

ÇİFTLİ EŞLEME

- Stereo matching (çiftli eşleme): 2 veya daha çok resmi alarak bu resimlerdeki eşleşen pikselleri bulma, 2B pozisyonlarını 3 boyutlu derinliğe çevirme ve böylece sahnenin 3 boyutlu modelini çıkarma
- Correspondence (uyuşma): İmajın hangi kısımları diğer imajın hangi kısımlarına denk geliyor.
 - Kameranın hareket etmesi
 - Zamanın ilerlemesi
 - Objelerin hareket etmesi
- 3D dünyadaki bir sahneden 2 veya daha çok imajdan, diğer imajda aynı noktalara tekabül edecek nokta kümesi bulmak

ÇİFTLİ EŞLEME

- İmajın hangi kısımları diğer imajın hangi kısımlarına denk geliyor?
- 2 Konu
 - Aday eşleştirmeler nasıl seçilecek?
 - Eşleştirmelerin iyiliği nasıl tespit edilecek?
- Uygulamalar: Panorama, image stitching, 3D Modelleme vb.



ÇİFTLİ EŞLEME



(a)



(b)



(c)

A ve B resmi birleştirilerek C' de derinlik haritası elde edilmiş

ÇİFTLİ EŞLEME



(d)



(e)



(f)

Ard arda gelen 2 resimden 3D modeli çıkarılmış

- İmajdaki eşleşen pikselleri bul
- 2B pozisyonun 3B derinliğe çevir

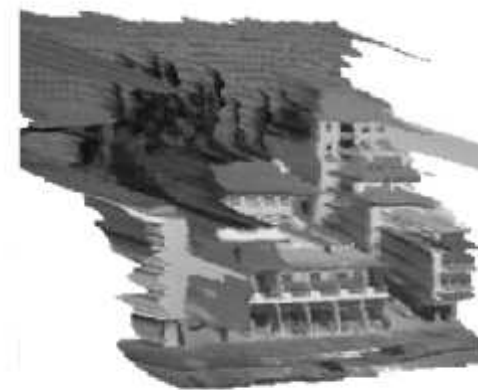
ÇİFTLİ EŞLEME



(a)



(b)



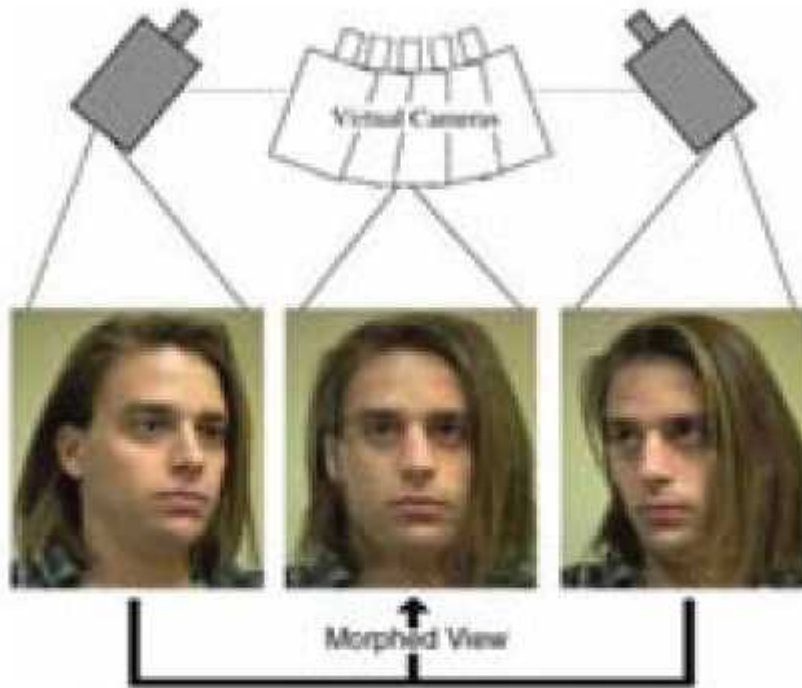
(c)

A – Input İmaj

B – Derinlik Haritası

**C – Çoklu Görüntü Stereo'dan çıkarılmış
yeni jenerasyon**

ÇİFTLİ EŞLEME



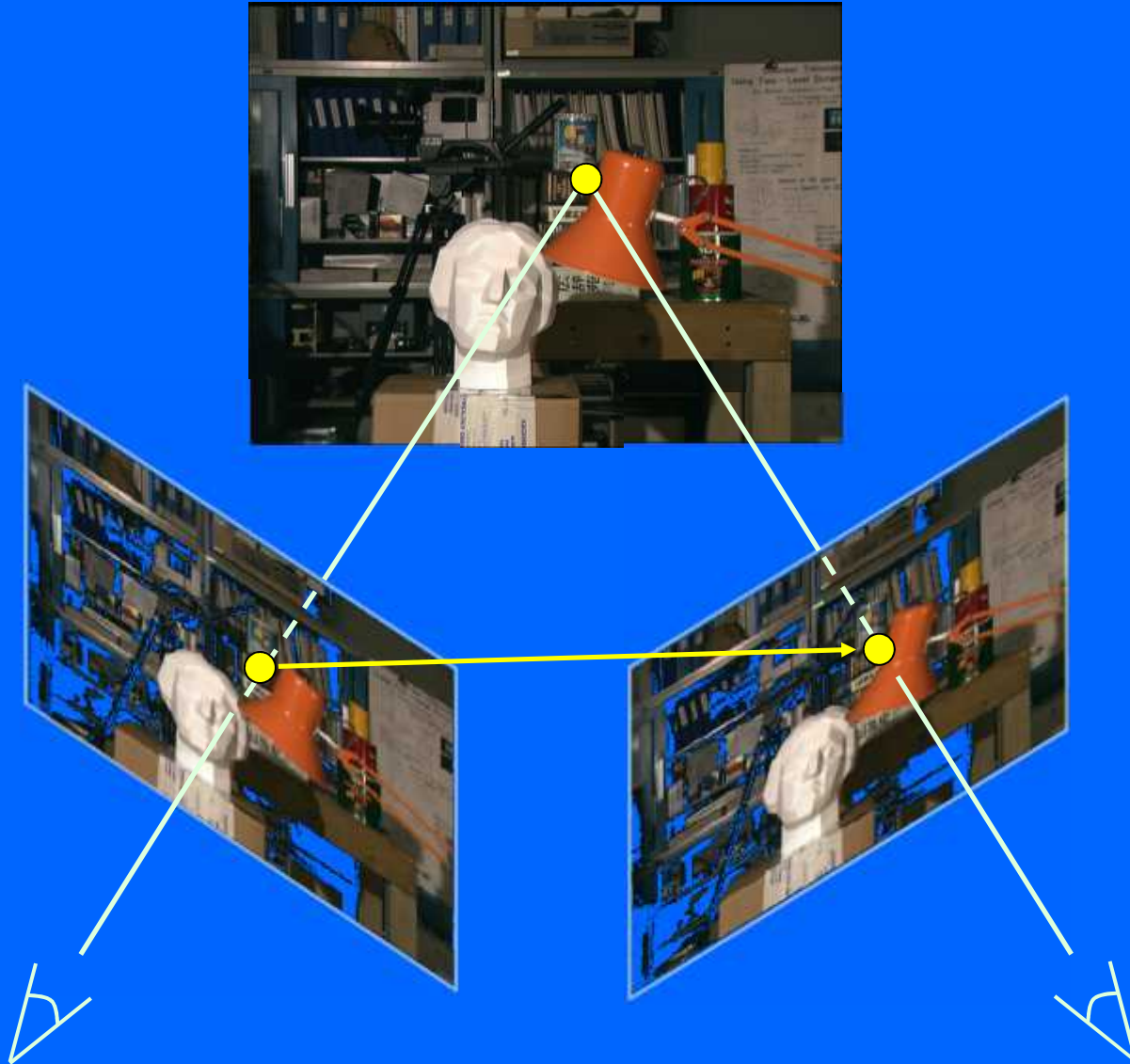
(d)

View Morphing

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.

