunması ve ölçülmesi işlemidir.
- Analog fotogrametride tüm noktalar bir operatör tarafından elle belirlenir ve ölçülürken, sayısal fotogrametride bu işlem otomatik bir şekilde yapılıyor olmalıdır.
- Aynı detay birimlerin, bir ya da daha fazla görüntü içerisinde otomatik olarak bulunmasına literatürde “görüntü eşleme” denilmektedir.

- Görüntü eşleme işleminde temel işlem, “eşleşme birimi” seçimidir. Eşleşme birimi, her bir görüntüde farklı birimlerle karşılaştırılacak olan detaylar grubudur.
- Bir diğer temel işlem ise, benzerlik ölçümüdür. Benzerlik ölçümü ile, eşleştirilen birimlerin eşleşme durumları ölçülür.



GÖRÜNTÜ EŞLEME

- Bir görüntünün tamamı için piksel piksel bir eşleştirme işlemi uygulamak hem çok zaman alıcı bir işlem olacaktır, hem de beraberinde bazı sorunlar getirecektir.
 - Görüntü içerisinde tekrarlı olarak görülen piksel gri değerleri anlam karmaşasına yol açar
 - Görüntünün sahip olduğu gürültünün benzerlik gösterdiği pikseller anlam karmaşasına yol açar.
- Bu nedenlerle eşleştirme işlemi belirli “birimler” bazında yapılmaktadır.



Görüntü Eşlemede Yöntemler

- Alan-Tabanlı Yöntemler
 - Korelasyon
 - En küçük kareler
 - Görüntü mesafesi
 - Ortak bilgi
- Detay-Tabanlı Yöntemler
 - İlinti operatörleri
 - Kenarlar ve bölgeler (regions)
- İlişkisel Yöntemler



Yöntemlerin Karşılaştırılması

Eşleştirme Yöntemi	Benzerlik Ölçümü	Eşleştirme Birimi
Alan Tabanlı	Korelasyon, en küçük kareler eşleştirmesi	Gri değerler
Detay Tabanlı	Uygunluk fonksiyonu	İlinti noktaları, kenarlar, bölgeler
İlişkisel	Uygunluk fonksiyonu	Görüntünün sembolik tanımı



Alan Tabanlı Yöntemler

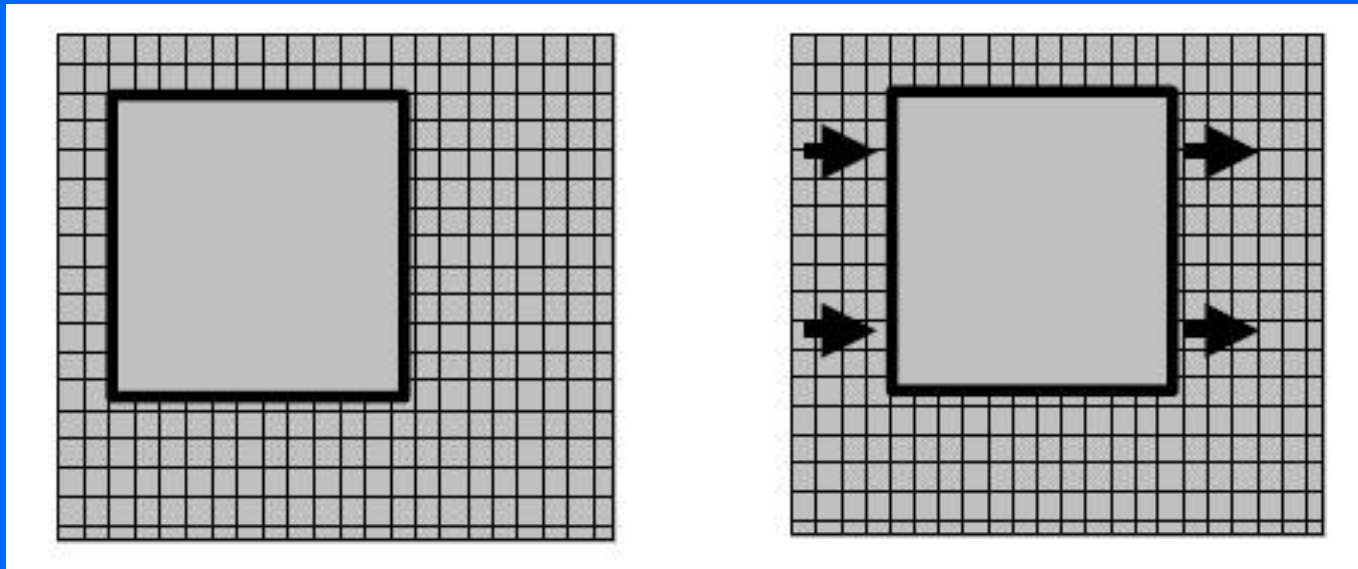
- Alan tabanlı eşleştirmede, eşleştirme birimi gri değerlerdir.
- Tek başına bir pikselin eşleştirilmesi, anlam karmaşasına yol açacaktır. Bu nedenle birbirlerine komşu olan piksellerin eşleştirilmesi yoluna gidilir.
- Bir görüntü içerisinde bir parça seçilerek, bir şablon elde edilir. Bu şablon ikinci bir görüntüde aranır.
- Elde edilen şablon $m \times n$ boyutlarına sahip bir görüntü parçasıdır. Genellikle $m=n$ olacak şekilde bir seçim yapılır.
- İkinci görüntü içerisinde, şablon ile aynı boyutlara sahip görüntü parçaları ile şablon kıyaslanır. Bu arama bölgesi, “arama penceresi” olarak isimlendirilir.
- Arama alanı içerisinde şablonun her konumu için bir benzerlik ölçümü işlemi yapılır. Bu benzerlik ölçüsüne göre sonuca gidilir. Burada arama sonucunun kabul edilip edilmeyeceğini belirleyen bir eşik değeri de belirlenmelidir.
- Fotogrametride, alan tabanlı görüntü eşleme yöntemi olarak çapraz korelasyon ve en küçük kareler yöntemleri kullanılır.

GÖRÜNTÜ EŞLEME

Alan tabanlı yöntemlerde gri değerler arasında maksimum korelasyon aranır. Bunun için bir arama penceresi diğer görüntü üzerinde gezdirilir. Among ABM, the most immediate and intuitive consists in looking for the maximum

of correlation among gray values inside two windows, one fixed in the reference image (template matrix), and the other moving inside the second image (search matrix).

When the second window is moved, a given correlation index is evaluated



Verilenler:

- $n \times n$ boyutlu M görüntü matrisi. Bu matrise Kalıp denir, diğer görüntü içinde aranacak olan objenin görüntüsüdür.
- $n \times n$ boyutlu N görüntü matrisi. Aradığımız objeyi içerdiği düşünülür. Genellikle asıl görüntünün daha küçük bir pencere ile çevrelenmiş bölümüdür.

İşlem:

M ve N görüntü matrislerini inceleyerek birbirleri ile olan benzerliklerinin bulunması.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M(i,j)N(i,j)}{[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M(i,j)^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n N(i,j)^2]^{1/2}}$$

$M(i,j) = c.N(i,j)$ olduğunu düşünelim;

$$C = \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R M(i,j) N(i,j)}{[\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R M(i,j)^2 \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R N(i,j)^2]^{1/2}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R c N(i,j) N(i,j)}{[\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R c^2 N(i,j)^2 \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R N(i,j)^2]^{1/2}}$$

$$= \frac{c \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R N(i,j)^2}{c [\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R N(i,j)^2 \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R N(i,j)^2]^{1/2}}$$

Korelasyon

$$r = \frac{\sigma_{IS}}{\sigma_I \sigma_S} = \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_I(i, j) - \bar{g}_I)(g_S(i, j) - \bar{g}_S)}{\left(\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_I(i, j) - \bar{g}_I)^2 \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_S(i, j) - \bar{g}_S)^2 \right)^{1/2}}$$

- r : Korelasyon katsayısı
- σ_I, σ_S : Şablon ve arama penceresindeki gri değerlerin standart sapması
- σ_{IS} : Arama pencerelerindeki gri değerlerin kovaryansı
- g_I, g_S : Şablon ve arama penceresindeki gri değerler
- $\bar{g}_I, \bar{g}_S$: Ortalama gri değerler
- R, C : Arama penceresindeki satır ve sütun sayıları



GÖRÜNTÜ EŞLEME

Correlation ölçümleri $[0,1]$ arasında değerleri alır.

Eğer Correlation = 1 ise ya da 0.8 den büyük ise iki görüntü matrisi arasında bir benzerlik olduğundan söz edilebilir.

$M = c.N$ durumunda ise;

N, kalıp'tan daha koyu veya daha parlaktır ama sonuçta correlation hala yüksektir.

İşlem Sayısı:

“Kaynak görüntü”nün genişliğinden “Kalıp Görüntü”nün genişliği çıkarılır.

“Kaynak görüntü”nün yüksekliğinden “Kalıp Görüntü”nün yüksekliği çıkarılır.

Kaynak GG – Kalıp GG + 1

Kaynak GY – Kalıp GY + 1

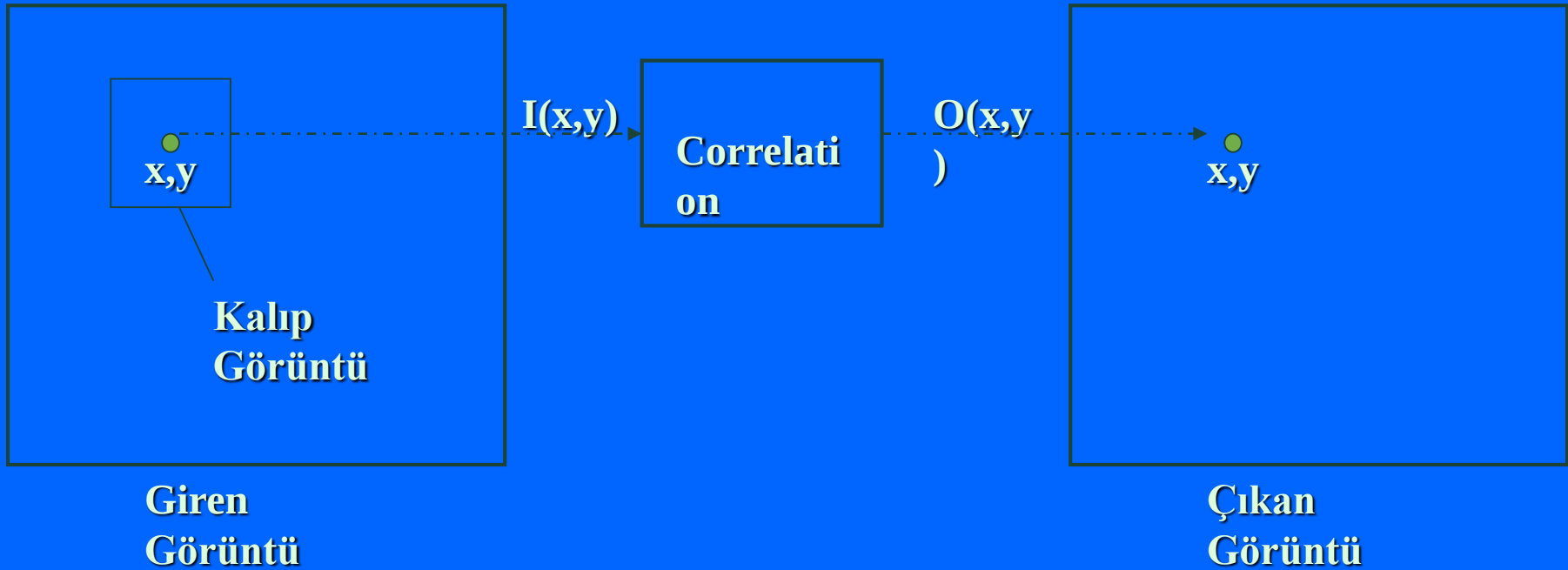
$(\text{Kaynak GG} - \text{Kalıp GG} + 1) \times (\text{Kaynak GY} - \text{Kalıp GY} + 1)$



