

135941

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. M. Kemal GÜLLÜ

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme

Danışman: Doç.Dr. Sarp ERTÜRK

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BİLİM VE TEKNOLOJİ ARAŞTIRMALARI BAKANLIĞI
KÜTÜPHANE MERKEZİ**

135941

TEMMUZ 2003

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. M. Kemal GÜLLÜ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :24 Temmuz 2003

Tezin Savunulduğu Tarih :2 Eylül 2003

TEZ DANIŞMANI

ç. Dr. Sarp ERTÜRK

(.....)

ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ

(.....)

ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAKUT

(.....)

**İ.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

EYLÜL 2003

BULANIK GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

M. Kemal GÜLLÜ

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Görüntü Stabilizasyonu, Kalman Süzgeci, Bulanık Kestirim, Bulanık Süzgeç.

Özet: Sayısal kamera teknolojisinin hızla gelişmesi ile birlikte, kullanım alanları da artmaktadır. Kameralar günlük hayatta kullanılan cep telefonlarından, kontrol sistemlerine kadar birçok alanda kullanım olanağı bulmaktadırlar. Kameraların kullanım alanı arttıkça, istenmeyen kamera hareketlerinden dolayı görüntülerde oluşan titreşimlerin bastırılması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, sayısal kameralardan yapılan video çekimlerinde, istenmeyen kamera hareketlerinden dolayı görüntülerde oluşan titreşimlerin süzgeçlenmesi üzerine durulmuştur. Bu amaçla ayırık zamanlı çalışan, bulanık mantık uyarlamalı Kalman süzgeci, sabit üyelik fonksiyonlu bulanık süzgeç, üyelik fonksiyonu seçmeli bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyonu uyarlamalı bulanık süzgeç önerilmiş ve görüntü stabilizasyonu sisteminde kullanılmıştır. Örnek görüntü dizileri için geliştirilen bu yöntemler kullanılarak süzgeçleme yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

FUZZY IMAGE SEQUENCE STABILIZATION

M. Kemal GÜLLÜ

Keywords: Fuzzy Logic, Image Sequence Stabilization, Kalman Filter, Fuzzy Estimation, Fuzzy Filter.

Abstract: With fast improvements in digital camera technology, many new application areas are emerging. Cameras are finding many application areas from everyday life mobile phones to control systems. As the application areas of cameras increase, image sequence stabilization techniques to deal with fluctuations encountered due to camera instabilities are considered to become important.

This thesis deals with the stabilization of fluctuations encountered in image sequences, captured by video cameras, due to undesired camera movements. For this purpose, novel fuzzy adaptive Kalman filtering, fixed membership function fuzzy filtering, membership function selective fuzzy filtering, adaptive membership function fuzzy filtering techniques operating in discrete-time have been proposed and used in the image sequence stabilization system. These techniques have been used for test image sequences and the results are compared.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Gelişen teknoloji ile birlikte elektronik sistemlerin sayısal sistemlere geçtiği günümüzde, analog kameralar da yerini sayısal kameralara bırakmaktadır. Sayısal kameralara geçiş ile birlikte, sayısal işaret işleme uygulamalarıyla video çekimlerine birçok özellik katılabilmektedir. Bu uygulamalardan birisi de görüntü stabilizasyonudur.

Bu tez çalışmasında, sayısal kameralarda veya çevrimdışı görüntü stabilizasyonu uygulamalarında kullanım amacıyla yeni bir süzgeçleme yöntemi sunulmuştur. Yapılan çalışmanın, bu konu üzerine emek verenlere ve araştırmacılara katkısı olmasını dilerim.

Bu konuda çalışma yapmama olanak sağlayan, çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini eksik etmeyen değerli hocam Doç. Dr. Sarp ERTÜRK'e, bu güne kadar bana katkıda bulunan aileme ve hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, TÜBİTAK tarafından EEEAG/101-006 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Temmuz 2003, KOCAELİ

M. Kemal GÜLLÜ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. BULANIK MANTIK	3
2.1. Bulanık Küme Teorisi	3
2.2. Temel Kavramlar ve Terminolojiler (Jang 1997)	4
2.3. Bulanık Kümelerde İşlemler (Jang 1997)	7
2.3.1. Kapsama	7
2.3.2. Birleşim	7
2.3.3. Kesişim	8
2.3.4. Tümleneyen	8
2.4. Üyelik Fonksiyonları: Parametreler ve Matematiksel İfadeler	9
2.4.1. Üçgen üyelik fonksiyonları	9
2.4.2. Trapez üyelik fonksiyonları	10
2.4.3. Gauss üyelik fonksiyonları	11
2.4.4. Çan biçimli üyelik fonksiyonları	12
2.4.5. Sigmoid üyelik fonksiyonları	13
2.4.6. Parametrelili üyelik fonksiyonlarının türevleri	14

BÖLÜM 3. BULANIK KURALLAR ve BULANIK YARGILAMA	16
3.1. Bulanik Eğer-İse Kuralları	16
3.2. Bulanik Yargılama	17
3.2.1. Kural kompozisyonu	17
3.2.2. Bulanik yargılama	18
3.2.2.1. Tek koşullu tek kural.....	20
3.2.2.2 İki koşullu tek kural	21
3.2.2.3. Çok koşullu çok kural	22
BÖLÜM 4. BULANIK ÇIKARTIM SİSTEMLERİ	24
4.1. Giriş.....	24
4.2. MAMDANI Bulanik Çıkartım Sistemi.....	25
4.2.1. Durulaştırma.....	26
4.2.1.1. Ağırlık merkezi yöntemi	26
4.2.1.2. Alan orta noktası yöntemi	27
4.2.1.3. Maksimumun ortası yöntemi	28
4.2.1.4. Maksimumun en küçüğü yöntemi.....	29
4.2.1.5. Maksimumun en büyüğü yöntemi.....	30
4.3. SUGENO Bulanik Çıkartım Sistemi.....	32
BÖLÜM 5. GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU	34
5.1. Giriş.....	34
5.2 Kamera Görüntülerinde Hareket.....	35
5.3. Görüntü Stabilizasyonu Sistemi.....	36
5.3.1. Hareket kestirim sistemi.....	37
5.3.2. Hareket düzeltim sistemi.....	38
5.3.3. Görüntü stabilizasyonu için yapılmış çalışmalara bakış	39

BÖLÜM 6. KALMAN SÜZGECİ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU	43
6.1. Kalman Süzgeci ile Görüntü Stabilizasyonu	43
6.2. Kalman Süzgeci İşlem Gürültüsü Değişintisinin Bulanık Denetleç ile Uyarlanması	46
6.3. Süzgeçleme Sonuçları	48
BÖLÜM 7. SABİT ÜYELİK FONKSİYONLU BULANIK SÜZGEÇ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU.....	49
7.1. Giriş.....	49
7.2. Bulanık Süzgeç	49
7.2.1. Kestirim yapısı	49
7.2.2. Bulanık düzeltme fonksiyonu	50
7.3. Ortalama Alma İşlemi	54
7.4. Süzgeçleme Sonuçları	56
BÖLÜM 8. ÜYELİK FONKSİYONU SEÇMELİ BULANIK SÜZGEÇ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU.....	61
8.1. Giriş.....	61
8.2. Üyelik Fonksiyonu Seçmeli Bulanık Süzgeç.....	61
8.3. Süzgeçleme Sonuçları	66
BÖLÜM 9. ÜYELİK FONKSİYONU UYARLAMALI BULANIK SÜZGEÇ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU.....	69
9.1. Giriş.....	69
9.2. Bulanık Süzgecin Üyelik Fonksiyonlarının Bulanık Mantık ile Uyarlanması	69
9.3. Süzgeçleme Sonuçları	71

BÖLÜM 10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77
KİŞİSEL YAYINLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	81



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

μ_A	A bulanık kümesi üyelik derecesi
R_m	$X \times Y$ çarpım uzayında ikili bulanık ilişki
\wedge	Min işlemi
\vee	Max işlemi
\circ	Kompozisyon işlemi
w	İşlem gürültüsü
v	ölçüm gürültüsü
Q	İşlem gürültüsü değışintisi
R	Ölçüm gürültüsü değışintisi
k	Çerçeve numarası
\hat{x}_k^-	k . Çerçeve için x istenen değerin ön kestirimi
\hat{x}_k	k . Çerçeve için x istenen değerin son kestirimi
T	Yineleme süresi
\hat{V}	Hareket değışim hızı kestirim değeri
$g(.)$	Düzeltilme fonksiyonu
a_k	Ham görüntü dizisi konum vektörü
z_k	ön işlem çıkışı konum vektörü

(pels) pixels

BOA Bisector Of Area

COA Center Of Area

HDS Hareket Düzeltim Sistemi

LOM Least Of Maximum

MOM Mean Of Maximum

SOM Smallest Of Maximum

ÜF Üyelik Fonksiyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. “sıcak”, “ılık”, “soğuk” dilsel değerlerinin gösterildiği üyelik fonksiyonları.	4
Şekil 2.2. Bir üyelik fonksiyonunda çekirdek, destek ve çapraz geçiş noktaları.	6
Şekil 2. 3. Tek ton ÜF.	6
Şekil 2.4. Bulanık kümelerde işlemler (a) A ve B bulanık kümeleri, (b) \bar{A} , (c) $A \cup B$, (d) $A \cap B$	8
Şekil 2.5. Üçgen ÜF ve parametreleri.	9
Şekil 2.6. Trapez ÜF ve parametreleri.	10
Şekil 2.7. Gauss ÜF ve parametreleri.	11
Şekil 2.8. Çan biçimli ÜF ve parametreleri.	12
Şekil 2.9. (a) y_1 ve y_2 sigmoid fonksiyonları, (b) $ y_1 - y_2 $ işlemi ile elde edilen kapalı ÜF, (c) y_1 ve y_3 sigmoid fonksiyonları, (d) $y_1 \cdot y_3$ işlemi ile elde edilen kapalı ÜF.	14
Şekil 3.1. (a) $X \times Y$ uzayındaki F bulanık ilişkisi, (b) A 'nın silindirik şekilde uzatılmış hali, (c) a ve b şekillerindeki fonksiyonların minimumu, (d) c'deki sonucun Y üzerindeki izdüşümü.	18
Şekil 3.2. Mamdani bulanık karıştırması ve max-min kompozisyonu kullanarak yaklaşık(bulanık) yargılamanın şekilsel açıklanması.	20
Şekil 3.3. Çoklu kural için yaklaşık yargılama.	22
Şekil 3.4. Çok koşullu çok kural için bulanık yargılama.	23
Şekil 4.1. Bulanık çıkartım sisteminin blok diyagramı.	25
Şekil 4.2. Mamdani bulanık çıkartım sistemi ve min-max kullanımı.	26
Şekil 4.3. Ağırlık merkezi yöntemi.	27

Şekil 4. 4. Alan orta noktası yöntemi.....	28
Şekil 4.5. Maksimumun ortası yöntemi.	29
Şekil 4.6. Maksimumun en küçüğü yöntemi.....	29
Şekil 4.7. Maksimumun en büyüğü yöntemi.	30
Şekil 4.8. Tek girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bulanık model için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları.	31
Şekil 4.9. Tek girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bulanık model için giriş/çıkış eğrisi..	31
Şekil 4.10. Birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için bulanık yargılama.	32
Şekil 4.11. Sugeno bulanık modelinde, bulanık girişli ve bulanık olmayan girişli kuralların karşılaştırılması.....	33
Şekil 5.1. Kamera görüntülerinde ardışık iki çerçeve arası (a) bütünsel hareket, (b) yerel hareket.	36
Şekil 5.2. Görüntü stabilizasyonu sisteminin genel blok yapısı.	37
Şekil 5.3. Örnek Motor görüntü dizisi için; (a) hareket vektörü, (b) konum vektörü.38	
Şekil 5.4. Motor görüntü dizisi için örnek bir çerçeve görüntüsü.....	39
Şekil 5.5. Örnek Motor görüntü dizisi için konum vektörü dizisi ve hareket düzeltim sistemi çıkışındaki istenen yeni konum vektörü dizisi.....	39
Şekil 6.1 Motor dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için Kalman süzgecinin $Q = 0.1$ ve $Q = 0.0001$ değerlerindeki çıkış konum vektörleri.....	45
Şekil 6.2. Motor görüntü dizisinden örnek bir çerçeve görüntüsü.....	45
Şekil 6.3. Bulanık denetleç uyarlamalı Kalman süzgecinin blok gösterimi.	47
Şekil 6.4. Motor görüntü dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için bulanık uyarlamalı Kalman süzgecinin çıkış konum vektörleri.....	48
Şekil 7.1. İki girişli-tek çıkışlı bulanık çıkartım sistemi yapısı.	51

Şekil 7.2. İki giriş ve tek çıkış için kullanılan üyelik fonksiyonları ve tanım aralıkları: (a) giriş 1, (b) giriş 2, (c) çıkış.	52
Şekil 7.3. Girişler ve çıkış arasındaki değişim yüzeyi.	54
Şekil 7.4. Ortalama alma işleminin grafiksel gösterimi.	55
Şekil 7.5. Motor dizisi için ham konum vektörleri ve ortalama alma işlemi sonucunda elde edilen yeni gürültülü konum vektörü dizisi.	56
Şekil 7.6. Motor görüntü dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için ön işlem ve bulanık süzgeç çıkışları.	57
Şekil 7.7. Araba görüntü dizisinden örnek bir çerçeve görüntüsü.	58
Şekil 7.8. Araba görüntü dizisi düşey konum vektörleri için sabit üyelik fonksiyonlu bulanık süzgeçleme sonucu hareket dinamiğini takipte gözlenen bozukluk.	59
Şekil 7.9. Araba Görüntü dizisi yatay konum vektörleri için sabit üyelik fonksiyonlu bulanık süzgeçleme sonucu hareket dinamiğini takipte gözlenen bozukluk.	60
Şekil 8.1. Çıkış üyelik fonksiyonları değişim aralığı.	62
Şekil 8.2. Koşullara göre aktif edilen çıkış üyelik fonksiyonları.	63
Şekil 8.3. (a) O1, (b) O7 çıkış üyelik fonksiyonları için girişler ve çıkış arasındaki değişim yüzeylerinin karşılaştırılması.	64
Şekil 8.4. Çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafe minimum seçildiğinde bulanık süzgeç çıkışı.	65
Şekil 8.5. Çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafe maksimum seçildiğinde bulanık süzgeç çıkışı.	65
Şekil 8.6. Motor görüntü dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için ön işlem, bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç çıkışları.	66
Şekil 9.1. Düzeltme fonksiyonunun çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafenin belirlenmesi için kullanılan bulanık çıkartım sisteminin (a) giriş, (b) çıkış üyelik fonksiyonları ve (c) yüzey dağılımı.	70

- Şekil 9.2. Motor görüntü dizisi: (a)yatay, (b)düşey konum vektörleri için ön işlem, ÜF seçmeli bulanık süzgeç ve ÜF uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları..... 72
- Şekil 9.3. Araba görüntü dizisi: (a)yatay, (b)düşey konum vektörleri için ön işlem, ÜF seçmeli bulanık süzgeç ve ÜF uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları..... 73
- Şekil 9.4. Uzaktan kontrollü bir maket araba üzerindeki kameradan yapılan çekimlerden elde edilen örnek görüntü dizisi için, üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları. 74



TABLolar DİZİNİ

Tablo 7.1. Bulanık çıkartım sistemi için kullanılan kural tabanı*..... 53

Tablo 9.1. Üyelik fonksiyonlarının uyarlamasında kullanılan bulanık çıkartım sisteminin kural tabanı. 71



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sayısal kamera teknolojisinin hızla gelişmesi ile birlikte, kullanım alanları da artmaktadır. Sayısal kameralar günlük hayatta kullanılan cep telefonlarından, kontrol sistemlerine kadar birçok alanda kullanım olanağı bulmaktadırlar. Kameraların kullanım alanı arttıkça, istenmeyen kamera hareketlerinden dolayı görüntülerde oluşan titreşimlerin bastırılması önem kazanmaktadır.

Video görüntülerindeki titreşimlerin giderilmesi amacıyla geçmişte çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak, istenerek yapılan kamera hareketlerinden sapma veya bu hareketlerin sabitlenmesi, gerçek zamanlı uygulamalar için saniyede işlenebilecek çerçeve sayısının azlığı veya gerçek zamanlı çalışamama gibi eksiklikler gözlenmektedir. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen eksikliklerin giderildiği, titreşimleri bastırmak için yöntemler geliştirilmiş ve görüntü stabilizasyonu sisteminde çeşitli görüntü dizileri için kullanılarak stabilizasyon sonuçları elde edilmiştir.

Çalışma sırasında önce, görüntü stabilizasyonunda kullanılan bir Kalman süzgecinin işlem gürültüsü değişintisinin bulanık mantık ile uyarlanmasıyla stabilizasyon sonuçları elde edilmiştir. Süzgeçleme sonuçlarına göre, gürültülü görüntü dizilerinin titreşimlerden arındırıldığı görülmüş fakat hareket dinamiği takibindeki performansın düşük olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle Kalman süzgeci yerine bulanık mantık temelli bir kestirim yapısı ile süzgeçleme yoluna gidilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, ele alınan bir kestirim yapısının düzeltme fonksiyonu bir bulanık çıkartım sistemi ile gerçekleştirilmiş ve bu kestirim yapısı süzgeçlemede kullanılmıştır. Elde edilen kestirim yapısına bulanık süzgeç adı verilmiştir. Düzeltme fonksiyonu yerine kullanılan bulanık çıkartım sisteminin üyelik fonksiyonları, belirli örnek görüntü dizileri için optimum süzgeçleme performansı verecek şekilde

belirlenmiş ve sabitlemiştir. Süzgeçleme sonuçlarına göre titreşimlerin bastırıldığı, hareket dinamiği takibinin kalman süzgecine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Fakat, farklı özellikte görüntü dizileri süzgeçlendiğinde, üyelik fonksiyonlarının sabit olmasından dolayı, performansın düşebildiği görülmüştür. Süzgecin, farklı özellikteki görüntü dizilerine iyi cevap verebilmesi için üyelik fonksiyonlarının değişken seçimi yoluna gidilmiştir.

Çalışmanın üçüncü kısmında, belirli çıkış üyelik fonksiyon konumlarının süzgecin çalışmasını doğrudan etkilediği görülmüş ve farklı 7 adet çıkış üyelik fonksiyonu seti tanımlanmıştır. Gürültülü görüntü dizilerinin özelliğine göre çıkışlardan biri güncellenerek, süzgeç performansının iyileştirilmesi yoluna gidilmiştir. Elde edilen bu yapıya, üyelik fonksiyonu seçmeli bulanık süzgeç adı verilmiştir. Süzgeçleme sonuçları ele alındığında, süzgeç performansının farklı görüntü dizileri için iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çalışmanın son kısmında, üyelik fonksiyonu seçmeli bulanık süzgeçteki 7 adet çıkış setinden birisinin seçilmesi yerine, üyelik fonksiyonlarının konumlarının bulanık mantıkla belirlenmesinin daha iyi sonuçlar vereceği düşünülerek, üyelik fonksiyonu uyarlamalı bulanık süzgeç yapısı oluşturulmuştur. Bu süzgeç, gürültülü görüntü dizilerinin özelliğine göre üyelik fonksiyonlarının konumlarını bulanık mantık ile belirlemekte ve önceki süzgeç yapılarına göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

BÖLÜM 2. BULANIK MANTIK

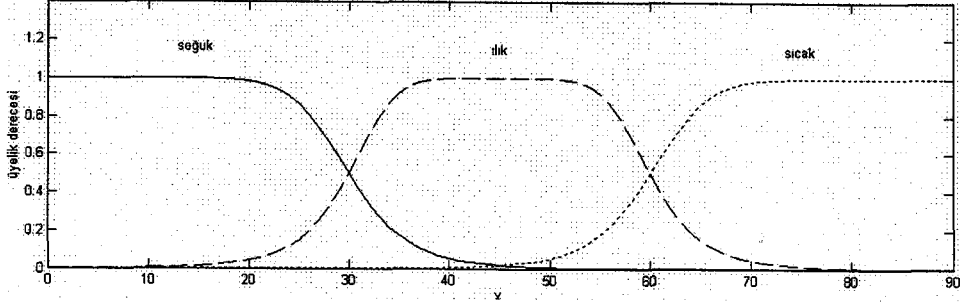
2.1. Bulanık Küme Teorisi

Bir klasik küme, sınırları keskin olan kümedir. Örneğin, 180'den büyük gerçek sayılardan oluşan A kümesi

$$A = \{x | x > 180\} \quad (2.1)$$

eşitliğiyle gösterilir. Bu eşitlikten anlaşılmaktadır ki, x değeri eğer 180'den büyük ise A kümesine aittir, aksi durumda A kümesine ait değildir. Klasik kümelerin birçok uygulamaya elverişli, matematik ve bilgisayar bilimleri için önemli bir araç olduğu bilinse de, insanların çoğu zaman soyut ve belirsiz kavrama ve düşünme özelliğini tam olarak yansıtamadıkları bilinmektedir. Örneğin; boyları 180 cm'den büyük olanların oluşturduğu kümeye "uzun" kümesi diyelim ve bu küme $A = \text{"uzun"}$ ve $x = \text{"boy"}$ olmak üzere; (2.1) denklemini ile tanımlansın. Bu tanımlama, esasında "uzun" insanın tanımı için gerçekçilikten uzak ve yetersiz bir belirtim sağlamaktadır. Çünkü, A kümesi tanımı için $x = 181$ cm boyundaki bir kişi %100 "uzun" kümesinin içinde, $x = 179$ cm boyundaki bir kişi ise %100 "uzun" kümesinin dışında kalacaktır. A kümesine ait olma ve ait olmama arasında böyle bir keskin geçişin olması bazı uygulamalarda istenmeyen bir durum oluşturmaktadır.

Klasik kümelerin tersine, bulanık kümeler, keskin sınırları olmayan kümelerdir. Kümeye aitlikten ait olmamaya geçiş kademelidir ve bu yumuşak geçiş üyelik fonksiyonları ile karakterize edilir. Üyelik fonksiyonlarının modellenmesinde genellikle kullanılan "sıcaklık yüksek", "su sıcak" gibi dilsel ifadeler ile bulanık kümelere esneklik sağlanır (Zadeh 1965). Şekil 2.1' de dilsel değerlerle ifade edilmiş üyelik fonksiyonlarına bir örnek görülmektedir.



Şekil 2.1. “sıcak”, “ılık”, “soğuk” dilsel değerlerinin gösterildiği üyelik fonksiyonları.

Yukarıda anlatılanlara bağlı kalarak, keskin olmayan tanımlı kümelerin insan düşüncesinin modellenmesinde önemli rol oynadığı görülebilir.

2.2. Temel Kavramlar ve Terminolojiler (Jang 1997)

X nesnelere uzayı ve x , X 'in genel elemanı olsun. A klasik kümesi, $A \subseteq X$, $x \in X$ nesnelere ve elemanlarının toplamı olarak tanımlanmaktadır, örneğin her x , A kümesine ait olabilir veya olmayabilir. X 'deki her bir x elemanı için karakteristik fonksiyonlar tanımlanarak A kümesi sırasıyla, $x \in A$ veya $x \notin A$ 'yı belirten $(x,0)$ veya $(x,1)$ kısmi parçaları biçiminde tanımlanabilir (Jang 1997).

Klasik kümelerin aksine bulanık kümeler (Zadeh 1965), elemanın kümeye aitlik derecesini belirler. Bu nedenle bulanık kümenin karakteristik fonksiyonu, verilen kümedeki elemanın üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değişen değerler almasına olanak sağlar.

Tanım1: Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

Eğer X , x ile gösterilen nesnelere toplamı ise, X içindeki A bulanık kümesi sıralı parçalar kümesi olarak

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2.2)$$

eşitliği ile belirtilir. (2.2) eşitliğinde $\mu_A(x)$, A bulanık kümesi için Üyelik Fonksiyonu (ÜF) olarak adlandırılır. ÜF, X 'in her elemanını 0 ile 1 arasındaki bir üyelik derecesine eşler.

Tanım2: Destek

Bir A bulanık kümesinin desteği, X 'deki bütün x noktalarının $\mu_A(x) > 0$ olduğu kümedir (Bkz. Şekil 2.2).

$$destek(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\} \quad (2.3)$$

Tanım3: Çekirdek

Bir A bulanık kümesinin çekirdeği, X 'deki bütün x noktalarının $\mu_A(x) = 1$ olduğu kümedir (Bkz. Şekil 2.2).

$$çekirdek(A) = \{x | \mu_A(x) = 1\} \quad (2.4)$$

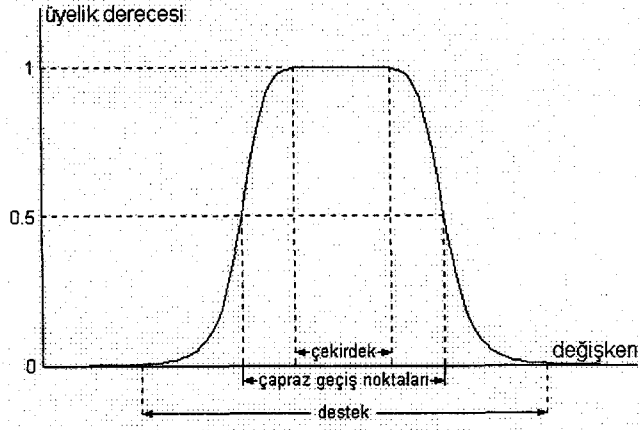
Tanım4: Normallik

Bir A bulanık kümesinde tanımlanmış olan çekirdek boş değil ise bu A kümesi normaldir.

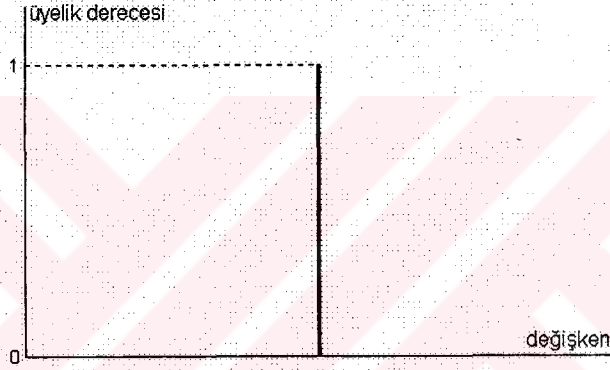
Tanım5: Çapraz geçiş noktaları

Bir A bulanık kümesinin çapraz geçiş noktaları, $\mu_A(x) = 0,5$ olduğu $x \in X$ noktalarıdır (Bkz. Şekil 2.2).

$$çaprazgeçiş(A) = \{x | \mu_A(x) = 0,5\} \quad (2.5)$$



Şekil 2.2. Bir üyelik fonksiyonunda çekirdek, destek ve çapraz geçiş noktaları.