ÇİFTLİ EŞLEME



Epipolar Geometrinin Temel İlgili Alanları

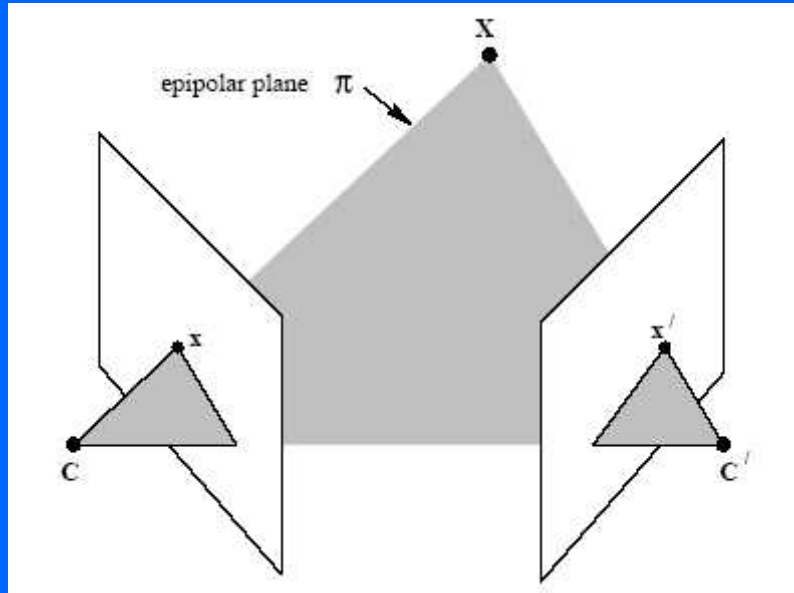
- Epipolar geometri üç temel soruyu cevaplamaya çalışır :
 - Karşılık gelme geometrisi : İlk görüntüdeki bir x noktası, ikinci görüntüdeki bir x' noktasını nasıl belirler?
 - Kamera geometrisi : Birbirlerine karşılık olarak gelen $\{x_i \longleftrightarrow x_i'\}$ $i=1, 2, \dots, N$ görüntü noktalarından 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?

ÇİFTLİ EŞLEME

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

ÇİFTLİ EŞLEME

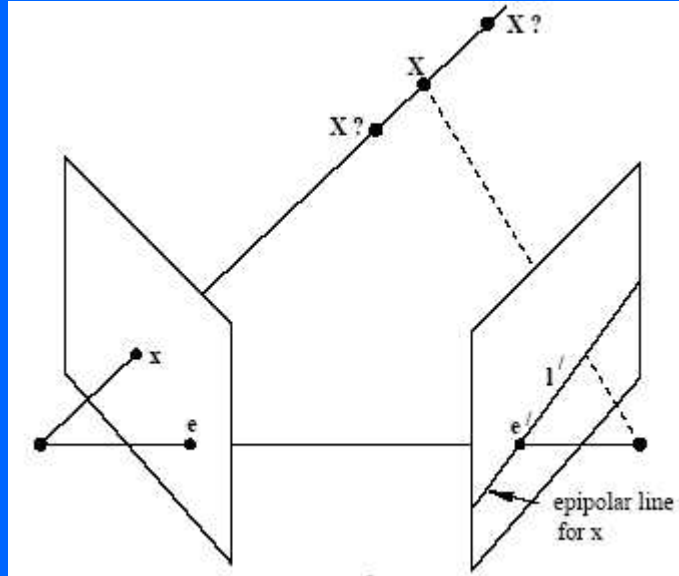
Epipolar Geometri Temel Kavramlar



- **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.