Kalıp Eşleme

- **Objelerin sınıflandırılmasında kullanılan bir tekniktir.**
- **Kalıp eşleme ile görüntülerin birbirleri ile karşılaştırılması mümkündür.**
- **Örnek görüntü, kaynak görüntünün içinde karşılaştırılır ve benzer objelerin görüntüde olup olmadığı araştırılır.**
- **Kalıp görüntünün standart sapması ile kaynak görüntünün belirli bir kısmındaki standart sapma birbiri ile karşılaştırılır.**
- **Kalıp eşleme yöntemi genellikle karakterlerin, rakamların ve diğer küçük basit objelerin karşılaştırılmasında kullanılır.**

GÖRÜNTÜ EŞLEME



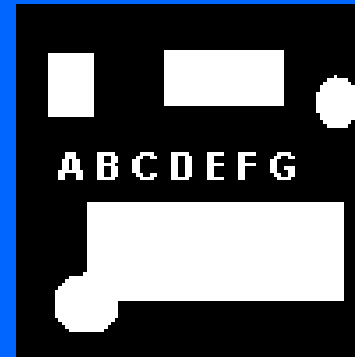
Eşleme işlemi için kalıp görüntü, kaynak görüntünün içinde baştan sona, olası bütün konumlarda gezdirilir ve her piksel için correlation hesaplanır. Hesaplanan correlation'a göre kalıp görüntünün o konuma ne kadar uygun olduğu değerlendirilir.

Kalıp eşleme işleminde piksel piksel değerlendirme yapılır.

GÖRÜNTÜ EŞLEME



Kalıp

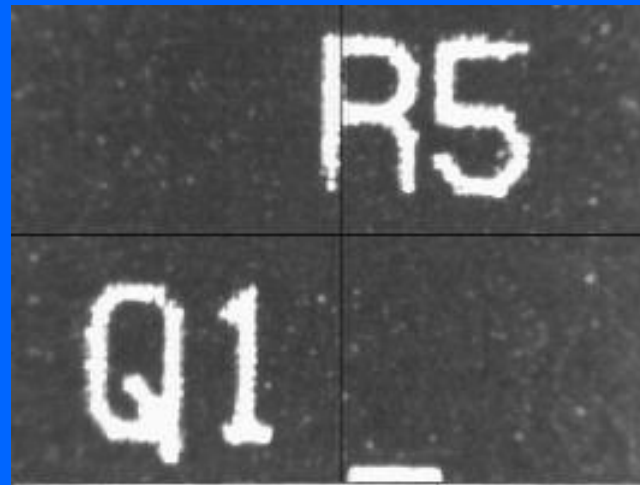


Kaynak

- Kalıp, küçük bir görüntü olur ve kaynak içerisinde gezdirilerek uygunluk değerlendirilir.
- İşlem ikili görüntülerde daha kolaydır.

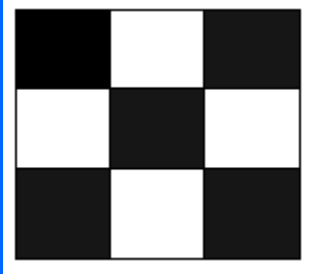
Gri Düzeyli Görüntüler

Kalıp

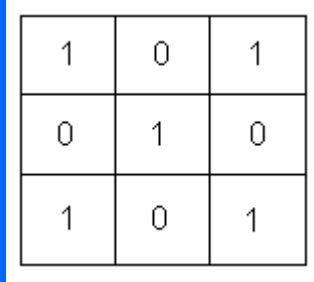


Kaynak
Görüntü

Kalıp Eşlemenin Temelleri



Kalıp



Kaynak

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi ikili kalıp görüntüyü kaynak görüntü içinde arayan örneği inceleyelim.

Kalıp, daha önce belirttiğimiz gibi sırayla piksel piksel kaynak görüntü içinde olası bütün konumlarda gezdirilmeye başlanır.

1	0	1
0	1	0
1	0	1

Kalıp

0	1	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1

Kaynak

$$C = 0$$

Kalıp görüntüyü oluşturan matris ile kaynak görüntü içerisinde ilk konumda olan matris correlation işlemine tabi tutulur.

Correlation işleminin sonucu 1'e yakın bir değer çıkarsa iki görüntü matrisi arasında bir benzerlik vardır. Correlation 0'a yakınsa benzerlik yoktur.



GÖRÜNTÜ EŞLEME

1	0	1
0	1	0
1	0	1

Kalıp

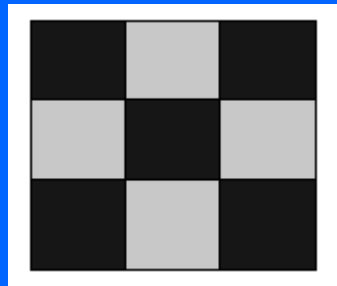
0	1	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1

Kaynak

$$C = 1$$

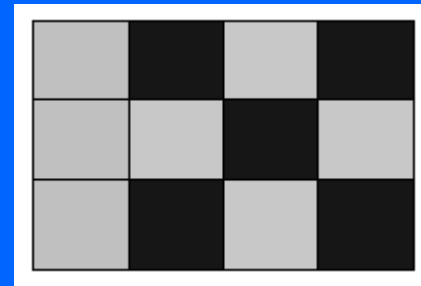
İlk işlemi tamamlayan ve aradığı correlation değerini bulamayan sistem Kalıp görüntüyü kaynak görüntü içerisinde olası ikinci konum getirir ve bulunan matris yeniden correlation işlemine tabi tutulur.

Gri Değerli Görüntülerde Kalıp Eşleme



Kalıp

22	200	16
197	20	180
21	210	18



Kaynak

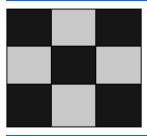
180	21	190	15
162	192	22	210
185	19	205	20

Gri değerli görüntülerde de durum aynıdır. İlk konumdan başlayarak olası bütün konumlarda gezen kalıp görüntünün matrisi, kaynak görüntünün ilgili bölgesindeki görüntü matrisi ile correlation işlemine tabi tutulur.

Bulunan correlation değerine göre eşlemenin uygun olup olmadığına karar verilir.

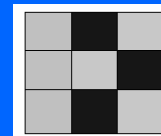
22	200	16
197	20	180
21	210	18

Kalıp



180	21	190	15
162	192	22	210
185	19	205	20

Kaynak



$$C = 0,345$$

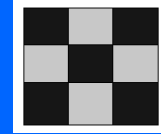
22	200	16
197	20	180
21	210	18

Kalıp

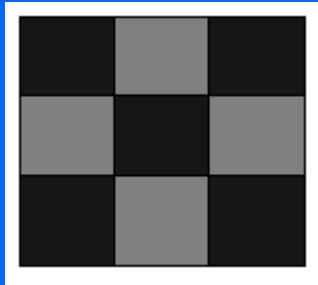


180	21	190	15
162	192	22	210
185	19	205	20

Kaynak

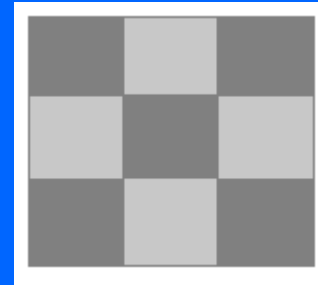


$$C = 0,997$$



Kalıp

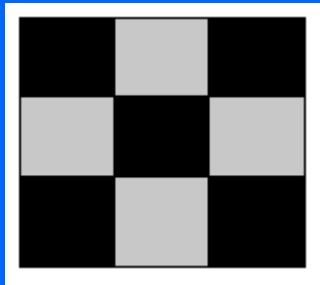
30	158	28
150	36	162
34	156	32



156	230	160
220	158	225
155	228	161

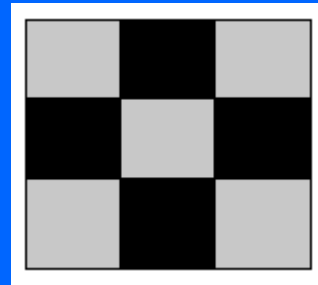
$$C = 0,905$$

Farklı tonlardaki görüntülerin eşleme işlemi sırasında nasıl işlem göreceğine dair bu örneği incelediğimizde, iki görüntü arasında ton farkı olsa bile correlation formülünden yararlanarak kalıp görüntüyü kaynak içerisinde bulabilmek mümkün.



Kalıp

21	190	30
202	15	195
26	206	22



Kaynak

210	12	208
16	190	18
196	20	200

$$C = 0,201$$

Yapılan bir başka denemede zıt iki görüntü arasındaki correlation durumu incelenmiş ve işlem sonucunda benzerlik olmadığı görülmüştür.

GÖRÜNTÜ EŞLEME

↓

1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	9	1	1	1
1	1	9	9	9	1	1
1	1	1	9	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

Hedef (7 × 7)

↓

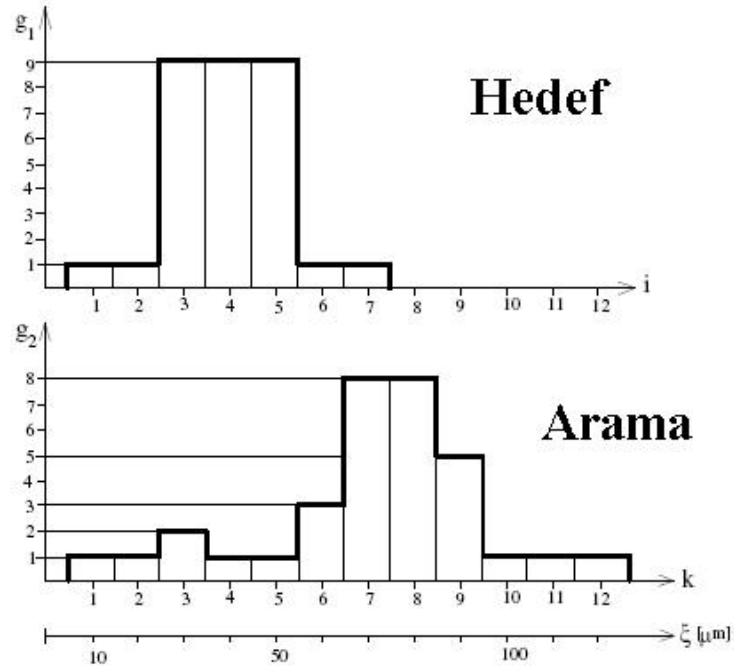
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1
1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	8	2	1	1	1	1
1	1	1	1	8	9	8	9	9	2	1	1
1	1	1	1	1	2	5	1	1	1	1	1
1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Araştırma (12 × 12)

Arama matrisi $i = 8$, $j = 7$.

Örnekte görüldüğü gibi arama işlemi zordur, çünkü hedef görüntü gürütü içermektedir. Bundan dolayı korelasyon düşük çıkacaktır.

