

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KALMAN FİLTRESİ VE BULANIK
MANTIK YÖNTEMİ İLE GPS
NAVİGASYON SİSTEMİ

Kadir İMAMOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Halis SAKA

GEBZE
2004

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KALMAN FİLTRESİ VE BULANIK
MANTIK YÖNTEMİ İLE GPS
NAVİGASYON SİSTEMİ

Kadir İMAMOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2004

ÖZET

Son zamanlarda bilgisayar teknolojisi ve ölçme aletlerinin hızlı bir şekilde gelişmesi, gerçek zamanlı veri değerlendirme yöntemlerinin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu yöntemlerden *Kalman Filtresi*, navigasyon ağırlıklı çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Diğer bir yöntem' de karmaşık problemleri deneyimlere göre çözen Bulanık Mantık' dır.

Bu tezin amacı; GPS verileri kullanılarak hareket eden araçların anlık olarak hareketlerinin Kalman Filtresi ve Bulanık Mantık yardımıyla daha doğru bir şekilde izlenmesidir.

Bu tez yedi bölümden oluşmaktadır. Tezin birinci bölümü olan giriş bölümünde tez konusu hakkında genel bilgi verilmektedir. İkinci bölümde GPS teknolojisi anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde Kalman Filtresi ve algoritması hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde Bulanık Mantık hakkında bilgi verilmektedir. Beşinci bölümde Kalman Filtresinde Bulanık Mantığın kullanımı, altıncı bölüm uygulama kısmıdır. Yedinci bölümde ise tez çalışmasının sonuç ve öneriler kısmı yer alır.

Anahtar Kelimeler : GPS, Kalman Filtresi, Bulanık Mantık

SUMMARY

In recent times, rapid development in computer technology & measurement devices have caused real-time measurements to be used widely. The Kalman Filter, one of these methods is often used in navigation studies. Another method is Fuzzy Logic, which solves complex problems with experiments.

The aim of this thesis, is to monitor moving vehicles more accurately in real time with using Kalman and Fuzzy Logic filters in GPS data.

This thesis is composed of seven parts. First part, a general knowledge on the thesis topic is presented. In the second part, the focus is on GPS. Third part presents the Kalman Filter and its algorithm. Fourth part explains the Fuzzy Logic. Fifth part explains how to use Fuzzy Logic in Kalman Filter. The next one is an application part. In the last part, there are results of the thesis and suggestions.

Keyword : GPS, Kalman Filter, Fuzzy Logic

TEŞEKKÜR

Tez konumun seçiminden tamamlanmasına kadar her konuda değerli fikirleri ile bana yardımcı olan danışman hocam sayın Yrd. Doç .Dr. Halis SAKA'ya ve her zaman desteği ile yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2004

Kadir İMAMOĞLU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)	2
2.1. Nasıl Çalışır?	2
2.2. GPS Uydu Sistemi	3
2.3. GPS Sinyali	4
2.4. GPS Uygulamaları	4
2.5. GPS Sinyallerindeki Hataların Kaynakları	5
2.6. GPS Uyduları ile Navigasyon	5
2.6.1. Uydular	6
2.6.2. Koordinat Sistemi	6
2.6.3. Mesafenin Ölçülmesi	6
2.7. Uydulara Olan Mesafenin Ölçülmesi	7
2.7.1. Zaman Mesafesi	7
2.7.2. Kodlar ve Örnekler	8
2.7.3. Bilinmeyen Başlangıç Sayısı (Belirsiz Sayı)	10

2.8. Hataların Kaynakları	11
2.8.1. Uydu Saati	12
2.8.2. Alıcı Saati	12
2.8.3. Uydunun Yörünge Hatası	13
2.8.4. Atmosferik Hatalar	13
2.8.5. Multipath	15
2.8.5.1. Alıcının Hataları	15
2.8.5.2. Uyduların Geometrik Konumu	15
2.8.6. İnsan Kaynaklı Hatalar	16
2.9. Hataların Çözümleri	17
2.9.1. Diferansiyel MOD	17
2.9.2. DGPS	19
2.10. GPS Verilerinin Formatı (NMEA 0183)	20
3. KALMAN FİLTRESİ	25
3.1. Kalman Filtresinin Tarihçesi	25
3.2. Kalman Filtresi Modeli	25
4. BULANIK MANTIK	31
4.1. Bulanık Mantığın Tarihçesi	31
4.2. Bulanık Mantık Nedir ?	31
4.3. Bulanık Mantığın Geleneksel Kontrol Yöntemlerinden Farkı	31
4.4. Bulanık Mantık Nasıl Çalışır ?	32
4.5. Bulanık Mantığı Niçin Kullanırız ?	32
4.6. Bulanık Mantık Nasıl Kullanılır ?	33
4.7. Dilbilim Değişkenleri	34
4.8. Kural Matrisi	35

4.9. Süreci Başlatma	35
4.10. Nasıl ve ne Kontrol Ediliyor	37
4.11. Üyelik Fonksiyonları	39
4.12. Hata & Hata-Nokta Üyelik Fonksiyonu	41
4.13. Hepsini Hep Beraber Koyma	41
4.14. Üyelik Giriş Derecesi	42
4.15. Sonuçlandırma	43
4.16. Defuzzification - Düzenli Sayılara Geri Dönme	44
4.17. Bulanık Merkezli Bir Algoritma	44
4.18. Sistemi Geliştirme Ve Düzenleme	45
4.19. Sonuç	46
5. KALMAN FİLTRESİ VE BULANIK MANTIĞIN BERABER KULLANILMASI	47
5.1. Kalman Filtresinde Bulanık Mantık Kullanma	47
5.2. Bulanık Mantık Sistemi	49
5.2.1. Sistemin Genel Yapısı	49
5.2.2. Giriş Üyelik Fonksiyonları	49
5.2.3. Çıkış Üyelik Fonksiyonları	50
5.2.4. Kural Matrisi	51
5.2.5. Bulanık Mantık Sisteminin Kodları	51
6. UYGULAMA	53
6.1. GPS Verilerinin Toplanması	53
6.2. Geliştirilen GPS Yazılımı	55
6.2.1. Yeni Cümlecik Tanımları	55
6.2.2. Toplanan Verilerdeki Cümleciklerin Ayrıştırılması	57
6.2.3. GPS Veri Bloklarının Ekranda Çizilmesi	58

6.2.4. Veri Alıcısı Ayarları	58
6.2.5. GPS Veri Alıcısından Veri Okuma	59
6.2.6. GPS Ortalama Değer Hesaplayıcısı	60
6.2.7. Kalman Filtresi	60
6.3. Uygulamaların Sonuç Ekranları	61
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$C(\bar{x}^*)$	: $\bar{x}^*$ 'in kovaryans matrisi
σ	: standart sapma
$x(t)$	: durum vektörü
Φ	: durum dönüşüm matrisi
$w(t)$	: Dinamik durum modeli için toplam hata unsuru
$E[\]$	: istatistik ümit değeri
$y(t)$	: hedef üzerindeki ölçü vektörü
H	: ölçü matrisi
$v(t)$	: ölçü hatası
$x(t_k)$	: $t = t_k$ anındaki durum vektörü
$\hat{x}(t_k)$	: $x(t_k)$ durum vektörünün optimum kestirimi
S_b ve S_f	: Spektral genişlik
$\Delta\rho$	: ölçü hataları
K_k	: Kalman kazancı
$\hat{x}_k$	: güncellenen kestirim
$\hat{x}$	: durum kestirimi
x_k	: t_k anındaki durum vektörü
x_{k-1}	: t_{k-1} anındaki durum vektörü
$\Phi_{k,k-1}$	: t_{k-1} anından t_k anına geçiş matrisi
l_k	: t_k anındaki ölçü vektörü
A_k	: ölçme modeline ait dizayn matrisi
f	: alıcı saat birikmesi
$\tilde{P}_0$	: Hata koverians matrisi
Q	: Gürültüsü hatası matrisi
I	: Birim matris
R	: Ölçü hatası matrisi

GPS	: Global Positioning System
DGPS	: Differential Global Positioning System
BM	: Bulanık Mantık
SA	: Selective Availability
HDOP	: Horizontal Dilution Of Precision
VDOP	: Vertical Dilution Of Precision

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. GPS Uydularının Dünya Üzerinde Dağılımı	2
2.2. Uydu	6
2.3. Uydunun Yeri	7
2.4. Tetrahidron	16
3.1. Kalman Filtresi Modeli	29
3.2. Ölçü Hatalarının Kalman Filtresi Modelinde Kullanımı	30
4.1. Kontrol sisteminin basit bir akış diyagramı	36
4.2. Tipik bir kontrol sisteminin yanıtı	37
4.3. Kural Matrisi	38
4.4. Kural Matrisi	38
4.5. Üyelik fonksiyonlarının özellikleri	40
4.6. Basit bir durum	40
4.7. Hata ve hata-nokta fonksiyonlarının dereceleri	42
4.8. Centroid yatay koordinatları	45
5.1. Kalman Filtresi ve Bulanık Mantık Entegrasyonu Akış Şeması	48
5.2. GPS Bulanık Mantık Sistemi	49
5.3. Hız Giriş Üyelik Fonksiyonu	50
5.4. İvme Değişimi Giriş Üyelik Fonksiyonu	50
5.5. Alfa Çıkış Üyelik Fonksiyonu	51
6.1. GYTE Mualimköy kampüsü içerisinde alınan GPS verileri	53
6.2. GYTE Mualimköy kampüsü–E5 girişi ışıkları arasında gidilen rota	54
6.3. GPS Kodu Tanımlama, Değiştirme ve Silme Ekranı	56

6.4. GPS Kod Özellikleri Tanımlama, Değiştirme ve Silme Ekranı	56
6.5. GPS cümleciklerindeki istenilen alanların alınması ekranı	57
6.6. GPS cümleciklerindeki istenilen alanların alınması sonuç ekranı	57
6.7. GPS verilerinin çizimi	58
6.8. GPS Port Ayarları	59
6.9. GPS veri okuyucusu	59
6.10. GPS Ortalama Verisi Toplama	60
6.11. Kalman filtresi ekranı	60
6.12. Kalman filtresi sonuç ekranı	60
6.13. GYTE – Mualimköy kampüsü içerisinde Kalman - Bulanık Mantık filtresi kullanılması ile elde edilen sonuç ekranı	61
6.14. GYTE – Mualimköy kampüsü içerisinde Kalman filtresi kullanılması ile elde edilen sonuç ekranı	62
6.15. GYTE – Mualimköy kampüsü – E5 arası Kalman- Bulanık Mantık filtresi sonuç ekranı	63
6.16. GYTE – Mualimköy kampüsü – E5 arası Kalman filtresi sonuç ekranı	63
6.17. GYTE – Mualimköy kampüsü içerisinde GPS yazılımında Kalman filtresi çizim ekranı	64

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. GPGGA kodunun alanları	21
2.2. GPGLL kodunun alanları	22
2.3. GPGSA kodunun alanları	22
2.4. GPGSV kodunun alanları	23
2.5. GPRMC kodunun alanları	24
2.6. GPVTG kodunun alanları	24
5.1. Kural Matrisi	51
5.2. Matlab'ta Bulanık Mantık Kodları	52
6.1. GYTE Mualimköy kampüsü içerisindeki hareket detayı	54