ÇİFTLİ EŞLEME

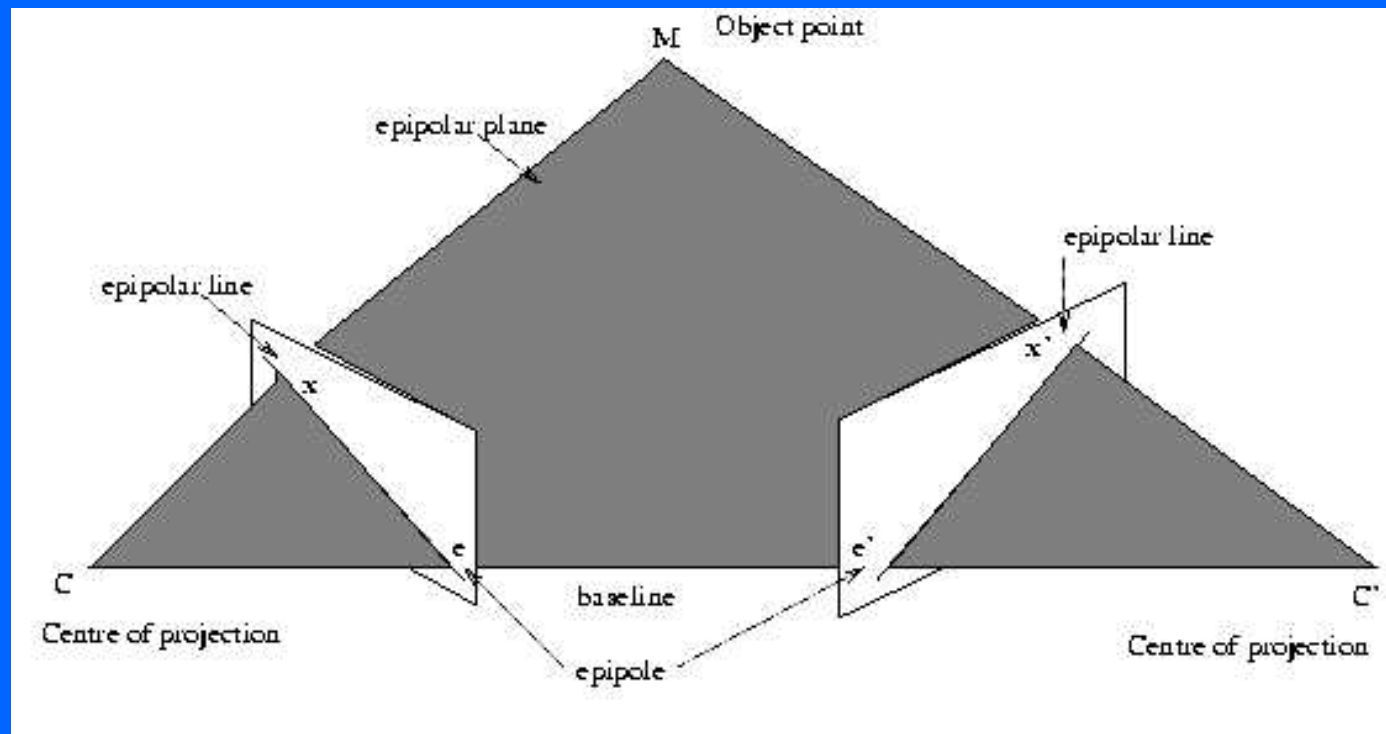


- x noktası kullanılarak x' noktası nasıl bulunabilir?
 - π düzlemi, taban çizgisi ve x noktasına ait ışın tarafından belirlenir. x' noktasına ait ışın da aynı π düzlemi içerisinde yer alacaktır.
-
- Dolayısıyla x' noktası, π düzleminin ikinci görüntü düzlemi ile kesişiminden oluşan l' çizgisi üzerinde yer alacaktır. l' çizgisi, noktasının epipolar çizgisidir. x' noktasını bulmak üzere çalışacak algoritma, bu noktayı ikinci görüntünün tamamı içerisinde aramak yerine sadece l' çizgisi üzerinde arayabilecektir.

ÇİFTLİ EŞLEME

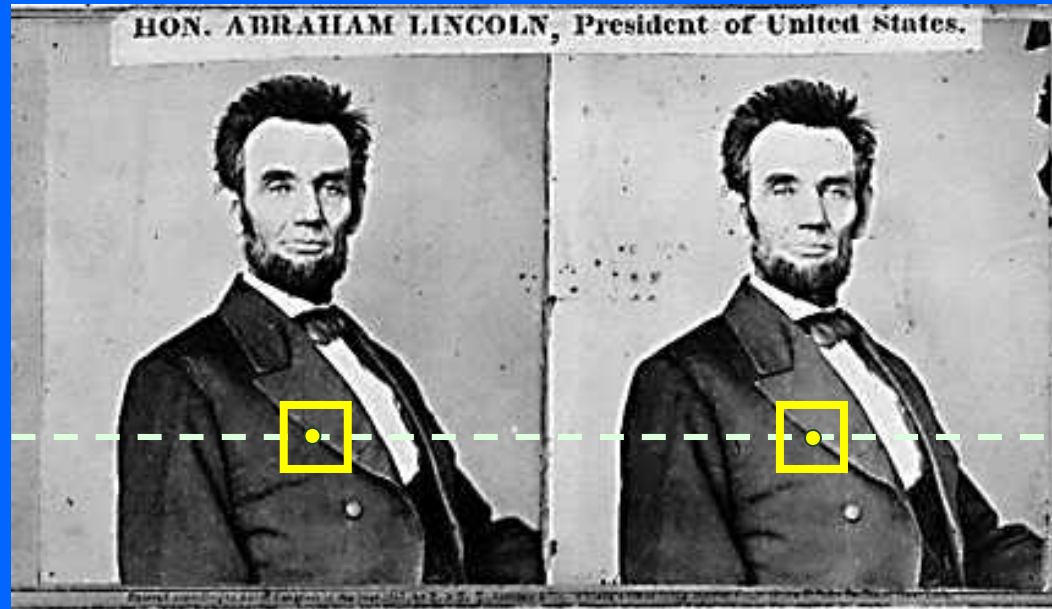
- **Epipole** : Kamera merkezlerini birleştiren taban çizgisinin görüntü düzlemleriyle kesiştiği noktalardır. (e ve e')
- **Epipolar düzlem** : İki projeksiyon merkezi ve ilgili nesne noktasının oluşturduğu düzlemdir. Bu düzlem taban çizgisini içerir.
- **Epipolar çizgi** : Epipolar düzlem ile görüntü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

ÇİFTLİ EŞLEME



ÇİFTLİ EŞLEME

Stereo Matching = Match Pixels in Conjugate Epipolar Lines



For each epipolar line

For each pixel in the left image

- compare with every pixel on same epipolar line in right image
- pick pixel with minimum matching cost

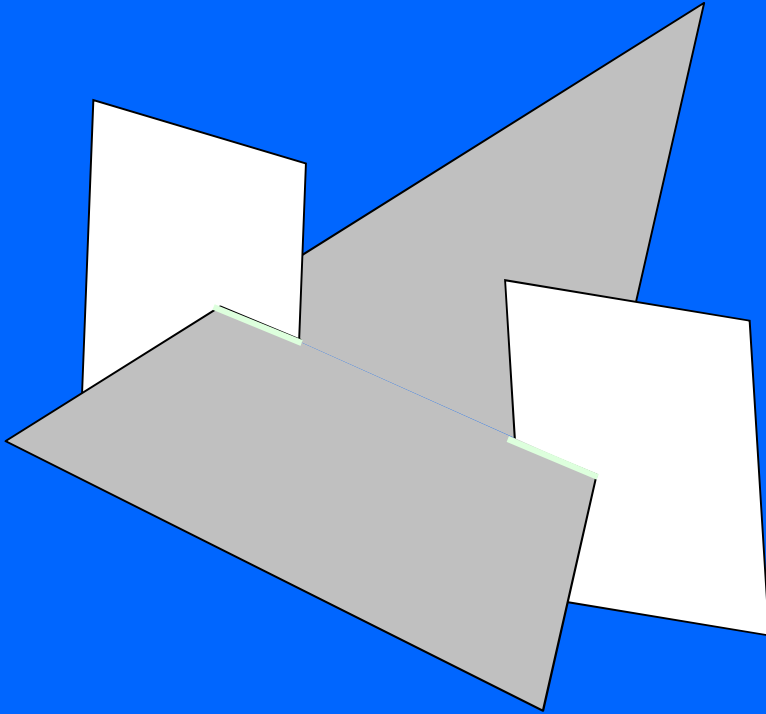
Improvement: match ***windows***, ***search is limited to epipolar line (1D)***