GÖRÜNTÜ EŞLEME



Konum	1.	2.	3.	4.	5.	6.
k	1:7	2:8	3:9	4:10	5:11	6:12
ρ	-0.40	-0.51	0.00	0.73	0.92	0.24
$\xi [\mu m]$	40	50	60	70	80	90

En Küçük Kareler Yöntemiyle Görüntü Eşleme

- İki görüntü parçasının eşleştirilmesinde korelasyon katsayısının kullanımı, görüntülerdeki geometrik ve radyometrik farklılıklardan ötürü iyi bir yöntem değildir.
- Bu nedenle yapılan yeni arayışlar sonucunda, yine alt piksel gruplarının araştırılmasına dayanan yeni yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler ilave olarak doğruluk değerlendirme, gözlemlerin ağırlık değerleri, hata tespitleri gibi işlemleri de kapsamakta idi.
- Ardından bu gelişmeler sonucunda en küçük kareler yöntemine ulaşıldı.

- En küçük kareler yöntemindeki temel fikir, arama penceresi ve şablon arasındaki gri değer farklılıklarının ölçülmesidir. Bu işlem sırasında geometri kve radyometrik düzeltmeler de uygulanır.

$$g_I(r, c) + v(r, c) = g_S(f_R(p_1, \dots, p_n, r, c), f_C(p_1, \dots, p_n, r, c))r_s + r_t = \bar{g}_S(r, c)$$

$$g_I(r, c) + v(r, c) = g_S^0(r, c) + g_{SR}(r, c)df_R + g_{SC}(r, c)df_C + g_S^0(r, c)dr_s + dr_t$$

$$g_S^0(r, c) = g_S(f_R^0(r, c), f_C^0(r, c))r_s^0 + r_t^0$$

$$df_R(r, c) = \frac{\partial f_R(r, c)}{\partial p_1} dp_1 + \dots + \frac{\partial f_R(r, c)}{\partial p_n} dp_n$$

$$df_C(r, c) = \frac{\partial f_C(r, c)}{\partial p_1} dp_1 + \dots + \frac{\partial f_C(r, c)}{\partial p_n} dp_n$$

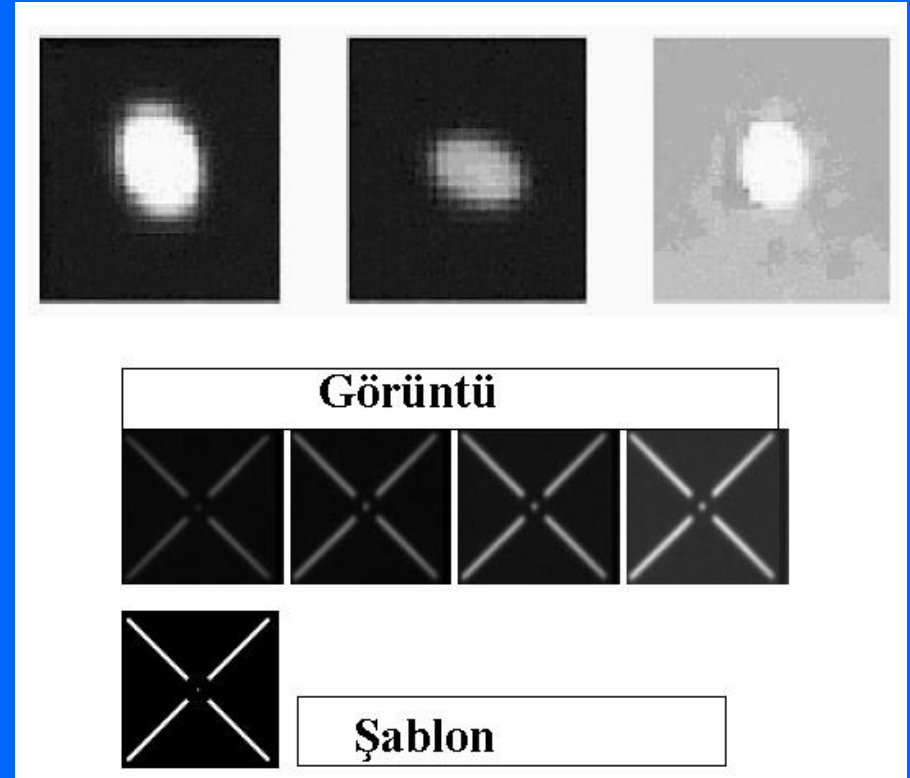
Doğrusal korelasyon yönteminden farklı olarak En Küçük Kareler Yönteminde bazı parametreler doğrudan işleme dahi edilir. Bu parametreler görüntü geometrisinin fonksiyonel modeli ve görüntüler arasındaki radyometrik farklılıkları ortaya çıkarır. Bu işlem iterasyonla gerçekleştirilir. Farklar bir çok etkiye bağlı olabilir:

Geometrik Farklar:

- Algılayıcının yüksekliğine
- Obje görüntü mesafesine
- Objenin biçimine
- Obje yapısının zamanla değişimine

Radyometrik Farklar

- Işık değişimine
- Objelerin yansıtma özelliğine
- Algılayıcı özelliğine





GÖRÜNTÜ EŞLEME

Gerçekçi bir fonksiyonel model radyometrik farklar için doğrusal dönüşümün, geometrik farklar içinse affin dönüşümün öngörülmesidir.

$$f(x_1, y_1) = c_0 + c_1 \cdot g(x_2, y_2)$$

doğrusal

$$\begin{pmatrix} x_1 + u \\ y_1 + v \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x_{02} + \Delta x \\ y_{02} + \Delta y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_2 & c_3 \\ c_4 & c_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$$

affin

$$f(x_{01} + u, y_{01} + v) = c_0 + c_1 \cdot g(x_{02} + \Delta x + uc_2 + vc_3, y_{02} + \Delta y + uc_4 + vc_5)$$

Radyometrik düzeltme fotoğraflar arasındaki parlaklığın kısmi olarak dengelenmesidir. Eğer ışınım gözlem açısına bağlı değilse doğrusal yaklaşım anlamlıdır.

Affin dönüşüm bir yaklaşım sağlar. Küçük ve orta ölçeklerde ve görüntüdeki küçük oranlarda uyundur: Daha doğru bir model projektif dönüşümdür.

Görüntü Mesafesi

- Mesafe, aynı boyutlara sahip iki görüntü parçası arasındaki benzerliğin basit bir ölçümünü ifade eder.
- Normalize edilmiş formül :

$$D(\mathbf{g}_I, \mathbf{g}_S) = \sqrt{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_I(i, j) - g_S(i, j))^2}$$

$$D_N(\mathbf{g}_I, \mathbf{g}_S) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C ((g_I(i, j) - \bar{g}_I) - (g_S(i, j) - \bar{g}_S))^2}{RC}}$$

- Görüntü mesafesi ve korelasyon katsayısı arasındaki ilişki :

$$D_N^2(g_T, g_S) = \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_T(i, j) - \bar{g}_T)^2}{RC} - 2 \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_T(i, j) - \bar{g}_T)(g_S(i, j) - \bar{g}_S)}{RC} + \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (g_S(i, j) - \bar{g}_S)^2}{RC}$$

$$D_N^2(g_T, g_S) = \sigma_T^2 - 2r\sigma_T\sigma_S + \sigma_S^2 \quad (1.11)$$

Ortak Bilgi

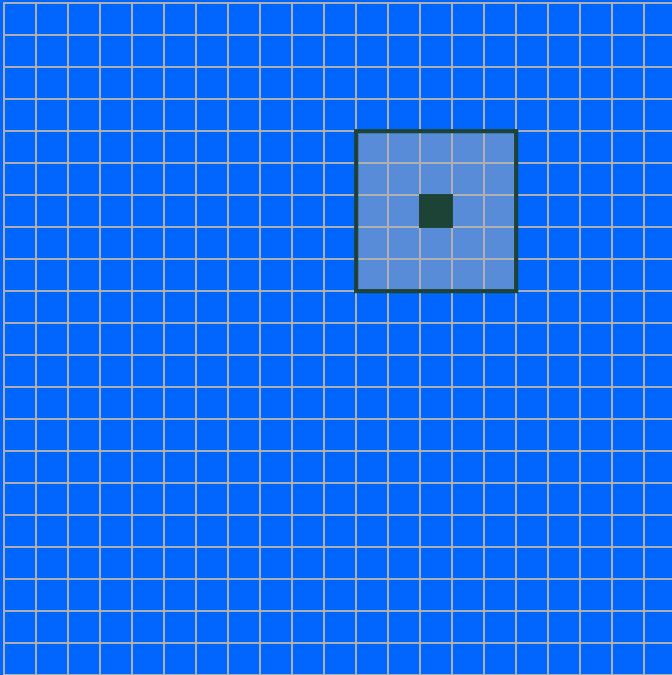
- İki rastgele değişken arasındaki bağımlılığın istatistiki bir ölçüsüdür
- Bir değişkenin diğerini kapsamı durumundaki sahip oldukları bilgi miktarıdır.
- Görüntü parçaları geometrik anlamda dengelenmişler ise maksimum değüere sahiptir.

$$I(\mathbf{g}_T, \mathbf{g}_S) = \sum_{t=1}^{n_T} \sum_{s=1}^{n_S} p_{TS}(t, s) \log_2 \frac{p_{TS}(t, s)}{p_T(t) p_S(s)}$$