1. GİRİŞ

GPS (Global Positioning System) ile konum belirleme, son 15 yıldır sivil ve askeri alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. 2000 yılında düşük doğruluğa neden olan SA (Selective Availability)'nın kaldırılması kullanımı daha da artırmıştır. GPS, gerçek zamanlı konum bilgisi ihtiyacı duyulan alanlarda diğer navigasyon sistemlerinin yerini almıştır. Araçların takibi ve taşıma filolarının yönetimi gibi alanlarda günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

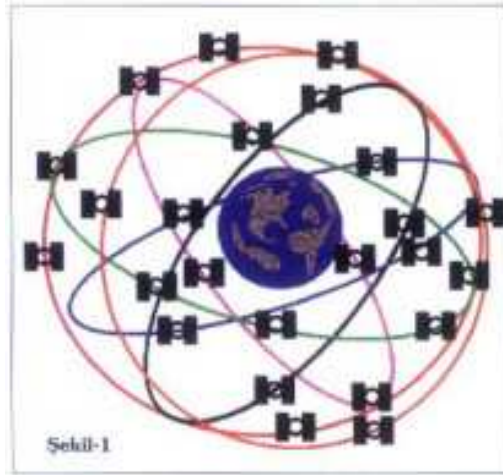
Gerçek zamanlı konum bilgisi kullanımında ve değerlendirilmesinde kötü ölçmelerin filtre edilmesini gerekmektedir. Bu amaçla genelde Kalman Filtresi kullanılmaktadır. Burada ek bilgi olarak aracın hareket karakterinin önceden bilindiğini esas alınır. Araç duruyor, sabit hızla gidiyor veya ivmeli bir hareket yapıyor olabilir. Bilinen hareket modeli ve ölçmeler Kalman Filtresi ile düşük hatalı sonuca ulaşacak şekilde konum bilgisi elde edilmiş olur.

Kalman filtresinde araç hareketi sabit bir model olarak ele alınmışsa örneğin aracın sabit hızlı gittiği varsayılmış ise hatalı sonuçlar ortaya çıkabilir. Çünkü aracın durması ve ivmeli hareket etmesi halinde kabul edilen model bunu karşılamayacaktır. Bu durumda özellikle ivmeli hareketlerin çok olduğu sistemlerde (havacılık uygulamaları) çoklu model (multiple model) uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında karayolu araçları için düşünülen GPS uygulamalarında sabit hızlı bir modele sahip bir kalman filtresinin, ivmeli hareket etmesi ve aracın durması durumunda, araç hareket modelinin kovaryans matrisinin ölçeklendirilmesi ile problemin çözümlenmesi amaçlanmıştır. Bunu başarmak için Bulanık Mantık' tan yararlanılmıştır. Varyans kovaryans matrisi aracın hızındaki değişimlere göre yeniden düzenlenmiştir.

2. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

Global Positioning System (GPS) uydu tabanlı konum belirleme sistemidir. Bu sistemde Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından yörüngeye yerleştirilmiş 24 adet uydu ağı vardır. Yaklaşık 20 yıl süren bu sistemin konuşlandırılması 10 milyar doları aşan bir maliyete neden oldu. Esas olarak GPS askeri uygulamalar için geliştirildi. 1980' li yıllarda hükümet GPS' i sivil kullanımlara açtı. GPS her türlü hava koşulunda, dünyanın herhangi bir yerinde 24 saat boyunca çalışır ve herhangi bir abonelik ücreti yada kullanmak için kurulum ücreti gerektirmez.



Şekil 2.1. GPS Uydularının Dünya Üzerinde Dağılımı

GPS kullanarak 100 metre hata ile konum belirleyebiliriz. Bu hata 2000 yılı Mayıs ayında düşük doğruluğa neden olan SA (Selective Availability)' nın kaldırılması ile 20 metre ye indi. DGPS gibi tekniklerle SA' nın getirdiği bozum ortadan kaldırılmakta ve hata miktarı 1 metre seviyesine inmektedir.

2.1. Nasıl Çalışır ?

GPS uyduları çok sabit bir yörüngede dünyayı günde iki kez dolaşır ve sinyalleri dünyaya gönderir. GPS alıcıları kullanıcıların tam yerini hesaplamak için trigonometrik

bilgileri kullanır. Aslında GPS alıcısı, uydu tarafından gönderilen sinyalin gönderim zamanı ve varış zamanını karşılaştırır. Zaman farkı GPS alıcısına uydunun ne kadar uzaklıkta olduğunu söyler. Birden fazla uydudan mesafe ölçümü ile, alıcı konumunu bulabilir ve elektronik haritada gösterebilir.

Bir GPS alıcısı 2 boyutlu konum (enlem ve boylam) ve hareketleri izlenmesi için en az 3 uydudan sinyal almaya kilitlenmelidir. Dört yada daha fazla uydu görülmesi ile alıcı kullanıcının 3 boyutlu konumunu belirleyebilir (enlem, boylam ve yükseklik). Kullanıcının konumu belirlendiği an, GPS (diğer bilgileri) konum fonksiyonu olanı hesaplayabilir (hız, durum izleme, hedefe seyahat mesafesi vb.).

2.2. GPS uydu sistemi

GPS uzay bölümünü oluşturan 24 uydu, dünyanın 20.000 km (12 mil) yukarısında 6 yörüngede bulunmaktadır. Uydular 24 saatten daha az sürede yörünge etrafında iki dönüş yaparlar ve yaklaşık olarak saatte 11.265 km hızla hareket ederler. GPS uyduları güneş enerjisini kullanırlar. Güneş ışıkları almadıklarında çalışması için panellerinde yedek bataryalar vardır. Küçük roketler uyduların doğru yolda kalmasına yardımcı olur.

GPS, ana denetim istasyonu ile dünya üzerine dağılmış gözlem istasyonları, uyduların sağlığını ve durumlarını izler. Ana denetim istasyonu, izleme ve uydu yerleşimini yönetme ile NAVİGASYON verisinin güncellemesinden sorumludur. GPS sınırsız sayıda kullanıcıya hizmet verebilir. Aşağıda GPS uyduları hakkında diğer bilgiler bulunmaktadır.

- 1978 yılında ilk GPS uydusu roketi uzaya fırlatılmıştır.
- 24 uydunun tamamı 1994 yılında tamamlandı.
- Her uydunun 10 senelik yaşam ömrü vardır.
- Bir GPS uydusu yaklaşık 907 kg ağırlığındadır ve güneş panelleri açıldığında yaklaşık 5,18 m genişliğe sahip olur.
- Vericinin gücü sadece 50 watt veya daha azdır.

2.3. GPS Sinyali

GPS uyduları düşük güçte iki radyo sinyali gönderir (L1 ve L2). Sivil GPS'in kullanımı 1575.42 MHz L1 frekansını UHF bandında kullanılır. L2 frekansı 1227.76 MHz de kullanılır. Sinyaller düz bir hatta giderler. Bu demek bulutlar, plastik ve camlardan geçebilirler, fakat daha katı nesnelerden örneğin binalardan ve dağlardan geçemezler.

GPS sinyali 3 farklı bit bilgisi içerir. Bunlar PSEUDORANDOM kodu, günlük veriler ve almanak verileridir. PSEUDORANDOM kodu verilerin hangi uydudan transfer edildiğini basit bir ID kodu ile tanımlar.

Günlük veriler uydunun durumu hakkında önemli bilgiler içerir (yörünge bilgileri). Bu tip sinyaller bir konuma karar vermek için yeterlidir.

Almanak verileri GPS alıcılarına GPS uydularının gün içersinde nerede olabileceğini söyler. Her uydunun almanak verileri o uydunun ve sistemdeki diğer uyduların yörünge bilgilerini gönderir.

2.4. GPS Uygulamaları

Askeri amaçlı kullanım düşünülerek gerçekleştirilen GPS sisteminin sivil amaçlı kullanımı daha büyük boyutlara ulaşmıştır (%90). Ücretsiz sivil uygulamaların 2005 yılına kadar garantilendiği belirtilmektedir. Belli başlı kullanım yerleri aşağıdaki gibidir.

Askeri Uygulamalar:

- Kara, deniz sistemleri
- Acil kurtarma
- Haritacılık, CBS (Coğorafik Bilgi Sistemi)
- Bilgisayar destekli kontrol

Sivil Uygulamalar:

- Nakliye Filo Yönetimi
- Otoyol ÜCRETLENDİRME Sistemi
- Atmosferik Ölçüm
- Araç YÖNGÜDÜMÜ

2.5. GPS Sinyallerindeki Hataların Kaynakları

GPS sinyallerini etkileyen hatalar aşağıdaki gibidir

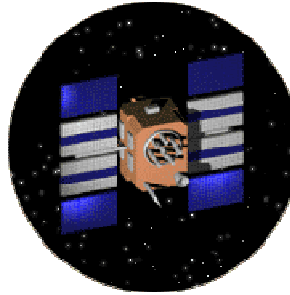
- İyonsfer ve troposferdeki gecikmeler : Uydu sinyalleri atmosferden geçerken yavaşlar. Bu tür hataları düzeltmek için GPS çeşitli modelleri kullanılır. Ve ortalama gecikme hesaplanır.
- Multipath sinyalleri : Bu tip hatalar GPS sinyallerinin uzun binalara, geniş kaya yüzeylerine, su ve metallere çarparak alıcılara ulaşması ile olur. Bu hata, sinyalin ulaşma zamanını artırır.
- Alıcının saat hataları : Alıcının saatleri GPS uydularının yüzeyindeki atomik saatleri kadar doğru değildir.
- Yörünge hataları : Günlük hatalar olarakta bilinir. Burada uydunun konumu hatalı rapor edilir.
- Görülen uydu sayısı : GPS alıcısı ne kadar fazla uydu görürse doğruluk o kadar artar.
- Uyduların geometrik konumu : Uyduların en iyi geometrik duruşu birbirlerine geniş açılarla belirtilen konumudur. Uydular zayıf geometride konumlandıklarında (çizgi boyunca yada birbirine çok yakın) geometriden kaynaklanan hatalar ortaya çıkar.

2.6. GPS Uyduları ile Navigasyon

Bilinen birçok uyduya olan mesafe ölçülebilirse konum belirlenebilir. Konum belirlemede gerekli olan 3 önemli özellik vardır.

2.6.1. Uydular

Uydular referans noktası gibi düşünülürse GPS alıcısından uydulara olan mesafe ölçülebilir. Her hangi bir zamanda uydulara olan mesafeyi ölçmek için her uydunun tam olarak konumunu bilmek gerekir. Bir uydu tek başına bir araçtan başka bir şey değildir. Ona uzay aracı diyebilirsiniz. Her uydunun fonksiyonu ne tür bir ekipman taşıdığına bağlıdır. Ekipman TV istasyonu şeklinde ise TV uydusu, hava gözlemi ekipmanı ise hava tahmini uydusu olur. Hava tahmin uydusunun fonksiyonu çok geniş ölçülerde bulutların, fırtınaların ve hortumların görüntülerini hazırlamaktır.