Şekil 2.3. Tek ton ÜF.

Tanım6: Bulanık tek ton

Yalnızca tek noktada $\mu_A(x) = 1$ olduğu bulanık kümedir.

Tanım7: Bant genişliği

Normal ve dışbükey bulanık bir küme için bant genişliği veya genişlik, çapraz geçiş noktaları arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{genislik}(A) = |x_2 - x_1| ; \mu_A(x_1) = \mu_A(x_2) = 0,5 \quad (2.6)$$

Tanım8: Simetri

Bir A bulanık kümesinde eğer ÜF belli bir $x = c$ noktasına göre sağda ve solda eşit dağılımlı ise bu küme simetriktir.

$$\mu_A(c+x) = \mu_A(c-x) ; \text{ b\u00fct\u00fcn } x \in X \text{ i\u00e7in} \quad (2.7)$$

Tanım9: Soldan a\u00e7ık, sa\u011fdan a\u00e7ık, kapalı

Bir A bulanık k\u00fcmesi; e\u011fer $\lim_{x \rightarrow -\infty} \mu_A(x) = 1$ ve $\lim_{x \rightarrow +\infty} \mu_A(x) = 0$ ise soldan a\u00e7ık; e\u011fer $\lim_{x \rightarrow -\infty} \mu_A(x) = 0$ ve $\lim_{x \rightarrow +\infty} \mu_A(x) = 1$ ise sa\u011fdan a\u00e7ık; e\u011fer $\lim_{x \rightarrow -\infty} \mu_A(x) = 0$ ve $\lim_{x \rightarrow +\infty} \mu_A(x) = 0$ ise kapalı olarak adlandırılır.

Orne\u011fin; \u015ekil 2.1'deki "so\u011fuk" bulanık k\u00fcmesi soldan a\u00e7ık, "ılık" bulanık k\u00fcmesi kapalı ve "sıcak" bulanık k\u00fcmesi sa\u011fdan a\u00e7ıktır.

2.3. Bulanık K\u00fcmelerde İşlemler (Jang 1997)

2.3.1. Kapsama

B\u00fct\u00fcn x 'ler i\u00e7in e\u011fer $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ ise A k\u00fcmesi, B k\u00fcmesi tarafından kapsanmaktadır.

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (2.8)$$

2.3.2. Birleşim

A ve B k\u00fcmelerinin birleşimi C k\u00fcmesi olsun, bu durumda birleşim işlemi $C = A \cup B$ veya $C = A$ veya B şeklinde ifade edilmektedir. C k\u00fcmesinin \u00d0F'leri, A ve B k\u00fcmelerinin \u00d0F'leriyle aşa\u011fıdaki eşitlikle ilişkilidir (Bkz. \u015ekil 2.4c).

$$\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (2.9)$$

2.3.3. Kesişim

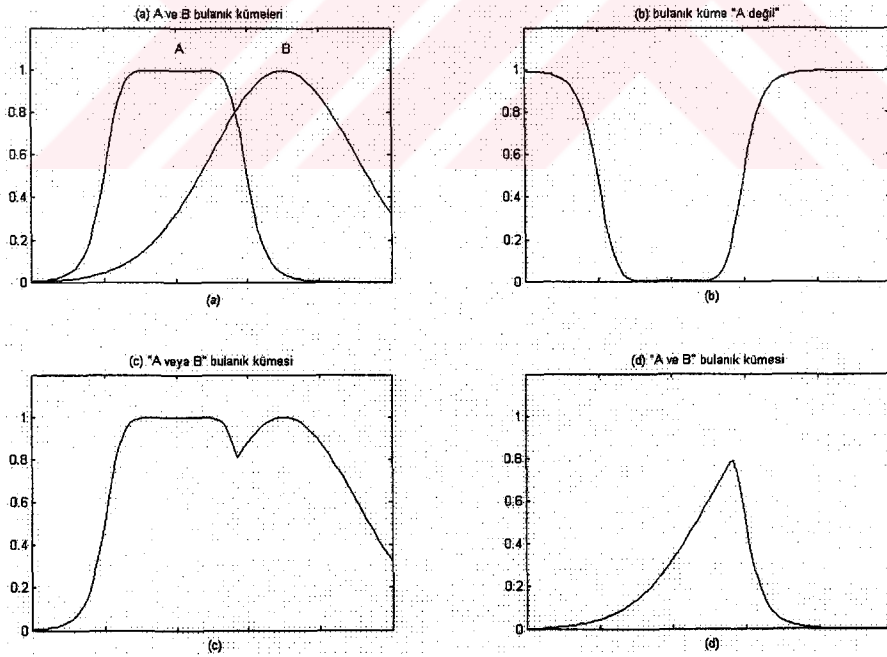
A ve B kümelerinin kesişimi C kümesi olsun, bu durumda kesişim işlemi $C = A \cap B$ veya $C = A$ ve B şeklinde ifade edilmektedir. C kümesinin ÜF'leri, A ve B kümelerinin ÜF'leriyle aşağıdaki eşitlikle ilişkilidir (Bkz. Şekil 2.4d).

$$\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (2.10)$$

2.3.4. Tümleyen

A bulanık kümesinin tümleyeni \bar{A} ile gösterilir ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Bkz. Şekil 2.4b).

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.11)$$



Şekil 2.4. Bulanık kümelerde işlemler (a) A ve B bulanık kümeleri, (b) \bar{A} , (c) $A \cup B$, (d) $A \cap B$.

2.4. Üyelik Fonksiyonları: Parametreler ve Matematiksel İfadeler

Bu bölümde, bulanık mantık uygulamalarında sıklıkla kullanılan üyelik fonksiyonlarının parametreleri ve matematiksel eşitlikleri verilecektir.

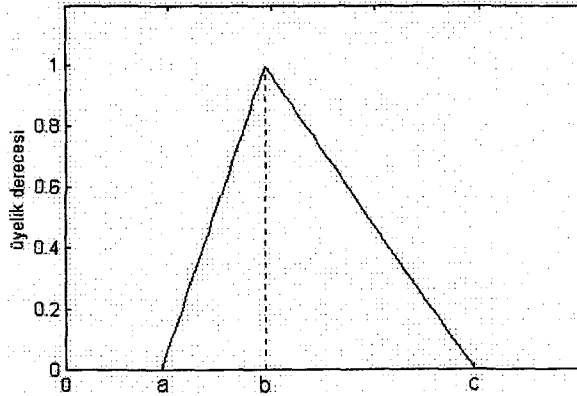
2.4.1. Üçgen üyelik fonksiyonları

Üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi $\{a, b, c\}$ parametreleriyle (2.12) eşitliği ile tanımlanmaktadır. Şekil 2.5'de üçgen ÜF ve parametreleri görülmektedir.

$$\text{üçgen}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , \quad a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , \quad b \leq x \leq c \\ 0 & , \quad c \leq x \end{cases} \quad (2.12)$$

(2.12) numaralı denklemde verilen ifadeleri min-max işlemlerini kullanarak aşağıdaki denklem ile de gösterebiliriz.

$$\text{üçgen}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2.13)$$



Şekil 2.5. Üçgen ÜF ve parametreleri.

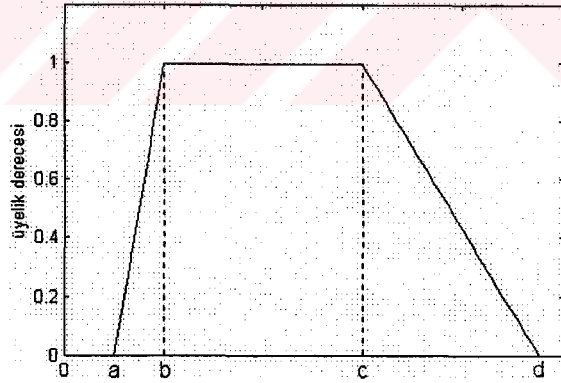
2.4.2. Trapez üyelik fonksiyonları

Trapez üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi $\{a, b, c, d\}$ parametreleri ile (2.14) eşitliği ile tanımlanmaktadır. Şekil 2.6'da trapez ÜF ve parametreleri görülmektedir.

$$\text{trapez}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , \quad a \leq x \leq b \\ 1 & , \quad b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & , \quad c \leq x \leq d \\ 0 & , \quad d \leq x \end{cases} \quad (2.14)$$

(2.14) numaralı denklemde verilen ifadeleri min-max işlemlerini kullanarak aşağıdaki denklem ile de gösterebiliriz.

$$\text{trapez}(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (2.15)$$



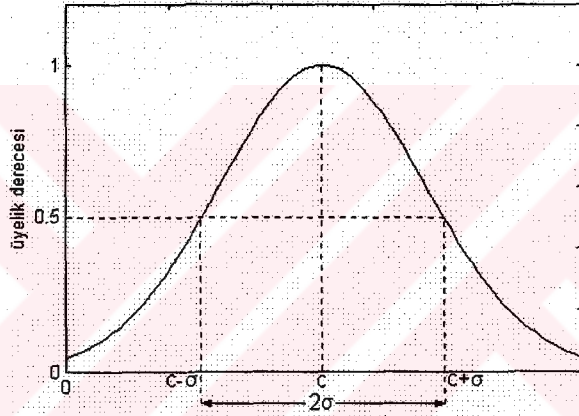
Şekil 2.6. Trapez ÜF ve parametreleri.

2.4.3. Gauss üyelik fonksiyonları

Gauss üyelik fonksiyonu $\{c, \sigma\}$ parametreleri ile tanımlanır ve matematiksel ifadesi

$$gauss(x; c, \sigma) = y = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.16)$$

denklemleri ile verilir. Burada c ve σ sırası ile Gauss ÜF'nin merkez noktasını ve genişliğini belirtmektedir. Gauss ÜF ve $\{c, \sigma\}$ parametreleri Şekil 2.7' de görülmektedir.



Şekil 2.7. Gauss ÜF ve parametreleri.

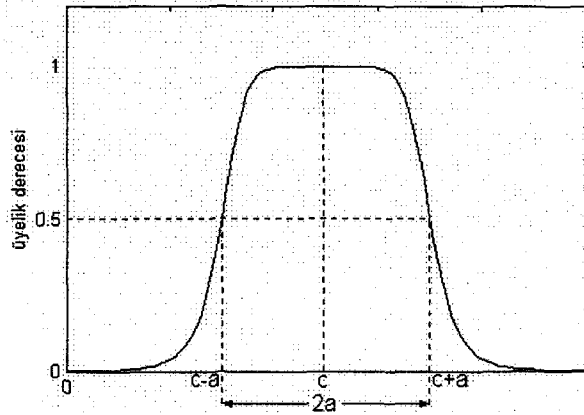
2.4.4. Çan biçimli üyelik fonksiyonları

Çan biçimli üyelik fonksiyonu $\{a, b, c\}$ parametreleri ile tanımlanır ve matematiksel ifadesi

$$\text{çan}(x; a, b, c) = y = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.17)$$

denklemleri ile verilir. (2.17) denkleminde b pozitif seçilir (eğer b negatif alınırsa ÜF'nin şekli yatay eksene göre ters döner) ve a 'ya bağlı olarak çapraz geçiş noktalarının eğimleri değişir. c ve a parametreleri sırası ile ÜF'nin merkez noktasını ve genişliğini belirler.

Yumuşak geçiş ve basit denklem parametreleri ile Gauss ve çan biçimli ÜF'leri, bulanık kümeleri tanımlamada sıklıkla kullanılmaktadır. Çan biçimli ÜF, Gauss ÜF'ye göre daha fazla parametre içermektedir fakat çekirdek kısmının genişliğinin değiştirilebilmesi ve çapraz geçiş noktalarının eğimlerinin kontrolü için fazladan bir parametre kullanılması sonucunda eğimin daha hassas ayarlanabilmesi çan biçimli ÜF'ye üstünlük sağlar.



Şekil 2.8. Çan biçimli ÜF ve parametreleri.

Gauss ve çan biçimli ÜF'leri yumuşak geçiş sağlamalarına rağmen, simetrik olmayan ÜF'lerin tanımlanmasında kullanılamazlar. Bu durumda sigmoid ÜF'leri kullanılmaktadır.

2.4.5. Sigmoid üyelik fonksiyonları

Sigmoid üyelik fonksiyonu $\{a, c\}$ parametreleri ile tanımlanır ve sigmoid fonksiyonunun matematiksel ifadesi (2.18) denklemi ile verilir.

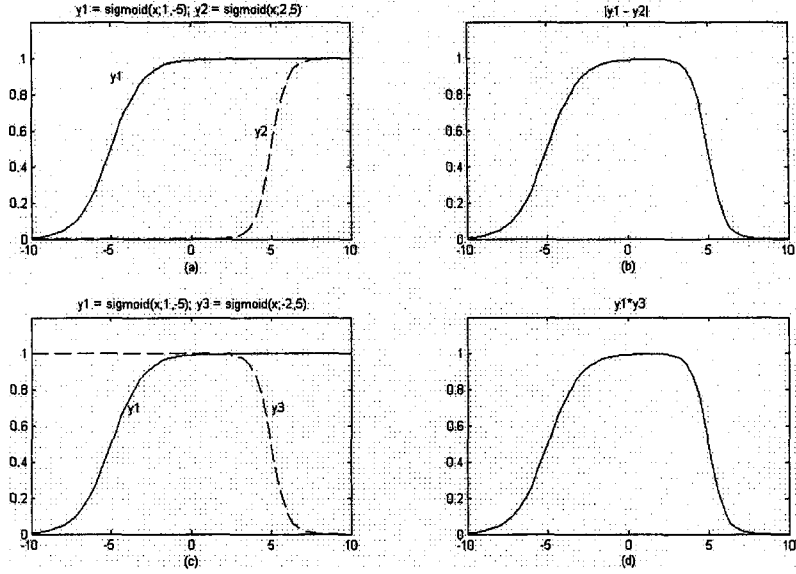
$$\text{sigmoid}(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{[-a(x-c)]}} \quad (2.18)$$

Bu denklemde a , $x = c$ çapraz geçiş noktalarının eğimini kontrol eder. a 'nın işaretine bağlı olarak ÜF sağdan açık veya soldan açık olarak değiştirilebilir.

Sigmoid ÜF oluşturmak için iki yol vardır: ilkinde iki sigmoid fonksiyonunun mutlak farkının alınması, ikincisinde ise iki sigmoid fonksiyonunun çarpılması ile ÜF oluşturulur. Örneğin;

$$\begin{aligned} y_1 &= \text{sigmoid}(x; 1, -5) \\ y_2 &= \text{sigmoid}(x; 2, 5) \\ y_3 &= \text{sigmoid}(x; -2, 5) \end{aligned} \quad (2.19)$$

olarak verilsin. (2.19)'dan y_1 ve y_2 'nin eğimlerinin pozitif, y_3 'ün eğiminin negatif olduğu a 'ya bakılarak görülmektedir. (y_1, y_2) ve (y_1, y_3) kullanılarak aynı sigmoid ÜF'yi $|y_1 - y_2|$, $y_1 \cdot y_3$ işlemleri ile Şekil 2.9'da görüldüğü gibi elde edebiliriz.



Şekil 2.9. (a) y_1 ve y_2 sigmoid fonksiyonları, (b) $|y_1 - y_2|$ işlemi ile elde edilen kapalı ÜF, (c) y_1 ve y_3 sigmoid fonksiyonları, (d) $y_1 \cdot y_3$ işlemi ile elde edilen kapalı ÜF.

2.4.6. Parametrelü üyelik fonksiyonlarının türevleri

Bulanık bir sistemi uyarlamalı yapabilmek için, üyelik fonksiyonlarının parametrelerine bağlı olarak türevlerini bulabilmek gerekmektedir. Bu türevsel bilgi, bulanık sistemin uyarlanması anahtar rol oynar. Aşağıdaki denklemlerde, çan biçimli ve Gauss ÜF'leri için değişkenlere bağlı olarak türevler verilmektedir.

Gauss ÜF için (2.16) denkleminde;

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{x-c}{\sigma^2} y$$

$$\frac{\partial y}{\partial \sigma} = \frac{(x-c)^2}{\sigma^3} y$$

(2.20)

$$\frac{\partial y}{\partial c} = \frac{x-c}{\sigma^2} y$$

türev ifadeleri bulunur.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Çan biçimli ÜF için (2.17) denkleminde;

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \begin{cases} -\frac{2b}{x-c} y(1-y) & , x \neq c \\ 0 & , x = c \end{cases}$$

$$\frac{\partial y}{\partial a} = \frac{2b}{a} y(1-y)$$

$$\frac{\partial y}{\partial b} = \begin{cases} -2 \ln \left| \frac{x-c}{a} y(1-y) \right| & , x \neq c \\ 0 & , x = c \end{cases} \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \begin{cases} \frac{2b}{x-c} y(1-y) & , x \neq c \\ 0 & , x = c \end{cases}$$

eşitlikleri bulunur. Türev değerlerinden, Gauss ve çan biçimli ÜF'ler için y 'nin (üyelik fonksiyonu tanımının) yinelemeli olduğu görülmektedir. Bu özellik, uyarlamada işlem kolaylığı sağlamaktadır.

BÖLÜM 3. BULANIK KURALLAR ve BULANIK YARGILAMA

3.1. Bulanık Eğer-İse Kuralları

Bir bulanık eğer-ise kuralı (bulanık kural, bulanık karıştırma veya bulanık koşullu ifadeler olarak da bilinir),

eğer x, A ise y, B 'dir (3.1)

biçiminde yazılır ve A ve B , X ve Y uzaylarında tanımlı dilsel değişkenlerdir. Genellikle, “ x, A 'dır” ifadesi “koşul”, “ y, B 'dir” ifadesi de “yargı” olarak adlandırılır. Bulanık eğer-ise kurallarına günlük hayattan çeşitli örnekler verilebilir:

eğer yol karlı ise sürüş tehlikelidir.

eğer hava güneşli ve rüzgar yok ise sıcaklık artar.

Bulanık eğer-ise kuralları, bir sistemin modellenmesi ve analizinde kullanılmadan önce, “eğer x, A ise y, B 'dir” ya da $A \rightarrow B$ ifadesinin matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Aslında bu gösterim, x ve y arasındaki ilişkiyi belirtir. Bu bulanık eğer-ise kuralı, $X \times Y$ çarpım uzayında ikili bulanık ilişki (R) olarak tanımlanır (Jang 1997). Genellikle konuşmada, bulanık kural $A \rightarrow B$ 'yi yorumlamak için iki yol vardır. Eğer $A \rightarrow B$ 'yi A, B 'ye bağlıdır şeklinde yorumlarsak;

$$R = A \rightarrow B = A \times B = \int_{X \times Y} \mu_A(x) \tilde{*} \mu_B(y) / (x, y) \quad (3.2)$$

burada $\tilde{*}$, T-norm(\wedge) işlemidir ve $A \rightarrow B, R$ bulanık ilişkisini göstermek için tekrar kullanılmıştır.

3.2. Bulanık Yargılama

Bulanık yargılama, bulanık eğer-ise kural kümelerinden ve bilinen olgulardan sonuçları hesaplayan çıkartım yordamıdır. Bulanık yargılamaya girmeden önce, kural kompozisyonunu ele almak gerekmektedir.

3.2.1. Kural kompozisyonu

Kural kompozisyonu, Zadeh (1973) tarafından önerilmiştir. F , $X \times Y$ 'de tanımlı bir bulanık ilişki ve A , X uzayında bir bulanık küme olsun (Bkz. Şekil 3.1a,b). F ve A 'dan sonuç çıkartılırsa B bulanık kümesi elde edilir. B 'yi bulmak için A iki boyutlu hale getirilmelidir ve bu silindirik uzatma ile yapılır. Silindirik uzatma işlemi ile A bulanık kümesi, X boyutundan $X \times Y$ boyutuna geçirilir ve $c(A)$ elde edilir. $c(A)$ ile F 'in kesişimi alınır Şekil 3.1c'deki şekil elde edilir. $c(A) \cap F$, y eksenine düşürülürse, sonuçta B bulanık kümesi Şekil 3.1d' deki gibi elde edilir.

μ_A , $\mu_{c(A)}$, μ_B ve μ_F sırası ile A , $c(A)$, B ve F ' in ÜF'lerini göstermektedir ve burada $\mu_c(A)$ ile μ_A arasındaki ilişki aşağıda verilmektedir.

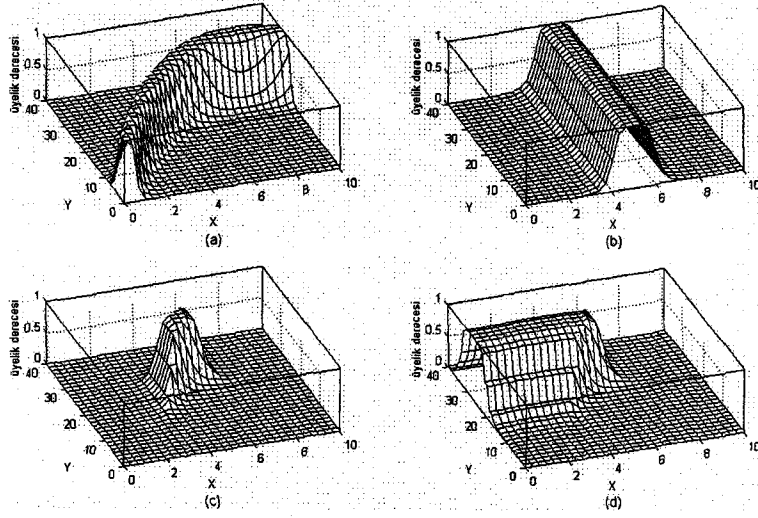
$$\mu_{c(A)}(x, y) = \mu_A(x) \quad (3.3)$$

B 'yi elde etmede yapılan işlemler sırası ile:

$$\mu_{c(A) \cap F}(x, y) = \min[\mu_{c(A)}(x, y), \mu_F(x, y)] = \min[\mu_A(x), \mu_F(x, y)] \quad (3.4)$$

$c(A) \cap F$, y eksenine düşürülerek:

$$\mu_B(y) = \max_x \min[\mu_A(x), \mu_F(x, y)] = \vee_x [\mu_A(x) \wedge \mu_F(x, y)] \quad (3.5)$$



Şekil 3.1. (a) $X \times Y$ uzayındaki F bulanık ilişkisi, (b) A 'nın silindirik şekilde uzatılmış hali, (c) a ve b şekillerindeki fonksiyonların minimumu, (d) c'deki sonucun Y üzerindeki izdüşümü.

elde edilir. Genel olarak B sonucu;

$$B = A \circ F \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir ve \circ , kompozisyon işlemini gösterir.

3.2.2. Bulanık yargılama

Bilinen iki değerli mantıktaki çıkartımın temel kuralı, A 'nın gerçekliğinden B önermesinin doğruluğunun sonucunu çıkarabilmektir ve gösterimi $A \rightarrow B$ şeklindedir. Örneğin; eğer $A =$ “domates kırmızı” ise $B =$ “domates olgunlaşmış” olarak tanımlanmış olsun. Yukarıda verilen koşul-sonuç ilişkisine bağlı kalarak, ele alınan bir domatesin rengi için “domates kırmızı” söylemi doğru ise olgunluğu ile ilgili “domates olgunlaşmış” sonucu çıkartılabilir. Bu durumu aşağıdaki gibi yazılabilir:

dayanak 1(koşul)	:	x, A' dir.
dayanak 2(kural)	:	eğer x, A ise y, B' dir.
sonuç	:	y, B' dir.

Bununla birlikte, insanın yargılama şekline benzer biçimde, kural çıkartımı yaklaşık biçimde kullanılabilir. Örneğin; yukarıdaki çıkartım kuralı ele alınırsa, eğer “domates kırmızı” ise “domates olgunlaşmış” tır, benzer şekilde eğer “domates az kırmızı” ise “domates az olgunlaşmış” tır şeklinde söylenebilir. Bu durum aşağıdaki gibi yazılabilir:

dayanak 1(koşul)	:	x, A' 'dür.
dayanak 2(kural)	:	eğer x, A ise y, B' dir.
sonuç	:	y, B' 'dür.

burada A' , A 'ya çok yakındır, aynı şekilde B' , B 'ye çok yakındır. A, B, A' ve B' ile belirtilen ifadeler uygun uzayların bulanık kümeleri ise, yukarıdaki çıkartım yolu “yaklaşık yargılama (approximate reasoning)” veya “bulanık yargılama” olarak adlandırılır.

Tanım 1: Yaklaşık çıkartım

A ve A' , X 'in, B de Y 'nin bulanık kümeleri olsun. $A \rightarrow B$ bulanık çıkartımının, $X \times Y$ 'deki R bulanık ilişkisi olarak gösterildiğini varsayalım. Öyleyse, B bulanık kümesi. “ x, A' ’dür” ve bulanık kural “eğer x, A ise y, B' ’dir” tarafından oluşturulur ve aşağıdaki denklemler ile tanımlanır:

$$\mu_{B'}(y) = \max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_R(x,y)] \quad (3.7)$$

veya

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B) \quad (3.8)$$

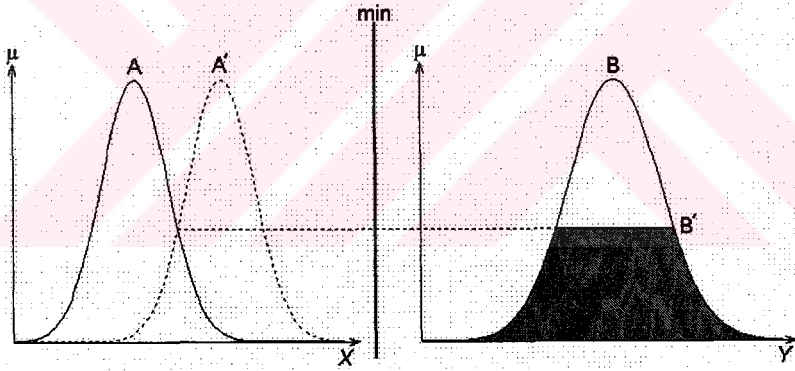
Bu aşamadan sonra, olası giriş ve kural sayılarına göre sonuç hesaplamak için bulanık yargılamanın çıkartım yöntemi kullanılabilir.

3.2.2.1. Tek koşullu tek kural

Bu çıkartım, en basit durumdur ve matematiksel gösterimi (3.9)' da verilmektedir.

$$\mu_{B'}(y) = [\vee_x (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x))] \wedge \mu_B(y) = \omega \wedge \mu_B(y) \quad (3.9)$$

(3.9) denkleminde görüldüğü üzere, $[\vee_x (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x))]$ kesişiminin en büyük değeri ω 'yı vermekte ve bu değer B üyelik fonksiyonuna yansıtıldığında B' elde edilmektedir. Tek koşullu tek kuralın uygulanmasına bir örnek bölüm 4'te anlatılan Mamdani bulanık çıkartım sistemi kullanılarak Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Mamdani bulanık karıştırması ve max-min kompozisyonu kullanarak yaklaşık(bulanık) yargılamanın şekilsel açıklanması.