ÇİFTLİ EŞLEME

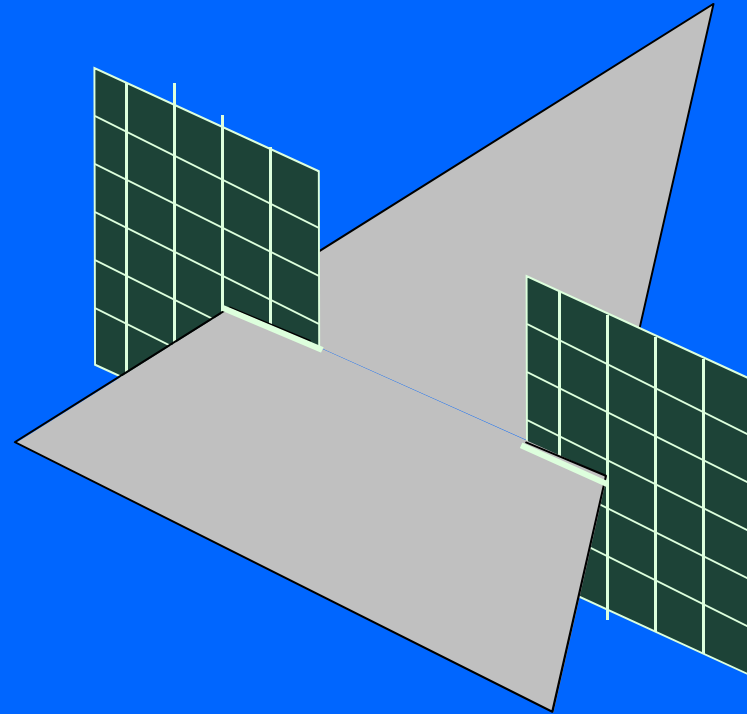
- Epipolar çizgilerin kullanımı, arama penceresi boyutunu düşürür.
- Epipolar çizgiler genellikle x eksenine paralel değildirler.
- Bu nedenle görüntüler, epipolar çizgileri birbirine paralel olacak şekilde dönüşüme tabi tutulurlar. Bu işlem “**görüntü normalizasyonu**” olarak adlandırılır.

ÇİFTLİ EŞLEME

Görüntü Normalizasyonu

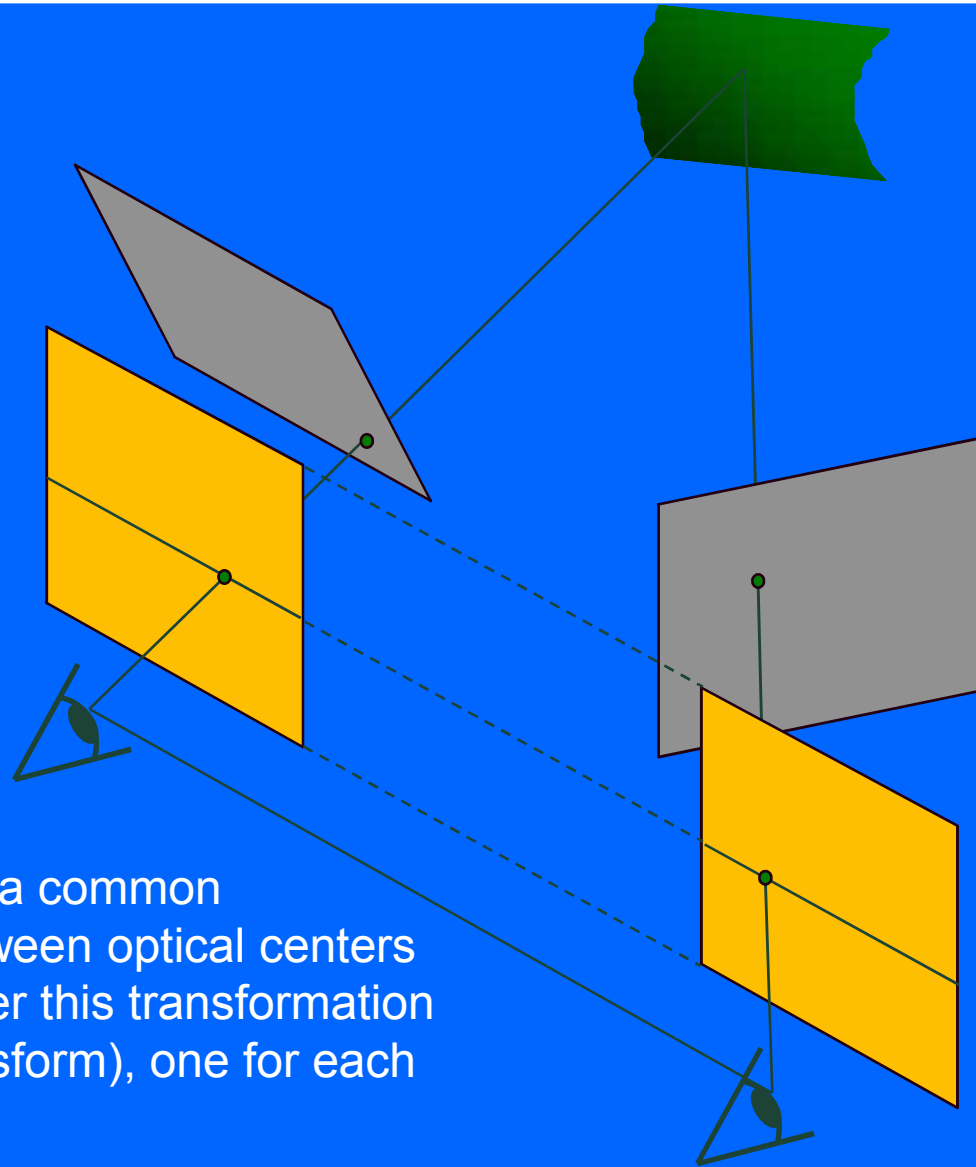


Orijinal Görüntü



Epipolar geometri ile normalize edilmiş görüntü

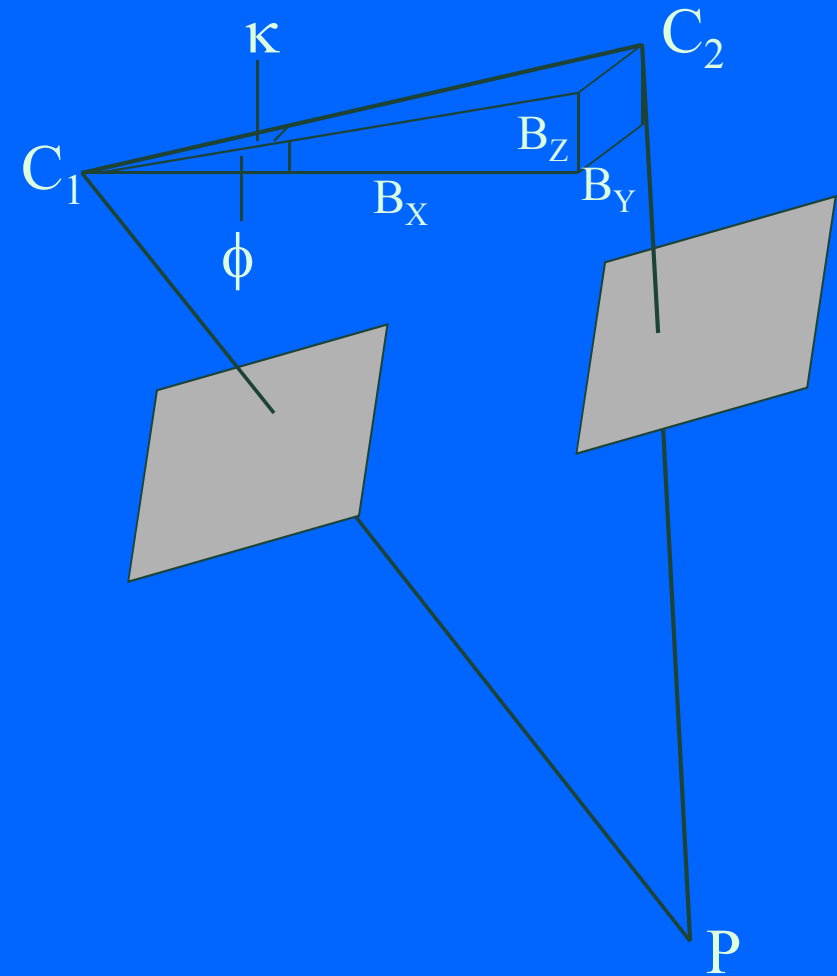
ÇİFTLİ EŞLEME



- reproject image planes onto a common
- plane parallel to the line between optical centers
- pixel motion is horizontal after this transformation
- two homographies (3x3 transform), one for each input image reprojection