Şekil 2.2. Uydu

2.6.2. Koordinat Sistemi

Her uydu ve GPS aletini kullanan kişinin bulunduğu konum matematiksel olarak bazı koordinat sistemiyle ilişkili sayılar kümesi şeklinde ifade edilebilir. Herkes tarafından anlaşılabilinecek bir koordinat sistemi tanımlamaya ihtiyaç duyuldu. Bunun için evrensel koordinat sistemi kullanmak gerekmektedir.

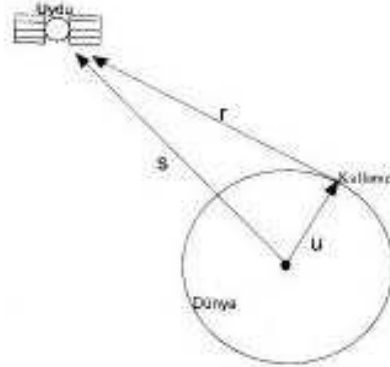
2.6.3. Mesafenin Ölçülmesi

Uydular, aradaki mesafeyi ölçmek için ne çeşit elektronik sinyaller kabul eder? Buradaki mesafeleri nasıl ölçülür? Buradaki mesafeleri hangi doğrulukla ölçülür ve ölçülmüş hatalar hesaplanmış konum doğruluğuyla nasıl ilişkilidir gibi sorulara bakılır.

2.7. Uydulara Olan Mesafenin Ölçülmesi

2.7.1. Zaman Mesafesi

Yıldırım esnasında hiç sesi ışıktan sonra duyduğunuzu fark ettiniz mi? Bunun sebebi ses dalgalarının ışık dalgalarından daha yavaş olmasıdır. Yıldırıma olan mesafe yıldırımın ışığını ilk gördüğümüz an ile sesini duyduğumuz an arasındaki gecikmeden tahmin edilebilir. Sesin hızını bu zaman gecikmesiyle çarpılırsa yıldırıma olan mesafe öğrenilir. Ses havada saniyede 344 metre hızla hareket eder. Eğer gecikme iki saniye ise fırtınaya olan mesafe $2 \times 344 = 688$ metre olur. Bir nesneye olan uzaklığı onun sinyallerinin bize ulaşma zamanına göre ölçeriz. Yukarıdaki örnekte ışığı gördüğümüz anda fırtınadaki ses dalgalarının oluştuğu andır, sonra sesi işittiğimiz ana kadar olan gecikmeyi ölçeriz. Burada ışık başlangıç sinyalidir.



Şekil 2.3. Uydunun Yeri

Yukarıdaki şekilde kullanıcının konumunu ECEF koordinat sistemi orjinine göre belirleyen u vektörünü bulmak istiyoruz. Burada r vektörü kullanıcıdan uyduya olan vektör, s de uydunun konumunu yine ECEF orjinine göre tanımlayan vektördür. s vektörü uydunun gönderdiği kendi yörüngesine ilişkin veriden belirlenebilmektedir. r mesafesi uydunun oluşturup gönderdiği PRN kodunun yayılım süresi hesaplanarak bulunabilir. Örneğin t_1 anında uydunun gönderdiği kodun t_2 anında kullanıcıya ulaştığı varsayılırsa yayılım süresi $t_2 - t_1$ olacaktır.

GPS, kullanıcı hızının 3 boyutlu olarak belirlenebilmesini olanaklı kılmaktadır. Bu alıcıyla birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bazı almaçlarla hız, kullanıcı konumunun yaklaşık bir türevi alınarak saptanmaktadır.

$$du/dt \sim [u(t_2) - u(t_1)] / (t_2 - t_1)$$

Bu yaklaşım kullanıcı hızının seçilen zaman aralığında sabit ve $u(t_2)$ ve $u(t_1)$ konumlarındaki hataların $u(t_2) - u(t_1)$ farkı ile kıyaslandığında görece olarak küçük olabildiği koşullarda geçerli ve gerçekçidir. Bir çok modern GPS alıcısında hız ölçümleri taşıyıcı fazı ölçümlerinin işlenmesi ile yapılmaktadır böylece uydudan alınan sinyalin kullanıcıya göre DOPPLER kayması hesaplanmaktadır.

2.7.2. Kodlar ve örnekler

Bir arkadaşımızın geniş bir alanda bulunduğunu ve birden ona kadar sayıları saniyede bir tane saydığını farzedelim (Birden ona kadar sayıların tam çevrimi on saniyedir). Başka bir alanda sizde senkronize olarak aynı şeyleri yaptığınızı varsayalım. Siz ve arkadaşınız arasındaki senkronizasyon aynı saniyede başlama ve bir saniyede bir numara sayma gözleminin yapılması ile sağlanır. Biz ikinizin çok doğru saatlere sahip olduğunuzu varsayıyoruz. Sesin varış zamanı sesin geliş zamanından arkadaşınızın örnek numaralarını duyacaksınız (Sizin örneklerdeki gecikmeye bağlı). Eğer arkadaşınızın sayılarını bir eksik duyuyorsanız arkadaşınızdan 344 metre uzaktasınız demektir. Çünkü arada bir saniye fark vardır. Şimdi arkadaşınızın bir saniyede iki sayı saydığını farzedelim. Siz ve arkadaşınız arasındaki aynı mesafede iki sayma gecikme duyacaksınız. Çünkü her sayma 0.5 saniye alır ve her gecikme 172 m ile ölçülür. Eğer 100 kat daha hızlı sayabilseydiniz her sayıma 0,01 saniye gecikmeye sebep olur ve her gecikme 3,44 m demektir. Daha hızlı sayma iyi dereceli bir cetvele sahip olmak gibidir. Tabii ki gerçek dünyada uygun araç ve ekipmanlara çok hızlı sayma değerlerine ulaşmak için ihtiyaç duyacaksınız.

Şimdi siz ve arkadaşınız birbirinizden uzakta ve çok hızlı sayıyorsunuz. Her sayma 0,01 saniyedir (her gecikme sayması 3,44 m). Önceden olduğu gibi birden ona kadar tekrar tekrar ederek sayıyorsunuz. Siz 7 söylediğinizde arkadaşınızın sesi 5 sayısını söylüyor. İki sayılı bir gecikme duydunuz, fakat aradaki mesafe 6,88 m den uzak olduğunu biliyorsunuz. Çünkü buradaki gecikme iki sayısı değildir. İki sayısına onar tane sayı eklenmelidir. Bir bilinmeyen sayısının tüm örnek gecikmeleri bilinmeyen sayıya bağlıdır. Eğer siz ve arkadaşınız birden bine kadar tekrar ederek saysaydınız saydığınız sayılarla arkadaşınızın saydığı sayılar arasında 212 sayılı gecikme duyabilirsiniz. Bu gecikmeyi 3,44 m ile çarparsak 729,28 m' yi buluruz. Bu birden ona kadar olan örneklerin tam 21 kez döndürülmesi ve 2 eklenmesidir. Tam dönmenin sayısı 21 kısa örneklerle bilinmeyen sayıları gözleyemeyiz.

Biz yukarıda tanecikli örnekleri ve örnek uzunluğunu açıkladık.

Uydulara olan mesafeyi ölçme yukarıda tartıştığımız gibidir. Fakat uydular sesle sayma yerine elektronik örnekleri gönderirler. Bizim alıcımızda benzer elektronik örnekler üretir (Uydudan aldığımız verilerle karşılaştırmak için).

Uydular iki çeşit örnek üretir, birincisi 1 mm tanecikli ve 20 cm' ye kadar uzayabilir, diğeri 1 metre tanecikli ve sonsuza kadar uzayabilir. Uydu terminolojisinde birinci örnek taşıyıcı ve ikinci örnek kod diye adlandırılır. Taşıyıcı tarafında ölçülen mesafe taşıyıcı fazı ve kod tarafında ölçülen mesafe kod fazı diye adlandırılır. Çünkü kod fazı uzundur. Kod fazı ölçmeleri tamdır ve bilinmeyen bir sayı yoktur. Örneğin uyduya olan mesafemiz 19.234.763 metre olarak ölçebiliriz. Taşıyıcı örnekler kısadır ve taşıyıcı fazında birçok bilinmeyen sayı vardır. Kullanışsız olduğunu söyleyebilir. Örneğin uyduya olan mesafemiz 13.2 cm artı bilinmeyen taşıyıcı çevrim sayısıdır. Bilinmeyen sayılar 10' un milyon katlarıdır. CUZİ parçaları ölçmek milyonlarca çevrim bilinmeden ne kadar iyi olacağını düşünebilirsiniz.

2.7.3. Bilinmeyen başlangıç sayısı (belirsiz sayı)

Önceki sayma örneğinde (kısa örneklerle) siz ve arkadaşınız birbirinizin karşısında 1' den 10' a kadar hızlı bir şekilde senkronize sayıyorsunuz. Herhangi bir gecikme duymazsınız, çünkü birbirinizin karşısında duruyorsunuz daha sonra arkadaşınız uzaklaşmaya başlıyor gecikme sayıları 0' dan başlayarak 9' a doğru gider. 9'a ulaştığınızda 0' a geri döner .Aslında bu 0 değil 10' dur, aslında siz bu durumu biliyorsunuz (buradaki 0 sayısı bir çevrim sayısını ifade eder). Çünkü siz sürekli gecikmeleri takip ediyorsunuz arkadaşınız uzaklaştıkça tüm çevrimlerin sayısını saymaya mesafenize eklemek için yapacaksınız. Bu durumda sürekli olarak izlerseniz bilinmeyen sayı yoktur.

Birbirinizin karşısında başlamak yerine siz bilinmeyen bir mesafede ve bilinmeyen bir çevrimin sayısından başlıyorsunuz. Arkadaşınız size doğru geliyor, yada uzaklaşıyorsa tüm çevrimlerin hesabı başlangıç bilinmeyen sayısına eklenmelidir. Her saniye ölçtüğünüz bütün mesafeler aynı başlangıç bilinmeyen sayısını içerir. Onun bilgilerini sürekli aklınızda tutarsanız bu doğrudur. Eğer belli bir periyot için onu duymazsanız siz onu kaç çevrim ileri gittiğini bilemezsiniz ve tekrar bilinmeyen bir sayının çevriminden başlamak zorunda kalacaksınız. LOGLAR' da uzun zamandır tuttuğunuz noktaya göre siz sadece başlangıç bilinmeyen sayısına sahipsiniz.

Kod ve taşıyıcıların içeriği çok önemlidir. Daha iyi anlamak için başka bir benzetme kullanalım. Kod fazını sadece saat bilgisi olan bir saat gibi düşünebilirsiniz. Herhangi bir zamanda bu saate baktığınızda yaklaşık olarak günün zamanını bilirsiniz. Taşıyıcı fazını, saatin saniyeleri şeklinde düşünebilirsiniz. Geçen zamanı bir yerde tutup izleyebilirsiniz. Eğer her nasılsa tam dakikaların sayısını belirliyebiliyorsanız, zamanı çok doğru LOG tutabilirsiniz. Eğer dakikaların sayısını LOG' lara kayıt ederseniz yeni bir başlangıç bilinmeyen sayısına sahip olacaksınız. Siz saniyeler kısmı ile saatler kısmı arasında bir boşluk olduğunu gördünüz dakikalar kısmını kaybediyoruz. GPS üreticileri aradaki boşlukları daraltan teknikler geliştirdi. Taşıyıcı ve kod fazı belirsiz ve doğru mesafelerin ölçümünü hızlı bir şekilde yaparlar.