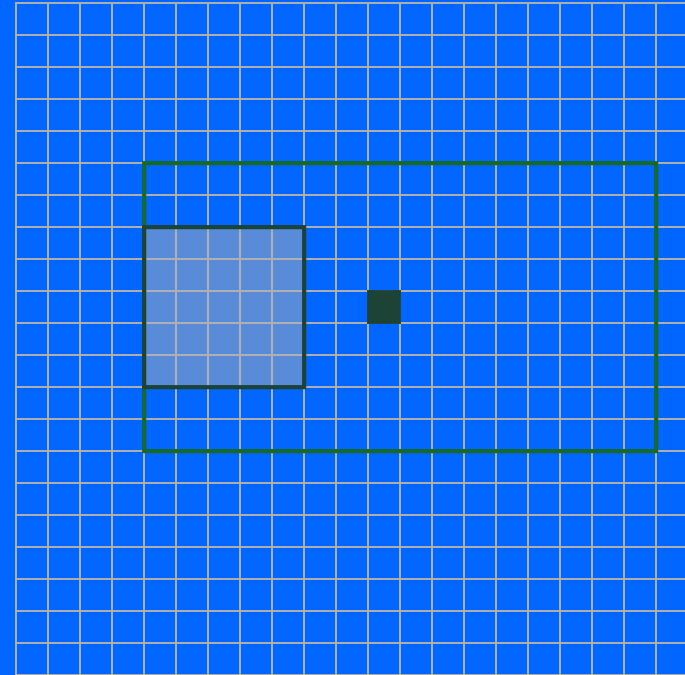


GÖRÜNTÜ EŞLEME

Görüntü 1



Görüntü 2



Eşlenik
pikseller

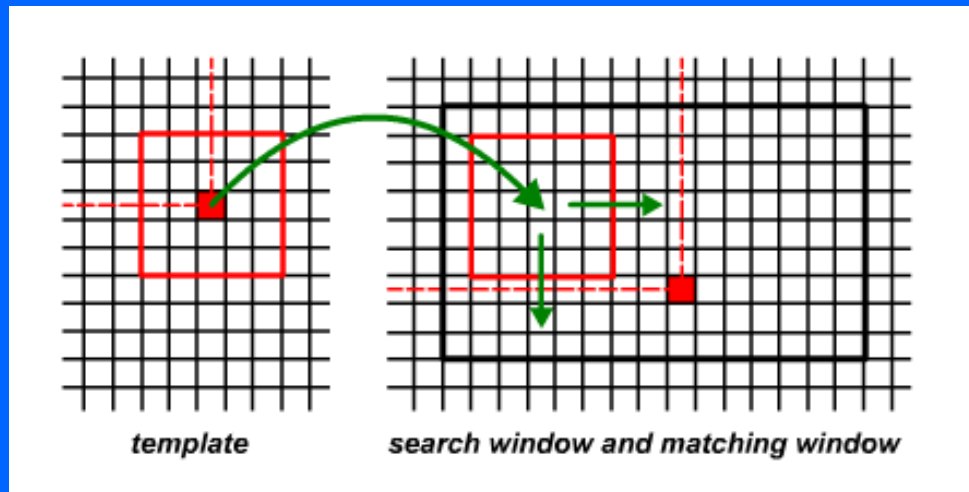


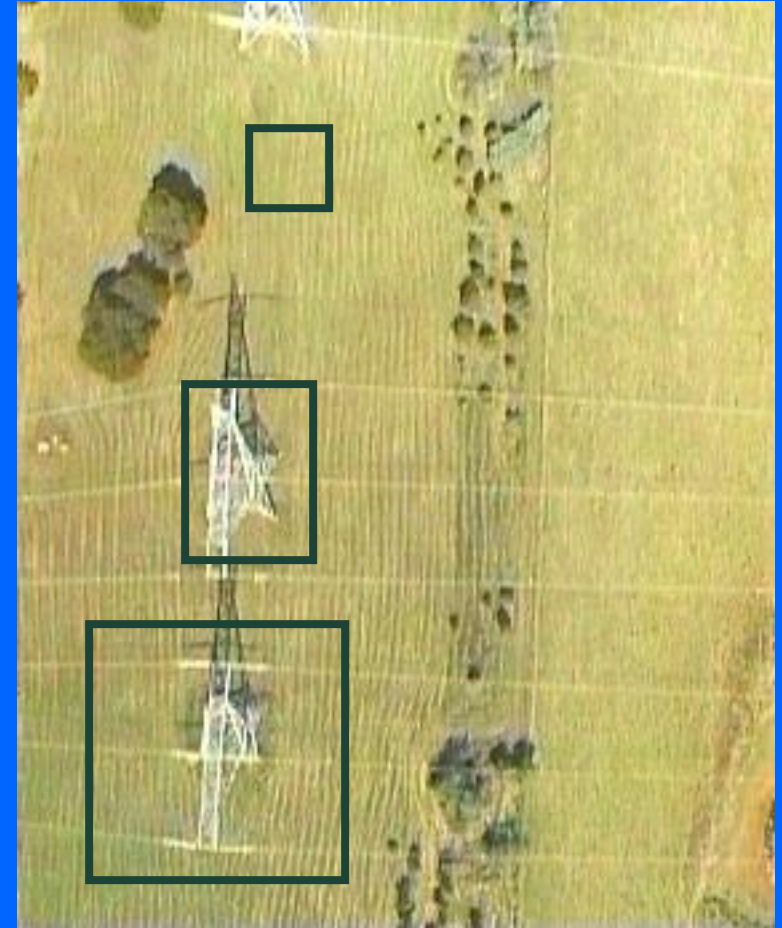
Görüntü
Parçası (template)



Arama penceresi
Search window

GÖRÜNTÜ EŞLEME







Detay Tabanlı Yöntemler

- Gri değerler üzerine eşleştirme yapan alan tabanlı yöntemlerden farklı olarak, detay tabanlı yöntemler detayların nokta, kenar ve bölgeler olarak eşleştirilmesi fikrine dayanır.
- Görüntüdeki çakışık noktaların ölçülmesinde, operatör, gri değerlerdeki ani değişimleri tespit eder ve bu ani değişimler üzerinde durur. Bu ani değişimler nesne uzayında bazı fiziksel sınırlar üzerinde oluşmaktadır.



GÖRÜNTÜ EŞLEME

- İnsan görme sistemi düşünüldüğünde, detay tabanlı yöntemlerin, alan tabanlı yöntemlere kıyasla daha iyi bir seçim olacağı sonucuna varılır.
- Detay tabanlı yöntemler üç adımdan oluşurlar :
- Görüntüdeki farklı detayların (kenarlar, noktalar) ayrı ayrı seçilmesi
- Seçilen benzerlik ölçümüne göre eşleşen detay çiftleri için bir aday listesi oluşturulması
- Bir nesne modeli ile uyumlu detay çiftleri listesi oluşturulması



İlinti Noktaları

- Alan tabanlı eşleştirme, yüksek kontrasta sahip alanlarda en iyi sonucu verir.
- Gri değerlerindeki yüksek değişimlerle, yüksek oto-korelasyon fonksiyonu ile, dik gradyentler ile tanımlanabilen noktalar (ya da küçük alanlar) ilinti noktaları olarak adlandırılır. Bu noktaları ilinti operatörleri ile elde edilirler.



- İlinti noktalarının genel özellikleri :
 - Ayırt edilebilirlik
 - Geometrik ve radyometrik distorsiyonlar karşısında stabil
 - Tüm görüntüler içerisinde seçilebilen (stabil)
 - Tekrarlılıklar nedeniyle çakışıklık göstermeyen
 - Yorumlanabilir, anlam ifade edebilir



- İlinti noktalarının her bir eşleşen görüntü içerisinde bulunması işlemi iki aşamalıdır :
 - Görüntüdeki her arama penceresi için karakteristik parametrelerin belirlenmesi
 - Bu parametrelerin değerlerinin belirlenen eşik değerleri ile karşılaştırılması
- Bu parametrelerin değerleri, her ilinti operatörü için farklıdır. Ancak hepsinde de arama penceresi içerisindeki gri değerlere bağlıdır.



Kenarlar ve Bölgeler

- Kenarlar, gri değer fonksiyonundaki süreksizlikler olarak tanımlanabilir. Gri değerler küçük bir alanda bile hızlıca değişebilir. Kenarlar genellikle görüntü içerisinde bir nesnenin sınır çizgilerine karşılık gelirler.
- Kenar yakalama işlemi şöyle yapılmaktadır:
 - Kenar pikselleri yakalanır. Gri değerlerdeki süreksizlikler kenar operatörleri ile belirlenir. Gri değerler arasındaki fark için bir eşik kullanılarak söz konusu pikselin bir kenara ait olup olmadığı belirlenir.
 - Kenar pikselleri, kenarlar ile ilişkilendirilir.
 - Kenarlar gruplandırılır. Düz çizgiler, çoklu çizgiler ve paralel çizgiler ayrı ayrı belirlenir.



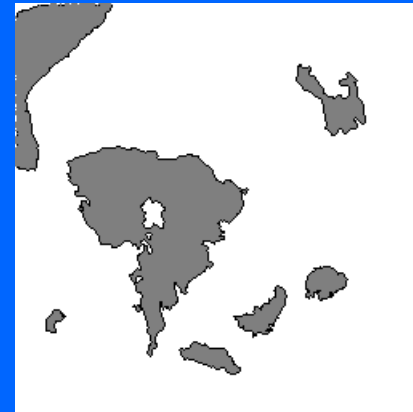
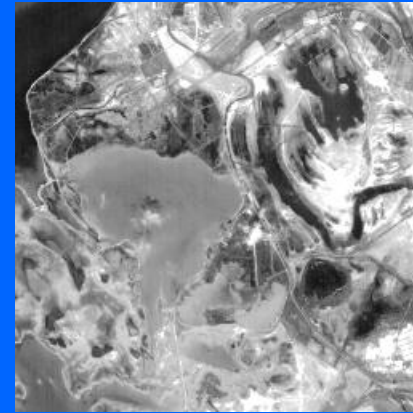
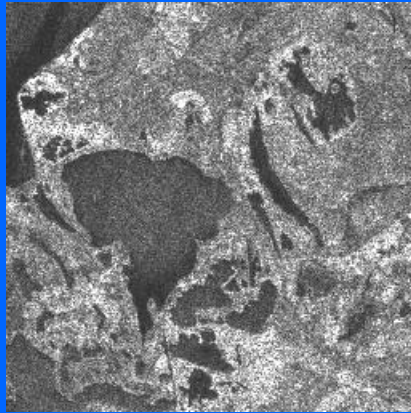
- Kenar operatörleri, görüntüdeki gri değer farklılıklarını yakalarlar.
- Bazı kenar operatörleri gri değer fonksiyonunun ilk türevine göre çalışır. İlk türevin ekstrim noktası kenar pikseli olarak belirlenir. Gradyent operatörü ve Sobel operatörü bu gruba girmektedir. Her iki operatör de yöne bağımlıdır.
- Laplacian operatörü, fonksiyonun ikinci türevine göre çalışır. Bu gruba giren operatörler, yönden bağımsızdır.

Kenar belirleme & Çıkarma





- Çizgi (kenar) eşleştirme

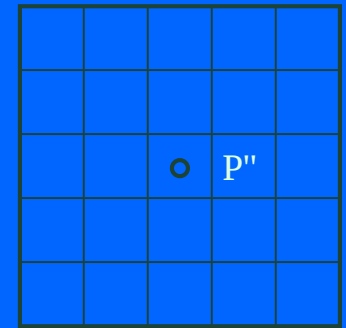
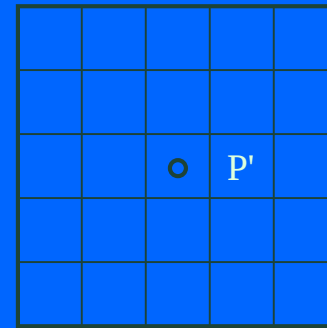
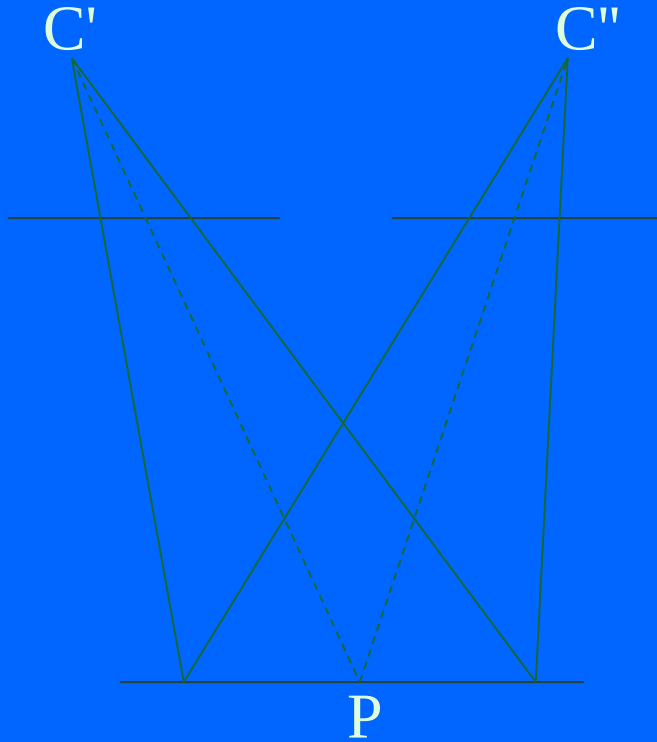