ÇİFTLİ EŞLEME

- 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.



ÇİFTLİ EŞLEME

$$B_X = X_c'' - X_c' \quad B_Y = Y_c'' - Y_c'$$

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

$$\phi = \arctan\left(\frac{B_Z}{B_X}\right) \quad \Omega = \frac{\omega' + \omega''}{2}$$

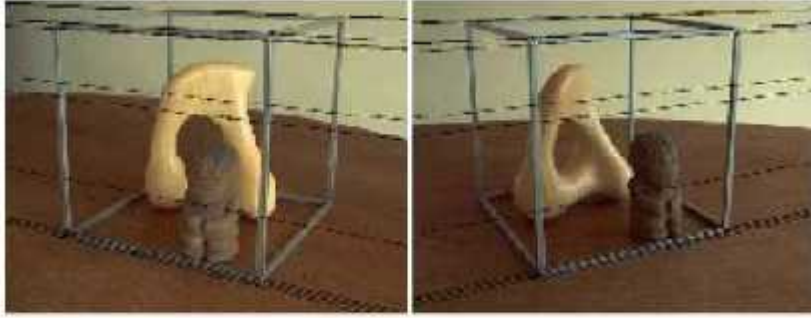
$$\kappa = \arctan\left(\frac{B_Y}{\left(B_X^2 + B_Z^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

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

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

Normalize görüntü dönüklük
matrisi

ÇİFTLİ EŞLEME



(a)



(b)

A – 2 farklı noktadan çekilmiş orijinal görüntümüz, bir çok epipolar çizgi
B – İmajlar dönüştürülmüş, Epipolar çizgiler paralel

ÇİFTLİ EŞLEME



(c)



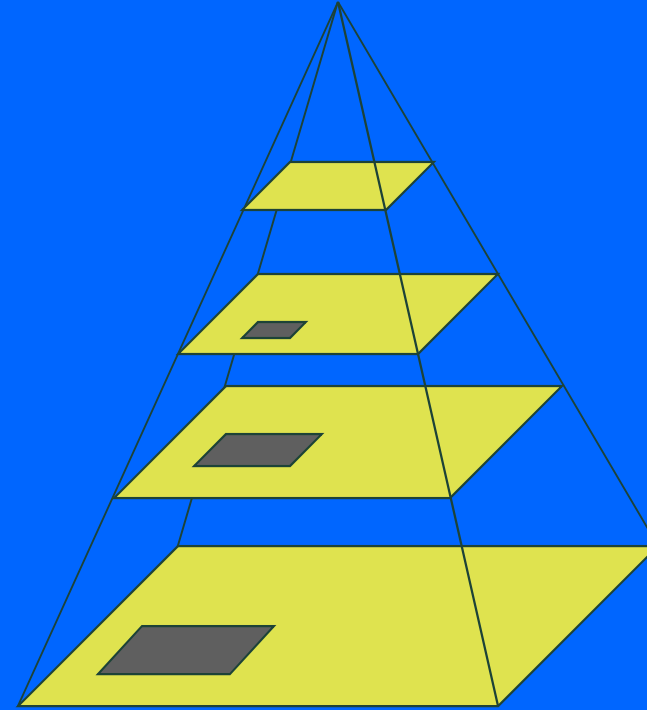
(d)

C – Görüntüler düzeltiliyor, epipolar çizgiler yatay ve dikey uyumlu

D – Son düzeltme, yatay bozukluklar azalıyor

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.



ÇİFTLİ 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

.

ÇİFTLİ EŞLEME

- 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.

ÇİFTLİ 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

ÇİFTLİ EŞLEME

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.

ÇİFTLİ EŞLEME

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.

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

ÇİFTLİ EŞLEME

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

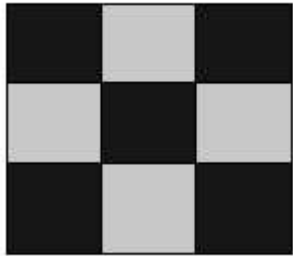
ÇİFTLİ EŞLEME

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

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

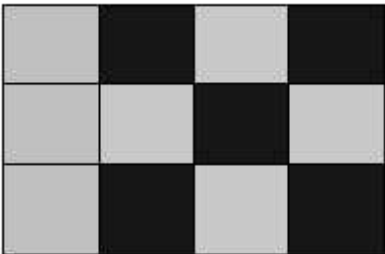
ÇİFTLİ EŞLEME

Gri Değerli görüntülerde Kalıp Eşleme



| | | |
|-----|-----|-----|
| 22 | 200 | 16 |
| 197 | 20 | 180 |
| 21 | 210 | 18 |

Kalıp

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|
|  | <table><tr><td>180</td><td>21</td><td>190</td><td>15</td></tr><tr><td>162</td><td>192</td><td>22</td><td>210</td></tr><tr><td>185</td><td>19</td><td>205</td><td>20</td></tr></table> | 180 | 21 | 190 | 15 | 162 | 192 | 22 | 210 | 185 | 19 | 205 | 20 |
| 180 | 21 | 190 | 15 | | | | | | | | | | |
| 162 | 192 | 22 | 210 | | | | | | | | | | |
| 185 | 19 | 205 | 20 | | | | | | | | | | |

Kaynak

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.

ÇİFTLİ EŞLEME

| | | |
|-----|-----|-----|
| 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



$$C = 0,997$$

Detay Tabanlı Yöntemler

- 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.

ÇİFTLİ EŞLEME

- 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

ÇİFTLİ EŞLEME

- 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

ÇİFTLİ EŞLEME

- 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.

Örnek: 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.