İyi haber taşıyıcı fazdaki belirsizlik sayısı uydular belli periyot aralıklarında izlenerek belirlenebilir. Bu jeodezi gibi temel uygulamaları içerir.

Tam çevrimli doğru sayıları izleme uyduya olan mesafeyle kritik bir şekilde değişiyor. Siz eğer bir çevrim kaybederseniz yada fazladan bir çevrim eklerseniz bu sayıyı yanlış hesaplırsınız. GPS teknolojisinde çevrim atlama diye adlandırılır. Önceki örnekte gürültüden yada başka nedenlerden dolayı arkadaşınızın sesini doğru duymadığınızda yada aniden uzun bir mesafeye zıpladığınızda çevrim atlamaları oluşur. Çevrim atlamaları mm hataları okumaya konsantre olurken metre işaretini kaybetmek gibidir. O büyük hatalar oluşturabilir. Çoğu GPS sistemi bu hataları anlayabilir ve düzeltebilir.

Bütün alıcılar taşıyıcı fazını ölçmez, taşıyıcı fazları yüksek hasasiyetli alıcılarda tipik olarak kullanılabilir.

Uydulara olan mesafeyi 1 m doğrulukla kod fazında ve de 1 mm doğrulukla taşıyıcı fazında ölçebiliriz. Bu GPS alıcısının 1 m yada 1 mm doğrulukta bizim yerimizi bulacağı anlamına gelmez. GPS ölçmelerinde hataları tanıtan birçok kaynak vardır. Özet olarak;

- Nesnelere olan uzakları onun sinyallerin bize ulaşma zamanına göre ölçebiliriz.
- Uydular taşıyıcı ve kod örnek tiplerini üretirler. Taşıyıcı 1 mm tanecikli ve 20 cm uzunluğundadır. Kod 1 m tanecikli ve sınırsız uzunluktadır.
- Taşıyıcı fazdaki sayıların belirsizliği belli bir sürede uyduların izlenmesiyle bulunabilir.

2.8. Hataların Kaynakları

Mesafelerin ölçümü tartışmasında örnek sayıların kullanımında siz ve arkadaşınızın aynı anda saymaya başladığınızı farz ettik. Eğer saatiniz 1 saniye geri ise mesafeniz ölçümünüzde 344 metrelik hata aktarılır. Çünkü 1 saniyede ses 344 m yol alır. Uydularda elektronik sinyaller saniyede 300 milyon metre hızla hareket ederler (ışık hızı). Bu yüzden uydudaki saat ve alıcıdaki saat mesafenin ölçülmesine tamamen yardımcı olur.

2.8.1. Uydu Saati

Uydu saatindeki saniyenin bir milyarındaki meydana gelen hata mesafenin ölçülmesinde 30 cm lik hataya sebebiyet verir. Bu sebeple uydular çok hassas atomik saatlerle (Cesium) donatılmıştır. Buna rağmen bu hassas saatler saniyenin bir milyarındaki her 3 saatte bir hata biriktirir. Uydu saatindeki birikimleri çözmek için onlar sürekli yer istasyonundaki monitörlerden ana kontrol sistemlerinin çok hassas 10'dan fazla atomik saatin kombinasyonu ile karşılaştırılır. Hatalar ve uydu saatlerindeki sapmalar uydu tarafından transfer sırasında mesajlaşmalarda hesaplanır. Uydulara olan mesafenin hesaplanmasında GPS alıcısı uydunun gönderme zamanında uydunun saat hataları çıkarılır ve sinyalin ulaşma zamanı doğru olarak hesaplanır.

Uydu saatlerinin davranışları kontrol merkezlerindeki daha iyi çabalara rağmen hatalar tamamen belirlenemez. Kalan saat hataları yaklaşık birkaç saniyedir, bu da 1 m 'lik mesafe hatasına sebebiyet verir.

2.8.2. Alıcı Saati

Uydu saatindeki hatalara benzer şekilde alıcı saatindeki herhangi bir hata mesafenin doğru ölçülmesini engeller. Bununla birlikte alıcıların çok hassas atomik saatlerle donatılması hesaplı bir iş değildir. Atomik saatler 20 kg dan daha fazla ağırlıkta ve yaklaşık 50.000 amerikan doları ve ısı kontrolünün hassas olmasını gerektirir

Verilen bir zamanda alıcının saati bir mili saniye hatası olsun buda 300.000 metrelik mesafe hatasıdır. Tüm uydulara olan mesafe aynı zamanda tam olarak ölçülebilirse ve hepsi birden aynı anda kapanırsa yaklaşık 300.000 metre olur. Bu sebeple biz alıcı saatindeki hatayı çözülmesi gereken bir bilinmeyen olarak düşünebiliriz. Konumuz için 3 bilinmeyene sahibiz (X, Y, Z). Şimdi biz 4 bilinmeyene sahibiz. Konumuz ile ilgili 3 bileşen ve alıcının saat hatasıdır. 4 bilinmeyi çözmek için 4 denkleme ihtiyaç duyarız. 4 uyduya olan mesafenin ölçülmesi bize gerekli 4 denklemi verir. Önceki 3 uydunun yerine şimdi 4 taneye ihtiyaç duyarız. Fakat GPS alıcılarımızda daha ucuz saatler kullanabiliriz.

Alıcı saatinin içeriği tüm uydulara olan mesafenin aynı anda ölçülmesi ile bilinen duruma gelebilir. Eğer uydulara olan mesafe aynı anda ölçülemezse her ölçüm için farklı saate sahip olunur. 4 uyuyla eş zamanlı ölçüm yapmakla 3 boyutlu konumu bulmakla kalınmaz aynı zamanda alıcı saatindeki hata çok iyi doğrulukla bulunabilir. Tipik bir saat her saniyede yaklaşık 1000 NANO saniyelik kayma olur fakat GPS saatini düzeltmek için alıcının saati ayarlanabilir. Bu alıcının ucuz saatini atomik saat gibi iyi ve düzeltilmiş tik sinyallerini doğru zamana ihtiyacı olanlara sunar. Eğer alıcı tam olarak bilinen bir yere konursa sadece bir uydunun sürekli olarak izlenmesi, alıcıdaki saat hatasının bulunmasını sağlar.

Konumu ve zamanı hesaplamak için en az 4 uyduya ihtiyaç duyulur. Daha fazla uydularla daha doğru sonuçlar elde edilir.

2.8.3. Uydunun Yörünge Hatası

Hesaplanmış konumun doğruluğu, uydunun konumunun ne kadar doğrulukla bilindiğine bağlıdır. Uyduların yörüngeleri, yeryüzündeki birçok istasyon tarafından sürekli takip edilir. Tahmin edilmiş yörünge bilgilerini uydulara gönderilir, uydularda bunları alıcılara aktarır. GPS'in şimdiye kadar yörünge tahminlerinin birkaç metre zorlukla yapıldığını gösterdi. Bu sonuç konumun hesaplanmasında birkaç metrelik hata oluşturur. 2.9 bölümünde bu hataların çözümleri gösterilmiştir.

2.8.4. Atmosferik hatalar

İYONSFER

Uydulara olan mesafenin hesaplanması için önce uydu sinyalinin alıcıya ulaşma zamanını hesaplanır, sonra ışığın hızıyla çarpılır. Burada sorun, ışığın hızının atmosferik koşullarda değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Atmosferin üst katmanı iyonfer olarak adlandırılır. Yüklü partikül' ler kodu yavaşlatır ve taşıyıcıyı hızlandırır.

İyonsfer' in gün içindeki etkisi geceden daha büyüktür. Büyüklük 11 yıllık periyodik çevrimlere sahiptir. Burada en yüksek ve en düşük değere ulaşılır. 1998 yılında iyonsfer en üst büyüklüğüne ulaştı. 2004 yılında en küçüğüne ulaşacaktır (Şu anki çevrim için). Bu çevrim böyle tekrarlanacaktır. iyonsfer' in etkisi azaltılmazsa 10 metre den daha büyük ölçüm hatalarına sebep olur.

Bazı alıcılar iyonsfer' in etkisi için matematik model kullanırlar. İyonsfer' deki yüklü partikül' lerin yoğunluğunun yaklaşık olarak bilinmesiyle iyonsfer' in etkisi yaklaşık %50 azaltılabilir, kalan hata halen yeterlidir.

İyonsfer' in elektronik sinyallere etkisi sinyallerin frekansına bağlıdır. Yüksek frekans az etkilenir. Eğer biz örnekleri eşzamanlı olarak iki farklı frekansta gönderirsek bir frekansta iyonsfer kodu gecikebilir. Örneğin 5 m' de birinde, diğer frekansla 6 m diye söylenebilir. Buradaki gecikmelerin büyüklüğünü söylenemez. Fakat onların geliş zamanındaki farklar gözlemlenerek, farklar ölçülebilir. Onlar arasında 1 metre mesafe etkili olur. Bu farkın ölçülmesi ve iyonsfer' deki gecikmelerin frekansa bağlı bilinen formülün kullanılması ile iyonsfer' in etkisi yok edilebilir.

Tam olarak bu sebepten dolayı GPS uyduları L1 ve L2 diye adlandırılan iki frekansta bilgi gönderir. iyonsfer' in etkisinin ortadan kaldırılması için bu iki sinyal alıcılar tarafından dikkatlice izlenir. Dikkatli olmayan alıcılar sadece L1 sinyalini takip edebilir. Farklı tipteki alıcıların arasındaki özellikleri anlamak için bu bir örnektir. L1 alıcıları tek frekanslı alıcılar olarak da çağrılır. L1 ve L2'yi izleyen alıcılar çift frekanslı alıcılar olarak adlandırılır. Çift frekanslı alıcılar pratik olarak iyonsfer' in etkisini yok eder.

L2 sinyalleri tamamen herkesin kullanılmasına açık olmamasına rağmen karmaşık tekniklerle L2' deki kullanılabilir bilgiler kod ve taşıyıcı bilgilerini bulabilir. Buradaki teknikler askeri olmayan uygulamalar için uygundur. Farklı frekansların kullanıma izin verilmesi tartışılıyor. Şu andaki sistem sivil ihtiyaçlar için yeterlidir.

TROPOSFER

Atmosferin en alt katmanı olan troposfer su buharı içerir. Kod ve taşıyıcıya azaltma gibi bir etkisi vardır. Çift frekans sistem kullanılarak troposferin etkisi yok edilemez. Troposferin etkisinin yok etmenin tek yolu su buharının içeriğini sıcaklığını ve basıncını ölçülerek matematik bir modelle troposferdeki gecikme hesaplanabilir.