■ Parça (Patch) eşleştirme

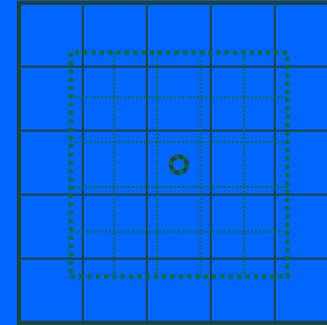
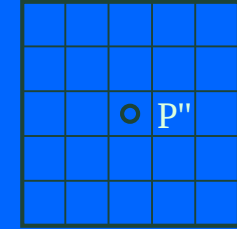
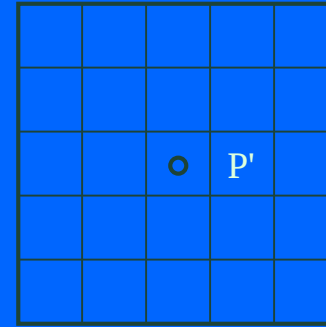
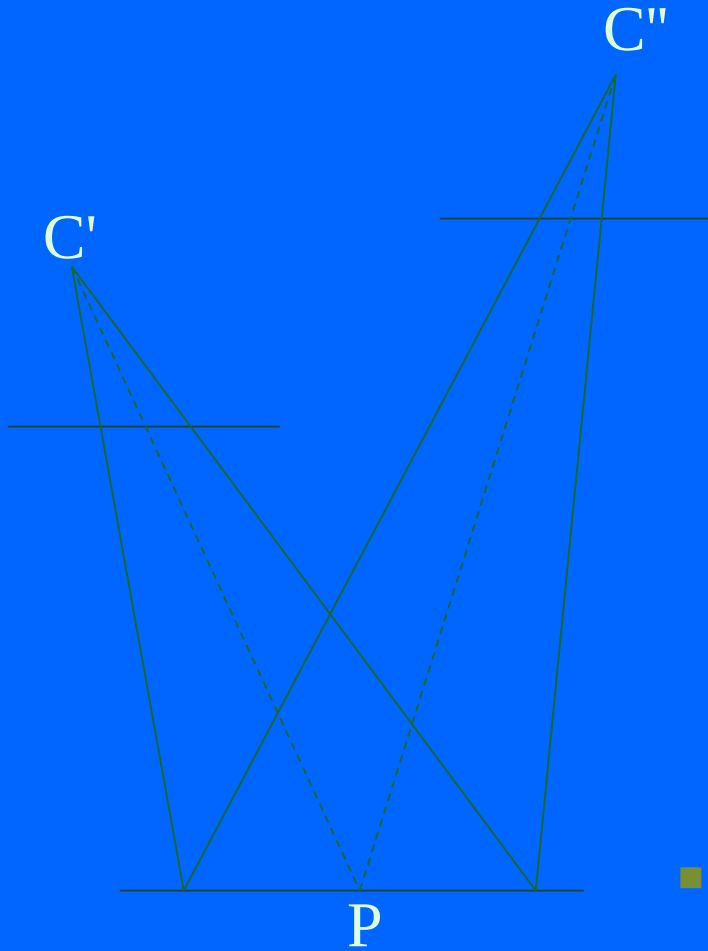


Temel Problemler

- Kötü pozlanma (Çözülmesi güç)
- Araştırma uzayı problemi (araştırma uzayı sınırlı olmalı)
- Eşleşme biriminin benzersizliği
- Eşleşme birimlerinin geometrik distorsiyonları



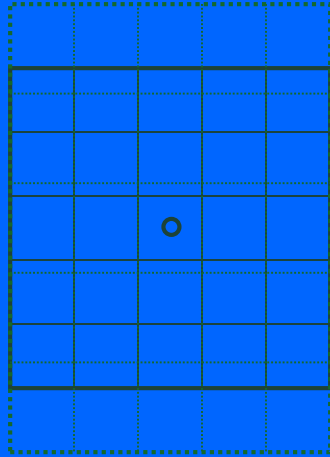
- Geometrik distorsiyon yok ise



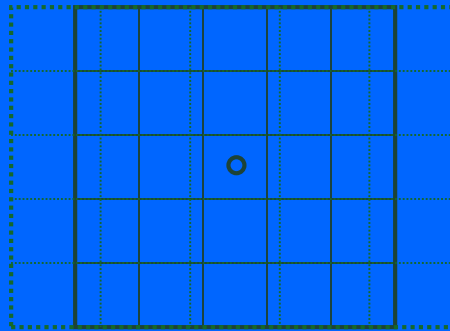
- Görüntü pencereleri içindeki pikseller eşleşmezler

- Ölçek farklılığı

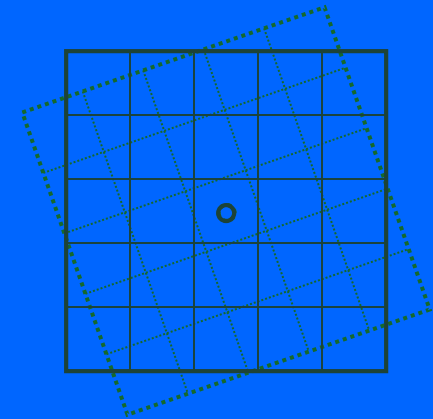
Uçuş yönü →



x - eksen
dönüklüğü

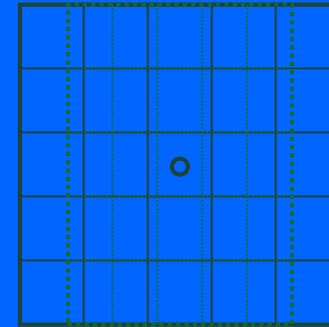
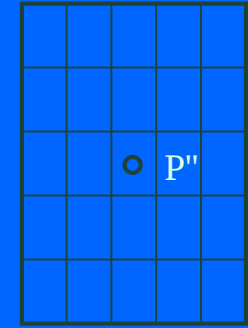
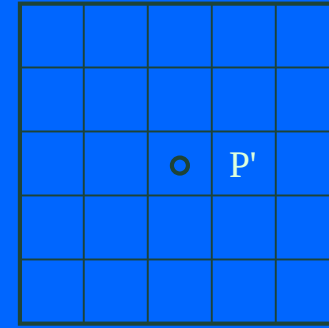
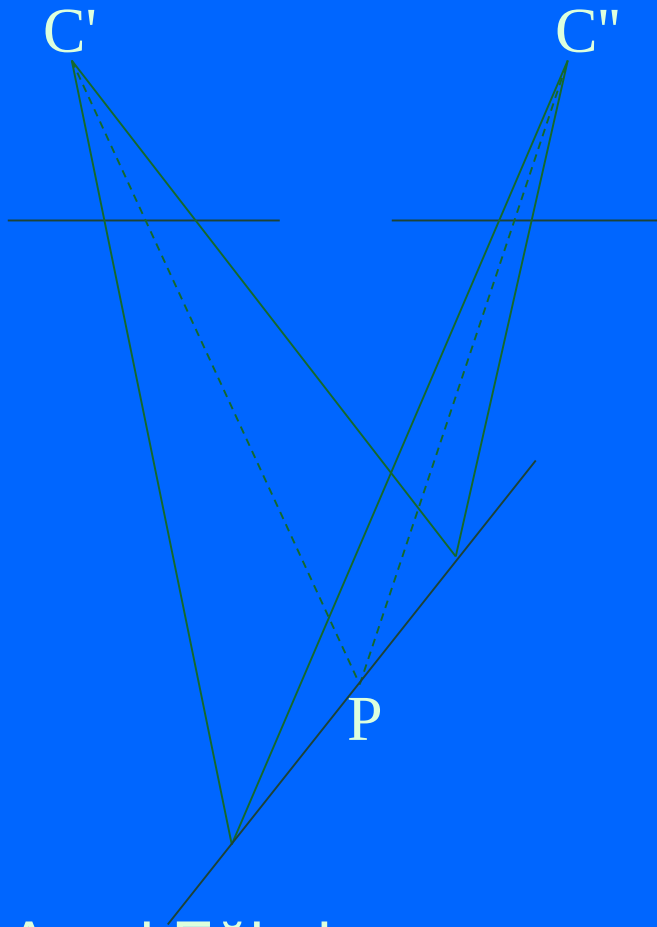


y - eksen
dönüklüğü

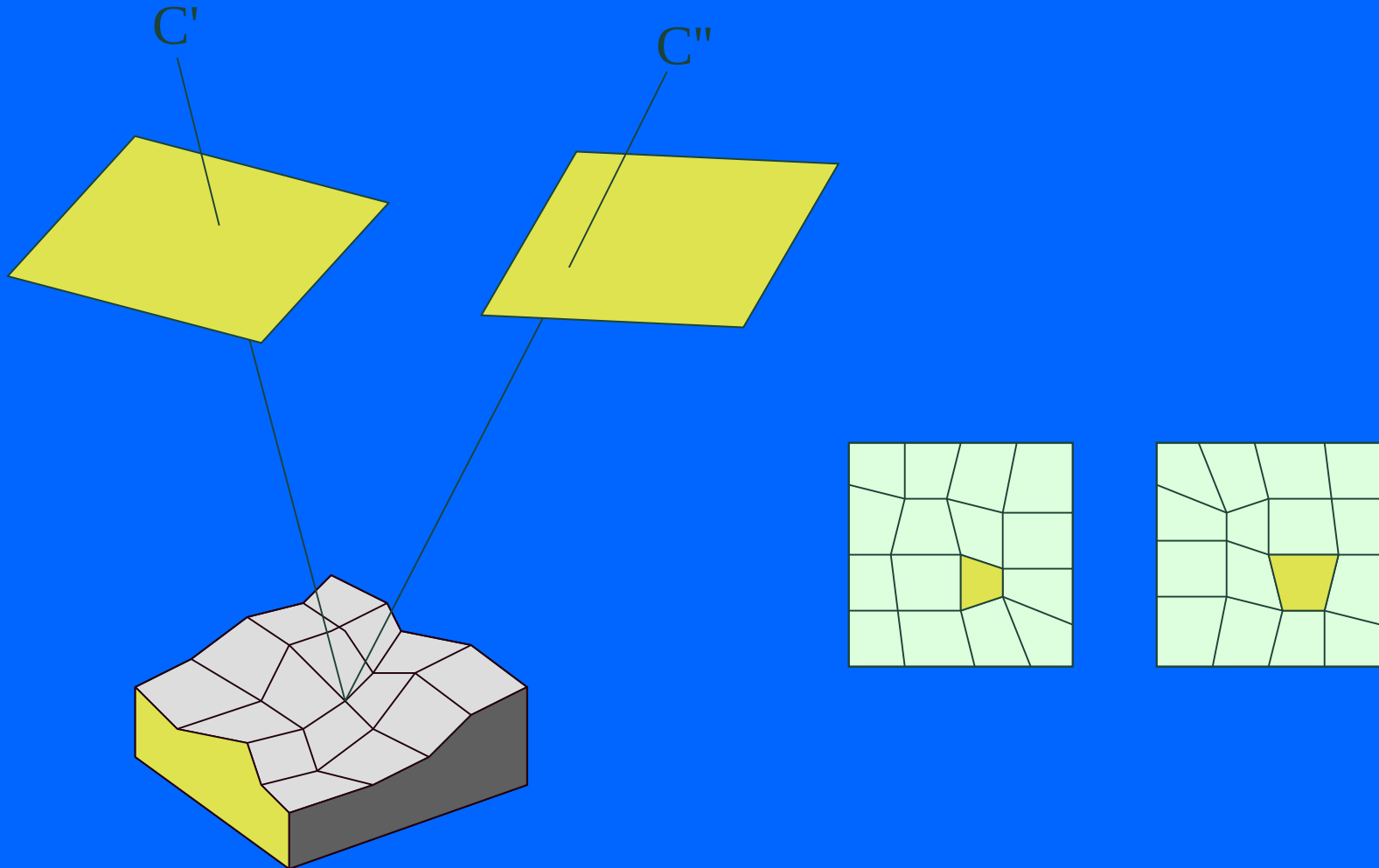


z - eksen
dönüklüğü

■ Açısal distorsiyon



■ Arazi Eğimi



■ Yüzey distorsiyonu



Eşleştirme Şartları

- Geometrik sınırlama
 - Epipolar çizgiler
- Görüntü Normalizasyonu
- Görüntü Piramitleri