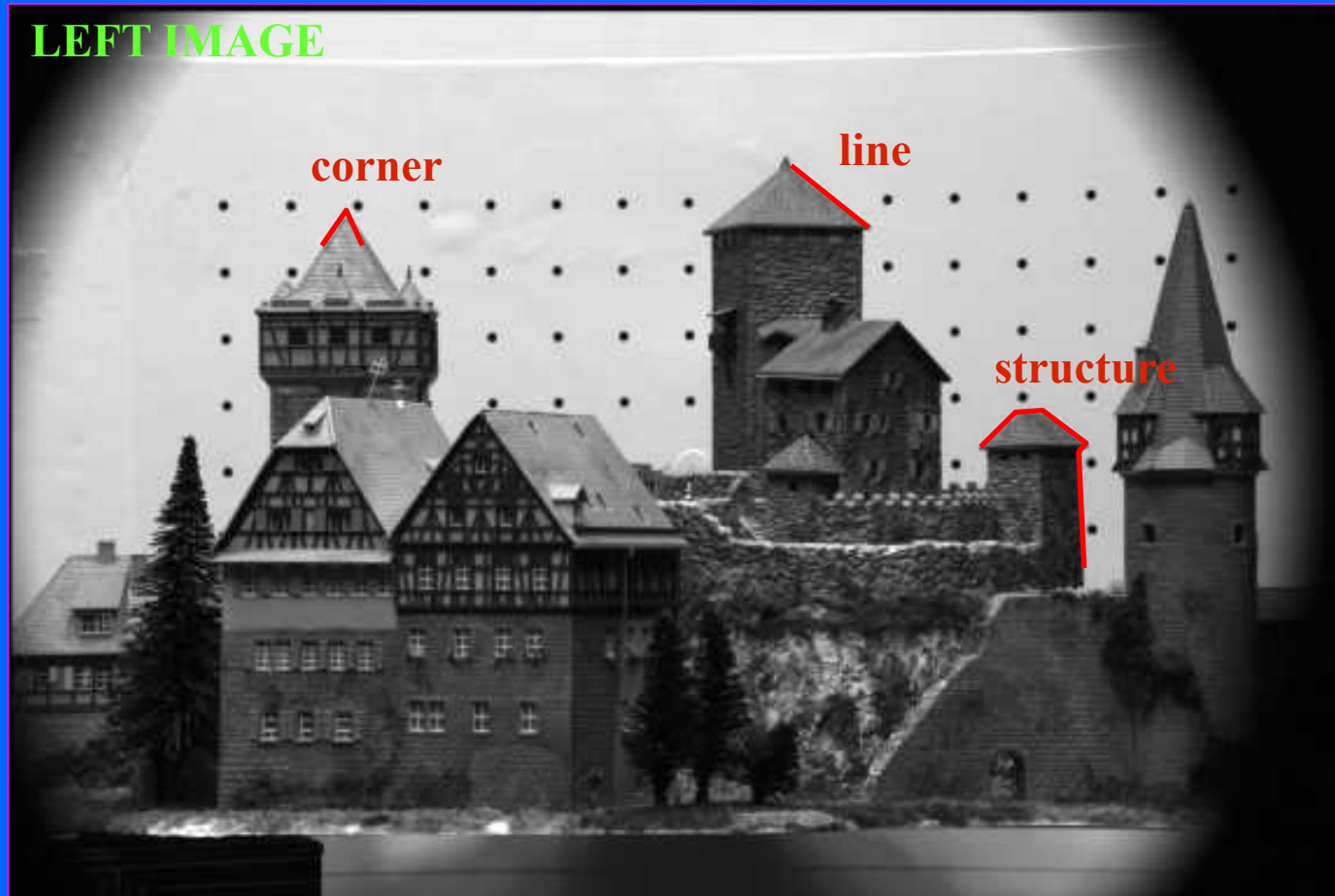
ÇİFTLİ EŞLEME



- Çizgi (kenar) eşleştirme

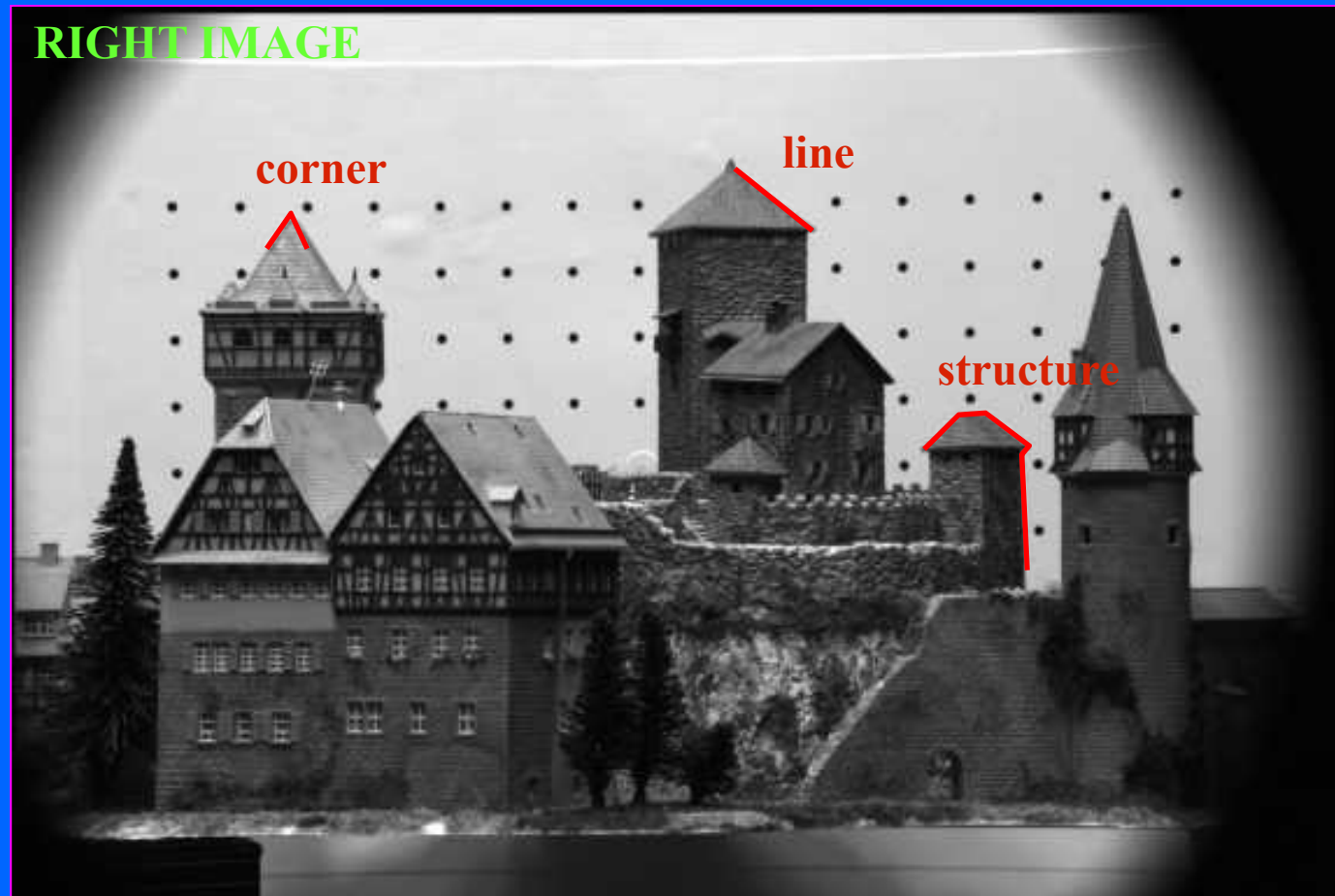
ÇİFTLİ EŞLEME

LEFT IMAGE



ÇİFTLİ EŞLEME

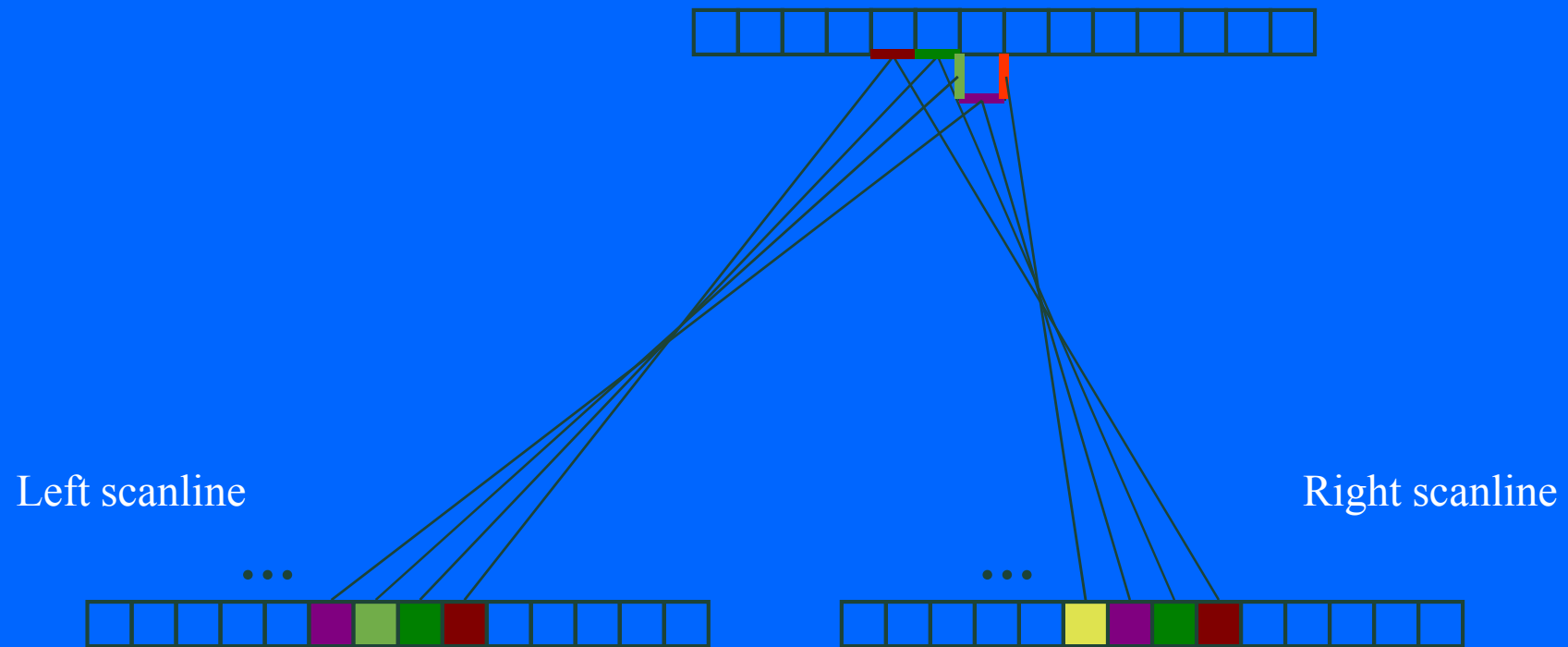
RIGHT IMAGE



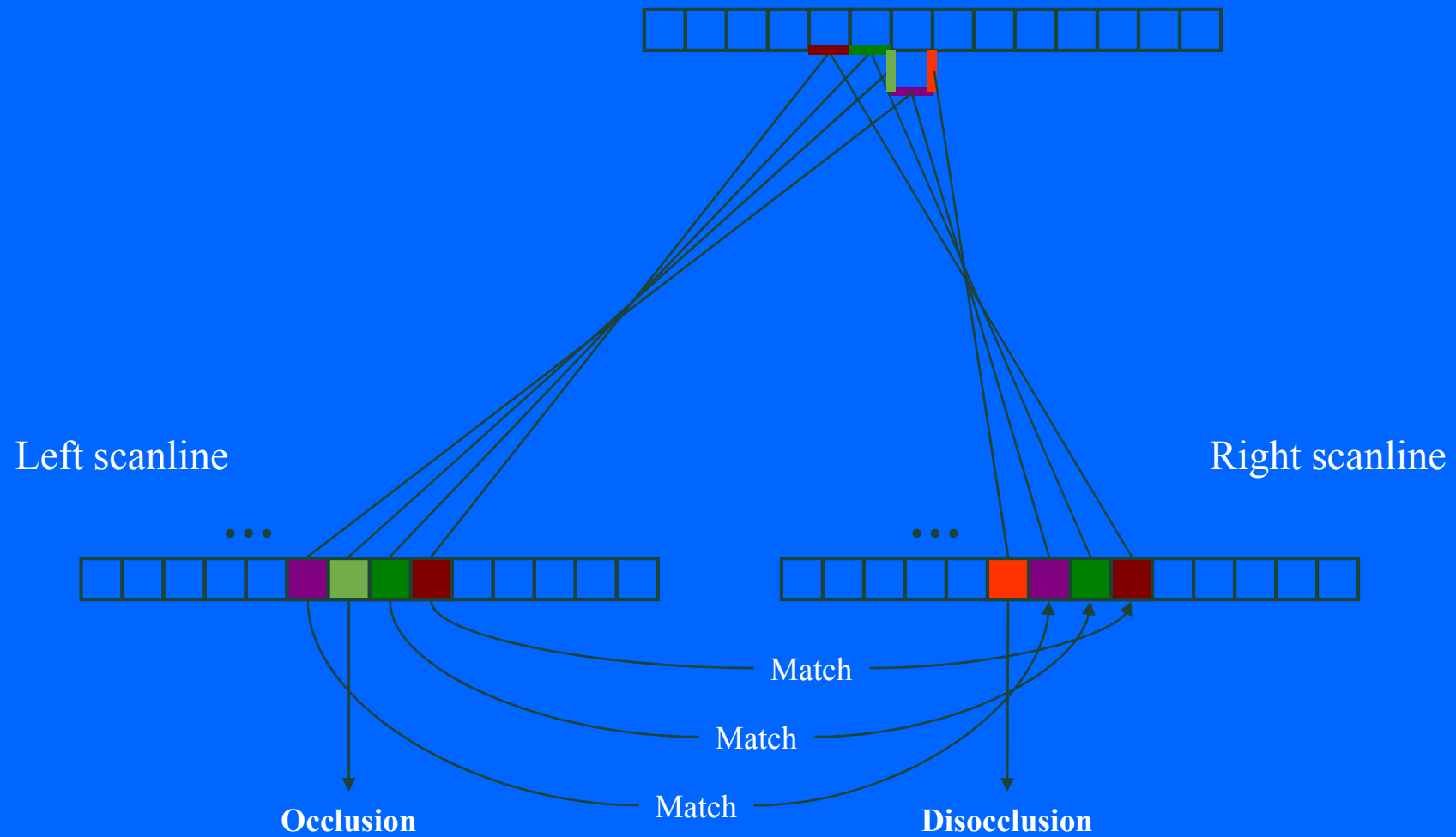
Temel Problemler