2.8.5. Multipath

Uydulara olan mesafenin ölçülmesinde uydu sinyallerinin direk olarak alıcının antenine geldiğini varsaydık. Direk sinyallere ek olarak yerden ve antene yakın nesnelerden etkilenmiş sinyaller antene değişik bir yoldan gelir. Bu sinyalin varış zamanını doğru hesaplanmasını engeller. Önünde dağ bulunan bir kişinin sesindeki gecikme gibi. Eğer direk yol direk olmayan yoldan daha uzunsa sinyaller iki örneğe ayrılabilir. Sinyallerin izlenmesi ile MULTİPATH etkisi azaltılabilir.

2.8.5.1. Alıcının hataları

Kod ve taşıyıcının ölçülmesinde alıcılar bazı hatalar oluşturabilir. Yüksek kaliteli alıcılarda buradaki hatalar epey düşürülebilir (taşıyıcı fazı için). Kod fazı içinde birkaç cm düşürülebilir.

2.8.5.2. Uyduların geometrik konumu

Uydulara olan mesafenin ölçülmesi hataları multipath'ın bir başka nedenidir. Genellikle bölge veya bölgesel hatalar olarak adlandırılabilir. Buradaki soru hata aralığıyla hesaplanmış konumu hatası arasındaki ilişki nedir. Başka bir deyişle hesaplanmış konumda kaç metrelik hata oluşacağına bir metrelik uydulara hata bırakılmasıyla görülebilir.

Buradaki cevap uyduların geometrisi ve sayısına bağlı olarak kullanılabilir. Eğer uyduların her biri yan yana ise ölçmedeki 1 metrelik hata mesafesi konumda 10 yada

100'lerce metrelik hataya sebep olabilir. Eğer birçok uydu gökyüzünde iyi şekilde dağıtılsa hatanın konumu 1,5 m' den az olabilir. Uyduların geometrisinin konuma etkisi Geometrik Dilation of Precision (GDOP) konum hatalarının oranını (hata oranını) kabaca yorumlanabilir.

Bir TETRAHİDRON hayal edin, her uydu alıcıya hatlarla bağlı en geniş alan TETRAHİDRON en küçük GDOP' dır (daha iyi).



Şekil 2.4. Tetrahidron

2.8.6. İnsan kaynaklı hatalar

Uydu saatinde, yörüngede, iyonfer'de, troposferde, multipath etkisinde alıcıların tipik 10 m' den az hatayla ölçülmesi GDOP' nin 2 metre altında konumun yerini 20 metre doğrulukla hesaplayabilir. Birleşik Devletler Savunma Bakanlığı hassaslık seviyesini halkın kullanımına karşıdır. Bu yüzden DOD insan kaynaklı hataları GPS' le yaklaşık 100 m' de doğrulukla konumlamaya açıkladı. Bu selective availability diye adlandırılır. Askeri alıcılar hassasiyetin etkisini artırmak için özel donanımlar kullanırlar. SA yer yüzündeki sistem yöneticisi tarafından kapatılabilir yada açılabilir.

2.9. Hataların Çözümleri

Ne 100 m doğruluk (SA açık iken), ne de 20 m doğruluk (SA kapalı iken) birçok sivil uygulama için yeterlidir. GPS'in başlangıcından beri birçok yöntem doğruluğu artırmak, hataları azaltmak için geliştirildi veya hala geliştiriliyor (SA'ın varlığına ve L2'nin bir kısmının kullanılabilir olmasına rağmen).

2.9.1. Diferansiyel MOD

Birbirinden fazla uzakta olmayan iki alıcıya sahip olduğunuzu düşünelim. Uydu saatinden, uydu yörüngesinden, İYONSFER' den, troposferden ve SA'ın etkilerinden kaynaklarına bağlı hatalar her iki alıcıyı da aynı biçimde ve büyüklükte etkiler. Bir alıcının tam olarak konumunu bilirsek, buradaki bilgilerden ölçümlerdeki hataları hesaplayabilir ve buradaki hataları (doğruluk değerleri ile) diğer alıcıya bildirebiliriz. Böylece o onları karşılaştırabilir. Bu teknik diferansiyel MOD diye adlandırılır.

Konumu bilinen noktadaki alıcı esas alıcı diye adlandırılır ve konumu bilinmeyen diğer alıcı da gezici alıcı diye adlandırılır. Esas alıcı her uyduya olan anlık menzili hesaplar (kendi konumunda ve uygun uydulara). Uygun uydulara ölçülmüş menzilleri kendi hesapları ile karşılaştırır. İkisi arasındaki fark uygun uyduya olan menzil hatasıdır (doğruluk değeri), burada gezici uyduya veriler raporlanır. Gezici uydu uygun uydulara kendi ölçtüğü menzil değerlerinden raporlanan doğruluk değerlerini çıkarır ve konumunu daha iyi doğrulukla hesaplar.

Uyduların işaretlerine ve saatlerindeki değişimler doğruluk değerlerini zamanla hızlı bir şekilde değiştirir. Bu yüzden ana alıcı çabucak menzil hatalarını hesaplamalı ve onları gezici ye aktarmalıdır.

Esas alıcının konumunun doğruluk bilgisi gezici tarafından hesaplanmış doğruluk bilgisini etkiler. Belli bir yönde esas alıcının kapalı olduğu bir konuma girerse, esas alıcı

tarafından gönderilen bütün menzil hataları kapalı olacak ve gezicinin konumu' da aynı yönde kapalı olacaktır.

Ana ve gezici uydu arasındaki mesafe ANAHAT (BASELINE) diye adlandırılır. ANAHAT küçük olduğu zaman, alıcılar birbirine çok yakın olduğu zaman iki alıcının menzil hataları yaklaşık olarak bilinir, böylece esas uydu tarafından hesaplanan değerler gezicinin yerini doğrulamak için kullanılabilir. ANAHAT uzadıkça menzil hataları arasındaki korelasyon daha zayıf olur. Başka bir deyişle gezicinin esas' a yakınlığına bağlı olarak artan hatalar hesaplanacaktır. Çift frekanslı alıcı kullanıldığında kilometre başına 1 mm' lik hata bulunabilir.

Diferansiyel MOD MULTİPATH ve alıcılardan kaynaklan hataların çoğunu yok eder. Buradaki hatalar her alıcı için yereldir ve diferansiyel MOD tarafından iptal edilemez.

Alıcı hatası tipik olarak kod fazı için yaklaşık 10 cm ve taşıyıcı fazı için 1 mm dir. Yüksek kaliteli alıcılarda bu hatalar birkaç kez daha küçüktür. MULTİPATH hatası kod fazı için birkaç metre ve taşıyıcı için birkaç santimetre olabilir. Eğer her nasılsa MULTİPATH hatası ile ilgilenilirse taşıyıcı fazı için milimetre seviyesinde ve kod fazı için desimetre doğruluk olur. Şimdi multipath hatalarının yok edildiğini varsayalım ve tartışmamıza devam edelim.

Geçmişte diferansiyel mod kod fazı ile DGPS diye, taşıyıcı fazı ile beraber Carrier Phase Differential (CPD) diye adlandırıldı. Gerçek zamanlı taşıyıcı difreansiyel fazı Real Time Kinematic (RTK) diye adlandırıldı. Gerçek zamanlı olmayan uygulamalar, statik yada kinematik terimlerle kullanıldı.

Taşıyıcı diferansiyel de hesaplamalar daha karışıktır. Çünkü biz bilinmeyen başlangıç çevrimleri ile ilgilenmek zorunda kalırız. Belirsiz tam çevrimlerin sayısını bulmak bizim birkaç dakikamızı alacaktır. Başlangıç tam bilinmeyi belirlendikten sonra takip eden konum hesaplamaları ani olarak yapılır. Uzun zaman boyunca en az 4 uydu

izlenir. Diğer uydulara olan kilitlerin kaybolması konum hesaplamalarında sürekli etkili olmaz. Eğer 4 uydunun altına düşülürse, tekrar başlangıç değerlerini hesaplamak için uydulara tekrar kilitlenilir (kilitlenme birkaç dakika alabilir).

2.9.2. DGPS

Normalde oluşan 100 metrelik hata payının en önemli kaynakları iyonferik ve troposferik gecikmeler ile ABD Savunma Bakanlığının ara sıra kısıtlı müdahalesidir. Ancak, konumu bilinen bir noktaya alıcı yerleştirilerek GPS çözümündeki hatanın tespiti mümkün olmaktadır. Hata payı hemen arazideki diğer GPS alıcılara ulaştırılırsa, bu alıcıların gerekli düzeltmeyi yaparak 1 metrenin altında hassasiyet sağlamaları mümkündür. Hata payını etkileyen diğer faktörler uydu şebekesinin o anda uzaydaki dağılımı, arazi koşulları ve GPS alıcısının kalitesidir.

DGPS de hatalar esas alıcıdan gezici alıcıya gerçek zamanlı olarak aktarıldığı zaman, sistem gerçek zamanlı DGPS diye adlandırılır. Burada doğruluk değerleri gerçek zamanda hesaplanır. Bu alanlarda bazı uygulamalar için işlem yapılması gerektiğinden rahatsız vericidir. Eğer gerçek zamanlı sonuçlar önemli değilse (doğru haritaları yapmak için), ölçüler esas ve gezici alıcılarda kayıt edilir, daha sonraları gezicinin doğru konumu için her örnek bilgisayarda hesaplanır. Bu GPS de sonraki süreç diye adlandırılır.

DGPS uydulara olan mesafeyi kod fazında ölçmek için yapılmıştır. Kod fazı her metresinde bir tik işareti olan ŞERİT' i ölçmeye benzetilebilir. Uydulara kilitlendiğimizde bu ölçüm şeridinde metre işaretleri ve sayıları gözükür. Bununla beraber mesafeleri hemen ölçebiliriz fakat doğru bir şekilde değil. Özet olarak;

- Esas alıcının doğruluk bilgisi gezici tarafından hesaplanan konumun doğruluğunu etkiler.
- Diferansiyel mod multipath ve alıcı hataları dışındaki tüm hataları yok eder. Eğer multipath hataları yok edilebilirse taşıyıcı fazında milimetre seviyesinde doğruluk ve kod fazında desimetre seviyesinde doğruluğa sahip olunabilir.

- DGPS, uydulara olan mesafeyi kod fazına göre yapar. Mesafeler doğru olmayan bir biçimde hemen ölçülebilir.

2.10. GPS Verilerinin Formatı (NMEA 0183)

GPS alıcıları alıcıları uydulardan aldıkları verileri NMEA 0183 standardında çıktı olarak oluşturur. Bu standart cümleciklerden oluşur.

Uydulardan gelen GPS verileri metin dosyasına aşağıdaki gibi saklanır. Burada satır başlarında yer alan \$GPRMB gibi ifadeler o cümleciğin kodunu belirtir. Bu kod değerine göre o satırdaki bilgilerin anlamları öğrenilir. Programlama dillerindeki metin işleme komutları ile istenen veriler alınır. Aşağıdaki örnek'te GPS sinyaliyle alınmış veriler bir cevrimi oluşturur. Kodlar aşağıdaki gibi tekrarlanır.

