



- ✓ Soru kâğıdına **adınız, soyadınız** ve **numaranız** dışında başka hiçbir şey yazmayınız.
- ✓ Sınav süresi **90** dakikadır.

### Soru 1.

Aşağıdaki şıklardan seçeceğiniz toplam **10** tane soruyu, açıklamalarınızda **sebep-sonuç ilişkisini** de yazarak cevaplayınız. (80 p)

#### Görüntü Normalizasyonu (Standartlaştırması)

Normalizasyon, **ortak değişinti matrisinin özvektörlerine** ve **özdeğerlerine** bağlı olarak yapılabilmektedir.

- (1) Ortak değişinti matrisi, hangi **sıradan merkezi momentler** kullanılarak oluşturulur?
- (2) Matristen elde edilen **özvektörler** ve **özdeğerler** hangi amaç için kullanılır?
- (3) Hangi **sıradan merkezi momentlere** bağlı olarak **ikinci bir döndürme işlemi** gerçekleştirilir? Eğer nesnelere **simetrik** olursa, momentlerin hesaplanmasında ne gibi sorunlar ortaya çıkabilir ve bu sorunlar nasıl giderilebilir?
- (4) **Ayna yansımaları** ortadan kaldırmak için yapılan normalizasyon işleminde hangi durum(lar)da bir  **sorun** ortaya çıkabilir?
- (5) **İlgin** (affine) moment değişmezlerini, **çizge** (graph) yöntemi yerine, **ayrıştırma** yöntemini kullanarak elde etmek ne gibi **avantajlar** sağlar?

#### Esnek (Elastic) Dönüşümler İçin Örtük (Implicit) Değişmezler

- (6) **Belirtik** (explicit) **değişmezlerden** farklı olarak **örtük değişmezler**, niçin sadece nesne **eşleştirme (matching)** ve **tanıma (recognition)** işlemlerinde kullanılabilir?

#### Evrışim (Convolution) İçin Değişmezler

- (7) **Bulanıklık** (blur) **değişmezlerini** elde etme işleminde, imgeyi bulanıklaştırmada kullanılan **süzgeç** hangi **varsayımları** içermelidir?
- (8) İlgili **varsayımlar** dikkate alındığında, süzgece ait hangi **sıradan geometrik/merkezi moment** değerleri sıfır olarak elde edilir?
- (9) **Frekans domeninde** süzgeçten geçirme işlemi, görüntünün Fourier dönüşümüyle süzgecin Fourier dönüşümünü çarparak gerçekleştirilir. Görüntü boyutuyla süzgeç boyutunun aynı olmadığı düşünülürse bu işlem nasıl yapılır?
- (10) Süzgeçten geçirme işleminin Fourier dönüşümüyle **frekans domeninde** yapıldığı varsayılırsa, **değişmez** elde edilmesi için **Fourier dönüşümünün** hangi **özelliklerinden** faydalanılır?

#### Dikgen (Orthogonal) Momentler

- (11) Dikgen polinomlar ve dikgen momentler kaç **ana grup** altında incelenebilir?
- (12) Dikgen polinomlar genelde hangi **sayı aralığında** hesaplanmalıdır?
- (13) Dikgen polinomların sayısal gerçekleştirmelerinin (hesaplamalarının) **hızlı bir şekilde yapılması** hangi **özelliklerine** bağlıdır?
- (14) Zernike momentleri gerçekte **hangi deformasyona** karşı **değişmezdir**?

### Soru 2.

Zernike momentleri,  $N \times N$  boyutlu  $f(x, y)$  görüntüsü için aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$A_{nl} = \frac{n+1}{\tau} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} V_{nl}^*(r, \varphi) f(x, y), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad l = -n, -n+2, \dots, n.$$

Burada  $r = \frac{\sqrt{(2x-N+1)^2 + (2y-N+1)^2}}{N}$  ve  $\varphi = \arctan\left(\frac{N-1-2y}{2x-N+1}\right)$  olarak alınır.  $\tau$  normalizasyon katsayısını,  $n$  sırayı,  $l$  iterasyon sayısını, \* karmaşık eşleniği göstermektedir.  $n - |l|$  farkı her zaman çift sayı olmalıdır.