3.2.2.2 İki koşullu tek kural

İki koşullu bulanık eğer-ise kuralları genellikle “eğer x , A ve y de B ise z , C ’dir” biçiminde yazılır. Yaklaşık yargılama için bu duruma bakıldığında;

dayanak 1(koşul)	:	x , A' ve y , B' ’dür.
dayanak 2(kural)	:	eğer x , A ve y , B ise z , C ’dir.
sonuç	:	z , C' ’dür.

Dayanak 2’de kullanılan kural, “ $A \times B = C$ ” biçiminde de gösterilebilir. Bu bulanık kural, R_m bulanık ilişkisi şeklinde yazılırsa;

$$R_m(A, B, C) = (A \times B) \times C = \int_{X \times Y \times Z} \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \mu_C(z) / (x, y, z) \quad (3.10)$$

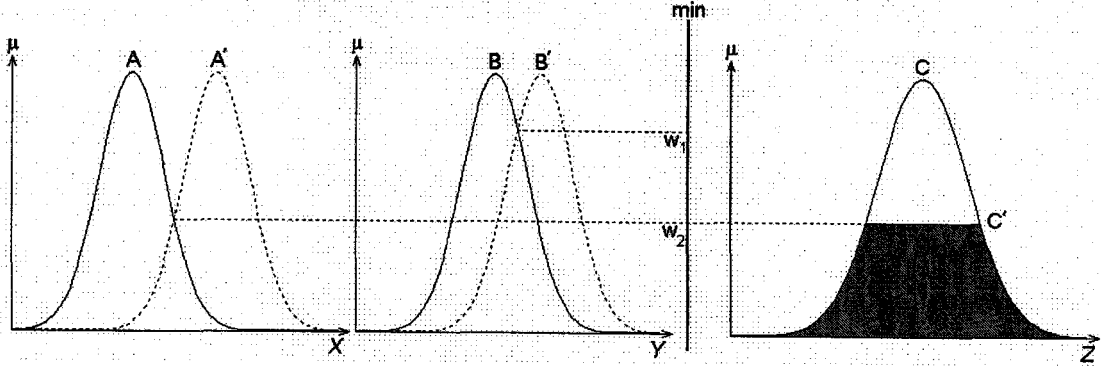
Elde edile C' sonucu (3.11) eşitliğinde gösterilmektedir.

$$C' = (A' \times B') \circ (A \times B \rightarrow C) \quad (3.11)$$

Böylece;

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(z) &= \vee_{x,y} [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{B'}(y)] \wedge [\mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \wedge \mu_C(z)] \\ &= \vee_{x,y} [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{B'}(y) \wedge \mu_A(x) \wedge \mu_B(y)] \wedge \mu_C(z) \\ &= \underbrace{\{\vee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x)]\}}_{\omega_1} \wedge \underbrace{\{\vee_y [\mu_{B'}(y) \wedge \mu_B(y)]\}}_{\omega_2} \wedge \mu_C(z) \\ &= (\omega_1 \wedge \omega_2) \wedge \mu_C(z) \end{aligned} \quad (3.12)$$

burada ω_1 ve ω_2 sırası ile $A \cap A'$ ve $B \cap B'$ üyelik fonksiyonlarının maksimumlarıdır. ω_1 genellikle A ve A' arasındaki uygunluk derecesi olarak adlandırılır. Yukarıda anlatılan işlemler Şekil 3.3’ de görülmektedir.



Şekil 3.3. Çoklu kural için yaklaşık yargılama.

3.2.2.3. Çok koşullu çok kural

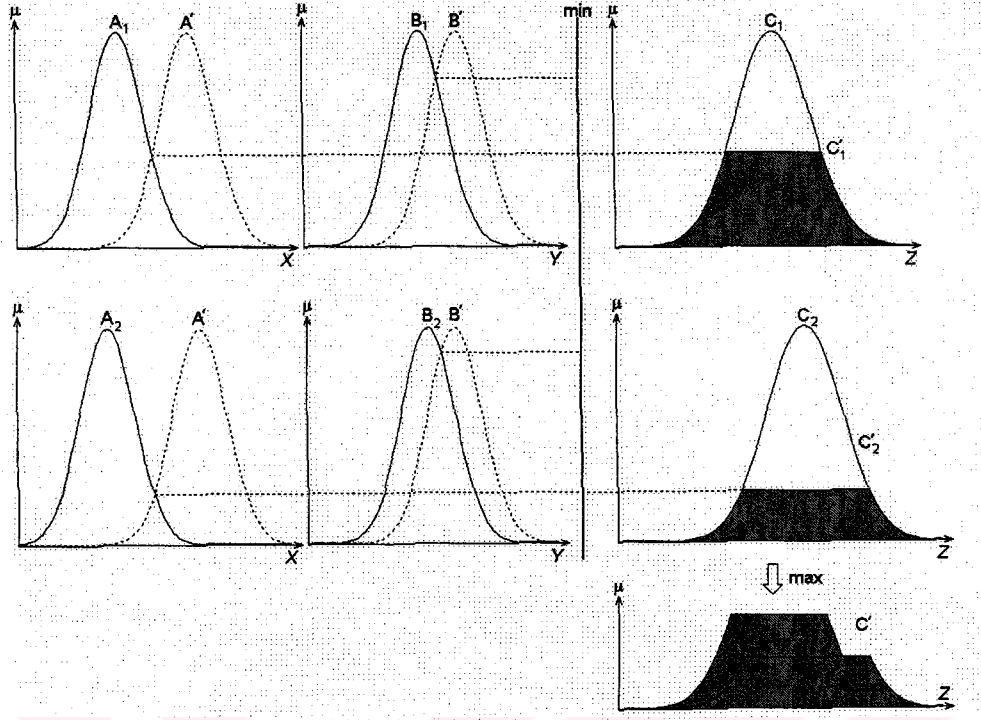
Çoklu kuralların yorumlanması, genellikle bulanık kurallara uygun bulanık ilişkilerin birleşimi olarak alınır ve yaklaşık yargılama için aşağıdaki gibi yazılabilir.

dayanak 1(koşul)	:	x, A' ve y, B' 'dür.
dayanak 2(kural1)	:	eğer x, A_1 ve y, B_1 ise z, C_1 'dir.
dayanak 3(kural2)	:	eğer x, A_2 ve y, B_2 ise z, C_2 'dir.
sonuç	:	z, C' 'dür.

Bu çıkartım işleyişini gerçeklemek için $R_1 = A_1 \times B_1 \rightarrow C_1$ ve $R_2 = A_2 \times B_2 \rightarrow C_2$ ilişkilerine bakmak gerekmektedir. C' bulanık kümesini bulmak için

$$\begin{aligned}
 C' &= (A' \times B') \circ (R_1 \cup R_2) \\
 &= [(A' \times B') \circ R_1] \cup [(A' \times B') \circ R_2] \\
 &= C'_1 \cup C'_2
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

burada C_1 ve C_2 , 1. ve 2. kurallardan çıkan sonuçlardır. Şekil 3.4'de çok koşullu çok kural için bulanık yargılama işlemi görülmektedir.



Şekil 3.4. Çok koşullu çok kural için bulanık yargılama.

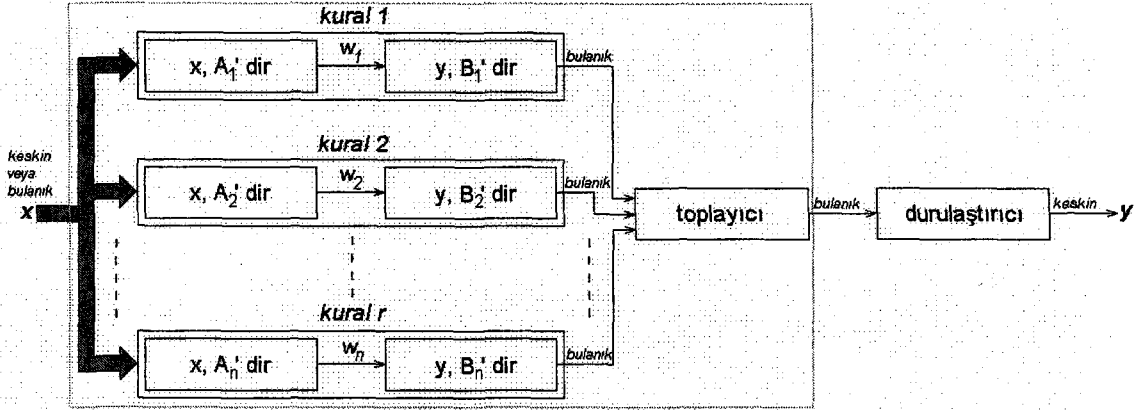
BÖLÜM 4. BULANIK ÇIKARTIM SİSTEMLERİ

4.1. Giriş

Bulanık çıkartım sistemi (Fuzzy Inference System-FIS), bulanık küme teorisi, bulanık eğer-ise kuralları ve bulanık yargılama temelli genel bir hesaplama biçimidir. Otomatik kontrol, veri sınıflandırma, uzman sistemler ve zaman serisi kestirimi gibi birçok alanda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Bulanık çıkartım sistemi genellikle, bulanık kural tabanlı sistem, bulanık uzman sistem (Kandel 1992), bulanık model (Takagi and Sugeno 1985, Sugeno and Kang 1988) ve bulanık mantık denetleç (Mamdani and Assilian 1975, Lee 1990a, 1990b) gibi isimlerle de adlandırılmaktadır. Bulanık çıkartım sistemi, bulanık kurallara bağlı olarak giriş verilerini çıkışa doğrusal veya doğrusal olmayan biçimde eşler. Eşleme işlemi, giriş/çıkış üyelik fonksiyonlarını, bulanık mantık işlemcilerini, bulanık eğer-ise kurallarını, çıkış kümelerinin toplanmasını ve durulaştırma işlemini içerir.

Bulanık çıkartım sisteminin temel yapısı üç kısımdan oluşur: bulanık kuralların seçimini içeren “kural tabanı”, bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarının bilgilerini içeren “veri tabanı” ve kurallar doğrultusunda verilen koşullara bağlı olarak çıkışları belirleyen “yargılama mekanizması”.

Temel bulanık çıkartım sistemi, bulanık veya keskin girişleri alabilir fakat çıkışlar daima bulanık kümelerdir. Bazen, özellikle bulanık çıkartım sisteminin denetleç olarak kullanıldığı durumlarda, keskin çıkışlara gereksinim vardır. Bu nedenle, keskin bir değer çıkartmak için bir durulaştırma yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Keskin çıkışlı bir bulanık çıkartım sistemi Şekil 4.1’de verilmektedir. Burada kuralların ve toplayıcının bulunduğu kapalı alan, bulanık çıkışlı temel bulanık çıkartım sistemini göstermektedir ve durulaştırıcı kısım, çıkış bulanık kümesinden keskin bir değer elde etmeyi sağlar. Şekil 3.4, bulanık çıkışlı bulanık çıkartım



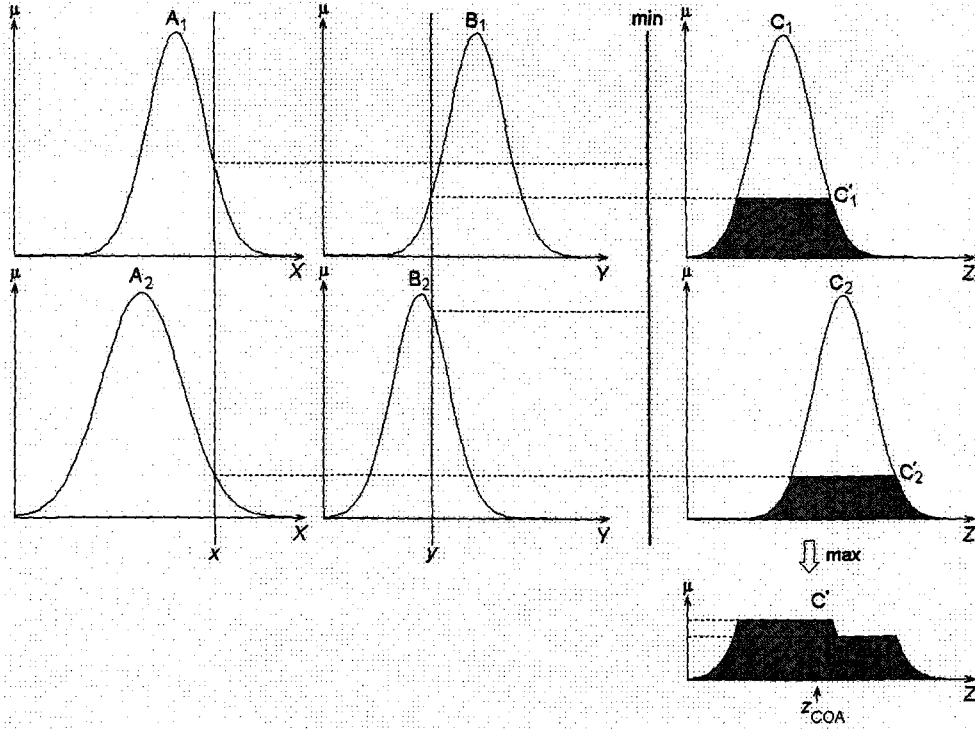
Şekil 4.1. Bulanık çıkartım sisteminin blok diyagramı.

sistemine örnek olarak verilebilir. Bu şekilde elde edilen sonuç bulanık kümeler halindedir ve sonuç bulanıktır.

Keskin giriş ve çıkışların olduğu bir bulanık çıkartım sistemi, giriş uzayından çıkış uzayına doğrusal olmayan bir eşleme gerçekleştirir ve bu eşleme, her bir eşlemenin davranışını belirleyen bulanık eğer-ise kuralları ile sağlanır. Yani, giriş uzayının bulanık bölgesini “koşul” kısmı, bulanık bölgedeki çıkışları ise “sonuç” kısmı tanımlar.

4.2. MAMDANİ Bulanık Çıkartım Sistemi

Mamdani bulanık çıkartım sistemi (Mamdani and Assilian 1975) ilk kez, uzman insan operatörler tarafından elde edilen dilsel kontrol kuralları bütünü kullanılarak buhar makinesinin ve kazan bileşiminin kontrolünde önerilmiştir. Şekil 4.2’de iki kurallı Mamdani bulanık çıkartım sisteminde, girilen x ve y keskin değerlerine karşılık toplam z çıkışının nasıl elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.2. Mamdani bulanık çıkartım sistemi ve min-max kullanımı.

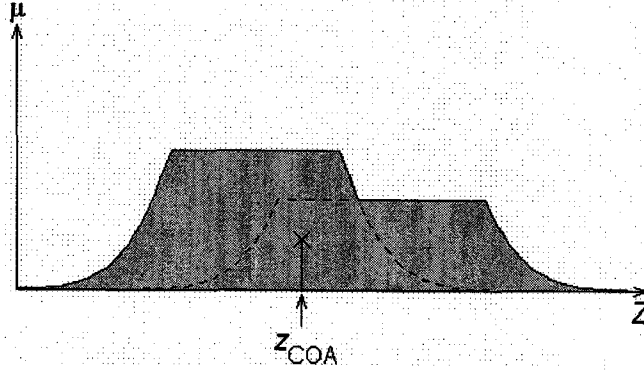
4.2.1. Durulaştırma

Durulaştırma, bir bulanık kümeden en anlamlı keskin değeri çıkartma işlemine denilmektedir. Durulaştırma işleminin girişi bulanık küme ve çıkışı tek bir keskin değerdir. Literatürde birçok durulaştırma yöntemi önerilmektedir fakat bu kısımda en çok kullanılan yöntemlerden bazıları incelenmektedir.

4.2.1.1. Ağırlık merkezi yöntemi

Ağırlık merkezi yönteminde (Center of Area-COA), Z uzayındaki bir toplanmış çıkış üyelik fonksiyonunu gösteren A kümesi için ağırlık merkezi hesaplanır. Elde edilen ağırlık merkezinin Z uzayındaki değeri durulaştırma işleminin sonucunu oluşturur.

$$z_{COA} = \frac{\int \mu_A(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_A(z) \cdot dz} \quad (4.1)$$



Şekil 4.3. Ağırlık merkezi yöntemi.

(4.1) eşitliğinde $\mu_A(z)$, toplam çıkış üyelik fonksiyonu ya da bulanık çıkıştır. Bu yöntem, durulaştırma işlemleri arasında kullanımı en ideal olanıdır, fakat işlemsel olarak gerçekleştirmek zordur ve fazla hesap yükü gerektirir. Şekil 4.3'de ağırlık merkezi yöntemine bir örnek verilmektedir ve durulaştırma sonucu elde edilen keskin çıkış değeri görülmektedir.

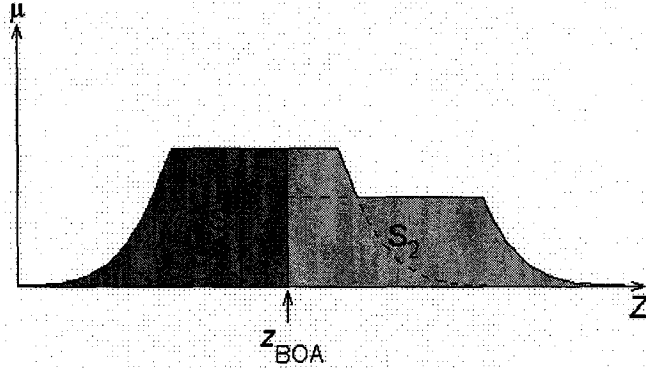
4.2.1.2. Alan orta noktası yöntemi

Alan orta noktası (Bisector of Area-BOA) z_{BOA} ile gösterilir ve matematiksel ilişkisi

$$\int_{\alpha}^{z_{BOA}} \mu_A(z).dz = \int_{z_{BOA}}^{\beta} \mu_A(z).dz \quad (4.2)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada, $\alpha = \min\{z|z \in Z\}$ ve $\beta = \max\{z|z \in Z\}$ 'dir.

Çıkışta elde edilen üyelik fonksiyonu alanının orta noktasının Z uzayındaki değeri durulaştırıcı çıkışı verir.



Şekil 4. 4. Alan orta noktası yöntemi

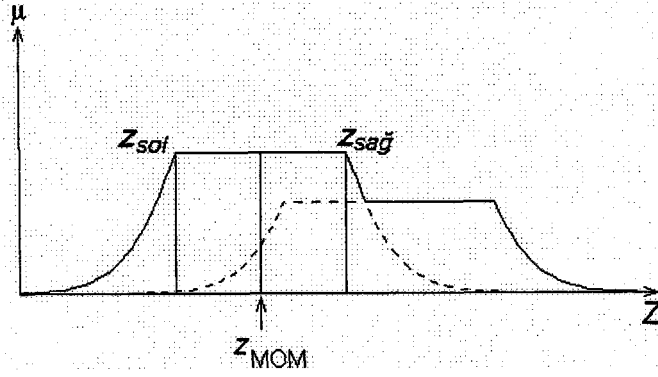
Önceki yöntemde kullanılan örnek bulanık çıkış, alan orta noktası ile durulaştırıldığında Şekil 4.4’ de görülen sonuç elde edilmektedir. Burada $S_1 = S_2$ olduğu nokta, durulaştırma sonucundaki belirlenen keskin çıkış değerini vermektedir.

4.2.1.3. Maksimumun ortası yöntemi

Maksimumun ortası yöntemi (Mean of Maximum-MOM), z_{MOM} ile gösterilir ve çıkıştaki üyelik fonksiyonunun maksimum üyelik noktasının Z uzayına izdüşüm değerlerinin orta noktası durulaştırıcının çıkışı olarak alınır ve matematiksel olarak (4.3) denklemi ile verilir.

$$z_{MOM} = (z_{sol} + z_{sağ}) / 2 \quad (4.3)$$

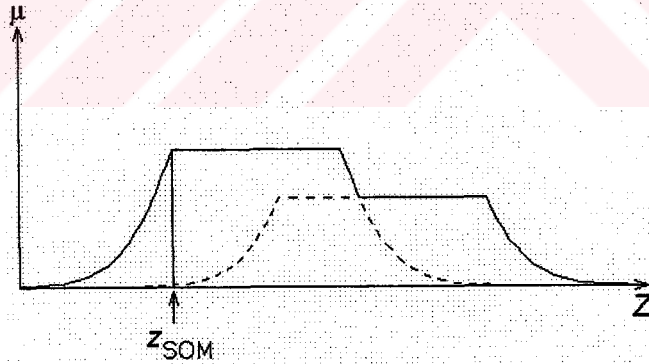
Eğer çıkışın tek bir maksimum noktası varsa o nokta durulaştırıcı çıkışı olarak alınır. Şekil 4.5’ de örnek bulanık çıkışın, maksimumun ortası yöntemi ile durulaştırılması sonucu belirlenen keskin çıkış değeri görülmektedir.



Şekil 4.5. Maksimumun ortası yöntemi.

4.2.1.4. Maksimumun en küçüğü yöntemi

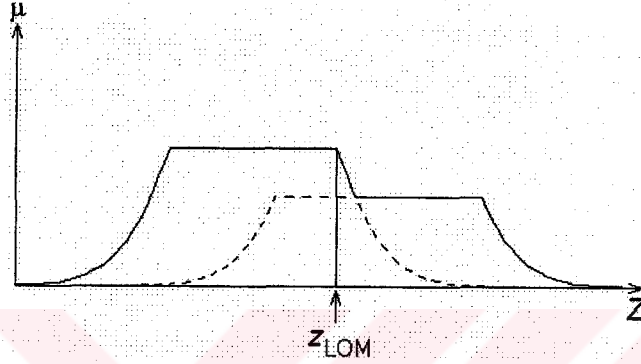
Maksimumun en küçüğü yöntemi (Smallest of Maximum-SOM), z_{SOM} ile gösterilir ve bulanık çıkışın maksimum noktasının Z uzayındaki en küçük değeri durulaştırıcı çıkışı olarak atanır. Şekil 4.6'da örnek bulanık çıkışın maksimumunun en küçüğü yöntemi ile durulaştırılması sonucu belirlenen keskin çıkış değeri görülmektedir.



Şekil 4.6. Maksimumun en küçüğü yöntemi.

4.2.1.5. Maksimumun en büyüğü yöntemi

Maksimumun en büyüğü yöntemi (Largest of Maximum-LOM), z_{LOM} ile gösterilir ve bulanık çıkışın maksimum noktasının Z uzayındaki en büyük değeri durulaştırıcı çıkışı olarak atanır. Şekil 4.7’de örnek bulanık çıkışın maksimumun en büyüğü yöntemi ile durulaştırılması sonucu belirlenen keskin çıkış değeri görülmektedir.



Şekil 4.7. Maksimumun en büyüğü yöntemi.

Maksimumun en küçüğü ve en büyüğü yöntemleri, en anlamlı keskin değerlerin çıkartılmasında sapmaya neden olabilecekleri için yukarıda anlatılan diğer üç yönteme göre daha az tercih edilirler. Fakat maksimumların ortası yöntemi ile birlikte bu üç yöntem, hesap yükündeki kazanımlarından dolayı tercih edilebilirler.

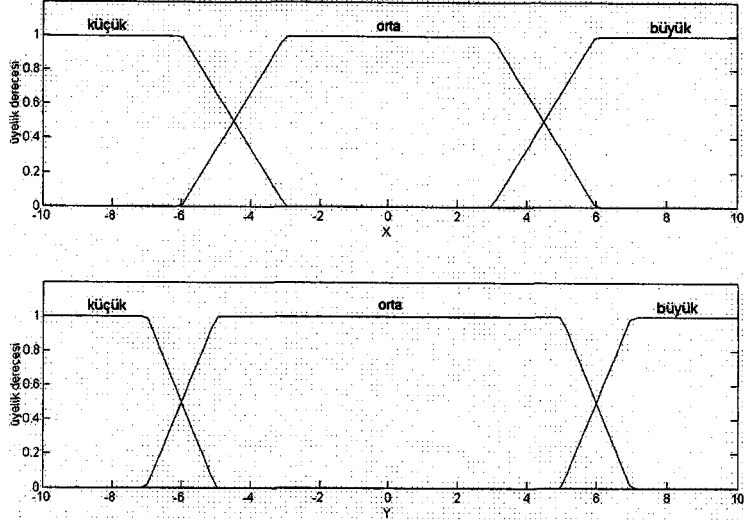
Aşağıda tek girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bulanık modele bir örnek verilmektedir. Örnekte kural tabanı için üç tane kural mevcuttur:

eğer X küçük ise Y küçüktür.

eğer X orta ise Y ortadır.

eğer X büyük ise Y büyüktür.

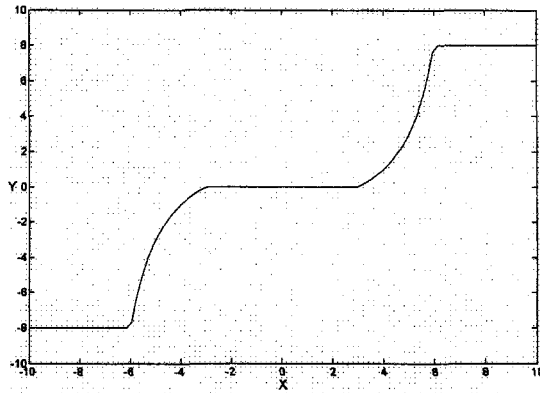
Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, “küçük”, “orta”, “büyük” olarak adlandırılan 3 er tane çan tipi üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır ve giriş-çıkış tanım aralıkları $[-10,10]$ arasında değişmektedir.



Şekil 4.8. Tek girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bulanık model için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları.

Max-min kompozisyonu ve ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi kullanılarak çıkış keskin değerinin X ve Y 'ye bağlı değişimi iki boyutlu olarak Şekil 4.9'daki gibi gösterilebilir.

İki girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bir bulanık model ele alındığında ise, $X - Y$ giriş ve Z çıkış uzayları olarak alındığında, elde edilen çıkış keskin değerinin değişim grafiği üç boyutlu olacaktır.