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

ÇİFTLİ EŞLEME

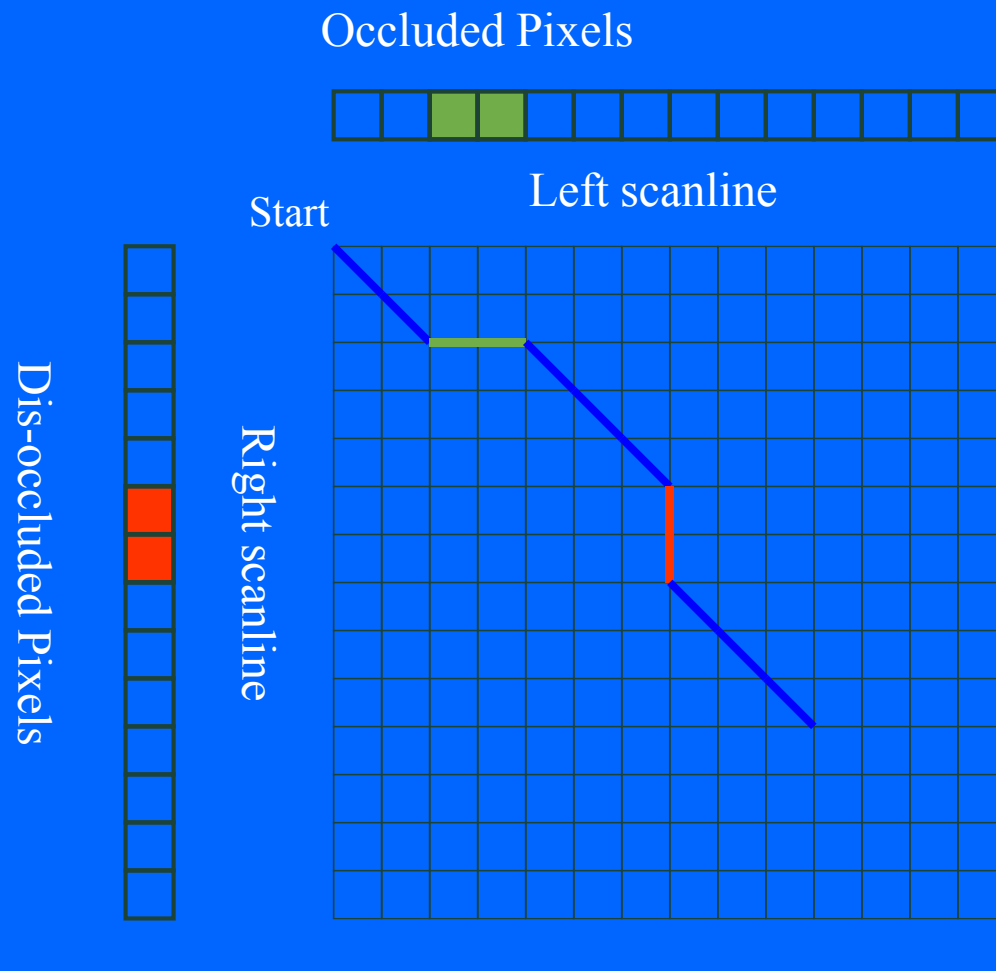


ÇİFTLİ EŞLEME



Dynamic Programming

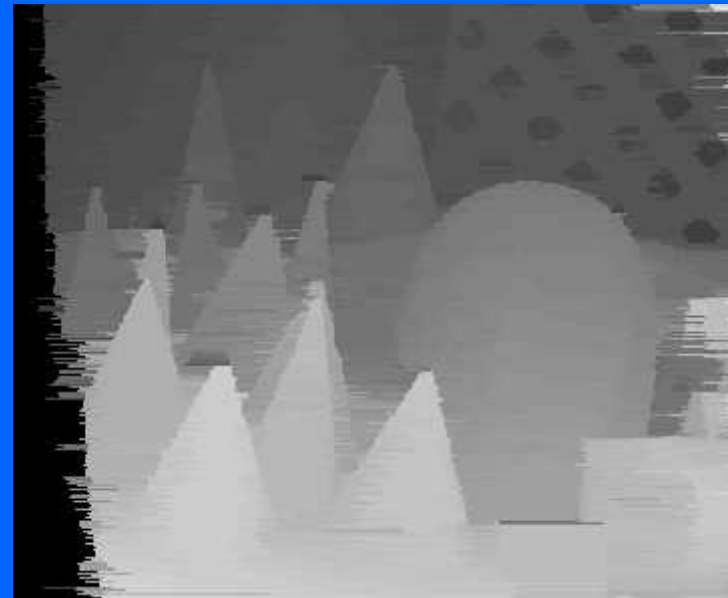
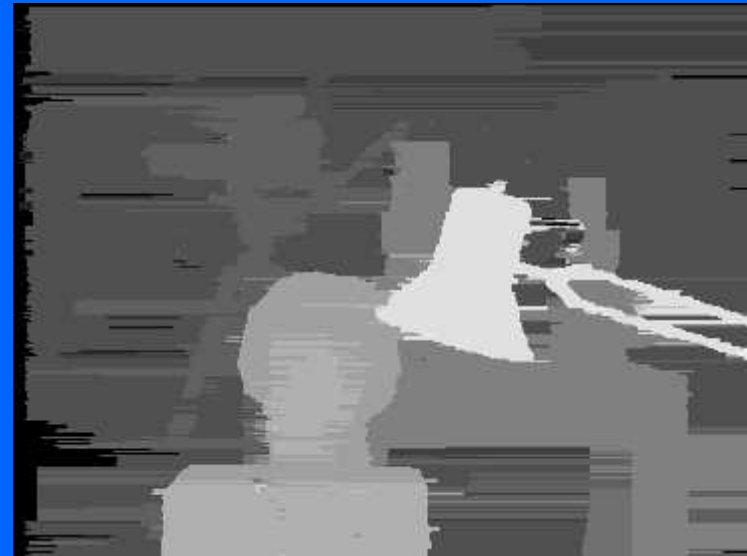
Treat feature correspondence as graph problem



Dynamic programming yields the optimal path through grid. This is the best set of matches that satisfy the ordering constraint

ÇİFTLİ EŞLEME

Dynamic Programming Results



ÇİFTLİ EŞLEME

Demo:

Input: 2 Stereo Görüntü

**Output: Dense disparity map
3 Dimensional reconstruction**

ÇİFTLİ EŞLEME

TEŞEKKÜRLER