\$GPRMB,A,,,,,,,,,A,A*0B

\$GPGGA,093526,4047.4141,N,02930.7107,E,1,10,0.9,124.1,M,38.9,M,,*4B

\$GPGSA,A,3,,06,10,15,16,17,18,21,,25,29,30,1.6,0.9,1.3*39

\$GPGSV,3,1,12,03,04,292,00,06,49,087,47,10,11,036,45,15,34,238,41*7B

\$GPGSV,3,2,12,16,41,308,45,17,08,050,40,18,34,161,47,21,84,285,41*72

\$GPGSV,3,3,12,22,08,186,00,25,13,239,00,29,03,074,36,30,23,157,47*7C

\$GPGLL,4047.4141,N,02930.7107,E,093526,A,A*42

\$GPBOD,T,,M,,*47

\$PGRME,4.1,M,5.4,M,6.8,M*24

\$PGRMZ,407,f,3*18

\$PGRMM,WGS 84*06

\$GPRTE,1,1,c,*37

\$GPRMC,093528,A,4047.4141,N,02930.7201,E,12.9,98.4,120304,4.2,E,A*18

En çok kullanılan GPS kodları \$GPGGA, \$GPGLL, \$GPGSA, \$GPGSV, \$GPRMC ve \$GPVTG dir.

\$GPGGA (Düzeltilmiş Veri):

Örnek (sinyal alınmamış) :

\$GPGGA,235947.000,0000.0000,N,00000.0000,E,0,00,0.0,0.0,M,,,0000*00

Örnek (sinyal alınmış) :

\$GPGGA,092204.999,4250.5589,S,14718.5084,E,1,04,24.4,19.7,M,,,0000*1F

Tablo 2.1. GPGGA kodunun alanları

Alan	Örnek	Açıklama
Cümle ID	\$GPGGA	
UTC Zamanı	092204.999	hhmmss.sss
Enlem	4250.5589	ddmm.mmmm
N/S Göstergeci	S	N = Kuzey, S = Güney
Boylam	14718.5084	dddmm.mmmm
E/W Göstegeci	E	E = Doğu, W = Batı
Konum Bilgisi	1	0 = Geçersiz, 1 = Geçerli SPS, 2 = Geçerli DGPS, 3 = Geçerli PPS
Kullanılan Uydu	04	Uydular 0-12 aralığındadır.
HDOP	24.4	Horizontal dilution of precision
Denizden Yükseklik	19.7	WGS-84 elipsoidine göre metre cinsinden denizden yükseklik.
Denizden Yükseklik Birimi	M	M = Metre
Geoid Ayrım		WGS-84 elipsoidine göre metre cinsinden ayrım.
Ayrım Birimi		M = Metre
DGPS Yaşı		DGPS verisinin 1 saniyedeki yaşı
DGPS İstasyon ID	0000	
Kontrol Biti	*1F	
Ayraç	CR/LF	

\$GPGLL (Konum) :

Örnek (sinyal alınmamış) : \$GPGLL,0000.0000,N,00000.0000,E,235947.000,V*2D

Örnek (sinyal alınmış) : \$GPGLL,4250.5589,S,14718.5084,E,092204.999,A*2D

Tablo 2.2. GPGLL kodunun alanları

Alan	Örnek	Açıklama
Cümle ID	\$GPGLL	
Enlem	4250.5589	ddmm.mmmmm
N/S Göstergeci	S	N = Kuzey, S = Güney
Boylam	14718.5084	dddmm.mmmmm
E/W Göstegeci	E	E = Doğu, W = Batı
UTC Zamanı	092204.999	hhmmss.sss
Durum	A	A = Geçerli, V = Geçersiz.
Kontrol Biti	*1F	
Ayraç	CR/LF	

\$GPGSA (Aktif Uydular) :

Örnek (sinyal alınmamış) : \$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,0.0,0.0,0.0*30

Örnek (sinyal alınmış) : \$GPGSA,A,3,01,20,19,13,,,,,,,,,40.4,24.4,32.2*0A

Tablo 2.3. GPGSA kodunun alanları

Alan	Örnek	Açıklama
Cümle ID	\$GPGSA	
Mod 1	A	A = Otomatik 2D/3D, M = Zorunlu 2D/3D
Mod 1	3	1 = Düzeltme yok, 2 = 2D, 3 = 3D
Kullanılan uydu 1	01	1 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 2	20	2 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 3	19	3 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 4	13	4 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 5		5 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 6		6 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 7		7 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 8		8 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 9		9 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 10		10 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 11		11 kanalda kullanılan uydu
Kullanılan uydu 12		12 kanalda kullanılan uydu
PDOP	40.4	Position dilution of precision
HDOP	24.4	Horizontal dilution of precision
VDOP	32.2	Vertical dilution of precision
Kontrol Biti	*0A	
Ayraç	CR/LF	

\$GPGSV (Görünen Uydular) :

Örnek (sinyal alınmamış) : \$GPGSV,1,1,01,21,00,000,*4B

Örnek (sinyal alınmış) :

\$GPGSV,3,1,10,20,78,331,45,01,59,235,47,22,41,069,,13,32,252,45*70

Tablo 2.4. GPGSV kodunun alanları

Alan	Örnek	Açıklama
Cümle ID	\$GPGSA	
Mesaj Sayısı	3	Tüm çevrimdeki mesaj sayısı (1-3)
Sıra Numarası	1	Bu çevrimdeki sıra numarası (1-3)
Görünen Uydular	10	
Uydu ID 1	20	1-32 aralığı
Denize Oranla Yükseklik 1	78	Denizden derece cinsinden yükseklik (0-90)
Azimuth 1	331	Derece cinsinden azimuth değeri (0-359)
SNR 1	45	Sinyalin gürültü payı dBHZ (0-99)
Uydu ID 2	01	1-32 aralığı
Denize Oranla Yükseklik 2	59	Denizden derece cinsinden yükseklik (0-90)
Azimuth 2	235	Derece cinsinden azimuth değeri (0-359)
SNR 2	47	Sinyalin gürültü payı dBHZ (0-99)
Uydu ID 3	22	1-32 aralığı
Denize Oranla Yükseklik 3	41	Denizden derece cinsinden yükseklik (0-90)
Azimuth 3	069	Derece cinsinden azimuth değeri (0-359)
SNR 3		Sinyalin gürültü payı dBHZ (0-99)
Uydu ID 4	13	1-32 aralığı
Denize Oranla Yükseklik 4	32	Denizden derece cinsinden yükseklik (0-90)
Azimuth 4	252	Derece cinsinden azimuth değeri (0-359)
SNR 4	45	Sinyalin gürültü payı dBHZ (0-99)
Kontrol Biti	*70	
Ayraç	CR/LF	

\$GPRMC (Konum ve Zaman) :

Örnek (sinyal alınmamış) :

\$GPRMC,235947.000,V,0000.0000,N,00000.0000,E,,,041299,,*1D

Örnek (sinyal alınmış) :

\$GPRMC,092204.999,A,4250.5589,S,14718.5084,E,0.00,89.68,211200,,*25

Tablo 2.5. GPRMC kodunun alanları

Alan	Örnek	Açıklama
Cümle ID	\$GPRMC	
UTC Zamanı	092204.999	hhmmss.sss
Durum	A	A = Geçerli, V = Geçersiz
Enlem	4250.5589	ddmm.mmmm
N/S Göstergeci	S	N = Kuzey, S = Güney
Boylam	14718.5084	dddmm.mmmm
E/W Göstegeci	E	E = Doğu, W = Batı
Yerdeki Hız	0.00	Knots (1 knot = 1.85 km)
Yerdeki Yönü	0.00	Derece
UTC Tarihi	211200	DDMMYY
Manyetik Değişim		Derece
Manyetik Değişim		E = Doğu, W = Batı
Kontrol Biti	*1F	
Ayraç	CR/LF	

\$GPVTG (Yeryüzündeki Yön) :

Örnek (sinyal alınmamış) : \$GPVTG,,T,,M,,N,,K*4E

Örnek (sinyal alınmış) : \$GPVTG,89.68,T,,M,0.00,N,0.0,K*5F

Tablo 2.6. GPVTG kodunun alanları

Alan	Örnek	Açıklama
Cümle ID	\$GPVTG	
Yön	89.68	Yönün derecesi
Referans	89.68	T = Doğru başlık
Yön		Yönün derecesi
Referans	89.68	M = Manyetik başlık
Hız	0.00	Yatay hız
Birimler	N	N = Knots
Hız	0.00	Yatay hız
Birimler	K	K = KM/h
Kontrol Biti	*1F	
Ayraç	CR/LF	

3. KALMAN FİLTRESİ

3.1. Kalman Filtresinin Tarihçesi

1960 yılında, R.E. Kalman ünlü makalesi olan kesikli-veri lineer filtreleme problemini, tekrarlı (recursive) çözüm şeklinde yayınladı. Bu filtrelemenin geçmişi aslında Gauss (1795) dağılımına kadar dayanır.

Birçok bilim adamı Kalman Filtresini değişik ifadeler ile tanımlamışlardır. Bu tanımlardan bazıları şunlardır. Maybeck, Kalman Filtresini optimal tekrarlı bir veri işleme algoritması şeklinde tanımlamıştır (Maybeck, 1979). Grewal ve Andrews lineer dinamik bir sistemin durum vektörlerinin kestiriminde kullanılan lineer küresel bir kestirim operatörü şeklinde (Grewal ve Andrews, 1993), Dan Simon ise kısaca matematiksel olarak lineer sistemlerin durumunun tahmin edilmesi olarak tanımlamıştır (Dan Siemon, 1998). Levy'ye göre ise ölçüler kartezyen koordinatla yapılmışsa, ölçü hataları bağımsız, normal dağılımlı kabul edilirse ve hedef davranışı önceden bilinirse; Kalman filtresi, hedef, konum ve hızın en küçük kareler hatası kestirimini sağlar (Levy 2001).

Kalman filtresi matematiksel denklemler' den oluşur ve en küçük kareler yöntemi ile etkili ölçümler (tekrarlı) sağlar. Bu filtre birçok açıdan çok güçlüdür. Geçmiş, bulunduğumuz ve gelecek zamandaki durumları tahmin edebilir. Bu tahminleri sistemin modeli bilinmesede yapabilir. Temel olarak uzay araçlarının yönetilmesi için geliştirilen Kalman Filtresinin kullanım alanı son zamanlarda hızla yaygınlaşmıştır. Hareketli hedeflerin konumlarının belirlenmesinde Kalman Filtresi yaygın olarak kullanılır.