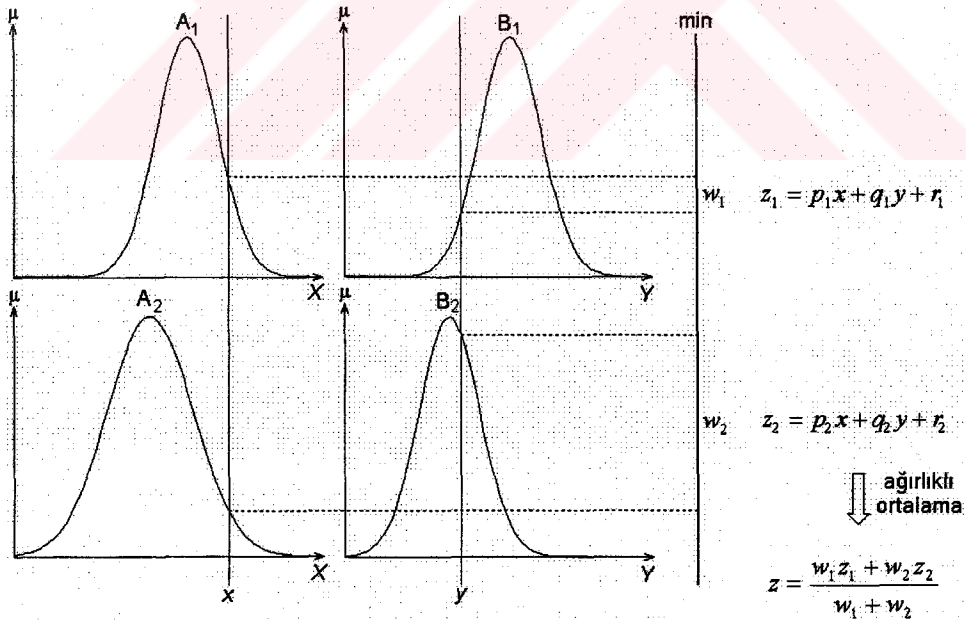
Şekil 4.9. Tek girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bulanık model için giriş/çıkış eğrisi.

4.3. SUGENO Bulanık Çıkartım Sistemi

Sugeno bulanık çıkartım sistemi, Takagi, Sugeno ve Kang tarafından (Takagi and Sugeno 1985, Sugeno and Kang 1988), verilen giriş-çıkış veri kümelerinden bulanık kuralların oluşturulması yaklaşımı için önerilen bir yöntemdir. Sugeno bulanık çıkartım sisteminde kullanılan bulanık kural yapısı

eğer x , A ve y , B ise $z = f(x,y)$

şeklinindedir. Burada A ve B , koşul kısmının bulanık kümeleri, $z = f(x,y)$ ise sonuç kısmının keskin çıkış değeridir. $f(x,y)$, giriş değerleri x ve y olan bir polinomdur ve birinci dereceden ise bulanık çıkartım sistemi “birinci derece Sugeno bulanık modeli”, eğer f sabit bir değer ise “sıfırıncı derece Sugeno bulanık modeli” olarak adlandırılır. Şekil 4.10’da birinci derece Sugeno bulanık modeli için bulanık yargılama işlem basamakları verilmektedir.



Şekil 4.10. Birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için bulanık yargılama.

Her bir kuralın keskin çıkışı vardır ve sonuçta çıkış, ağırlıklı ortalama ile hesaplanır.

Aşağıda bulanık ve bulanık olmayan tek girişli Sugeno bulanık modellerinin bir karşılaştırması verilmektedir. Sistemin kural tabanı

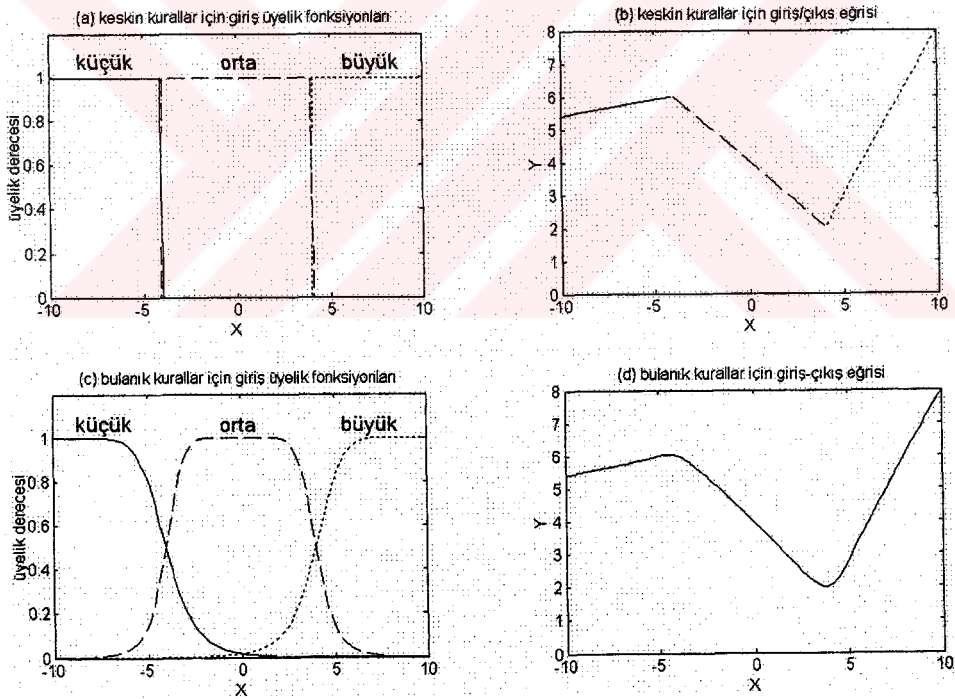
eğer X küçük ise $Y = 0.1X + 6.4$.

eğer X orta ise $Y = -0.5X + 4$.

eğer X büyük ise $Y = X - 2$.

biçiminde verilmektedir. Şekil 4.11a,b'de görüldüğü gibi giriş üyelik fonksiyonları keskin geçişlere sahip oldukları için, giriş-çıkış eğrisi tanım aralıkları boyunca doğrusal olarak değişmektedir.

Şekil 4.11b,c'de giriş üyelik fonksiyonları yumuşak geçişlere sahip oldukları için, giriş-çıkış eğrisinden geçişlerin yumuşak şekilde oldukları görülmektedir.



Şekil 4.11. Sugeno bulanık modelinde, bulanık girişli ve bulanık olmayan girişli kuralların karşılaştırılması.

BÖLÜM 5. GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

5.1. Giriş

Sayısal kamera teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte kamera boyutları ve ağırlıkları küçülmüştür. Bunun yanında, hareketli düzeneğe bağlı veya elle çekim yapılan kameralarda, video görüntülerinde istenmeyen kamera hareketlerinin sebep olduğu titreşimlerin bastırılması önemli bir uygulama alanı oluşturmaktadır. İstenmeyen titreşimleri ortadan kaldırmak amacıyla görüntü stabilizasyonu işlemi kullanılmaktadır. Görüntü stabilizasyonu ile amaçlanan, istenmeyen kayma, rotasyon ve zoom etkilerinin ortadan kaldırılması ve sadece istenen kamera hareketlerinin olduğu yeni bir görüntü dizisinin elde edilmesidir.

Görüntü stabilizasyonu günümüzde geniş kullanım alanları bulmaktadır ve gelişen teknoloji ile birlikte kullanım alanları artmaktadır. Bilinen kullanım alanları:

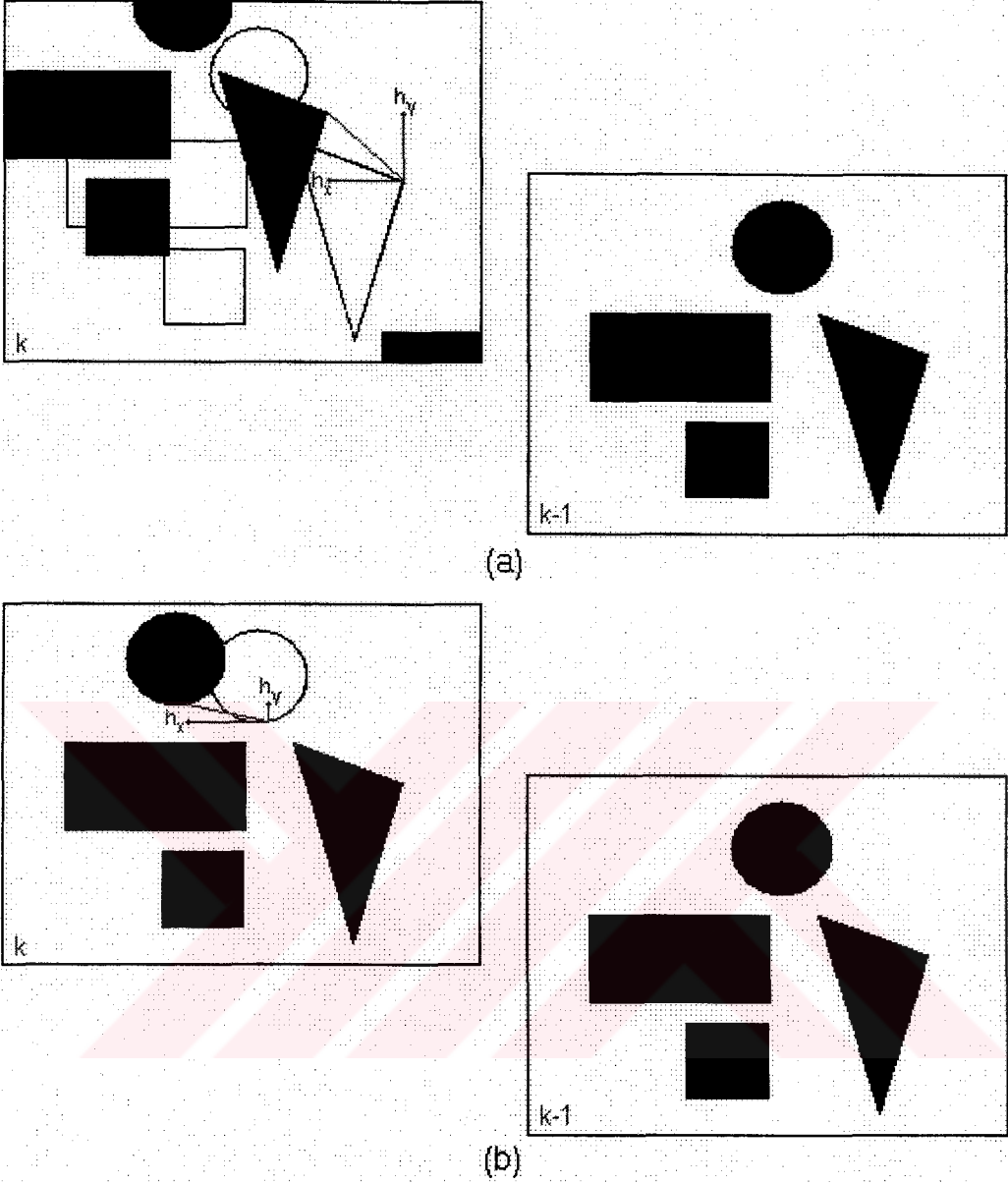
- i) Amatör kameraman tarafından yapılan çekimlerde kameranın sabit tutulamamasından kaynaklanan titreşim, rotasyon ve zoom etkilerinin bastırılması.
- ii) Engebeli arazide hareket eden araçlardan veya havadan yapılan çekimlerdeki görüntülerde oluşan titreşim, rotasyon ve zoom etkilerinin bastırılması.
- iii) Uzaktan kontrol edilen, kamera monte edilmiş robot uygulamalarında, robotun mekanik yürüme hareketlerinden kaynaklanan titreşimlerin bastırılması.
- iv) Cep telefonlarında konuşma sırasında, ses bilgisinin yanında videonun da aktarılmasına olanak tanıyan teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, telefonlarda oluşabilecek titreşimlerin, aktarılacak görüntüye yansımalarının önlenmesi.

Görüntü stabilizasyonu sonucunda görüntü dizileri görsel açıdan izleyiciyi rahatsız etmeyecek bir videonun elde edilmesine olanak tanımaktadır. Buna ek olarak sayısal sıkıştırma yöntemleri ele alındığında titreşime maruz kalmış bir dizinin sıkıştırılması istendiğinde mevcut hareketlerden dolayı sıkıştırma performansı düşmektedir. Bu durumda stabilize edilmiş görüntü dizilerinde daha yüksek kodlama verimi elde edilmektedir.

Görüntü stabilizasyonu sistemi, iki boyutlu görüntü stabilizasyonu ve üç boyutlu görüntü stabilizasyonu olarak ikiye ayrılabilir. İki boyutlu görüntü stabilizasyonu, sadece titreşimlerin bastırılmasını amaçlamaktadır. Üç boyutlu görüntü stabilizasyonu ise, titreşimlerin yanında rotasyon ve zoom etkilerinin neden olduğu düzensizliklerin bastırılmasını amaçlamaktadır.

5.2 Kamera Görüntülerinde Hareket

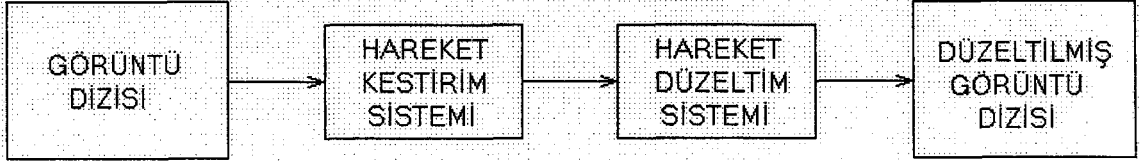
Kamera görüntülerinde, bütünsel hareket (imge çerçevesinin hareketi)(Şekil 5.1a) ve yerel hareket (imge içerisindeki bir nesnenin hareketi)(Şekil 5.1b) olmak üzere iki çeşit hareket tanımlanabilir. Görüntü stabilizasyonu için görüntünün bütünsel hareketi ele alınarak, kamera konumunun gösterdiği değişimler, istenen ve istenmeyen değişimler olarak iki tipte belirlenebilir. Bütünsel hareketteki istenen değişimler, kameranın kasıtlı yer değişiminden kaynaklanan, istenmeyen değişimler ise titreşimlerden dolayı oluşan hareket değişimleridir. Görüntü stabilizasyonunun amacı, görüntü dizisinin bütünsel hareketindeki istenmeyen değişimleri (ani titreşimler) ayırtmak ve yalnız istenen değişimlerin (uzun süreli kamera hareketleri-kasıtlı kamera hareketleri) gözlendiği yeni bir görüntü dizisi elde etmektir.



Şekil 5.1. Kamera görüntülerinde ardışık iki çerçeve arası (a) bütünsel hareket, (b) yerel hareket.

5.3. Görüntü Stabilizasyonu Sistemi

Görüntü stabilizasyonu sistemi, hareket kestirim sistemi ve hareket düzeltim sistemi olmak üzere ikiye ayrılabilir. Genel olarak görüntü stabilizasyonu sistemi Şekil 5.2'deki gibi gösterilir.



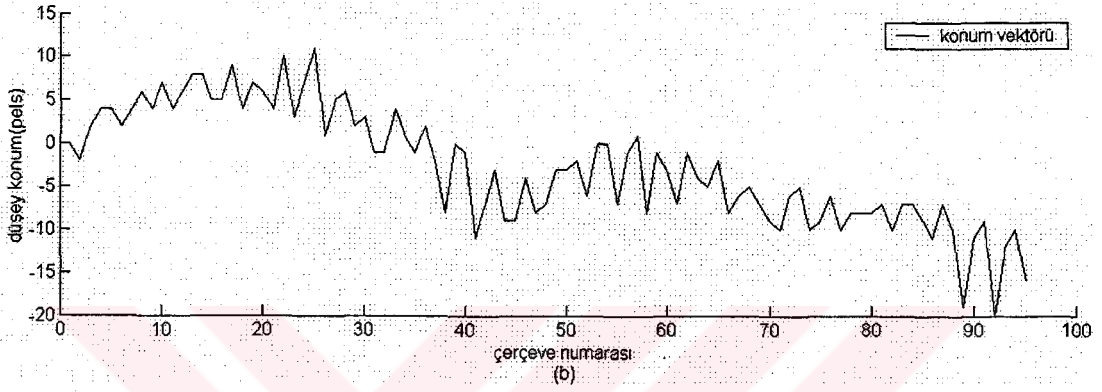
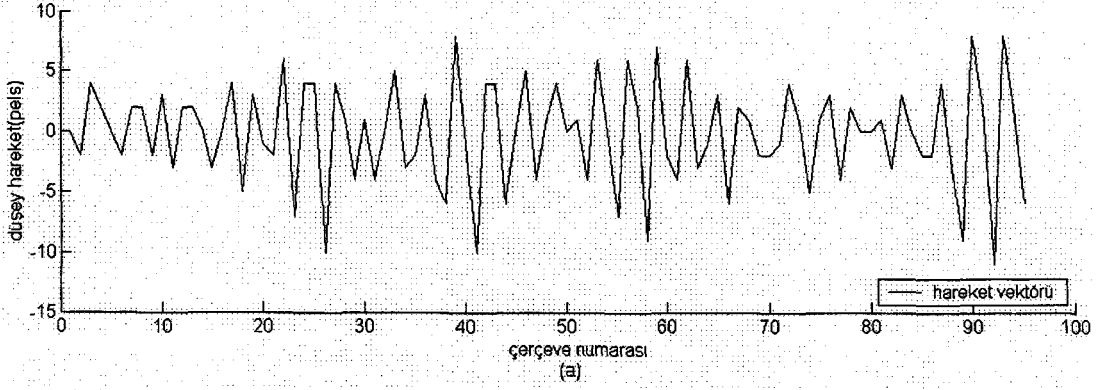
Şekil 5.2. Görüntü stabilizasyonu sisteminin genel blok yapısı.

5.3.1. Hareket kestirim sistemi

Hareket kestirim sistemi ile görüntü dizisindeki bütünsel hareket değişim vektörleri her bir çerçeve için bir önceki çerçeveye bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu sistemler, iki ve üç boyutlu görüntü stabilizasyonu için farklılıklar göstermektedir. İyi bir görüntü stabilizasyonu sağlayabilmek için temelde hareket kestirim sistemi sonucundaki hatanın minimum olması istenmektedir. Aksi durumda, hareket kestirim sistemi sonucu oluşacak hata doğrudan hareket düzeltme sistemini etkileyecektir (Erturk and Dennis 2000).

Hareket kestirim sistemi olarak, blok-hareket modeli, faz korelasyonu, blok eşleme, sıradüzensel hareket kestirimi, öznitelik eşleme gibi yöntemler kullanılmaktadır (Tekalp 1995). Bu tezde, hareket kestirim sistemi için tam aramalı blok eşleme (full search block matching) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının nedeni, bu tezin iki boyutlu görüntü stabilizasyonunu hedeflemesi ve tam aramalı blok eşleme hareket kestirim sistemi çıkışında bulunan hareket vektöründeki hatanın minimum olmasıdır. Böylelikle, hareket düzeltim sisteminin gerçek performansı daha iyi değerlendirilebilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı ise işlem yükünün çok olmasıdır.

Çerçeveler arası hareket vektörlerinin toplanması ile çerçeve konum vektörleri elde edilmektedir. Konum vektörleri, uzun süreli kamera hareketi bilgisini içermektedir (Şekil 5.3).



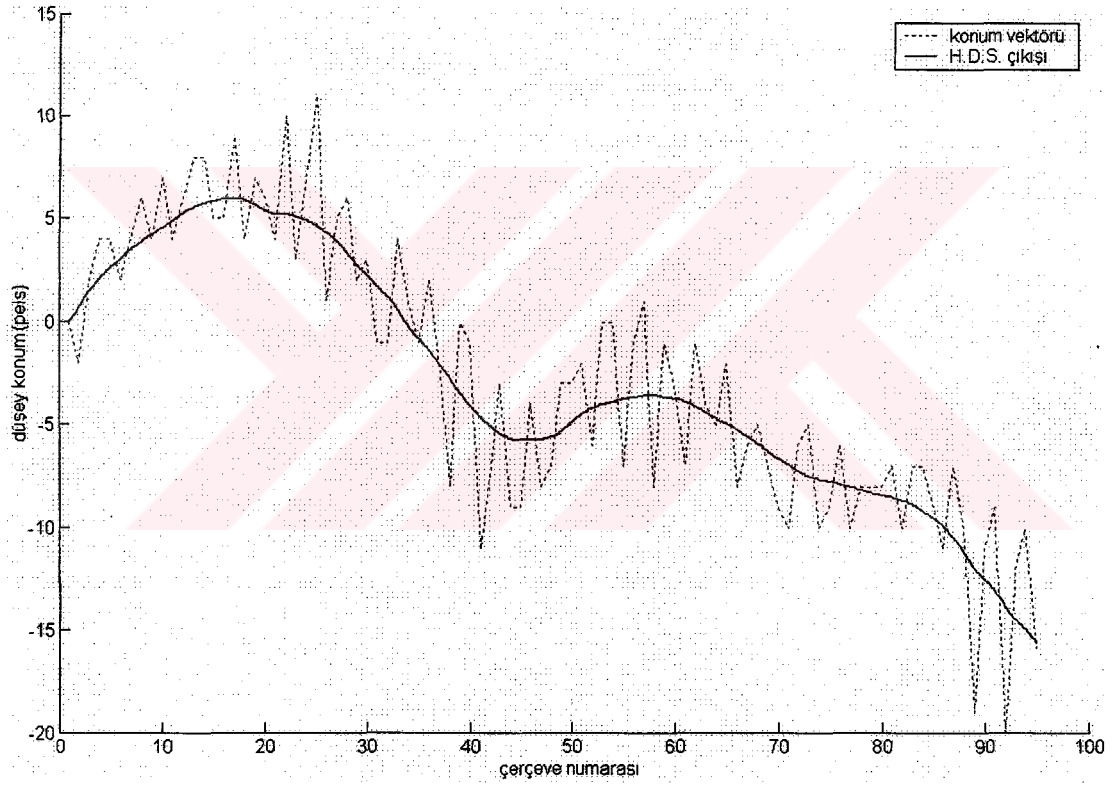
Şekil 5.3. Örnek Motor görüntü dizisi için; (a) hareket vektörü, (b) konum vektörü.

5.3.2. Hareket düzeltim sistemi

Hareket düzeltim sisteminin amacı, görüntü dizisinden hareket kestirimi ile elde edilen konum vektörlerinden, titreşimlerin arındırılması ile yalnız uzun süreli hareketlerin korunduğu, yeni konum vektörlerinin elde edilmesidir (Bkz. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5).



Şekil 5.4. Motor görüntü dizisi için örnek bir çerçeve görüntüsü.



Şekil 5.5. Örnek Motor görüntü dizisi için konum vektörü dizisi ve hareket düzeltim sistemi çıkışındaki istenen yeni konum vektörü dizisi.

5.3.3. Görüntü stabilizasyonu için yapılmış çalışmalara bakış

Oumori et al (1990, 1992) tarafından yapılan çalışmalarda, görüntü dört parçaya ayrıldıktan sonra her bir parça için blok karşılaştırması ile hareket vektörü bulunmuş,

sonra hareket vektörleri median filtreden geçirilerek bütünsel hareket vektörü hesaplanmıştır. Titreşimlerin giderilmesi için vektör entegrasyonu yöntemi sunulmuştur. Vektör entegrasyonu çalışma şekli olarak titreşim genliğini belli bir değerin altına ittiği için aynı anda istenen bütünsel hareketler de bastırılabilmekte ve istenen harekette kayıp gözlenmektedir.

Burt and Anandan (1994), Hansen et al (1994) tarafından yapılan çalışmalarda Laplacian piramit seviyelerinde hareket kestirimi gerçekleştirilerek ve mozaik bazlı bir karşılaştırma yapılarak bütünsel hareket vektörleri bulunmuştur. Görüntüler, bulunan bütünsel hareket vektörlerine ters yönde, hareket miktarı kadar kaydırılarak, görüntü dizisinden bütünsel kamera hareketleri çıkartılmıştır. Sonuçta, istenerek yapılan kamera hareket etkileri de sabitlenmiştir.

Morimoto and Chellappa (1996) tarafından yapılan çalışmada, araştırmacılar iki boyutlu özellik bazlı çoklu çözünürlüklü bir hareket kestirim yöntemi kullanmışlardır. Görüntülerde ufuk çizgisinin konumuna göre bütünsel hareket vektörleri saptanmış, bulunan hareket vektörlerine göre görüntü bir referans konumuna kaydırılmış ve videodaki tüm bütünsel hareket sıfırlanmıştır. Hareket kestirim sisteminde ufuk çizgisine gerek duyulduğundan kullanım alanı sınırlıdır. Titreşim giderme yönteminde ise kameranın istenen hareketleri sabitlenmektedir.

Ko et al (1998, 1999) tarafından yapılan çalışmalarda, hareket kestirimi için görüntüler bit-uzaylarına ayrılmış, her bit uzayı dört parçaya ayrılarak doğrudan veya gray-kodlaması ile blok karşılaştırması yapılmıştır. Bit-uzaylarında elde edilen hareket vektörlerinin korelasyon hesabına göre bütünsel kamera hareket vektörü saptanmış ve vektör entegrasyonu yöntemi ile titreşimler bastırılmıştır.

Guestrin et al (1998) tarafından yapılan çalışmada, örneklenmiş renkli görüntülerden faz korelasyonu sonucu bulunan genel hareket kestirimine Levensberg-Marquardt yöntemi ile ince ayar çekilmiş ve bütünsel hareket bulunmuştur. Yazılım ile saniyede 5 çerçeve işlenebilmiş ve gerçek zamanlı çalışma için hızın yavaş olduğu görülmüştür.

Engelsberg and Schmidt (1999) tarafından yapılan çalışmada, görüntülü cep telefonlarında kullanılması amacı ile insan yüzlerinden ve köşelerde kaldığı düşünülen arka plan kaymalarından bütünsel hareket elde edilmiş, sonra vektör entegrasyonu ile görüntülerdeki titreşimler bastırılmıştır.

Censi et al (1999) tarafından yapılan çalışmada, özellik bazlı hareket kestirimi kullanılmış, yerel obje hareketlerinin hesaplanan bütünsel hareket vektörüne etki etmesini engellemek için homografikler oluşturulmuştur.

Erturk and Dennis (2000) tarafından yapılan çalışmada, faz korelasyonu yöntemi ile görüntülerdeki hareket vektörleri saptandıktan sonra, tüm hareket vektörlerinin ağırlıklı ortalaması bütünsel hareket vektörü olarak belirlenmiştir. Hareket vektörlerinin toplanmasıyla elde edilen görüntü konumu vektörlerinin titreşim nedeniyle yüksek frekanslı sallantılar gösterdiği gözlenmiştir. Konum vektörlerinin alçak-geçiren bir süzgeçten geçirilmesi ile titreşimlerin etkisi giderilmiştir. Süzgeç, Fourier uzayında DFT olarak gerçekleştirildiği için çalışma, gerçek-zamanlı uygulamalara nazaran arşiv filmlerinin restorasyonu gibi off-line çalışmalara uygun görülmüştür.

Erturk (2001) tarafından yapılan çalışmada, faz korelasyonu hareket kestirimi yöntemi ile bütünsel görüntü konumu belirlenmiş, FIR süzgeçten geçirilerek video görüntüleri titreşimden arındırılmıştır. Fakat FIR süzgecin faz gecikmesinden dolayı sistem tam olarak gerçek zamanlı çalışmamaktadır.