Görüntü Tabanlı Modelleme

- Görüntü-tabanlı modelleme, genel anlamda iki ayrı kategoride ele alınabilir :
 - Yüksek oranda doğruluğa sahip hassas 3B modeller oluşturma
 - Görsel anlamda gerçeğe yakın 3B modeller oluşturma



- 3B model oluşturmada fotogrametrik yöntemlerde gerçekleştirilen işlemler :
 - Görüntü ön-işleme
 - Kamera kalibrasyonu
 - Ağ oryantasyonu
 - Görüntü tarama – nokta yakalama
 - Yüzey ölçümleri
 - Üçgenleme
 - Hata tespitleri
 - Filtrelemeler
 - Mesh oluşturma
 - Texturing – yüzey kaplama
 - Görselleştirme
 - Analiz



DETEKTÖRLER VE TANIMLAYICILAR

- Çoğu fotogrametrik işlem ve bilgisayar görüntüsü uygulamalarında öncelikle detay çıkarımı istenir.
- Detaylar, aşağıda belirtilen işlemlerde ana elemanlardır :
 - Görüntü çakıştırma
 - 3B yeniden oluşturma
 - Hareket izleme
 - Robot navigasyonu
 - Nesne yakalama ve tanıma



- Detaylar, yöneltmelerden, dönüklüklerden ve dönüşümlerden bağımsız olarak yakalanabilmelidir. Otomatik yöneltilme işlemlerinde bu durum önemlidir.

Detayların Özellikleri

- Detay bileşenlerinin sahip olması gereken temel özellikler, Haralick ve Shapira tarafından şöyle belirtilmiştir :
 - Açıklık : Detay bileşenler arka plandan kolayca ayırt edilebilmelidir.
 - Değişmezlik : Radyometrik ve geometrik distorsiyondan bağımsız olmalıdır.
 - Yorumlanabilirlik : Detaylar bir anlam ifade edebilmelidir, sonraki işlemlerde kullanılacak bir bilgi sunabilmelidir.
 - Stabilité : Görüntülerdeki gürültüye karşı stabil olmalıdır.
 - Tekillik : Detaylar, diğer detaylardan ayırt edilebilmelidir.

Tanımlar

■ Detektörler (Detector)

- Görüntü içerisinde 2B detay bileşenleri geometrik olarak ararlar. Bu arama işlemi farklı dönüşümlere uğramış görüntüler üzerinde de aynı şekilde çalışabilmelidir. Arama işlemi sonucunda bulunan bileşenler, “ilinti noktaları”, “köşeler”, “afin bölgeleri”, “sabit bölgeler” olarak adlandırılırlar.

■ Tanımlayıcılar (Descriptor)

- Görüntüyü analiz ederek, belli bir bileşen için sabit bir konum belirlemeye çalışırlar. Bu konum bilgisi aslında 2B bir konum vektöründen ibarettir. Elde edilecek konum bilgisi, görüntü eşleme için ya da detektörler ile tespit edilen detay bileşenlerin sınıflandırılmasında kullanılabilir.



İlinti Noktalarının Kullanım Alanları

- İlinti noktalarının fotogrametrideki kullanım alanları :
 - Görüntü yönleltmeleri
 - 3B yeniden oluşturma
 - Bilgisayar görüntüsü uygulamaları
 - Nesne yakalama
 - Nesne tanıma
 - Nesne sınıflandırma



Doğruluk Analizi

- Yapılan detay çıkarımı işlemlerinin doğruluğunu sinamak için şu yöntemler kullanılabilir :
 - Doğru yakalanan nokta sayısı
 - Yakalanan noktaların konumları
 - Yoğunluk (density)



Detektörler ve Tanımlayıcılar

- Nokta ve Bölge Detektörleri
 - Nokta Detektörleri
 - Hessian
 - Moravec
 - Förstner
 - Harris
 - Tomasi & Kanade
 - Haralick
 - Heitger
 - Susan
 - Bölge Detektörleri
 - Harris – Affine
 - Hessian – Affine
 - MSER
 - Salient
 - EBR
 - IBR
- Tanımlayıcılar
 - SIFT
 - Complex Filters



Nokta Detektörleri

- Kullanılan nokta detektörleri üç farklı yöntemle çalışırlar :
 - Biçim tabanlı yöntemler
 - İşaret tabanlı yöntemler
 - Şablon eşleştirme tabanlı yöntemler
- Nokta detektörlerin temel özellikleri :
 - Doğruluk
 - Stabilité
 - Duyarlılık
 - Kontrol edilebilirlik ve hız



Bölge Detektörleri

- Görüntü içerisindeki bölgeler, farklı dönüşümlere maruz kalmış görüntüler içerisinde aynı şekilde yakalanabilmelidir. Ölçek faktörü de önemlidir. Farklı ölçeklere sahip görüntülerde yakalanan bölgeler aynı nesne yüzeyini örtecek şekilde olmalıdır.



Tanımlayıcılar

- Dönüşümler, ölçek ve dönüklükler karşısında stabil olarak bölge ya da nokta detaylar tanımlandıktan sonra, yakalanan bu detayların tanımlanması gereksinimi oluşacaktır.



GÖRÜNTÜ EŞLEME

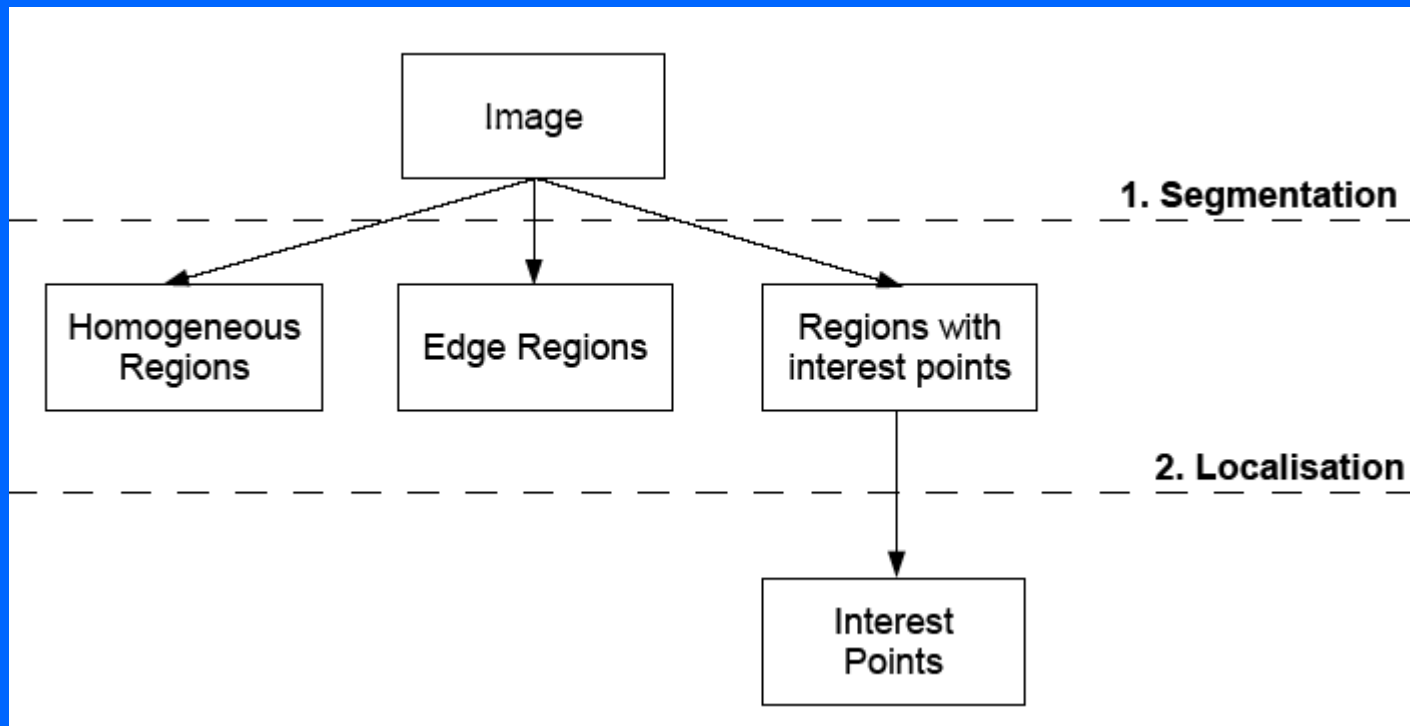
Karşılaştırma

Operatör	Yakalama Oranı	Konulandırma	Tekrarlama Oranı	Gürültüye Dayanıklılık	Hız
Moravec	Makul	İyi	Makul	Makul	İyi
Förstner	İyi	İyi	Afin dönüşümler için mükemmel, ölçekleme için makul	İyi	Zayıf
SUSAN	İyi	Blur görüntüler için kötü, diğerleri için çok iyi	Ölçekleme için iyi, afin dönüşümler için zayıf	Mükemmel	İyi
Beaudet	Makul	Makul	Ölçekleme için zayıf, afin dönüşümler için iyi	Zayıf	İyi
Kitchen & Rosenfeld	Makul	Makul	Makul	Makul	Zayıf
Plessey	İyi	L birleşmeler için iyi, diğerleri için zayıf	Afin dönüşümler için mükemmel, ölçekleme için zayıf	Makul	Zayıf



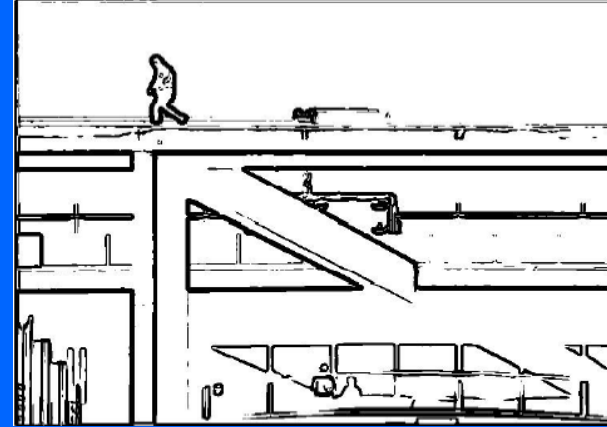
İlinti Operatörleri

- Bir görüntü içerisindeki
 - Köşeleri
 - Kenarları
 - Bölgeleri
- Yakalayan algoritmalarıdır.
- Yüzey ölçüm işlemlerinde yüksek oranda doğruluğu yakalayabilmek için ilinti operatörleri kullanılır.
- Ardışık görüntüler arasında çakışık noktaların elde edilebilmesi için görüntü içerisinde uygun noktalar saptanır.