3.2. Kalman Filtresi Modeli

Hareketli bir hedef için Kalman Filtresi, hedef hareketinin aşağıdaki kabullere dayandığını esas alır. Bu, hedef hareketinin sabit hızlı bir çizgi üzerindeki nokta gibi hareket etmesidir. Gerçekte, hedef hızı sabit olmayacaktır. Eğer biz hedef, konum ve

hızı durum vektörü $x(t)$ ile t anında gösterirsek, sabit hız tahmini $t+T$ anındaki durum $x(t+T) = \Phi(T)x(t) + w(t)$ ile verilecektir. Burada; $\Phi(T)$, T anlık zaman aralığı için durum dönüşüm matrisi, $w(t)$ toplam hata unsurunu gösterir ve normal dağılımlı farzedilir (Kalman 1960, Levy 2001, Stansfield 2001, İnce 1999).

$$x(t+T) = \Phi(T)x(t) + w(t) \quad (3.1)$$

Hedef model hata kovaryans matrisi $Q(t) = E[w(t)w(t)^T]$ bilinen varsayılr. Burada “ T ” matris transpozisini ve $E[\]$ istatistik ümit değeri göstermektedir. Hedef üzerindeki ölçü vektörü eğer $y(t)$ ile gösterilirse, gerçek durum vektörü $x(t)$ ’ye bağlı varsayılan ölçü hatası, $y(t) = Hx(t) + v(t)$ olur. Burada H ölçü matrisi ve $v(t)$ ölçü hatasıdır, $w(t)$ durum hatasından bağımsız ve normal dağılımlı olduğu varsayılır (Kalman 1960, Levy 2001).

$$y(t) = Hx(t) + v(t) \quad (3.2)$$

Ölçü hatası $v(t)$ nin varyans-kovaryansı $R(t) = E[v(t)v(t)^T]$ de biliniyor varsayılr. Bütün bu bakış açısında temel olarak Kalman filtresi için matematik model aşağıda iki denklem takımı ile gösterilir (Levy 2001, Stansfield 2001).

$$x(t+T) = \Phi(T)x(t) + w(t), \quad Q(t) = E[w(t)w(t)^T] \quad \text{Durum} \quad (3.3)$$

$$y(t) = Hx(t) + v(t), \quad R(t) = E[v(t)v(t)^T] \quad \text{Ölçü} \quad (3.4)$$

Kalman filtre işlemi, $t = t_k$ anındaki $x(t_k)$ durum vektörünün optimum kestirimi $\hat{x}(t_k)$ ’dir, $n = 1, 2, 3, \dots, k$ için $t = t_n$ anındaki ölçüler esas alınır. Mantıktaki ardışık işlem, yeni ölçü uyarlamalarıdır, yeni kestirim $\tilde{x}(t_k)$ formülünün yeni bilgi $y(t_k)$ ’e işlemi sayesinde önceki en iyi kestirim $\tilde{x}(t_{k-1})$ elde edilir. Terminolojik olarak burada

ölçüdeki yeni bilgi içerikleri bulunup gösterilmiştir. Temel Kalman Filtresi için gerçek denklemler formül olarak aşağıdaki gibi yazılabilir (Kalman 1960, Levy 2001, Axelrad ve Brown 1994).

$$z_k = y_k - H_k \tilde{x}_k \quad \text{Innovation} \quad (3.5)$$

$$\hat{x}_k = \tilde{x}_k + K_k z_k \quad \text{Kestirim} \quad (3.6)$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \Phi_k \hat{x}_k \quad \text{Öncül kestirim} \quad (3.7)$$

$$K_k = \tilde{P}_k H_k^T [H_k \tilde{P}_k H_k^T + R_k]^{-1} \quad \text{Kalman kazancı} \quad (3.8)$$

$$\hat{P}_k = [I - K_k H_k] \tilde{P}_k \quad \text{Kestirim kovaryansı} \quad (3.9)$$

$$\tilde{P}_{k+1} = \Phi_k \hat{P}_k \Phi_k^T + Q_k \quad \text{Öncül kestirim kovaryansı} \quad (3.10)$$

Sunum kolaylığı için $x_k = x(t_k)$ kullanılabilir. Denklemler en genel formda gösterilirse, durum dönüşüm matrisi ve ölçü matrisi değişmeyen sabit bir matris değildir. Genelde matrislerin boyutlandırılmasında herhangi bir kısıtlama yoktur. Fakat tabi ki modelin başlangıç şartlarını bağlıdır. Yani durum ve ölçü denklemleri lineerdir ve bu ölçü ve durum hataları normal dağılımlı, bağımsızdır (Levy 2001, Axelrad ve Brown 1994).

Durum kestirimi $\hat{x}$ 'in kestirilen hata kovaryansı $\hat{P}$, ölçülerin bağımsızlığını gösterir. Gerçekte; eğer istenirse, hata kovaryansı hesaba hazırlanmadan önce hiçbir ölçü yapılmaz. Bu, temeli oluşturan hata kovaryans matrisi Q ve R önceden bilindiği varsayımının direk sonucudur (Levy 2001, Axelrad ve Brown 1994).

GPS alıcısından alınan HDOP değerini aşağıda gösterildiği kurallara göre iki parçaya ayrıldı. Her kalman döngüsünde R_k (ölçü hatası) matrisinin bu değerler ile güncellenmesini sağlandı.

$$\text{HDOP}^2 = D_{11} + D_{22} \quad (3.11)$$

$$D_{22} = (2/3) * D_{11} \quad (3.12)$$

olarak alınırsa D_{11} ve D_{22} değerleri HDOP cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D_{11} = (3/5) * HDOP^2 \quad (3.13)$$

$$D_{22} = (6/15) * HDOP^2 \quad (3.14)$$

D_{11} ve D_{22} değerleri 2x2 boyutlu ölçü matrisinin köşegenlerine atanır. Bu atama işleminde değerler de yerlerine konursa sonuç aşağıdaki gibi olacaktır.

$$R_k(1,1) = (3/5) * HDOP_k^2 \quad (3.15)$$

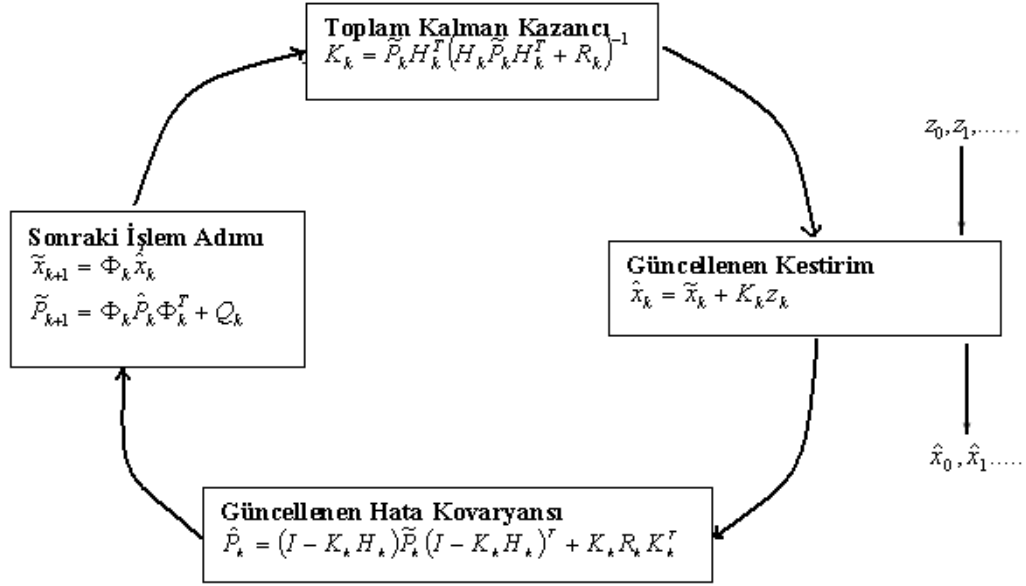
$$R_k(2,2) = (6/15) * HDOP_k^2 \quad (3.16)$$

Kalman filtresinde kullandığımız Q (Gürültü Hatası), Φ_k (Durum Dönüşümü), I (Birim), H_k , $\tilde{P}_0$ (Hata Koveriansı), $\tilde{x}_0$ (Durum Kestirimi) ve R (Ölçü Hatası) matrislerinin ilk değerleri aşağıdadır.

$$Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

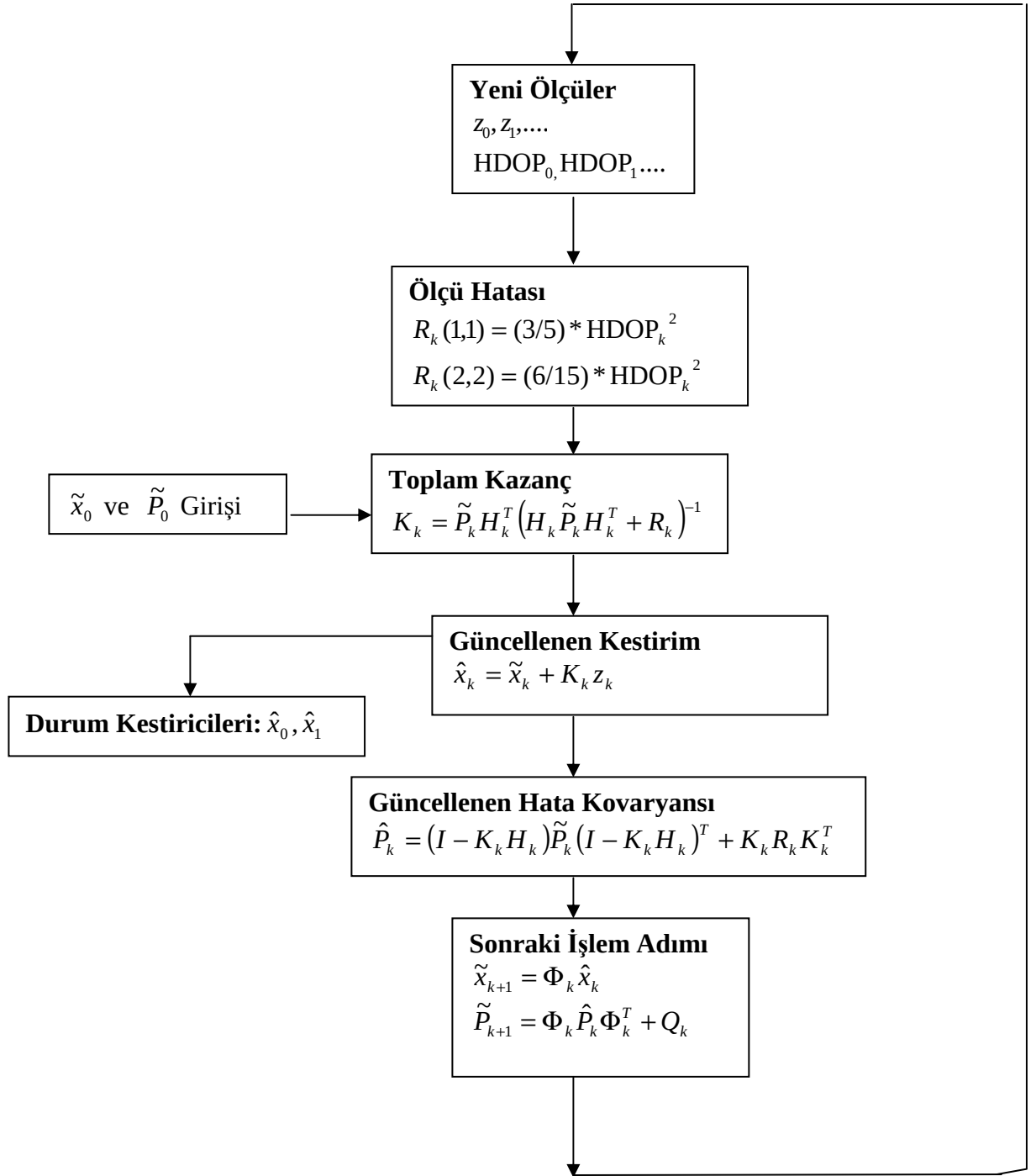
$$\tilde{x}_0 = \begin{bmatrix} A(1,2) \\ 0 \\ A(1,3) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$H_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \tilde{P}_0 = (1/3) * I \quad R_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$



Şekil 3.1. Kalman Filtresi Modeli

Yukarıdaki şekilde Kalman Filtresinin çalışma mantığı gösterilmektedir. Aşağıdaki akış diyagramında ise oluşturulan Kalman Filtresi içindeki ölçü matrisinin nasıl değiştiği gösteriliyor. Burada $\tilde{x}_0$ ve $\tilde{P}_0$ başlangıç koşulları, belli bir yaklaşımla bilinmelidir. $\tilde{x}_0$ ve $\tilde{P}_0$ ilk GPS ölçme değerlerine de eşit alınabilir.