Yaman and Erturk (2001) tarafından yapılan çalışmada, hareket düzeltim sistemi için Kalman süzgeci kullanılmış, ölçüm ve işlem gürültüsü değişimlerinin süzgeç karakteristiğine ve performansına etkileri ele alınmıştır. İşlem gürültüsü değişiminin büyük olduğunda hareket dinamiğinin iyi takip edildiği fakat stabilizasyon performansının düştüğü gözlenmiştir. İşlem gürültüsü değişimi küçük seçildiğinde ise stabilizasyon performansının arttığı gözlenmiş fakat hareket dinamiğinin iyi takip edilemediği görülmüştür.

Güllü et al (2003)¹ tarafından yapılan çalışmada, Yaman and Erturk (2001) tarafından yapılan çalışma ilerletilerek, hareket düzeltim sistemi için biri referans, diğeri stabilizasyon süzgeci olmak üzere, paralel çalışan iki kalman süzgeci kullanılmıştır. Referans Kalman süzgecinin işlem gürültüsü değışintisi en büyük değerde alınarak istenen hareketleri yakından takip etmesi sağlanmış, stabilizasyon Kalman süzgecinin işlem gürültüsü değışintisi ise referans ve stabilizasyon Kalman süzgeçleri arasındaki fark bilgisine bağılı olarak bulanık mantık temelli bir çıkartım ile uyumlanmışır.

Güllü ve Ertürk (2003)² tarafından yapılan çalışmada, hareket düzeltim sistemi için bir bulanık çıkartım sistemi, bir kestirim yapısı içerisinde düzeltme fonksiyonu olarak kullanılmış ve yalnız istenen bütünsel hareketlerin olduğı görüntü dizileri elde edilmeye çalışılmışır. Farklı örnek görüntü dizileri için bulanık çıkartım sisteminin üyelik fonksiyonlarının parametreleri değıştirilerek iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak sabit üyelik fonksiyonlarının kullanılması, görüntü dizisinin titreşim ve istenen bütünsel hareket özelliklerindeki değışimlere bağılı olarak performans farklılıklarına neden olabilmektedir.

Güllü and Ertürk (2003)³ tarafından yapılan çalışmada, Güllü ve Ertürk (2003)'deki çalışmanın dezavantajı olan üyelik fonksiyonlarının sabit kullanılmasına karşılık, üyelik fonksiyonlarını değışken halde kullanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Çıkış üyelik fonksiyonlarının belirli parametreleri ile oynanmasıyla kullanılan süzgecin davranışının doğrudan etkilendiğı gözlenmiş ve bu üyelik fonksiyon parametrelerinin, gürültü bilgileri kullanılarak uyarlanması yoluna gidilmiştir. Uyarlama, önceden belirlenmiş üyelik fonksiyon parametrelerinin ayrı ayrı seçilmesi yoluyla yapılmıştır. Örnek bir görüntü dizisi için elde edilen simülasyon sonuçları SONY® tarafından sayısal kameralarda kullanılan Super SteadyShot sistemi ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuç verdiğı gözlenmiştir.

^{1, 2, 3} Bu üç çalışma tezin oluşması aşamasında gerçekleştirilen çalışmalardır. Çalışmalar, 6., 7., ve 8. bölümlerde ayrıntılı biçimde ele alınmış ve elde edilen stabilizasyon sonuçları karşılaştırılmışır.

BÖLÜM 6. KALMAN SÜZGEÇİ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

6.1. Kalman Süzgeci ile Görüntü Stabilizasyonu

Kalman Süzgeci, Gauss sistem gürültüsüne bağımlı olan doğrusal dinamik ve Gauss ölçüm gürültüsüne bağımlı olan doğrusal gözleme sistemleriyle tanımlanmış, ayrık zamanlı bir işlemin durum tahminini gerçekleştirmektedir (Yaman and Ertürk 2001). Kalman süzgeci matematiksel özellikleri bakımından gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Kalman süzgeç yapısı içerisinde tanımlanmış işlem gürültüsü ve ölçüm gürültüsü sayesinde, sistem modeli tam olarak sistemin davranışını temsil etmese dahi, Kalman süzgeci yapısı itibariyle aldığı giriş ölçümlerine göre davranışını ayarlayabilmektedir. Video dizinindeki hareketli bir cismin hareket tahmininin yapılmasının zor olduğu örtme problemi (örneğin bir cismin çerçeveye girmesi veya çerçeveden çıkması, yada arka planda önceden görünmeyen bir alanın ortaya çıkması) gibi olaylarda Kalman süzgeci, cismin bir önceki çerçevedeki yörüngesine dayanan bir hareket kestirimi yapabilmektedir.

Kalman süzgeci, (6.1) eşitliğinde verildiği üzere, ayrık zamanlı sürecin durum kestirimini yapan, doğrusal dinamik bir sistem yapısındadır.

$$x(t+1) = F * x(t) + w(t) \quad (6.1)$$

Bu eşitlikte $x(t)$ sistemin t anındaki durumu olmak üzere, F matrisi ikinci dereceden kinematik bir model, $w(t)$ de Gauss işlem gürültüsü olarak tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen kestirimler için baz alınan ölçüm değerlerini sistem yapısıyla ilişkilendiren gözleme sistemi (6.2) eşitliği ile verilmektedir.

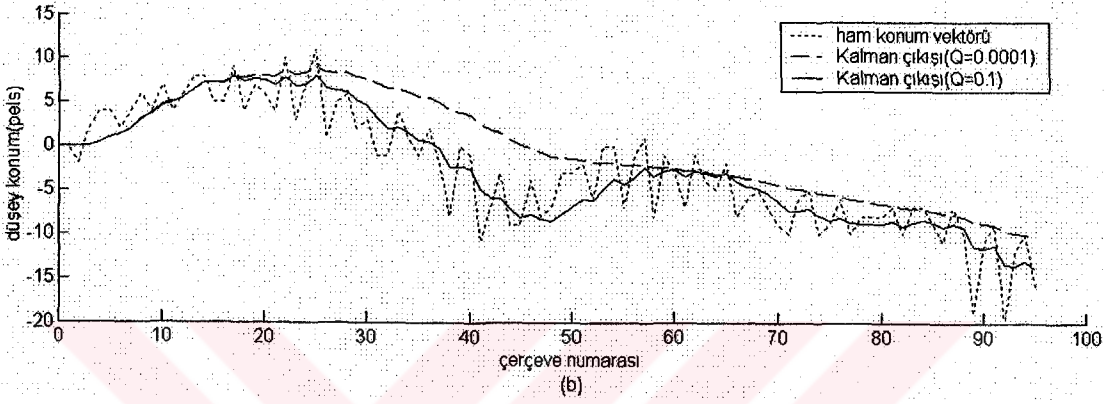
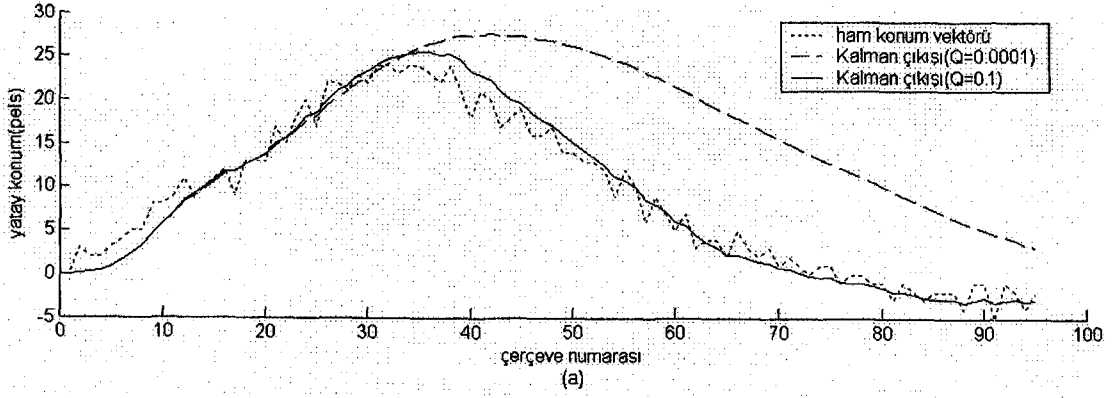
$$y(t) = H * x(t) + v(t) \quad (6.2)$$

Bu eşitlik, durum gözlemi olan $y(t)$ ile sistem durumu olan $x(t)$ arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Bu ilişki, H matrisi ve $v(t)$ ölçüm gürültüsüyle tanımlanmaktadır. $v(t)$ ile gösterilen ölçüm gürültüsü, hareket kestirimi sırasında gerçekleşebilecek hataları kapsamaktadır. İşlem ve ölçüm gürültüsü birbirinden bağımsız, beyaz ve normal dağılımlı olarak $w \sim N(0, Q)$ ve $v \sim N(0, R)$ şeklinde tanımlanmıştır.

İşlem gürültüsü ve ölçüm gürültüsü, Kalman süzgeç parametrelerini oluşturmaktadırlar. Bu parametreler, Kalman süzgecinin çalışma biçimini doğrudan etkilediklerinden, bunlar için kullanılan değışinti değeri önemlidir.

İşlem gürültüsü değışintisi Q , stabilizasyon işlemi için kamera hareketinin yön ve hızında meydana gelebilecek değışimlere ayak uydurabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Sağlıklı bir düzgünleştirme için Q , tipik olarak 0 ile 1 arasında tanımlanmalıdır. Q küçük alındığında (örneğin, $Q = 0.0001$), sistem çalışmasını kararlılığa zorlar ve süzgeçlenmiş bileşen, asıl bileşenin hareket dinamiğinde meydana gelen değışiklikleri iyi takip edemez ve sapmalar gösterir. Buna karşın üst düzeyde stabilizasyon sağlar. Q büyük alındığında (örneğin, $Q = 0.1$) ise asıl hareketteki değışiklikler yakından takip edilebilmektedir, fakat stabilizasyon performansı düşmektedir.

Ölçüm gürültüsü değışintisi R , Kalman süzgecinin ölçüm değeri için kabul edilebilecek titreşim bileşenin değışme miktarını belirler. R değeri küçük alındığında sistem, ölçüm değeri için iyi kabul etmekte yani harekette titreşimlerin olmadığını varsaymaktadır. Böylece hareketteki küçük değeri titreşimler de takip edilmekte ve stabilizasyon yoğunluğu düşmektedir. R değeri büyük alındığında sistem, ölçüm değeri için kötü kabul etmekte ve bu değere gecikmeli olarak tepki vermektedir. Bu durumda stabilizasyon yoğunluğu yüksek olmakta, fakat kamera hareketi tam olarak takip edilememektedir. En iyi Kalman süzgeç performansını sağlamak için R değeri tanım itibarıyla, görüntülerdeki titreşim bileşenlerinin görüntü elemanı cinsinden gösterdiği standart sapmanın karesi olarak alınmalıdır.



Şekil 6.1 Motor dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için Kalman süzgecinin $Q = 0.1$ ve $Q = 0.0001$ değerlerindeki çıkış konum vektörleri.



Şekil 6.2. Motor görüntü dizisinden örnek bir çerçeve görüntüsü.

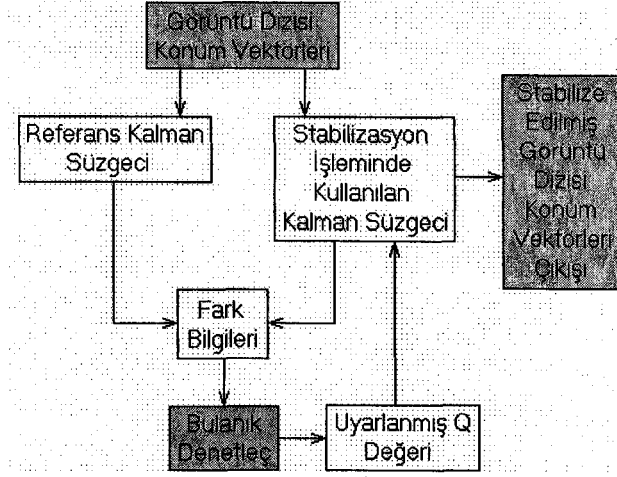
Şekil 6.1' de, hareket halindeki bir motosiklete monte edilmiş bir kamera (Bkz. Şekil 6.2) tarafından çekilen Motor görüntü dizisi için yatay ve düşey ham konum vektörleri ile $Q = 0.1$ ve $Q = 0.0001$ değerleri için Kalman süzgeci çıkışındaki konum vektörleri görülmektedir.

$Q = 0.0001$ iken yatay konumda, süzgeçlenmiş bileşenlerdeki titreşimlerin giderildiği, ancak yaklaşık kırkıncı çerçeveden sonra aracın hareket dinamiğinde meydana gelen değişimlerin tam olarak takip edilemediği görülmektedir. Düşey konumda ise hareket dinamiğinde meydana gelen değişimler yirminci ve ellinci çerçeveler arasında takip edilememekte ancak ellinci çerçeveden sonra yakalanabilmektedir. $Q = 0.1$ değerine çıkarıldığı takdirde yatay ve dikey pozisyonlarda, Kalman süzgeci hareket dinamiğinde meydana gelen değişimlere kolay uymakta ve özellikle dikey pozisyonda hareket dinamiği ile beraber hareketteki sallantılar daha yakından takip edilmekte, sonuç olarak stabilizasyon performansı düşmektedir.

6.2. Kalman Süzgeci İşlem Gürültüsü Değişintisinin Bulanık Denetleç ile Uyarlanması

Düşük işlem gürültü değişintisi daha iyi bir stabilizasyon sağlamasına rağmen, kasıtlı kamera hareketlerinde meydana gelen değişimlere kolayca ayak uyduramamaktadır (Bkz. Şekil 6.1). Bu durumlarda işlem gürültü değişintisinin daha büyük bir değerde seçilmesi gerekmektedir. Hem hareket dinamiğinin iyi takip edilebilmesi, hem de yüksek bir stabilizasyon performansının elde edilebilmesi için işlem gürültü değişintisinin hareket dinamiğine göre uyarlanması gerekmektedir.

Uyarlama için, paralel çalışan iki Kalman süzgeci kullanılmaktadır. Süzgeçlerden biri sabit olarak $Q = 0.1$ değerinde çalıştırılmakta ve hareket dinamiği için referans olarak kullanılmaktadır. Diğer süzgeç ise stabilizasyon işlemi için kullanılan süzgeçtir ve ön değer olarak $Q = 0.0001$ ile çalışmaya başlamaktadır. Stabilizasyon için kullanılan süzgeç çıkışındaki değer ile referans olarak kullanılan süzgeç çıkışındaki değer arasındaki fark bilgisine bağlı olarak bulanık mantık ile yeni bir Q değeri hesaplanmakta ve bu değer bir sonraki çerçeve için Kalman süzgecinde kullanılmaktadır (Denklem 6.3).



Şekil 6.3. Bulanık denetleç uyarlamalı Kalman süzgecinin blok gösterimi.

$$d(n) = x_{stab}(n) - x_{ref}(n) \quad (6.3)$$

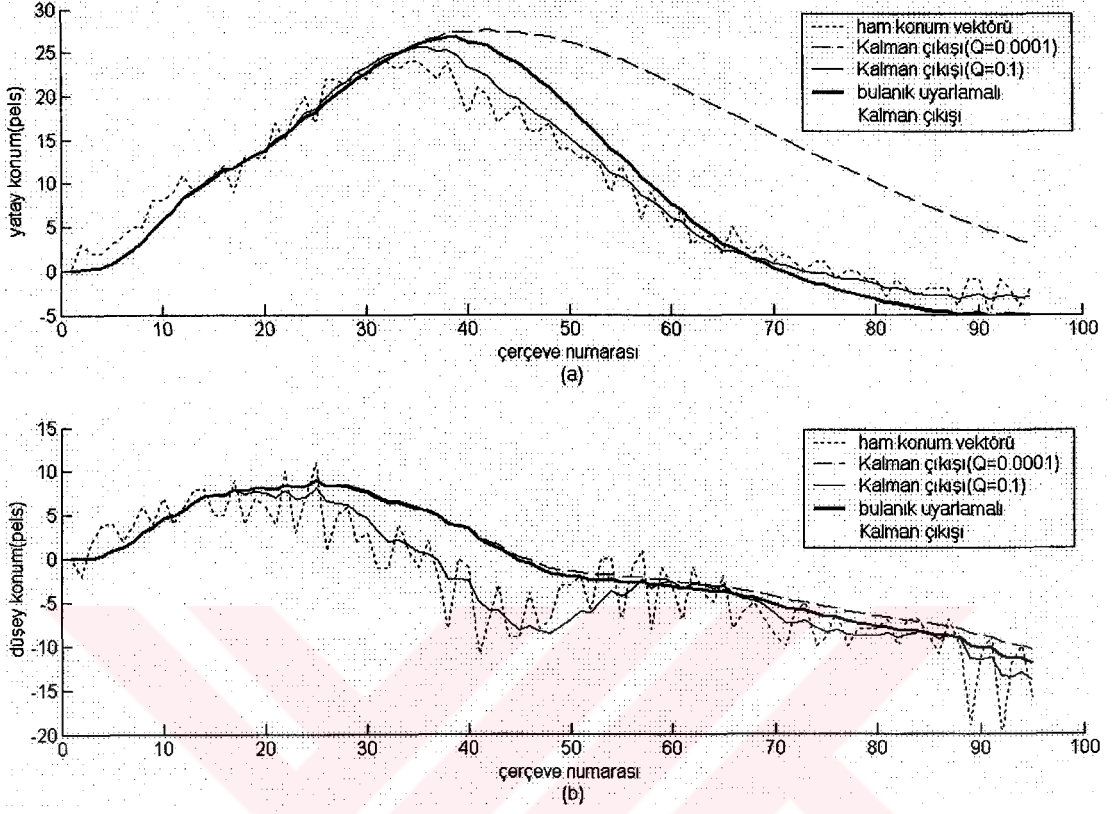
Kullanılan sistemin blok diyagramı Şekil 6.3'de görülmektedir. Sistemin bulanık denetleç kısmı, iki girişli-tek çıkışlı bir çıkartım yapısına sahiptir ve Sugeno tipi çıkartım modeli kullanılmaktadır. Girişler, stabilizasyon süzgeci ile referans süzgeç çıkış değerlerinin fark bilgilerine bağlıdır ve (6.4) - (6.5) eşitlikleri ile tanımlanmaktadır.

$$I1(n) = d(n-1) - d(n-2) \quad (6.4)$$

$$I2(n) = I1(n) - I1(n-1) \quad (6.5)$$

Yatay ve düşey düzlemlerde birbirinden bağımsız stabilizasyonun gerçekleştirilebilmesi için düzlemler ayrı ayrı ele alınmaktadır. Görüntü stabilizasyonu sistemi için ikisi yatayda, ikisi de düşeyde olmak üzere toplam dört adet Kalman süzgeci kullanılmaktadır.

6.3. Süzgeçleme Sonuçları



Şekil 6.4. Motor görüntü dizisi: (a) yatay, (b) dişey konum vektörleri için bulanık uyarlamalı Kalman süzgecinin çıkış konum vektörleri.

Gerçeklenen süzgeç yapısının motor görüntü dizisi için vermiş olduğu sonuçlar Şekil 6.4'de görölmektedir. Yatay ve dişey konumlarda hareket dinamiği değişimlerine uyum arttırılmakta, aynı zamanda stabilizasyon performansı da yüksek tutulmaktadır.

BÖLÜM 7. SABİT ÜYELİK FONKSİYONLU BULANIK SÜZGEÇ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

7.1. Giriş

Bulanık mantık temelli sistemler son yıllarda kontrol uygulamalarının dışında, görüntü ve işaret işleme uygulamalarında da birçok kullanım alanı bulmaktadır. Matematiksel modelleri bilinmeyen veya oluşturulması zor ve karmaşık olan sistemlerde kolaylıkla kullanılabilmesi bulanık mantık temelli sistemlerin en büyük özellikleridir. Süzgeçlenmesi zor ve matematiksel modelinin oluşturulması karmaşık olan gürültülü işaretlerdeki gürültünün bastırılmasında, bulanık mantık temelli sistemler geleneksel sistemlere göre daha iyi sonuç vermektedir (Güllü ve diğ 2002).

7.2. Bulanık Süzgeç

Bu çalışmada bulanık mantık, bir kestirim yapısında düzeltme fonksiyonu olarak kullanılmakta, elde edilen kestirim sisteminin tümüne bulanık süzgeç adı verilmektedir.

7.2.1. Kestirim yapısı

Görüntü dizisinin istenen konum vektörlerini elde etmek için kullanılan kestirim yapısı

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1} + T \cdot \hat{V}_{k-1} \quad (7.1)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + g(z_k, \hat{x}_k^-) \quad (7.2)$$

denklemleriyle belirtilmektedir (Simon 1995). (7.1) ve (7.2) denklemlerinde k çerçeve numarasını, k çerçevesi için x istenen değerinin ön kestirimi \hat{x}_k^- , x 'in son kestirim değeri \hat{x}_k , gürültülü görüntü dizisi konum vektörü z_k , kestiricinin yineleme süresi T , hareket değişim hızı kestirim değeri \hat{V} 'dir. Hareket değişim hızı kestirim değeri

$$\hat{V}_{k-1} = \frac{(\hat{x}_{k-1} - \hat{x}_{k-2})}{T} \quad (7.3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. $g(\cdot)$ ile gösterilen düzeltme fonksiyonudur ve çoğu zaman matematiksel modelinin çıkartımı zordur. Bu çalışmada $g(\cdot)$ düzeltme fonksiyonu bir bulanık çıkartım sistemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

7.2.2. Bulanık düzeltme fonksiyonu

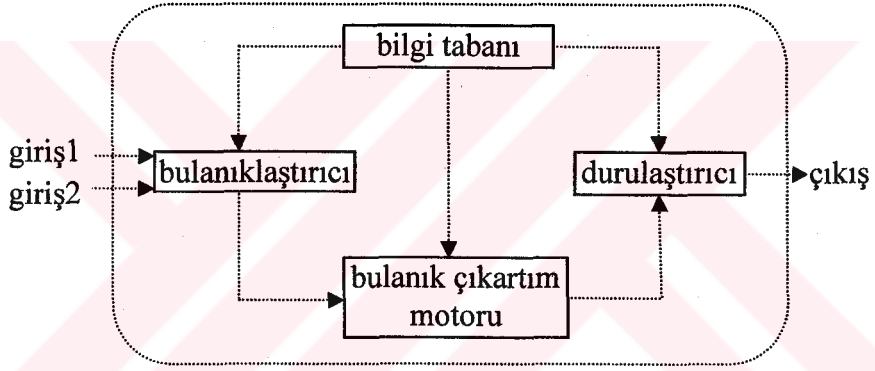
Bulanık düzeltme fonksiyonu iki girişe ve bir çıkışa sahiptir. Girişlerin bilgileri gürültülü görüntü dizisi konum vektörü z_k ve x istenen değerinin ön kestirimi \hat{x}_k^- değerlerine bağlı değişkenleri içermektedir. Girişler (7.4) ve (7.5) eşitlikleri ile verilmektedir.

$$I1_k = z_k - \hat{x}_k^- \quad (7.4)$$

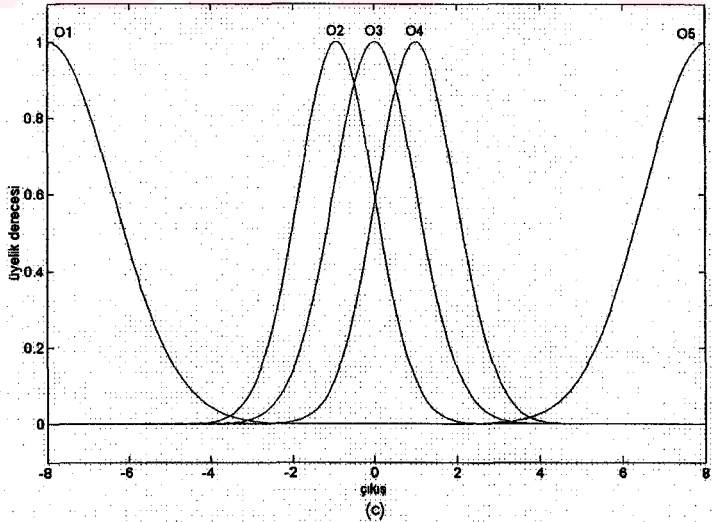
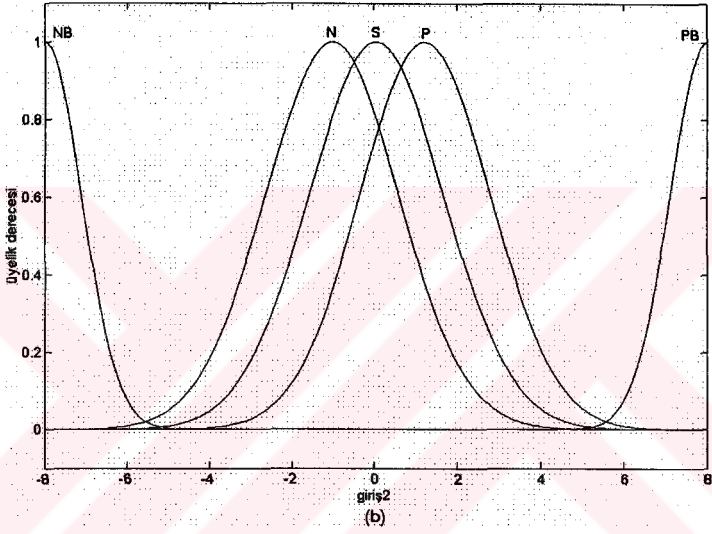
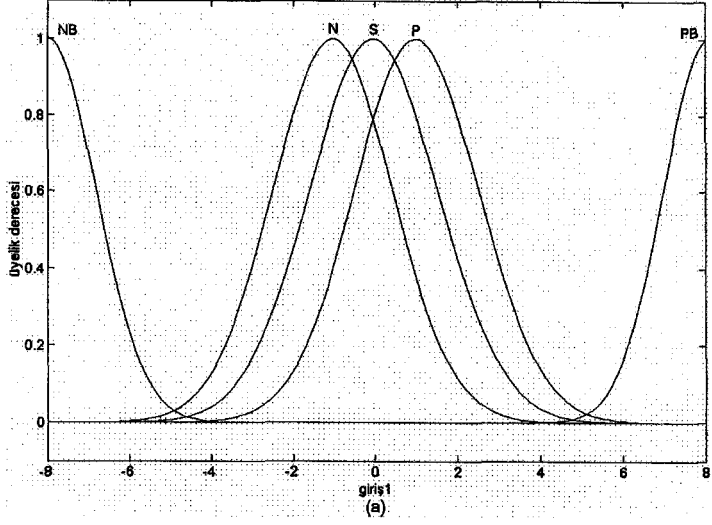
$$I2_k = I1_k - I1_{(k-1)} \quad (7.5)$$

Bu eşitliklerde $I1$ ile belirtilen birinci giriş k . çerçevenin süzgeçlenmemiş görüntü dizisi konum vektörü ile x istenen değerinin ön kestirim değeri \hat{x}_k^- arasındaki fark, $I2$ ile tanımlanan ikinci giriş $I1$ ' in k . ve $(k-1)$. değerleri arasındaki fark ile hesaplanmaktadır.