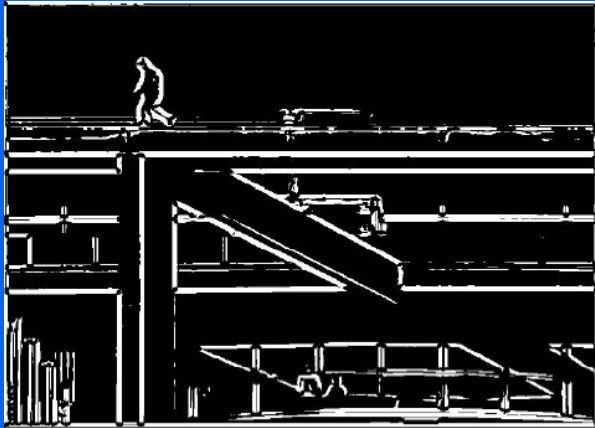




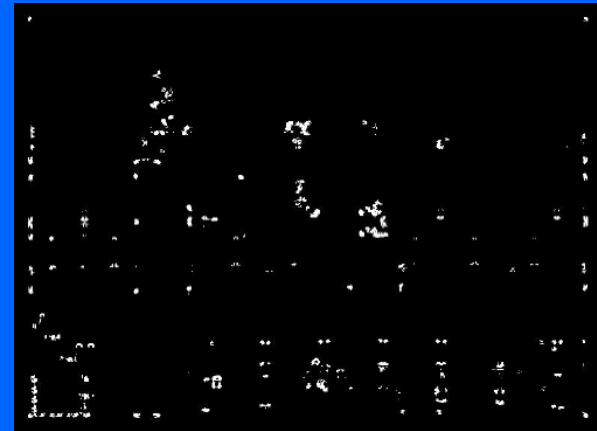
Orjinal Görüntü



Homojen Bölgeler



Kenar Bölgeler



Nokta Bölgeler

Konumlandırılmış Noktalar





Bilinen İlinti Operatörleri

- Förstner Detektörü
 - Förstner ve Gülch tarafından 1987'de geliştirilmiştir.
- SUSAN Detektörü
 - Smith ve Brady tarafından 1997'de geliştirilmiştir.
- FAST
 - Rosten ve Drummond tarafından 2006'da geliştirilmiştir.

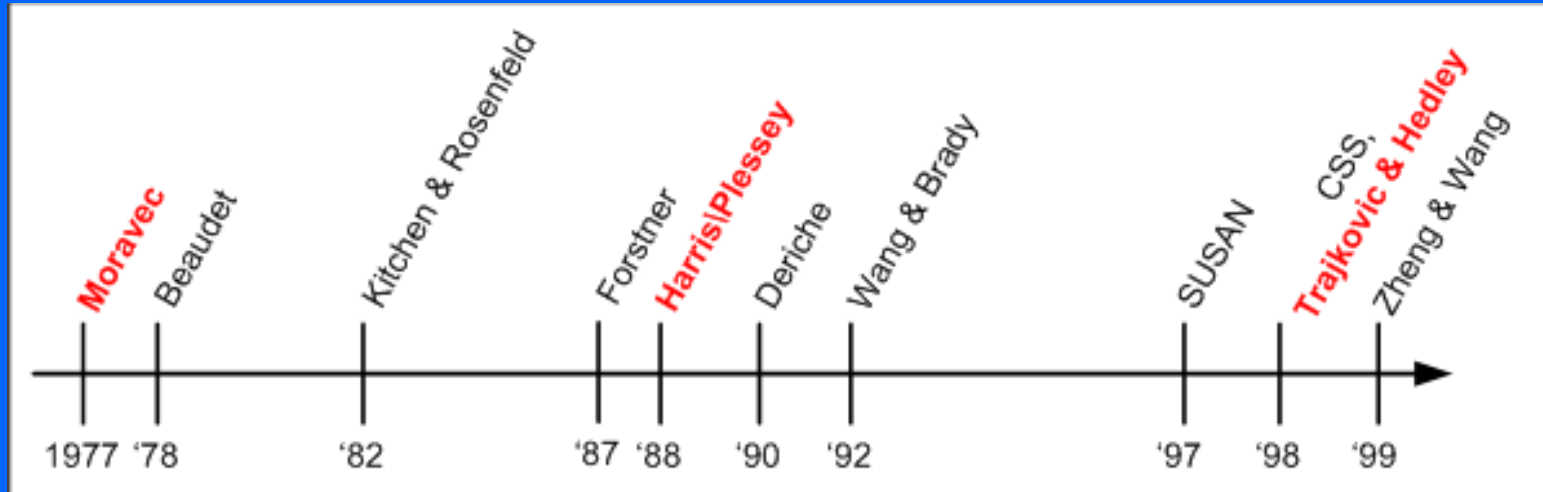


- Moravec Detektörü
 - Moravec tarafından 1977'de geliştirilmiştir.
- Harris Detektörü
 - Harris ve Stephens tarafından 1988'de geliştirilmiştir.
- Tomasi & Kanade Detektörü
 - Tomasi ve Kanade tarafından 1991'de geliştirilmiştir.



- Hessian Detektörü
 - Beaudet tarafından 1978'de geliştirilmiştir.
- Haralick Detektörü
 - Haralick ve Shapiro tarafından 1992'de geliştirilmiştir.
- Heitger Detektörü
 - Heitger tarafından 1992'de geliştirilmiştir.

GÖRÜNTÜ EŞLEME





FAST İlinti Operatörü

- Görüntü içerisindeki noktalarını köşelerin ve dairesel bölgelerin merkezlerinin konumlarının tespit edilmesini sağlar.
- Bu bileşenler, otomatik korelasyon fonksiyonu (automatic correlation function) ile belirlenir.
- Yüksek maliyetli bir hesaplama uygular. Yavaş çalışır. Kapsamlı veri analizi işlemleri için uygun değildir.



- Diğer ilinti operatörlerine göre daha hızlı çalışır.
- Ölçekteki değişimlere ve görüntüdeki dönüklüklere karşı değişmez bir yapıdadır.
- SUSAN algoritması ile benzer bir yoldan çalışır.



SUSAN İlinti Operatörü

- Kenar ve köşe yakalama işlemi yapar.
- Görüntüdeki her ilinti noktası, aynı parlaklık (brightness) değerlerine sahip bir alanla ilişkilendirilir. Bu alanlar üzerinde gezinen bir arama penceresi oluşturulur. Bu arama pencerelerinin merkez noktalarına nucleus adı verilmektedir.



- Arama penceresi içerisinde kalan alan ile nucleus'a ait intensity değerleri hesaplanır. Benzer intensity değerlerine sahip alanlar araştırılır ve bu alanlar USAN olarak adlandırılır.
- USAN değerinin küçük olması, ilgili alanın merkezi pikselden farklı özellikte olduğu anlamına geldiği için bu pikselin bir köşe noktasına ait olduğu sonucu çıkarılır.

- Köşe noktası olmaya aday bir p noktası etrafında 16 pikselden oluşan bir daire oluşturulur. Bu daire içerisinde kalan piksellerin brightness değerleri p noktasının brightness değeri ve t eşik değeri toplamından daha büyük ise bu p noktasının bir köşe noktası olduğu sonucuna varılır.



Förstner Operatörü

- Fotogrametrik görüntü eşleme yöntemleri ile dairesel görüntü bileşenlerinin merkezlerini, köşeleri ve noktaları yakalamak ve konumlarını belirlemek için geliştirilmiştir.
- A otomatik korelasyon fonksiyonunu kullanarak ilinti noktalarını, kenarları ve bölgeleri yakalar.
- A fonksiyonunun türevleri hesaplanarak bir gaussian penceresinde toplamları alınır.
- Hata elipsleri hesaplanır.
- Her elipsin şekline ve boyutuna göre bulunan ilinti noktaları sınıflandırılır.
- Hata elipsleri λ_1 ve λ_2 özvektörleri ile A matrisinin tersi kullanılarak hesaplanır.

$$w = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{\det(A)}{\text{trace}(A)}, \quad w > 0$$

- Hata elipsi büyüklüğü

$$q = 1 - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \right)^2 = \frac{4 \cdot \det(A)}{\text{trace}(A)^2}, \quad 0 \leq q \leq 1$$

- Hata elipsi şekli

- w ve q değerlerine dayanılarak her bileşen sınıflandırılır:
 - Küçük dairesel elipsler belirgin nokta belirtir.
 - Uzunca elipsler, düz bir çizgi belirtir.
 - Büyük elipsler, homojen bir alan belirtir.



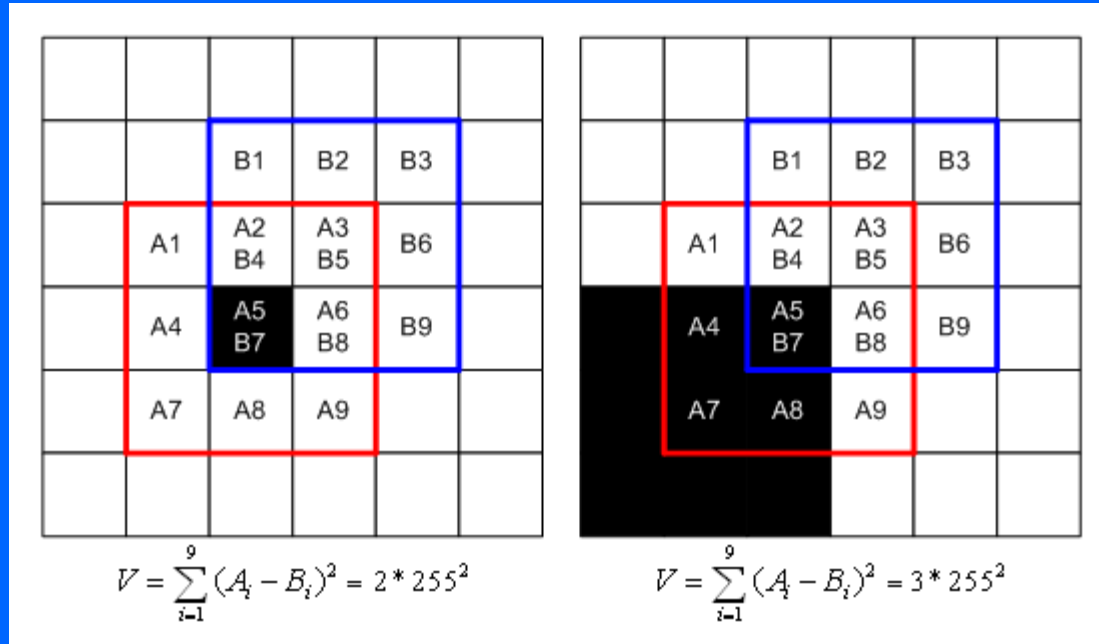
Moravec Operatörü

- Moravec ilinti noktası kavramını, görüntüdeki farklı bölgeler olarak tanımlamıştır ve ardışık görüntülerdeki eşlenik bölgelerin bulunabilmesi için bu noktaların kullanılabileceğini belirtmiştir.
- Moravec operatörü işlemlerinde, ilinti noktaları, her yönde büyük bir yoğunluk değişimi gösteren noktalar olarak belirtilir. Bu durum ise köşe noktalarında gerçekleştiği için Moravec operatörü köşe noktası yakalayıcısı olarak bilinir.