Zernike polinomları içinse aşağıdaki denklem verilebilir:

$$V_{nl}(r, \varphi) = R_{nl}(r) e^{il\varphi}$$

Merkez-çevre doğrultulu (radial) terim ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$R_{nl}(r) = \sum_{s=0}^{(n-|l|)/2} (-1)^s \frac{(n-s)!}{s! ((n+|l|)/2 - s)! ((n-|l|)/2 - s)!} r^{n-2s}$$

Diyelim ki, herhangi bir tıbbi görüntüdeki iyi ve kötü huylu yumruların (nodules) teşhis edilmesi için Zernike momentleri kullanılsın. İyi veya kötü huylu yumruların **farklı döndürme açılarında** bağlı olarak görüntüleri elde edilsin. Bu görüntülere ait **Zernike momentleri** hesaplandığında elde edilen sonuçlar için **ne gibi yorumlar yapılabilir**? (20 p)



## Cevap 1.

- (1) Ortak değişinti matrisi, 2. sıradan merkezi momentler kullanılarak oluşturulur. Çünkü bu momentler döndürülmüş bir elipsi temsil etmektedir.
- (2) Matristen elde edilen özvektörler, 1. döndürme işleminde ve özdeğerlerse ölçekleme işleminde kullanılır.
- (3) 3. sıradan merkezi momentlere bağlı olarak ikinci bir döndürme işlemi gerçekleştirilir. Eğer nesnelere simetrik olursa, ( karmaşık ) momentler sıfır olarak elde edilebilmektedir. Bu durumda karmaşık momentler bir sıralamaya tabi tutulur ve önceden belirlenen bir eşiğe bağlı olarak seçilen momentten döndürme açısı elde edilir ( 3. sıra için açı =  $\arctan(\frac{\text{Sanal kısım}(c21)}{\text{Gerçek kısım}(c21)})$  ).
- (4) Ayna yansımaları ortadan kaldırmak için yapılan normalizasyon işleminde, S harfi ile ? işaretinde olduğu gibi, bazı benzerlik durumlarında sorun ortaya çıkabilir.
- (5) İlgün (affine) moment değişmezleri, çizge (graph) yöntemi yerine, ayrıştırma yöntemini kullanarak elde edilirse, bağımlı momentlerin çıkartılması ve indirgenemez momentlerin elde edilmesi için zaman harcanmadığından avantaj sağlar.
- (6) Örtük değişmezleri elde etmek için imge çiftlerine ihtiyaç duyulduğundan, sadece nesne eşleştirme (matching) ve tanıma (recognition) işlemlerinde kullanılabilir.
- (7) Bulanıklık (blur) değişmezlerini elde etme işleminde, imgeyi bulanıklaştırmada kullanılan süzgeç katsayılarının toplamı 1 ve süzgeç simetrik olmalıdır.
- (8) Simetriklikten dolayı, süzgece ait tek sıradan geometrik/merkezi moment değerleri sıfır olarak elde edilir.
- (9) Zaman domeninde süzgeç boyutu görüntü boyutuna eşitlenir ve yeni elde edilen süzgeç görüntüsünde orijinal süzgeç boyutunun dışında kalan yerler sıfırlanarak Fourier dönüşümü hesaplanır (FD ötelemeden etkilenmediğinden).
- (10) Süzgeç, merkezi simetriklik içerdiğinden, süzgecin Fourier dönüşümü sanal kısım içermez. Bu durumda fazı ya  $\beta=0$  ya da  $\beta=180$  derece olarak elde edilir (Bu açıların tanjantları sıfırdır.  $\tan(\alpha+\beta) = \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \beta}$  ifadesini dikkate alırsak). Bu durumda, imgenin fazının tanjantı değişmez olarak alınır.
- (11) Dikgen polinomlar ve dikgen momentler iki ana grup altında incelenebilir. 1. gruptaki polinomlar, birim kare/dikdörtgene göre, 2. gruptaki polinomlar ise birim daireye göre normalize edilerek hesaplanır. Bu durumda, 1. grup ölçeklemeden, 2. grup döndürmeden bağımsız olur.
- (12) Dikgen polinomlar genelde  $\langle -1, 1 \rangle$  sayı aralığında hesaplanmalıdır. Diğer aralıklarda hesaplama yapmak ciddi hatalara yol açar.
- (13) Dikgen polinomların sayısal gerçekleştirmelerinin hızlı bir şekilde yapılması özyineli özelliklerine bağlıdır.
- (14) Zernike momentleri, genlik dikkate alınırsa, gerçekte döndürmeye karşı değişmezdir. Diğer deformasyon işlemlerini elimine etmek için bazı ara işlemlerin yapılması gerekmektedir.

## Cevap 2.

$A'_{nl} = A_{nl} e^{il\phi}$  eşitliğine bağlı olarak Zernike momentlerinin genliklerinde bir değişiklik olmaz, sadece faz değişir.