Bulanık çıkartım sistemi için, Mamdani çıkartım modeli kullanılmaktadır ve çıkartım sisteminin genel yapısı Şekil 7.1' de görülmektedir. Bilgi tabanı, çıkartım sistemi için giriş-çıkış üyelik fonksiyonlarını ve kural bilgilerini içermektedir. Üyelik fonksiyonları Gauss tipi seçilmiş, girişler ve çıkış için 5' er tane üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Bkz. Şekil 7.2). Üyelik fonksiyonlarının konumları ve tanım aralıkları, belirli test görüntü dizileri için optimum performans sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Girişler, bilgi tabanından çekilen üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmakta ve bulanık çıkartım motorunda kurallar ile yargılanmaktadır. Bulanık çıkartım motoru çıkışında, çıkış üyelik fonksiyonları ağırlıklandırılmakta ve elde edilen bulanık çıkış durulaştırıcıya girilerek keskin çıkış değeri alınmaktadır. Durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 7.1. İki girişli-tek çıkışlı bulanık çıkartım sistemi yapısı.



Şekil 7.2. İki giriş ve tek çıkış için kullanılan üyelik fonksiyonları ve tanım aralıkları: (a) giriş 1, (b) giriş 2, (c) çıkış.

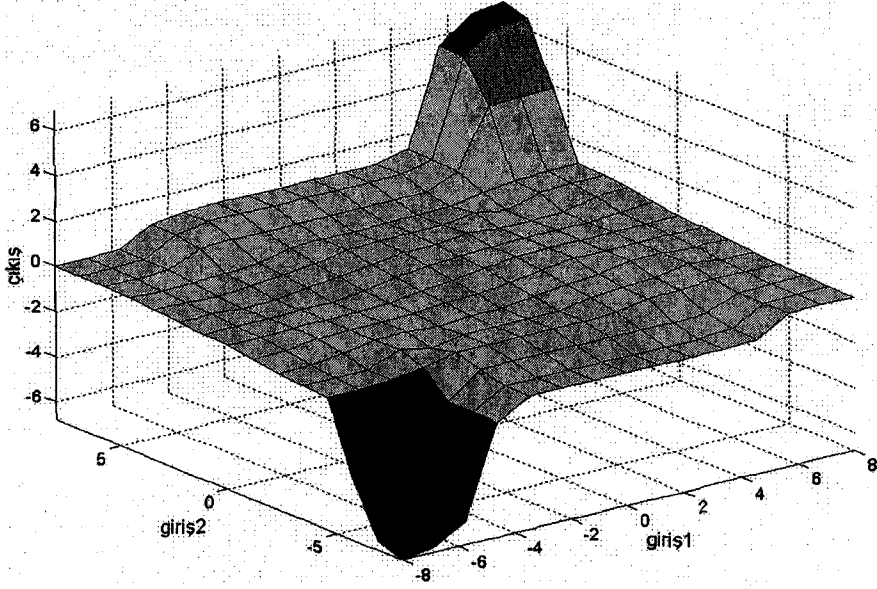
Sistemin çalışması için belirlenen kural tabanı Tablo 7.1' de verilmiştir. Burada, giriş üyelik fonksiyonlarının değişimlerin göre hangi çıkış üyelik fonksiyonlarının etkin olacağı belirlenmektedir. Bu yüzden, kural tabanının belirlenmesinde sistemin karakteristiğinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Şekil 7.2'de verilen üyelik fonksiyonlarına ve Tablo 7.1'de verilen kural tabanına bağlı olarak girişler ve çıkış arasındaki değişim yüzeyi Şekil 7.3'de görüldüğü gibidir.

Tablo 7.1. Bulanık çıkartım sistemi için kullanılan kural tabanı*.

		giriş 2				
		NB	N	S	P	PB
giriş 1	NB	NB	N	N	S	S
	N	N	N	S	S	P
	S	N	S	S	S	P
	P	N	S	S	P	P
	PB	S	S	P	P	PB

*NB=Negatif Büyük, N=Negatif, S=Sıfır, P=Pozitif, PB=Pozitif Büyük



Şekil 7.3. Girişler ve çıkış arasındaki değişim yüzeyi.

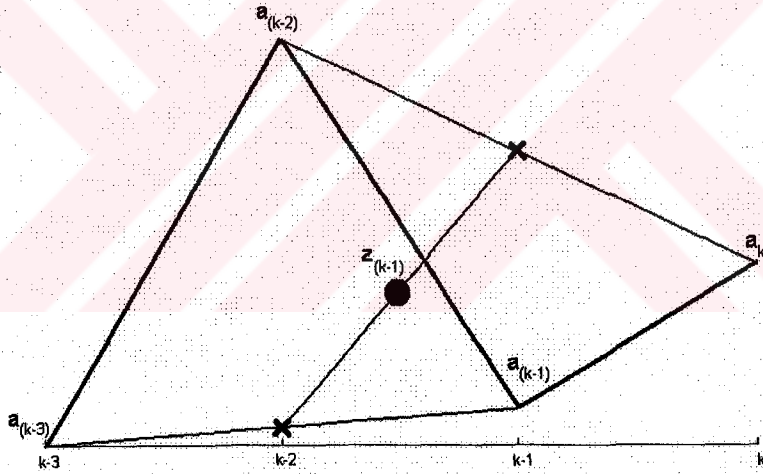
7.3. Ortalama Alma İşlemi

Gerçeklenen bulanık süzgeç için üyelik fonksiyonlarının konumları ve tanım aralıkları sabit olduğu için, süzgece girilen gürültülü (ham) konum vektörlerinin ani ve büyük genlikli titreşimlerine karşı cevap verememektedir ve bu nedenle süzgeç kararsız çalışmaya geçebilmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için üyelik fonksiyonlarının tanım aralıkları genişletilebilmekte fakat bu işlem, süzgeç performansını kötü yönde etkileyeceğinden, etkin bir yol olmamaktadır. Bunun yerine, ani ve büyük genlikli titreşimlerin etkisini azaltabilmek için gürültülü konum değerleri süzgece girilmeden önce basit bir ortalama alma işlemi yapılmaktadır.

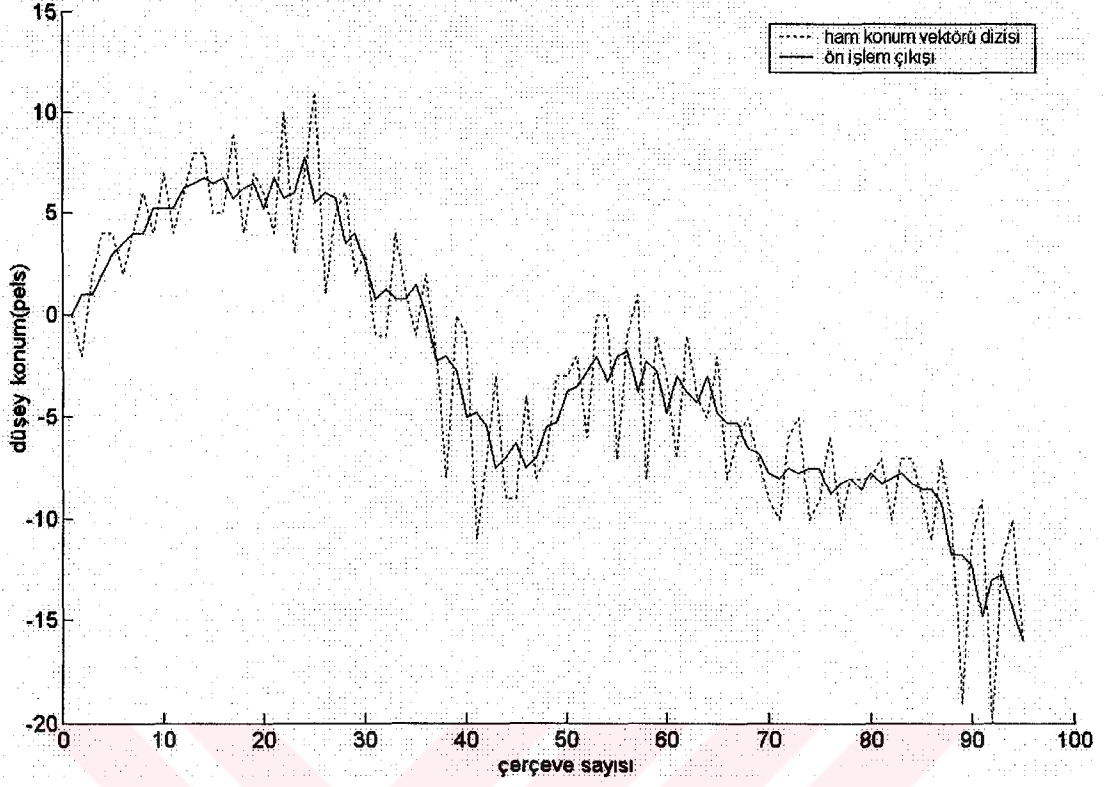
Ham görüntü dizisi konum vektörü a_k ile gösterilip, ön işlem uygulandığında oluşan görüntü dizisi konum vektörü z_k ile gösterilsin. Bu ön işlem ile a_k 'nın son dört değerinin ortalaması,

$$z_{k-1} = (a_k + a_{k-1} + a_{k-2} + a_{k-3})/4 \quad (7.6)$$

eşitliği ile alınmaktadır (Bkz. Şekil 7.4). Bu işlem sadece bir çerçeve süresi gecikmeye neden olmakta, fakat ani değişen büyük titreşimler küçük titreşimler haline indirgenmektedir (Bkz. Şekil 7.5). Böylelikle bulanık süzgecin üyelik fonksiyonlarının tanım aralıkları daraltılabilmekte ve daha iyi stabilizasyon sonuçları elde edilmektedir.

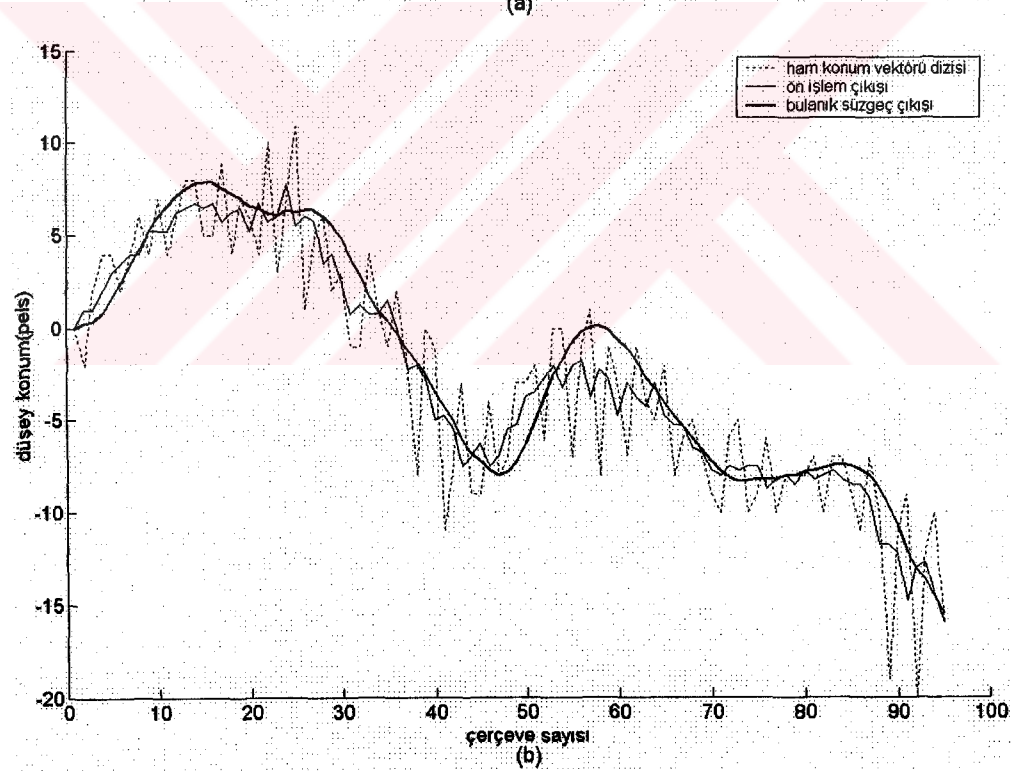
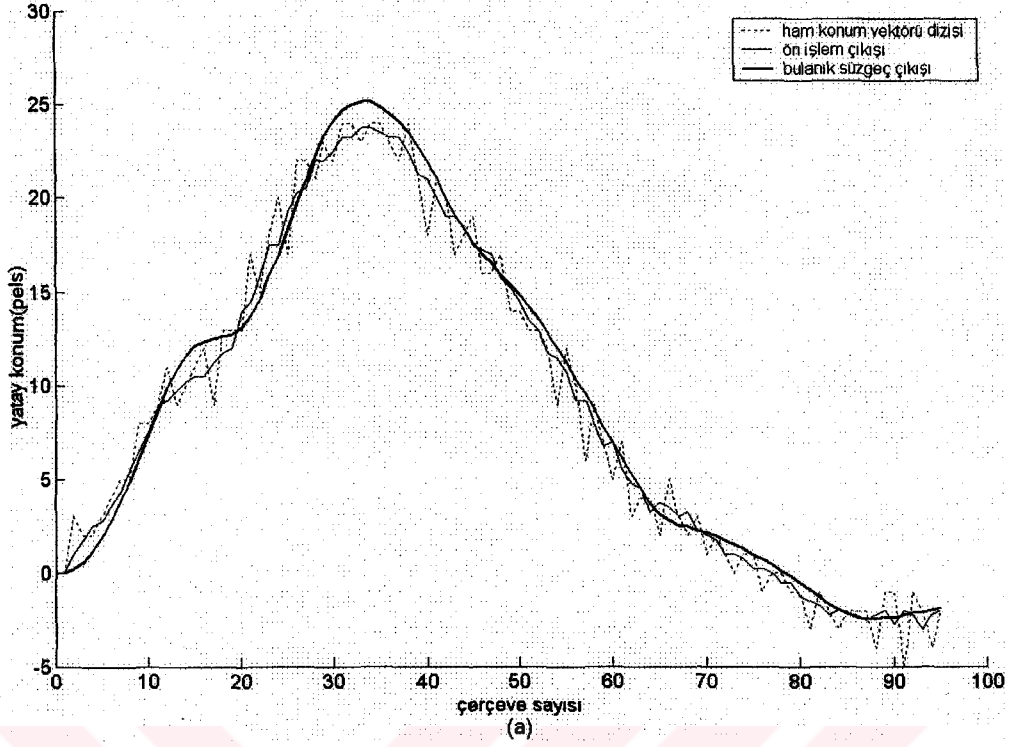


Şekil 7.4. Ortalama alma işleminin grafiksel gösterimi.



Şekil 7.5. Motor dizisi için ham konum vektörleri ve ortalama alma işlemi sonucunda elde edilen yeni gürültülü konum vektörü dizisi.

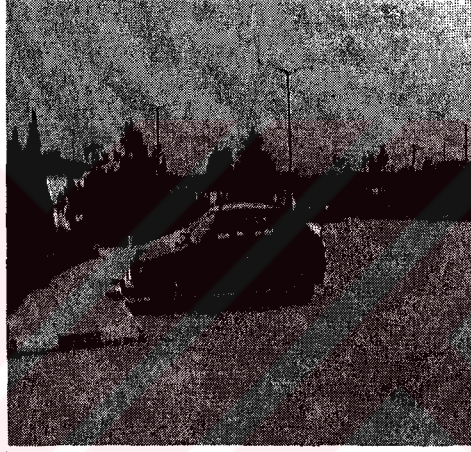
7.4. Süzgeçleme Sonuçları



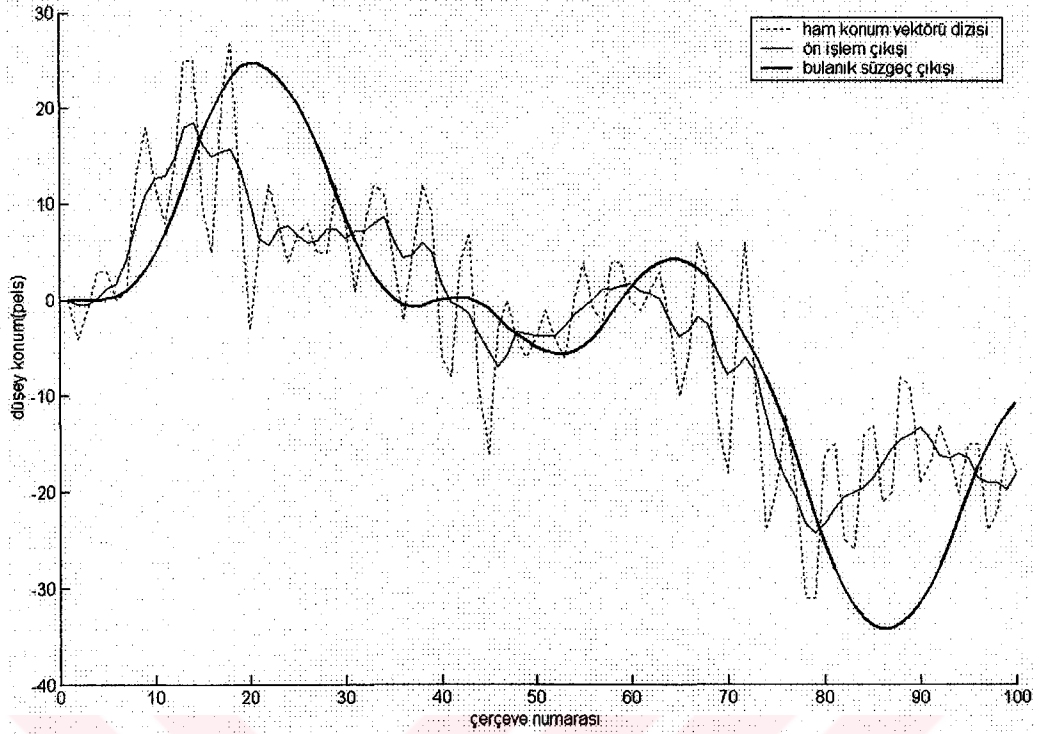
Şekil 7.6. Motor görüntü dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için ön işlem ve bulanık süzgeç çıkışları.

Motor dizisi için elde edilen stabilizasyon sonuçları (Bkz. Şekil 7.6), bulanık uyarlamalı Kalman süzgeci sonuçları (Bkz. Şekil 6.3) ile karşılaştırıldığında hareket dinamiğinin daha iyi takip edildiği görülmektedir.

Bulanık süzgecin üyelik fonksiyonları, örnek görüntü dizileri için optimum performans sağlayacak biçimde ayarlandığı için, gürültülü görüntü dizilerindeki titreşimlerin tipi değiştiğinde, ortalama alma işlemi çıkışındaki genliklerde büyüme olmakta ve süzgeç çıkışı hareket dinamiğini iyi takip edememektedir. Bu duruma bir örnek, yolda yürüyen kişi tarafından yapılan (Bkz. Şekil 7.7) çekimlerden elde edilen araba görüntü dizisi için Şekil 7.8’de görülmektedir.

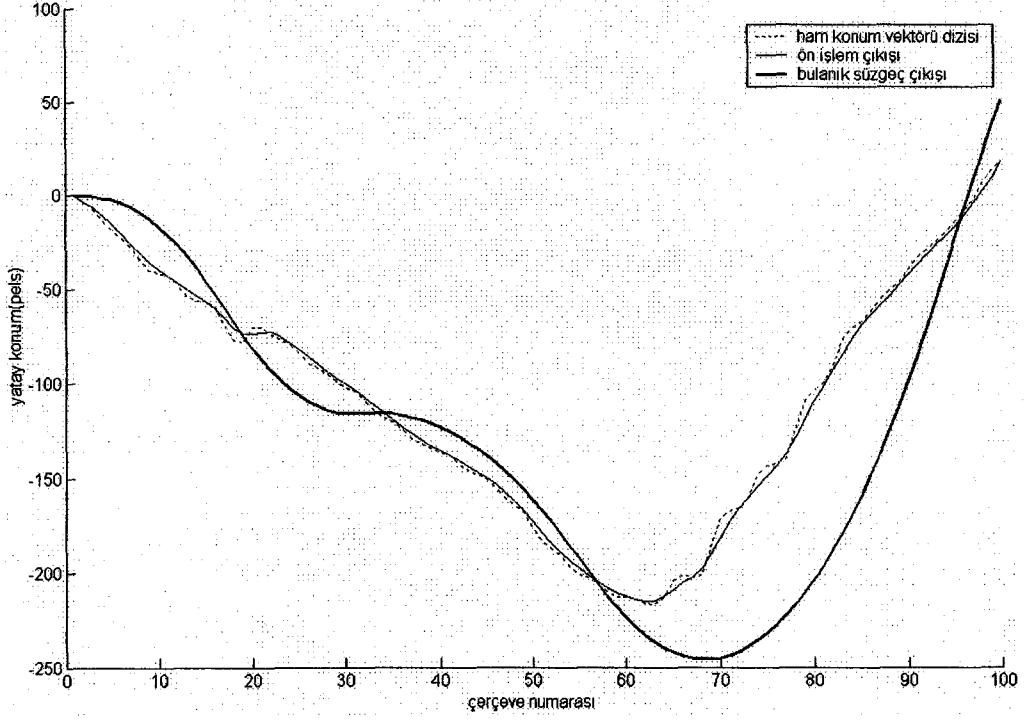


Şekil 7.7. Araba görüntü dizisinden örnek bir çerçeve görüntüsü.



Şekil 7.8. Araba görüntü dizisi düşey konum vektörleri için sabit üyelik fonksiyonlu bulanık süzgeçleme sonucu hareket dinamiğini takipte gözlenen bozukluk.

Titreşimlerin çok az olduğu veya hiç olmadığı görüntü dizilerinde yine hareket dinamiğinden sapma çok fazladır. Örnek olarak araba görüntü dizisi için yatay konum vektörü ve süzgeçlenmiş çıkış değerleri Şekil 7.9’ da görülebilir. Hareket dinamiğinden sapma 70-80 piksele kadar çıkabilmektedir. Bu da büyük bir problem oluşturmaktadır.



Şekil 7.9. Araba Görüntü dizisi yatay konum vektörleri için sabit üyeli fonksiyonlu bulanık süzgeçleme sonucu hareket dinamiğini takipte gözlenen bozukluk.

BÖLÜM 8. ÜYELİK FONKSİYONU SEÇMELİ BULANIK SÜZGEÇ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

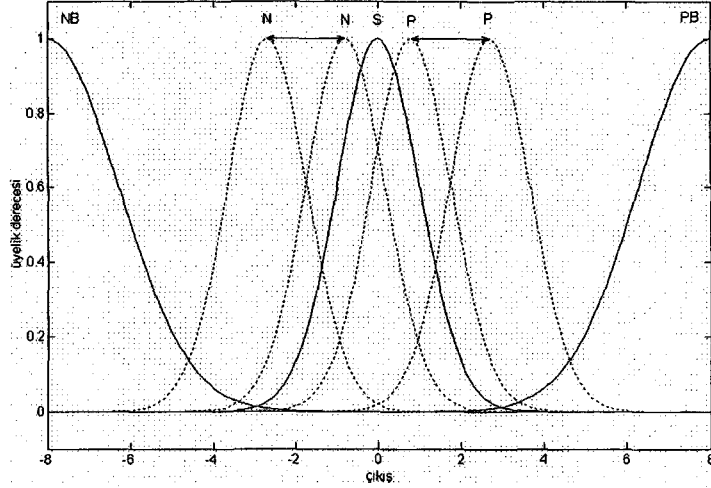
8.1. Giriş

Bölüm 7’de, bulanık süzgeç üyelik fonksiyonlarının, belirli örnek görüntü dizilerine göre optimum performans sağlayacak biçimde belirlendiğinden bahsedilmektedir. Farklı özelliklerde gürültülü görüntü dizileri için, düzeltme fonksiyonu giriş değerleri sabit üyelik fonksiyon tanım aralıkları dışarısına çıkabilmektedir. Bu durumda, hareket dinamiğini takipte sapmalar olmaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılabilmesi için, üyelik fonksiyonlarının tanım aralıklarının ve konumlarının, titreşimlerin tipine göre uyarlanması önerilmektedir.

8.2. Üyelik Fonksiyonu Seçmeli Bulanık Süzgeç

Yapılan deneyler sonucunda, N(Negatif) ve P(Pozitif) çıkış üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafenin (Bkz. Şekil 8.1), sıfır etrafında simetrik biçimde açılıp kapanması ile bulanık süzgecin karakteristiğinin değiştiği gözlenmiştir. Üyelik fonksiyonları arasındaki mesafe azaldığında bulanık süzgecin stabilizasyon performansı artmakta, fakat hareket dinamiğini takibi azalmaktadır (Bkz. Şekil 8.4). Mesafe arttırıldığında ise bulanık süzgeç, hareket dinamiğindeki değişimleri iyi takip etmekte, fakat stabilizasyon performansı düşmektedir (Bkz. Şekil 8.5).

Çalışmanın bu kısmında, bulanık süzgecin yukarıda bahsedilen özelliği kullanılarak süzgecin, hareket dinamiğinde önemli bir değişim gözlendiği durumlarda hareket dinamiğini iyi takip edeceği, diğer durumlarda ise stabilizasyon performansını arttıracak şekilde çıkış üyelik fonksiyonlarının seçilmesi yoluna gidilmektedir.



Şekil 8.1. Çıkış üyelik fonksiyonları değişim aralığı.