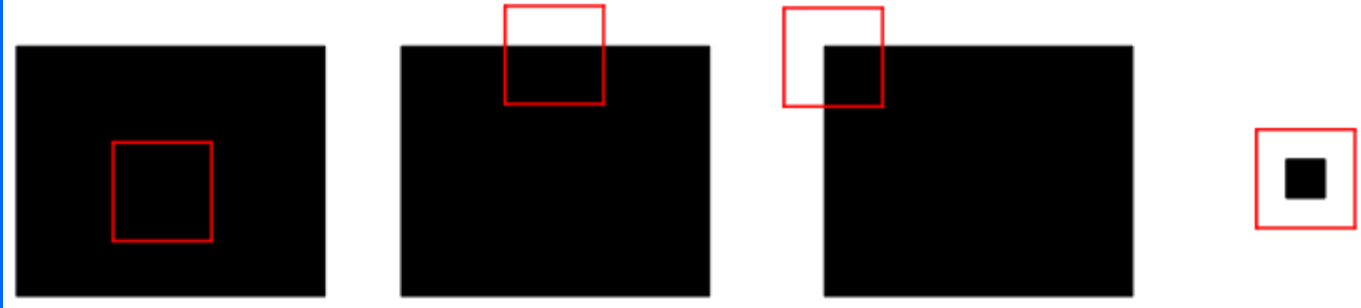


- Moravec yoğunluk değişimlerini, küçük arama pencereleri kullanarak hesaplar. (3x3, 5x5, 7x7) Bu arama pencerelerinin merkezinde söz konusu P noktası bulunmaktadır. Arama pencerelerini bir piksel mesafesinde her yöne doğru kaydırır. İki arama penceresindeki piksellerin yoğunluk değerleri farklarının karelerinin toplamı, yoğunluk değişimi olarak belirlenir.

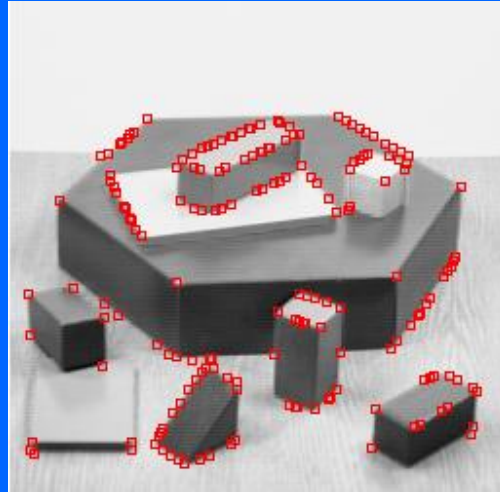
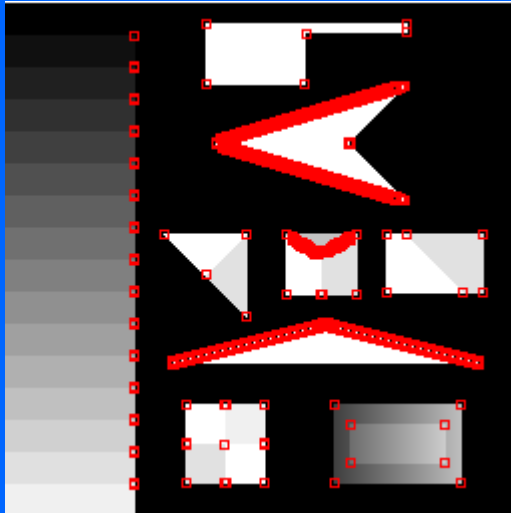
GÖRÜNTÜ EŞLEME



- Kırmızı çerçeve orjinal pencereyi, mavi çerçeve ise kaydırılmış pencereyi belirtmektedir.



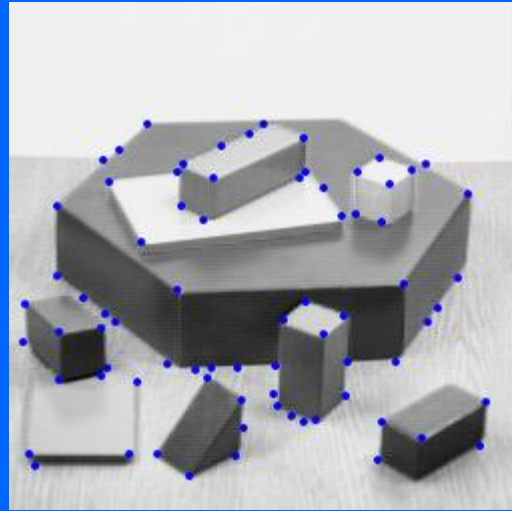
- 1. şekilde pencere nesnenin içerisindedir. Dolayısıyla yoğunluk değeri de sabit olacaktır. Bu noktadan herhangi bir yöne yapılacak kaydırma sonucunda yoğunlukta küçük değişimler gözlenebilir.
- 2. şekilde kenara dik yönde yapılacak kaydırma büyük değişimlere neden olacak iken, kenar boyunca yapılacak kaydırmalar küçük değişimler oluşturacaktır.
- 3. ve 4. şekillerde ise her yöne doğru yapılacak olan kaydırma işlemleri sonucunda büyük değişimler gözlenecektir.





Harris Operatörü

- Bu operatör geliştirilirken, tek bir kameradan elde edilen görüntülere dayanılarak görüntüler üzerinde yorum yapılabilmesi için hareket analizi tekniklerinden yararlanılmıştır.
- Moravec operatöründe olduğu gibi, Harris operatöründe de eşlenik noktaların ardışık görüntüler içerisinde bulunabilmesi için bir yöntem araştırılmıştır, ancak Moravec'teki duruma ek olarak hem köşe noktaları hem de kenarlar üzerinde durulmuştur.





Görüntü Ön-İşleme

- Görüntülere ardışık olarak görüntü işleme fonksiyonları uygulanmadan önce, görüntüler bir ön işlemeden geçirilerek elde edilecek sonuçların daha sağlıklı olması sağlanabilir.
- Ön işleme sonucunda görüntüler üzerinde yakalanabilecek ilinti noktası sayısı artabilir.



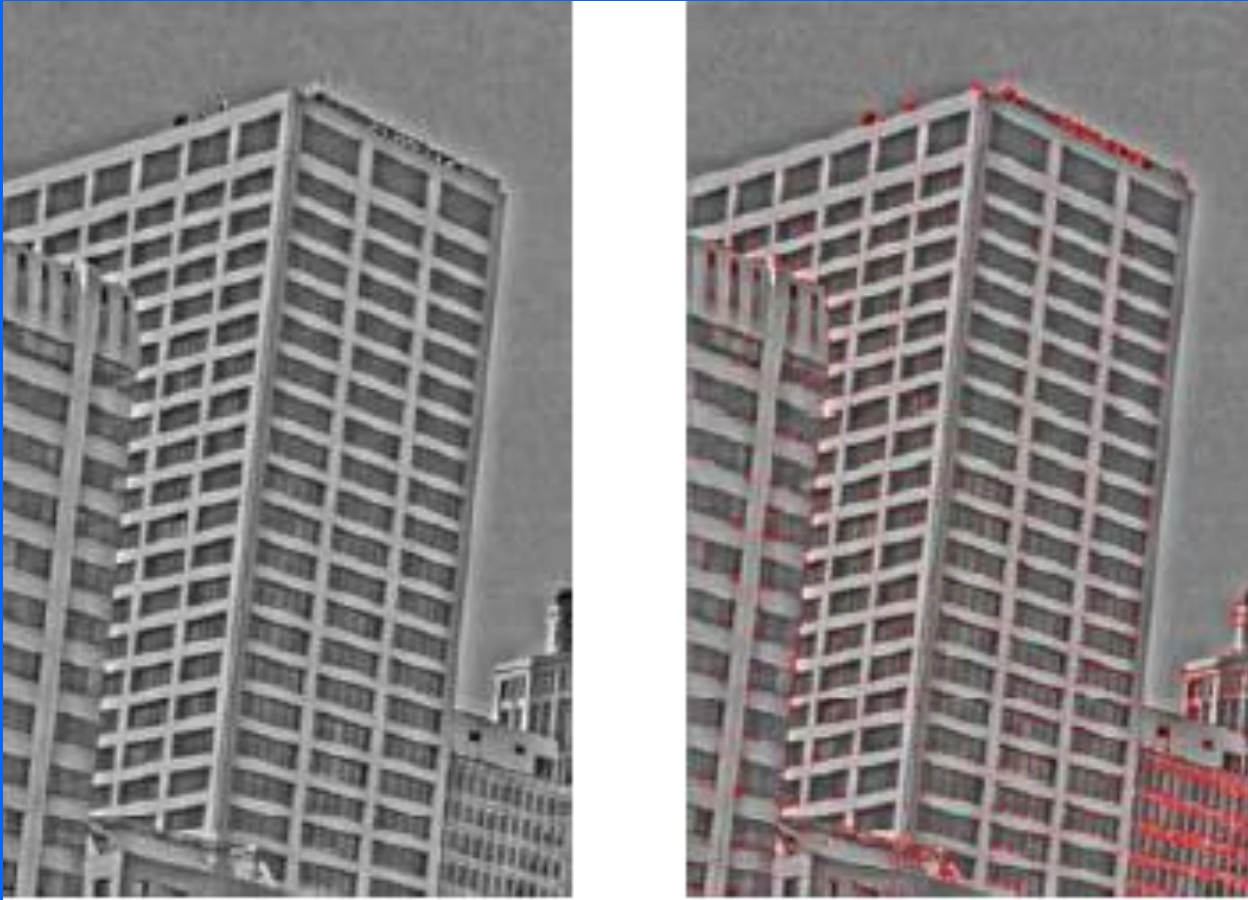
GÖRÜNTÜ EŞLEME

- Bu amaçla kullanılan bir ön işleme fonksiyonu da Wallis filtresidir.
- Wallis filtresi, görüntünün contrast seviyelerini zenginleştirir.
- Wallis filtresi uygulanmış bir görüntüdeki detaylar da artmış olacaktır.

FAST Operatörü



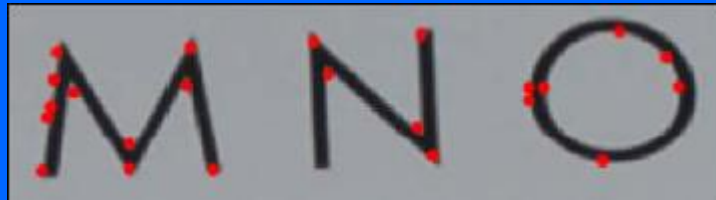
Wallis Filtresi



Wallis ve FAST



Förstner, SUSAN, FAST





GÖRÜNTÜ EŞLEME

	Förstner	SUSAN	FAST
Hız (saniye)	70	0.4	0.1
Yakalama Oranı (Toplam nokta)	45	157	95
Yakalanamayan Noktalar	65	20	3
Hatalı Yakalanan Noktalar	0	67	12
Wallis filtresi kullanıldığında hız (saniye)	3		0.4
Wallis ile Yakalama Oranı	54		240
Wallis ile konumlandırma (piksel)	0.5	0.6	0.3



Kaynaklar

- Image matching and its applications in photogrammetry, Doktora Tezi, M. Potůčková, Aalborg, 2004
- Digital Photogrammetry, Toni Schenk
- Fotogrametri Ders Notları, A. Yaşayan, 1997
- Data Collecting to Volume Computing Using Digital Close Range Photogrammetry and Laser Technics, M. Yakar, M. Yılmaz, O. Mutluoğlu
- Detectors And Descriptors For Photogrammetric Applications, F. Remondino, Switzerland
- Karl Kraus, Photogrammetrie, Band 1 , Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen,
- ISBN 3-11-017708-0
- Görüntü Eşleştirme Teknikleri, F. Karşlı, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Analitik Fotogrametri Notları, YTU, A. Pektekin
- Fotogrametri 2, ITU, D. Şeker