Düzeltilme fonksiyonunun I_2 girişi, ham konum vektörü ile ön kestirim değeri arasındaki farkın ardışık çerçeveler arasındaki değişim bilgisi (türevi) olduğu için, hareket dinamiğinden sapma hakkında bilgi vermektedir. Bu özellikten yararlanılarak, üyelik fonksiyonlarının uyarlanması işlemi yapılmaktadır. I_2 değerine göre çıkış üyelik fonksiyonlarını seçme işlemi aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

Eğer $|I_2| \leq 2$ ise O_1 çıkış üyelik fonksiyonlarını aktif et. Değilse,

Eğer $2 < |I_2| \leq 3$ ise O_2 çıkış üyelik fonksiyonlarını aktif et. Değilse,

Eğer $3 < |I_2| \leq 4$ ise O_3 çıkış üyelik fonksiyonlarını aktif et. Değilse,

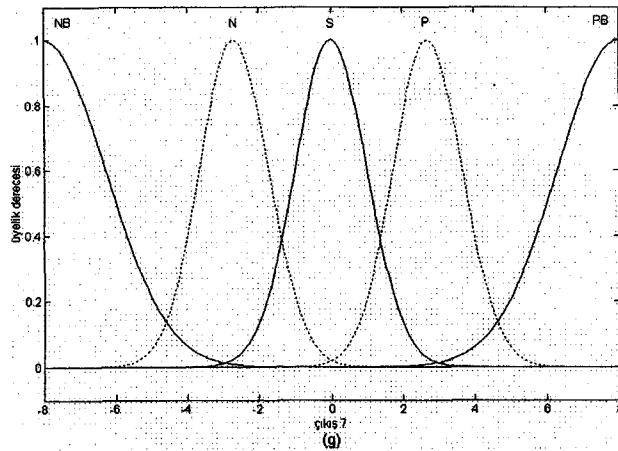
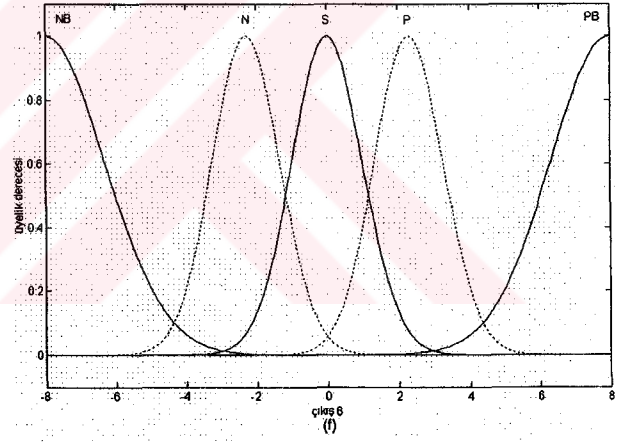
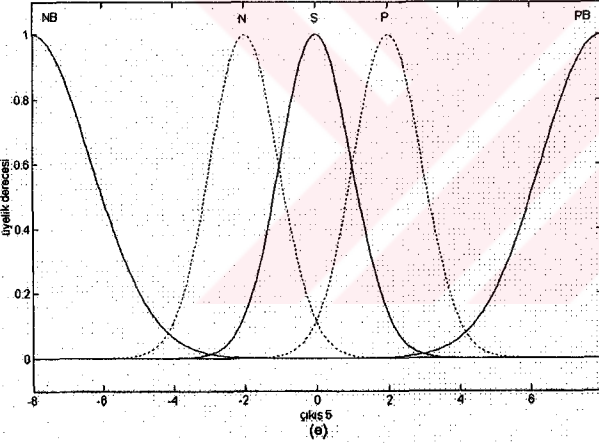
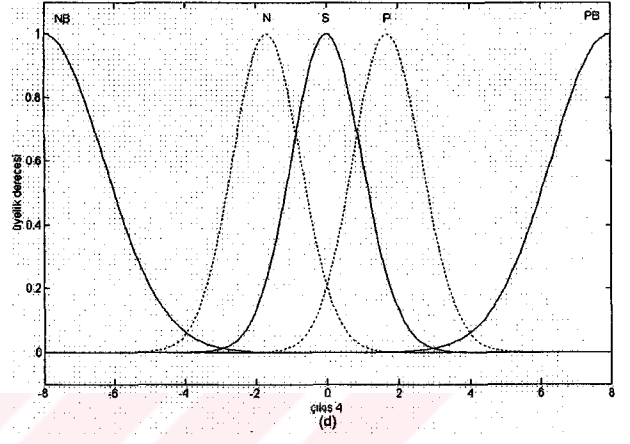
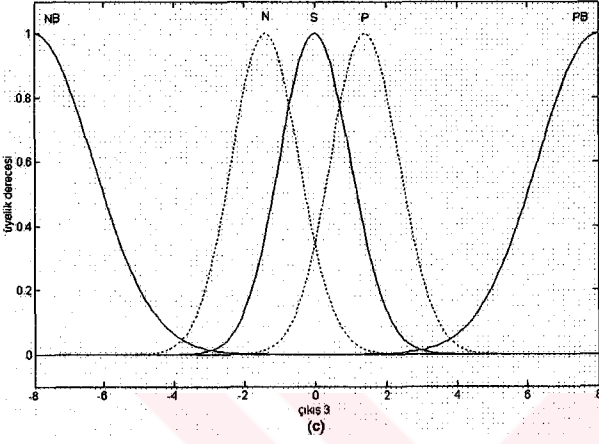
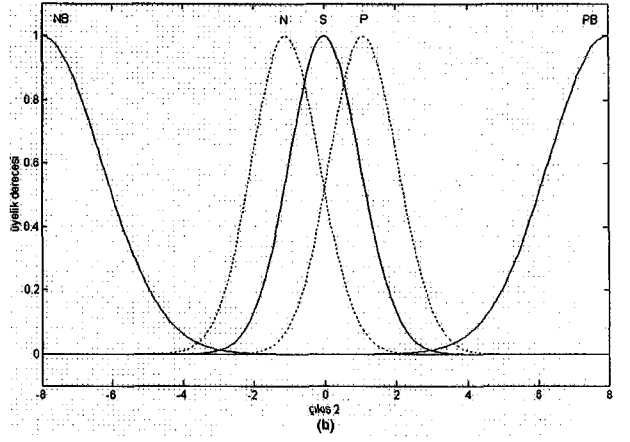
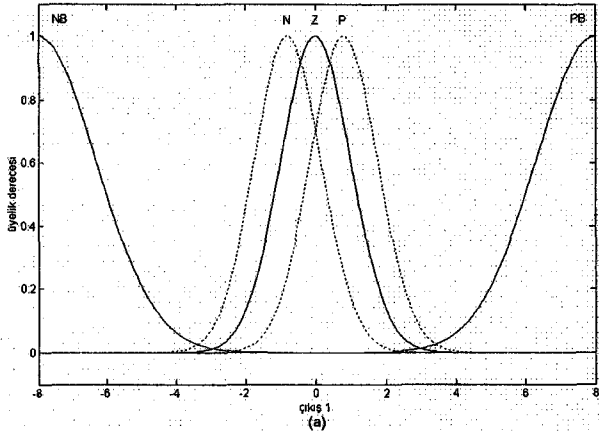
Eğer $4 < |I_2| \leq 5$ ise O_4 çıkış üyelik fonksiyonlarını aktif et. Değilse,

Eğer $5 < |I_2| \leq 6$ ise O_5 çıkış üyelik fonksiyonlarını aktif et. Değilse,

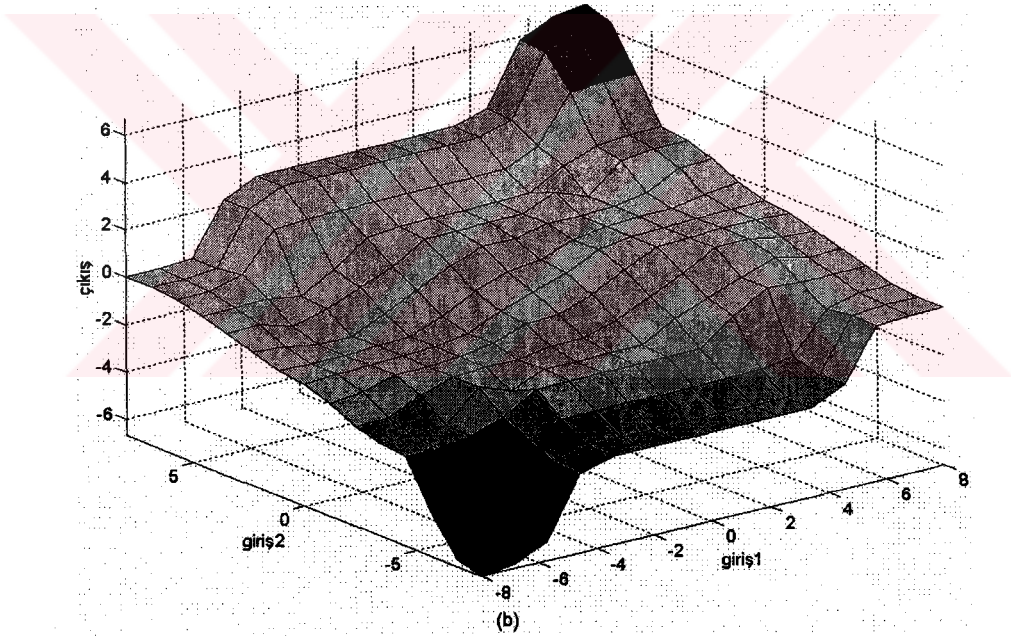
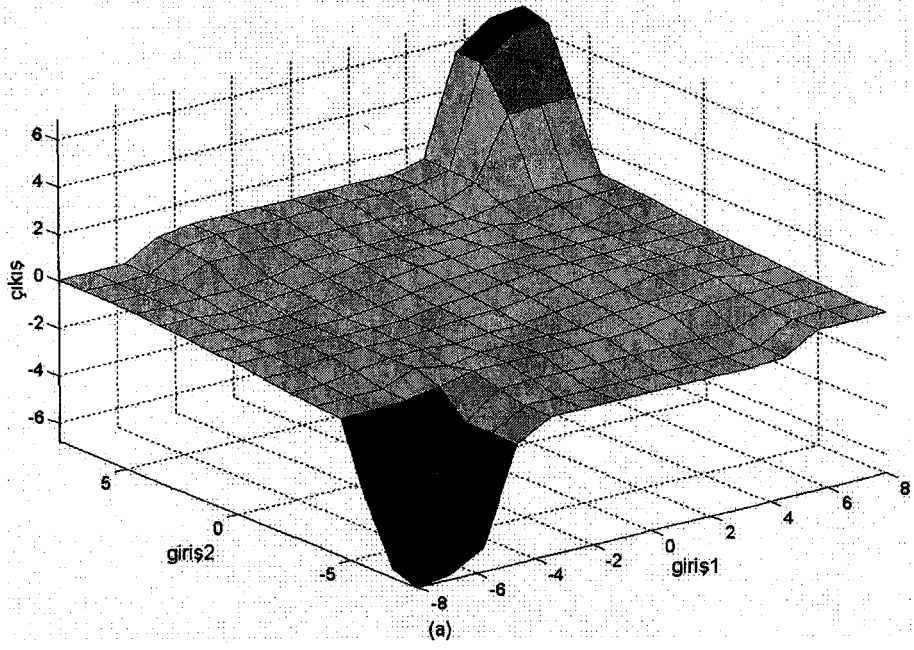
Eğer $6 < |I_2| \leq 7$ ise O_6 çıkış üyelik fonksiyonlarını aktif et. Değilse,

Eğer $7 < |I_2|$ ise O_7 çıkış üyelik fonksiyonlarını aktif et.

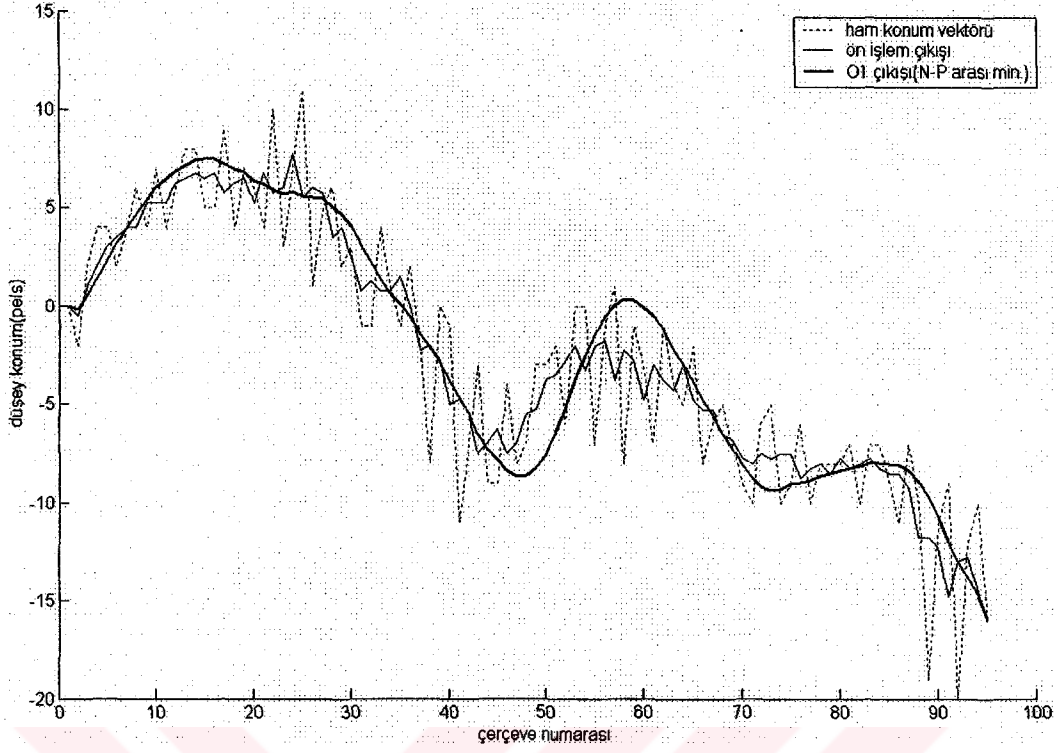
k anındaki süzgeçlenen konum vektörü için gerekli çıkış üyelik fonksiyonları yukarıdaki koşullara bağlı kalınarak belirlenmekte ve aktif edilmektedir. Süzgeç için kullanılan $O_1 \dots O_7$ çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 8.2' de, O_1 ve O_7 üyelik fonksiyonları kullanıldığında girişlerle çıkış arasındaki yüzey dağılımları da Şekil 8.3' de görülmektedir.



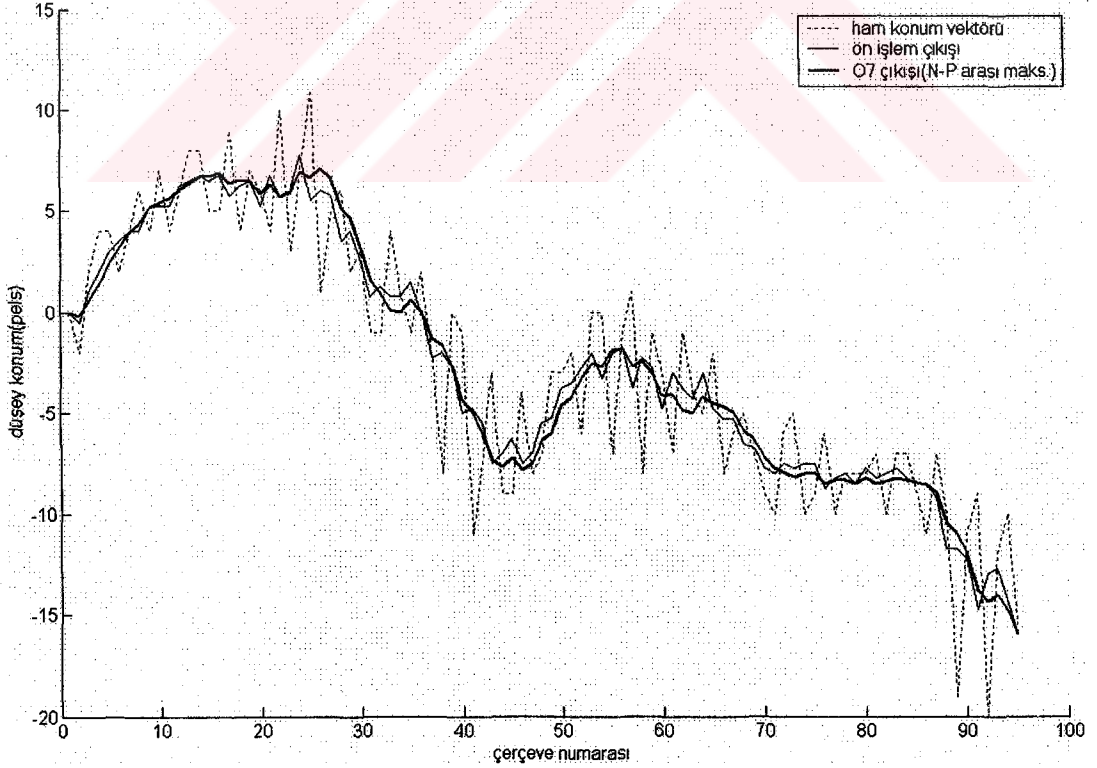
Şekil 8.2. Koşullara göre aktif edilen çıkış üyelik fonksiyonları.



Şekil 8.3. (a)O1, (b)O7 çıkış üyelik fonksiyonları için girişler ve çıkış arasındaki değişim yüzeylerinin karşılaştırılması.

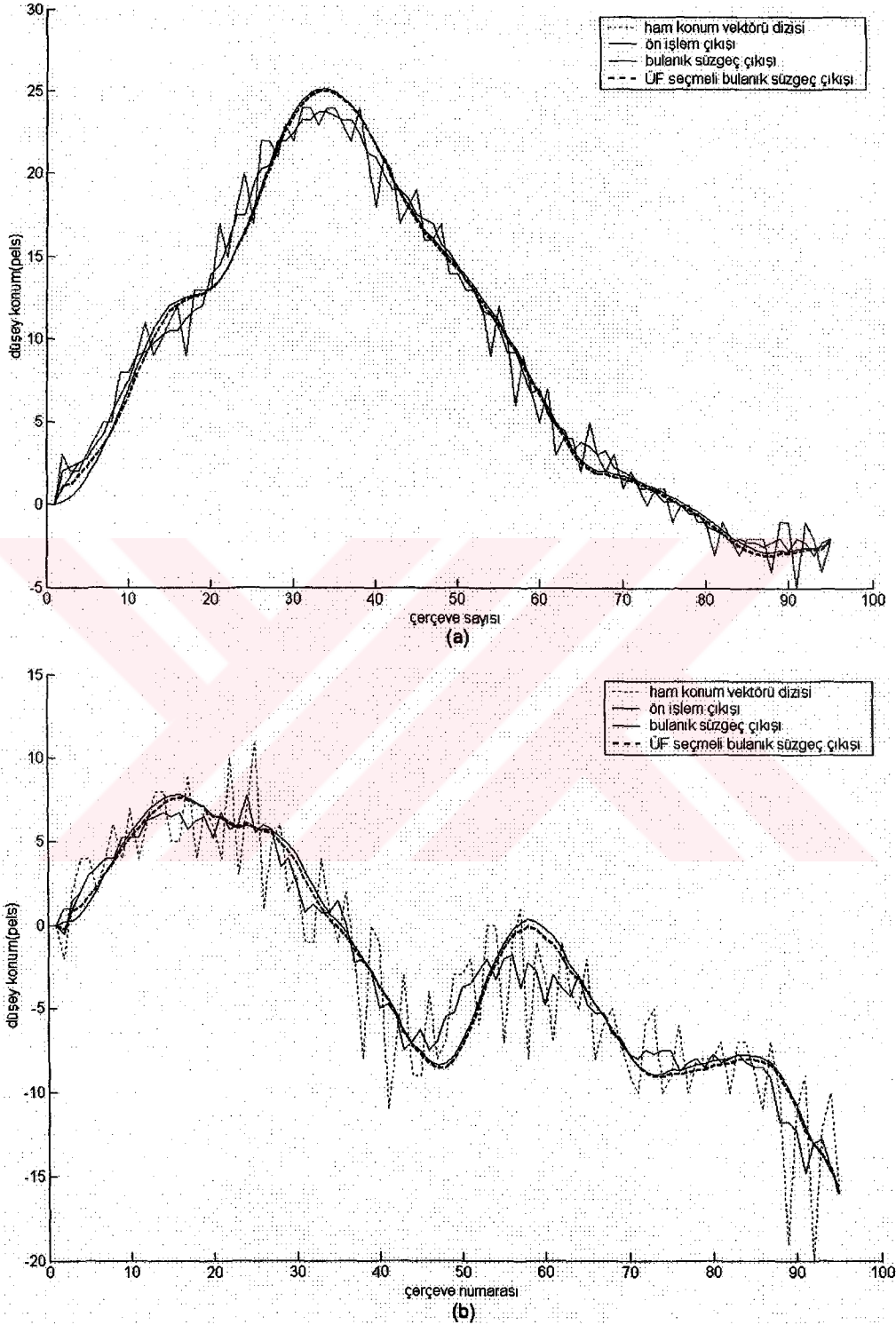


Şekil 8.4. Çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafe minimum seçildiğinde bulanık süzgeç çıkışı.



Şekil 8.5. Çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafe maksimum seçildiğinde bulanık süzgeç çıkışı.

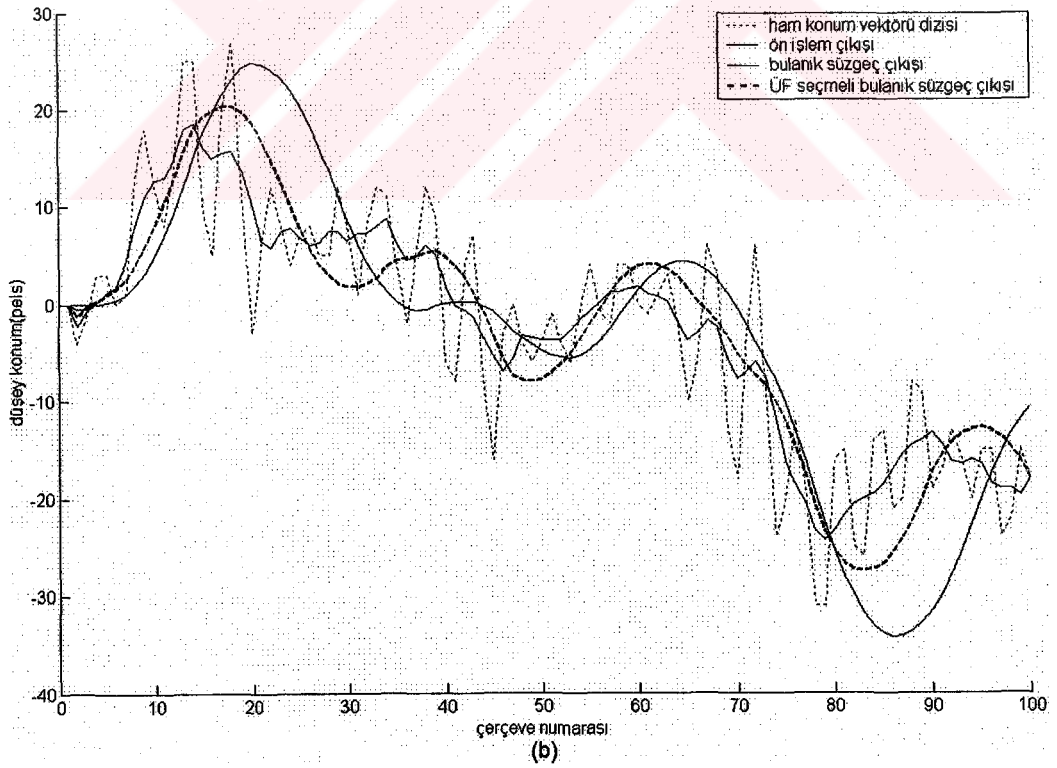
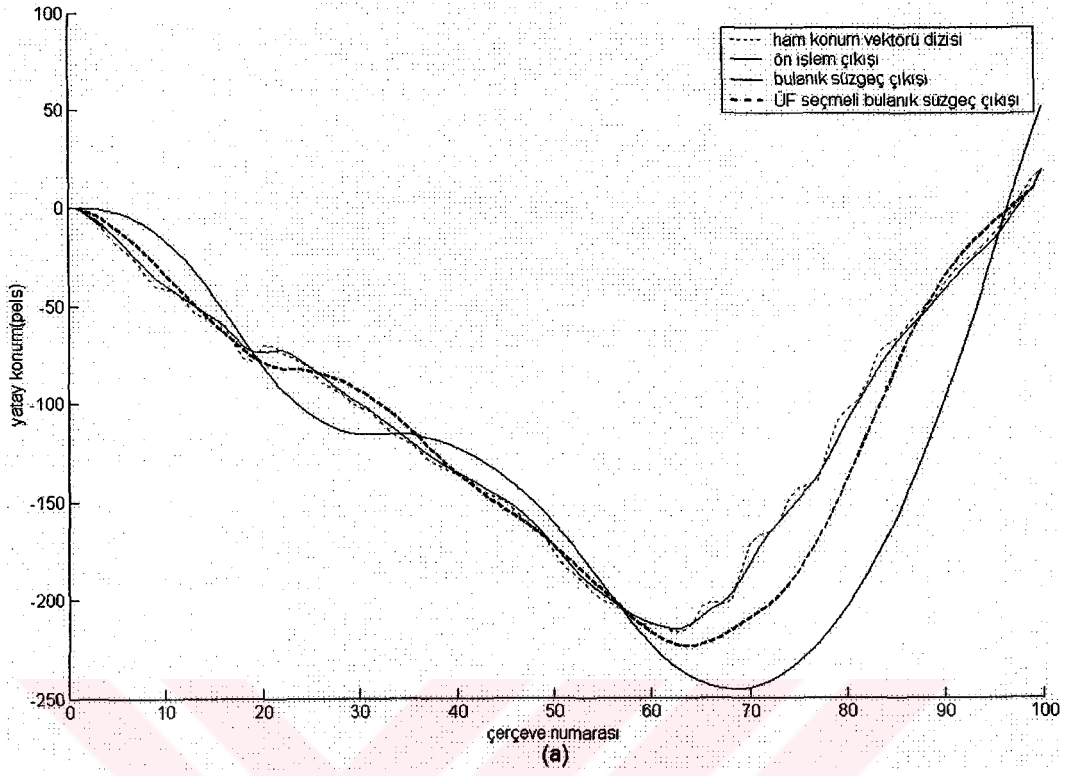
8.3. Süzgeçleme Sonuçları



Şekil 8.6. Motor görüntü dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için ön işlem, bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç çıkışları.

Motor dizisi için elde edilen stabilizasyon sonuçları (Bkz. Şekil 8.6), parametrelerin optimize edildiği görüntü dizisinin bulanık süzgeç sonuçları (Bkz. Şekil 7.6) ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun yanında üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç, sabit üyelik fonksiyonlu bulanık süzgecin cevap vermekte zorlandığı araba görüntü dizisindeki gibi yüksek genlikli titreşimlerin olduğu görüntü dizilerinde rahatlıkla çalışabilmekte ve iyi sonuçlar vermektedir (Bkz Şekil 8.7a,b).





Şekil 8.7. Araba örnek dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için ön işlem, bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç sonuçları.

BÖLÜM 9. ÜYELİK FONKSİYONU UYARLAMALI BULANIK SÜZGEÇ ile GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

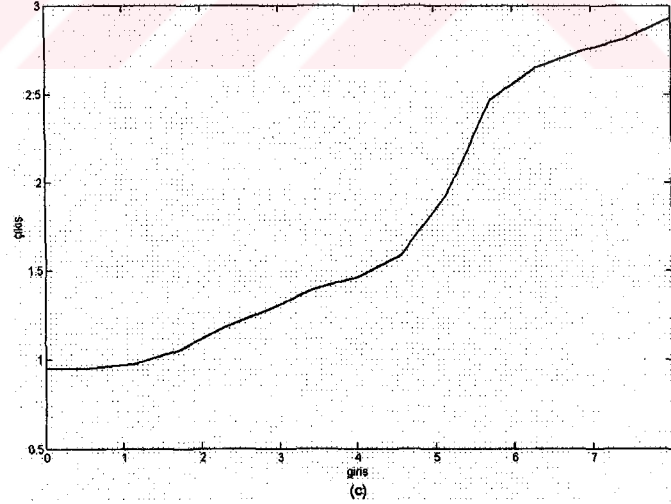
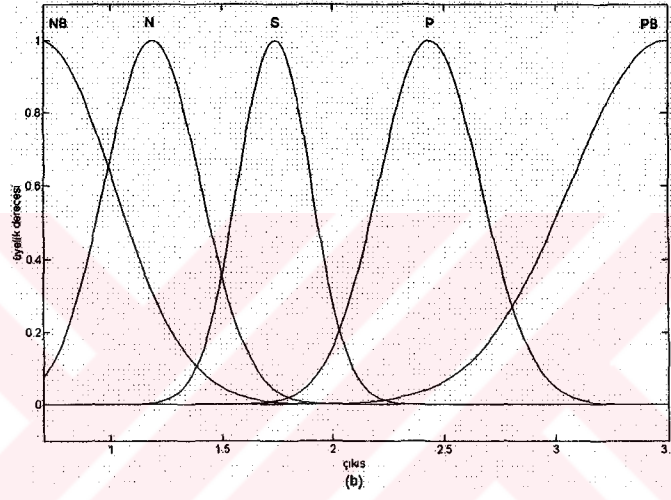
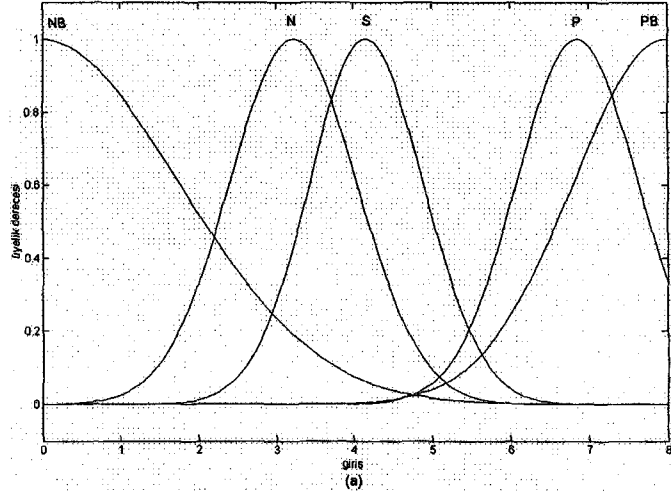
9.1. Giriş

Üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç, çıkartım sisteminin çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki belirlenen mesafenin (Bkz. Şekil 8.1) maksimum, minimum noktaları ve bu değişim aralığı içerisinde alınan toplam yedi adet üyelik fonksiyon değişimi içerisinde, belirli koşullar dahilinde seçim yapabilmektedir. Çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafe sabit kalıplara ayrılıp klasik mantıkla bunlardan birinin mesafe olarak atanması işlemi yapılmaktadır (Bkz. Şekil 8.2). Çalışmanın bu kısmında, klasik mantıkla yapılan mesafe seçimi yerine, bulanık mantık kullanılarak mesafe uyarlaması işlemi yapılmaktadır.

9.2. Bulanık Süzgecin Üyelik Fonksiyonlarının Bulanık Mantık ile Uyarlanması

Çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafenin belirlenmesi için kullanılan parametre, üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç için de kullanılmış, düzeltme fonksiyonunun I_2 girişidir. I_2 girişi, tek girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bir bulanık çıkartım sistemine girilerek mesafe bilgisi elde edilmekte ve düzeltme fonksiyonundaki bulanık çıkartım sisteminin çıkışları güncellenmektedir. Bu işlem her bir ardışık çerçeve için yapılmaktadır. Elde edilen süzgeç, üyelik fonksiyonu uyarlamalı bulanık süzgeç olarak adlandırılmaktadır.

Mesafe bilgisinin belirlenmesinde kullanılan çıkartım sisteminin giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının tanım aralıkları Şekil 9.1a,b'de, kullanılan kural tabanı Tablo 9.1'de ve giriş-çıkış arasındaki değişim yüzeyi ise Şekil 9.1c'de verilmektedir



Şekil 9.1. Düzeltme fonksiyonunun çıkış N-P üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları arasındaki mesafenin belirlenmesi için kullanılan bulanık çıkartım sisteminin (a) giriş, (b) çıkış üyelik fonksiyonları ve (c) yüzey dağılımı.

Tablo 9.1. Üyelik fonksiyonlarının uyarlamasında kullanılan bulanık çıkartım sisteminin kural tabanı.

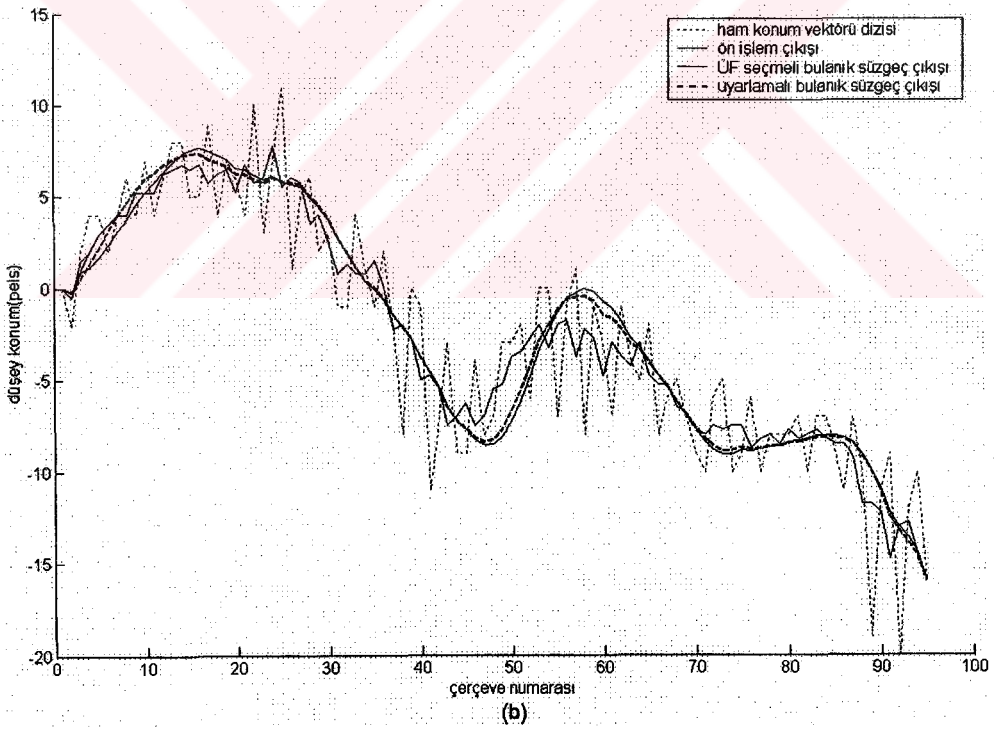
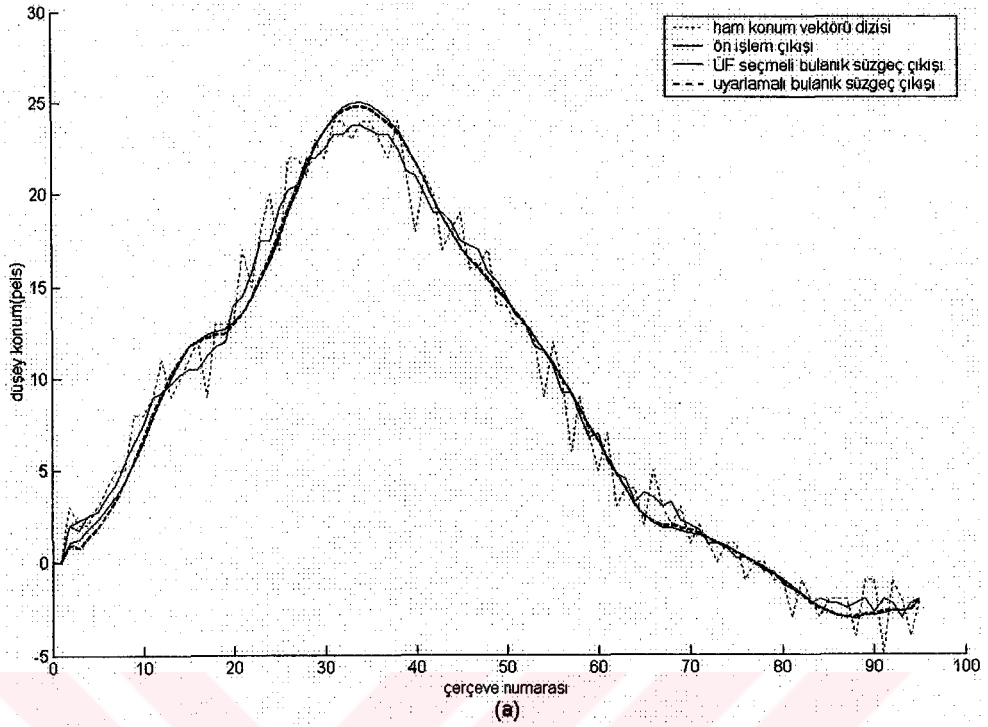
	NB	N	S	P	PB
giriş	NB	N	S	P	PB

9.3. Süzgeçleme Sonuçları

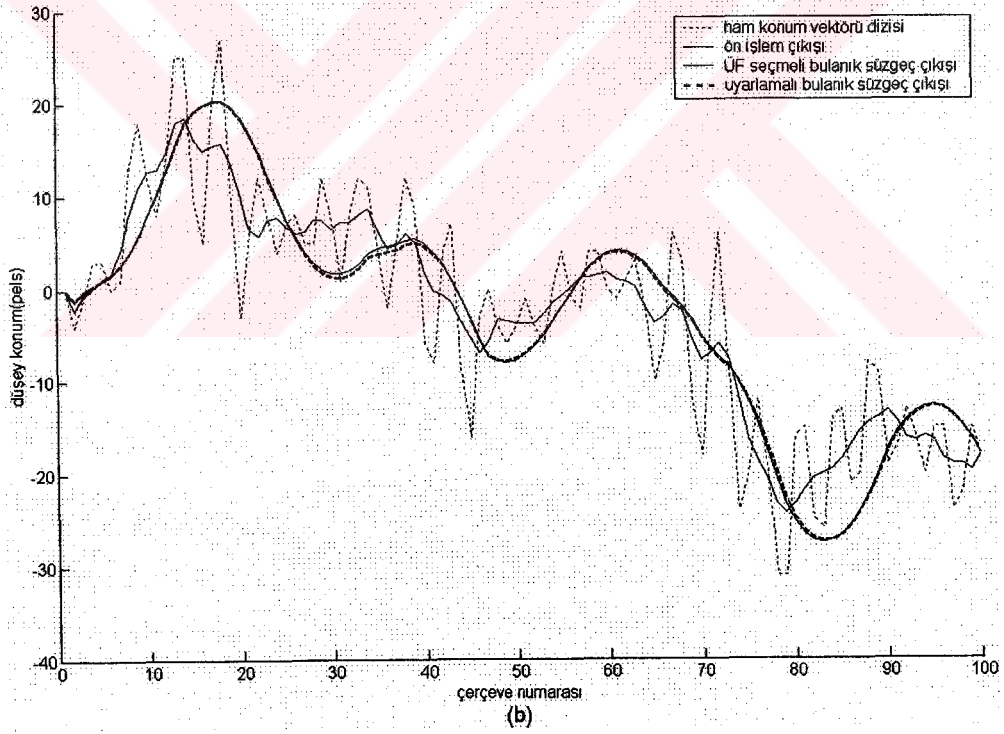
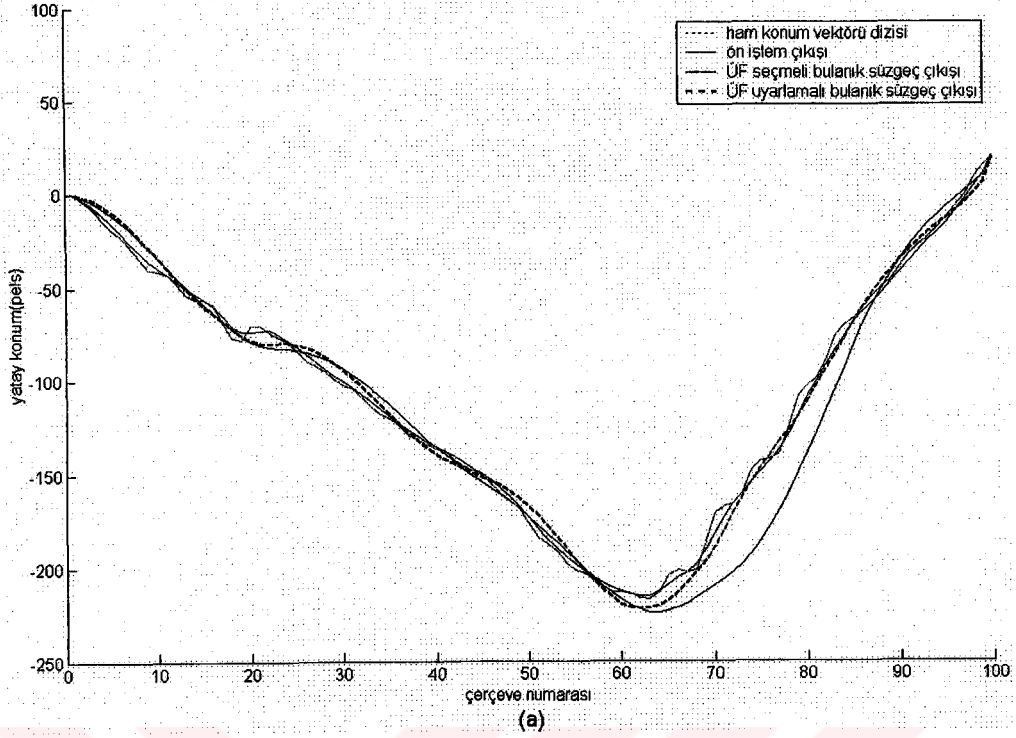
Şekil 9.2’de motor görüntü dizisi için ön işlem, üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları için yatay ve düşeyde konum vektörleri verilmektedir. Bu görüntü dizini için üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ile üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgecin yaklaşık aynı sonucu verdiği görülmektedir.

Şekil 9.3’de Araba görüntü dizisi için ön işlem, üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları için yatay ve düşeyde konum vektörleri verilmektedir. Bu görüntü dizini için yatay düzlemde üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç için takip problemi gözlenmekte, üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç ise iyi bir performans göstermektedir.

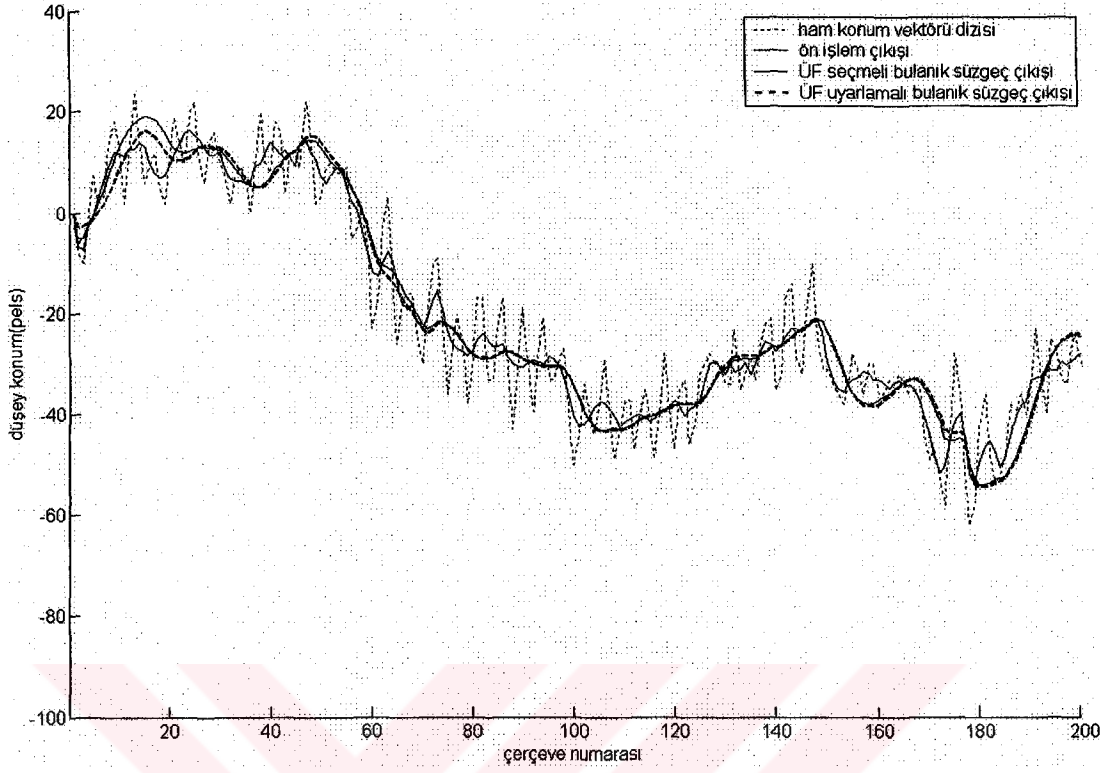
Şekil 9.4’de uzaktan kontrollü bir maket araba üzerindeki kameradan yapılan çekimlerden elde edilen örnek görüntü dizisi için üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları düşey düzlem için verilmektedir. Bu görüntü dizini için de üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ile üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgecin yaklaşık aynı sonucu verdiği görülmektedir.



Şekil 9.2. Motor görüntü dizisi: (a) yatay, (b) düşey konum vektörleri için ön işlem, ÜF seçmeli bulanık süzgeç ve ÜF uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları.



Şekil 9.3. Araba görüntü dizisi: (a)yatay, (b)düşey konum vektörleri için ön işlem, ÜF seçmeli bulanık süzgeç ve ÜF uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları.



Şekil 9.4. Uzaktan kontrollü bir maket araba üzerindeki kameradan yapılan çekimlerden elde edilen örnek görüntü dizisi için, üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç çıkışları.

BÖLÜM 10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, görüntü stabilizasyonu için bulanık mantık uyarlamalı Kalman süzgeci, sabit üyelik fonksiyonlu bulanık süzgeç, üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ve üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç önerilmiştir. Bulanık görüntü stabilizasyon sistemi temel olarak bir kestirim yapısı kullanmaktadır ve bu yapının düzeltme fonksiyonu bir bulanık çıkartım sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Bulanık çıkartım sisteminin çıkış üyelik fonksiyonlarının konumları, gürültülü görüntü dizisinin özelliğine göre, bulanık mantık ile uyarlanabilmektedir.

İlk aşamada bulanık uyarlamalı Kalman süzgecinin stabilizasyon performansının iyi olmasına rağmen, hareket dinamiğinden ciddi sapmalarının olabileceği gösterilmektedir. Hareket dinamiğinde meydana gelebilecek ciddi sapmalar, stabilize edilmiş görüntü dizisinde içerik kaybına neden olabileceği için büyük problem oluşturabilmektedir.

Sabit üyelik fonksiyonlu bulanık süzgeç ile elde edilen süzgeçleme sonuçlarında, üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan görüntü dizileri için çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Fakat, farklı özellikte gürültülü görüntü dizilerine iyi cevap verilemediği, hareket dinamiğinden büyük ölçüde sapmalar gösterilebildiği görülmüştür.

Üyelik fonksiyon seçmeli bulanık süzgeç ile elde edilen süzgeçleme sonuçlarında, bulanık süzgecin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan gürültülü görüntü dizileri ve farklı özellikteki gürültülü görüntü dizileri için iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Üyelik fonksiyonu seçmeli bulanık süzgecin stabilizasyon performansını daha iyi hale getirebilmek için yapılan üyelik fonksiyonu uyarlamalı bulanık süzgeç ile elde edilen süzgeçleme sonuçlarında, daha önceden denenmiş olan tüm gürültülü görüntü dizileri için iyi bir stabilizasyon performansının elde edildiği ve aynı zamanda hareket dinamiğinin başarılı bir şekilde takip edildiği görülmüştür.

Önerilen üyelik fonksiyon uyarlamalı bulanık süzgeç yapısının başarılı sonuçları dikkate alındığında sadece görüntü stabilizasyonu uygulamaları için değil, ayrık zamanlı çalışan birçok sistem için kullanım alanı bulabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle geliştirilen süzgecin farklı uygulama alanlarında kullanımını gelecek çalışmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. JANG, J.-S.R., SUN, C.-T., and MIZUTANI, E., 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.
2. ZADEH, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8:338-353.
3. ZADEH, L.A., 1973. Outline of A New Approach to The Analysis of Complex Systems and Decision Process. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 3(1):28-44, January.
4. KANDEL, A., 1992. Fuzzy Expert Systems. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
5. SUGENO, M., and KANG, G.T., 1988. Structure Identification of Fuzzy Model. Fuzzy Sets and Systems, 28:15-33.
6. T.TAKAGI, M.SUGENO, 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Sybernetics, 15:116-132.
7. LEE, C.-C., 1990a. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-part1. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 20(2):404-418.
8. LEE, C.-C., 1990b. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-part2. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 20(2):419-435.
9. MAMDANI, E.H., and ASSILIAN, S., 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with A Fuzzy Logic Controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1):1-13.
10. ERTURK, S., and DENNIS, T.J., 2000. Image Sequence Stabilisation Based on DFT Filtering. IEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing, Vol.147. No.2, 95-102.
11. TEKALP, A.M., 1995. Digital Video Processing. Prentice Hall Press, Rochester, NY.

12. OUMORI, K., MORIMURA, A., ISHII, H., SAKAGUCHI, T., and KITAMURA, Y., 1990. Automatic Image Stabilizing System by Full-Digital Signal Processing. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.36, No.3, 510-519.
13. OUMORI, K., MORIMURA, A., and ISHII, H., 1992. Electronic Image Stabilization System for Video Cameras and VCRs. J. Soc. Motion Pict. Telev. Eng., Vol.101, No.2, 66-75.
14. BURT, P., and ANANDAN, P., 1994. Image Stabilization by Registration to A Reference Mosaic. Proc. Of ARPA Image Understanding Workshop, Monterey, CA, 425-434.
15. HANSEN, M., ANANDAN, P., DANA, K., VAN DER WAL, G., and BURT, P.J., 1994. Real Time Scene Stabilization and Mosaic Construction. Proc. Of ARPA Image Understanding Workshop, Monterey, CA, 457-465.
16. MORIMOTO, C., and CHELLAPPA, R., 1996. Fast Electronic Digital Image Stabilization for Off-Road Navigation. Real-Time Imaging, 2:285-296.
17. KO, S.J., LEE, S.H., and LEE, K.H., 1998. Digital Image Stabilizing Algorithm Based on Bit-Plane Matching. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 44(3):617-622.
18. KO, S.J., LEE, S.H., JEON, S.W., and KANG, E.S., 1999. Fast Digital Image Stabilizer Based on Gray-Coded Bit-Plane Matching. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 45(3):598-603.
19. GUESTRIN, C., COZMAN, F., and KROTKOV, E., 1998. Fast Software Image Stabilization with Color Registration. Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Proc. 1998 IEEE/RSJ, Vol.1, 19-24.
20. ENGELSBERG, A., and SCHMIDT, G., 1999. A Comparative Review of Digital Image Stabilising Algorithms for Mobile Video Communications. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 45(3):591-597.
21. CENSI, A., FUSIELLO, A., and ROBERTO, V., 1999. Image Stabilization by Features Tracking. Int. Conf. on Image Analysis and Processing'1999, 665-667.

22. ERTURK, S., 2001. Image Sequence Stabilisation by Low-Pass Filtering of Interframe Motion. SPIE Conf. on Visual Communications and Image Processing'2001, SPIE Proc. Vol.4310, 434-442.
23. YAMAN, E., and ERTÜRK, S., 2001. Image Stabilization by Kalman Filtering Using a Constant Velocity Camera Model With Adaptive Process Noise, International Conference on Electrical and Electronics Engineering ELECO' 2001, Bursa, Electronics Vol., 152-157.
24. GÜLLÜ, M.K., YAMAN, E., and ERTÜRK, S., 2003. Image Sequence Stabilisation Using Fuzzy Adaptive Kalman Filtering. Electronics Letters, Vol.39, No.5, 429-431.
25. GÜLLÜ, M. K., ve ERTÜRK, S., 2003. Bulanık Süzgeç ile Görüntü Stabilizasyonu. SİU'2003-11.Sinyal İşleme ve İletişim Uyg. Kurultayı, 156-159.
26. GÜLLÜ, M.K., and ERTÜRK, S., 2003. Image Sequence Stabilization Using Membership Selective Fuzzy Filtering. Eighteenth International Symposium on Computer and Information Sciences, Kabul Edildi.
27. SIMON D., 1995. Fuzzy Logic for Digital Phase-Locked Loop Filter Design. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.3, No.2, 211-218.

KİŞİSEL YAYINLAR

1. GÜLLÜ, M.K., YAMAN, E., and ERTÜRK, S., 2003. Image Sequence Stabilisation Using Fuzzy Adaptive Kalman Filtering. Electronics Letters, Vol.39, No.5, 429-431.
2. GÜLLÜ M. K. and ERTÜRK S., 2003. Fuzzy Image Sequence Stabilisation. Electronics Letters, Accepted for publication.
3. GÜLLÜ M. K. and ERTURK S., 2003. Image Sequence Stabilisation Using Membership Selective Fuzzy Filtering. ISCIS XVIII Eighteenth International Symposium on Computer and Information Sciences, Accepted for presentation.
4. GÜLLÜ, M. K., ve ERTÜRK, S., 2003. Bulanık Süzgeç ile Görüntü Stabilizasyonu. SİU'2003-11.Sinyal İşleme ve İletişim Uyg. Kurultayı, 156-159.
5. GÜLLÜ M. K., YAMAN E. ve ERTURK S., 2002. Bulanık Denetleç Uyumlaması Kullanılan Kalman Filtresi ile Görüntü Stabilizasyonu. Eleco'2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Elektronik Cildi, 1-5.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Denizli'nin Çivril ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Çivril'de tamamladı. 1997 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nden 2001 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2001 yılında, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2003 yılı bahar döneminde mezun olma durumundadır.

2001 yılından beri, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.