Şekil 3.2. Ölçü Hatalarının Kalman Filtresi Modelinde Kullanımı

4. BULANIK MANTIK

4.1. Bulanık Mantığın Tarihçesi

Bulanık mantığın içeriği Berkley'deki Kaliforniya Üniversitesinde bir profesör olan Lotfi Zadeh tarafından tasarlandı. Sunum bir kontrol yöntemi şeklinde yapılmadı. Üyesizlik yada düzenli küme üyelikleri yerine kısmi küme üyeliklerine izin veren veri işleme şeklinde anlatıldı. Küme teorisindeki bu yaklaşım, 1970'li yıllara kadar yetersiz bilgisayar kapasitesinden dolayı kontrol sistemlerine uygulanmadı. Profesör Zadeh insanların çok hassas sayısal bilgi girişlerine ihtiyaç olmadığını düşündü. Ona göre yeterli seviyede kontrol kapasitesi vardı. Eğer geri besleme kontrolleri, gürültü, tam olmayan girişler olmaya programlanabilseydi onlar daha kullanışlı ve uygulanması daha kolay olabilirdi. Ne yazık ki Birleşik Devletlerin fabrikatörleri bu teknolojiyi anlamaları hızlı olmadı. Bu sırada Avrupalılar ve Japonlar etkileyici gerçek ürünler yapıyorlardı.

4.2. Bulanık Mantık Nedir ?

Bulanık mantık bir problem çözme kontrol sistem metodolojisidir. Kendisini basit, küçük, gömülü mikro-kontrolörler olan genişlerine, şebekeli, çok kanallı kişisel bilgisayarlar veya veri sorgulamalı iş istasyonları ve kontrol sistemlerine uygulayabilir. O donanım, yazılım yada her ikisinin kombinasyonu şeklinde uygulanabilir. Bulanık mantık belirsizliklerin, gürültü veya kayıp bilgi girişlerinin basit bir yöntemle tanımlanmasını sağlar. Bulanık mantık kontrol problemlerine benzer. Bir insan kararlarını daha hızlı nasıl verebilir.

4.3. Bulanık Mantığın Geleneksel Kontrol Yöntemlerinden Farkı

Bulanık mantık, kontrol problemlerinin çözümünde basit kural tabanlı "EĞER X VE Y İSE Z" haline getirir. Bu problemi bir matematik sistemiyle modellemeye çalışmaz. Bulanık mantık modeli kesin olarak operatörün tecrübelerine güvenir.

Sisteminin teknik anlamaları dikkate alınmaz. Örneğin ısı kontrolünde, “SP = 500F”, “T < 1000F” yada “210C < ISI < 220C” terimleri ile uğraşmak yerine, “EĞER (süreç çok sıcak) VE (süreç soğuyor) İSE (sürece ısı ekle)” yada “EĞER (süreç çok sıcak) VE (süreç hızlı bir şekilde ısınıyor) İSE (süreci çabucak soğut)” şekli kullanılır. Buradaki terimler kesin olmayan, ne olacağını ifade eden açıklama bilgileridir. Duşta ısı çok soğuk olduğunda ne yaptığınızı düşünün, suyu çok sıkıntı çekmeden hızlı bir şekilde yeterli ısıya getirirsiniz. Bulanık mantık çok yüksek oranlarla bu tip davranışları taklit edebilir.

4.4. Bulanık Mantık Nasıl Çalışır ?

Bulanık mantık bazı sayısal parametrelere ihtiyaç duyar. Bunlar sırasıyla, düşünülen yeterli hata ve hata değişikliklerinin yeterlilik oranı işlemek için kullanılır. Buradaki sayıların tam değerleri genellikle performans uyumu çok gerekmedikçe kritik değildir. Örneğin basit bir ısı kontrol sistemi, tek bir ısı geri besleme algılayıcısı kullanılabilir. Burada veri komut satırındaki hataların ve zaman farklılıklarındaki hata değişikliklerinin çıkartılması ile bulunur. Hata F’ nin derece birimi olabilir. Küçük bir hata 2F iken büyük hata 5F olarak düşünülebilir. Hata noktası en düşük dakikada 5F biriminde ve en yüksek dakikada 15F biriminde olabilir. Buradaki değerler simetrik olmak zorunda değildir. Sistemin performansını optimize etmek için bir kere uygulanabilir. Genellikle bulanık mantık bu yüzden ilk çalışırken “tweak” etmeyi unuttur.

Bulanık mantık verileri sıralama ve düzenleme için en iyi method olarak tasarlandı. Küçük el ürünlerinde, karmaşık süreç kontrol sistemlerine kadar her yerde uygulanabilir. Kesin olmayan fakat çok açıklayıcı bir ifadeyle giriş verisini bir insan operatörü gibi yapar. Çok kaba ve operatörün veri girişlerini unutması ve genellikle ilk kez uygulandığında sorunsuz veya çok düşük sorunla uygulanır.

4.5. Bulanık Mantığı Niçin Kullanırız ?

Bulanık mantık birçok eşsiz özellik sunar. Bunlar birçok kontrol probleminin çözümünde iyi bir seçimdir.

1. Doğal olarak sağlamdır. Çok hassas olmayı gerektirmez, gürültü – serbest girişleri, eğer geri besleme algılayıcısı çıkılırsa yada tahrip olursa güvenli bir şekilde durma için programlanabilir. Çıkış kontrolü geniş giriş varyasyonlarına rağmen pürüzsüz kontrol fonksiyonudur.
2. BM kontrolörlerinin, kullanıcı tanımlı kuralları hedef kontrol sisteminde işlemesinden beri, o sistemdeki şiddetli performans değişiklikleri veya geliştirmek için tweak edilebilir ve değiştirilebilir. Yeni algılayıcılar doğru idare kurallarının oluşturulması ile basitçe sistemle birleştirilebilir.
3. BM birkaç geri besleme çıkışı ve bir veya iki kontrol çıkışı ile sınırlı değildir. Ölçüm yada parametrelerde sırasındaki değişimlerin oranının hesaplanması uygulama için yeterli değildir. Herhangi bir algılayıcının başlangıç verileri sistemin aksiyon ve reaksiyonları için yeterlidir. Bu algılayıcıların ucuz, hassas olmayan bu yüzdende bütün sistemi ucuzlatan ve karmaşıklığı düşürmeye izin verir.
4. Kural tabanlı süreçlerden dolayı, giriş için herhangi mantıklı sayı işlenebilir (1–8 yada fazla) ve sayısal çıkışlar (1–4 arası yada fazlası) oluşturulabilir. Buna rağmen kuralların tanımlanması çabucak karmaşılaşır eğer çok sayıda giriş ve çıkışta tek uygulama için seçilirse birçok kuralı tanımlayan ilişki tanımlanır. Kontrol sistemini küçük parçalara ayırma daha iyidir. Birçok küçük BM kontrolörleri sisteme her birine daha fazla sorumluluk verilerek dağıtılabilir.
5. Bulanık Mantık lineer olmayan sistemlere uygulanabilir, matematiksel olarak modellenmesi zor yada imkansız olabilir.

4.6. Bulanık Mantık Nasıl Kullanılır ?

1. Kontrol nesnelerini ve kriterlerini tanımla. Neyi kontrol etmek istiyorum ? Sistemi kontrol etmek için ne yapmalıyım ? Ne türlü cevaplara ihtiyacım var ? Sistemin mümkün olan başarısız olma durumları nelerdir?

2. Giriş ve çıkış ilişkilerini belirle ve en az sayıda girişi BM motoruna seç. (tipik hata ve hata değişimlerinin oranı)
3. Kural tabanlı bulanık mantık yapısının kullanılması, kontrol problemlerinin EĞER X VE Y İSE Z kuralı ile tanımlanması verilen sistemin giriş koşulları için istenen sistemin çıkış cevapları üreten yapıya dönüştürür. Kuralların karmaşıklığı ve sayısı, giriş parametrelerin sayısına bağlıdır. Her parametre ile ilişkili bulanık değişiklerin sayısı işlenebilir. Eğer mümkünse en az bir değişken ile onun zaman türevini kullanın. Hatta tek kullanılabilir, bir anlık hata parametresi değişikliğin oranını bilmeden, bu sistemin bir adımlık girişi aşırı azaltma yeteneğini bozar.
4. Bulanık mantık üyelik fonksiyonunu oluştur. Bu fonksiyon Giriş / Çıkış terimlerinin kurallarda kullanışlarını tanımlar.
5. Gerekli önceki ve sonraki süreçleri BM rutinleri için oluştur (Eğer S/W' de uygulanırsa). Başka türlü kuralları BM H/W motoruna göre programla.
6. Sistemi test et. Sonuçları dene, kuralları ve üyelik fonksiyonlarını uyumlu yap ve yeterli sonuçlar alınana kadar testleri yap.

4.7. Dilbilim Değişkenleri

1973 yılında profesör Lotfi Zadeh dil' in içeriğini yada “bulanık” değişkenleri tasarladı. Onların düşüncesinde dil' e ait nesneler yada kelimeler sayıların yerine idi. Algılayıcı girişi bir isimdir (ısı, yerinden çıkarma, sürat, akış basınç). Hatanın sadece fark olmasından beri, o aynı şekilde düşünülebilir. Bulanık değişkenlerin kendileri değişkenleri değiştiren niteleyicidir (“geniş olumlu” hata,” küçük olumlu” hata, ”sıfır” hata, “küçük olumsuz” hata ve “geniş olumsuz” hata). En düşük olarak, birisi ”olumlu”, “sıfır” ve”olumsuz” değişkenlere her parametre için sahip olabilir. Ek aralıklar.”çok geniş” ve “çok küçük” gibi lineer olmayan koşullarda eklenebilir, fakat basit bir sistemde yeterli değildir.

BM çok hassas girişlere ihtiyaç duymaz. Doğal olarak sağlamdır ve girişteki mantıklı sayıları işleyebilir. Fakat sistemin karmaşıklığı daha çok giriş ve çıkışla

hızlıca artar. Dağıtık işlemcilerin uygulaması kolay olabilir. Basit düz dil, EĞER X VE Y İSE Z kuralı istenen sisteme terimlerin dilindeki matematik formüllerine cevap vermek için tanımlar. Buradaki sayısı giriş ve çıkış sayısına ve tasarımcının kontrolünün cevap amacına bağlıdır.

4.8. Kural Matrisi

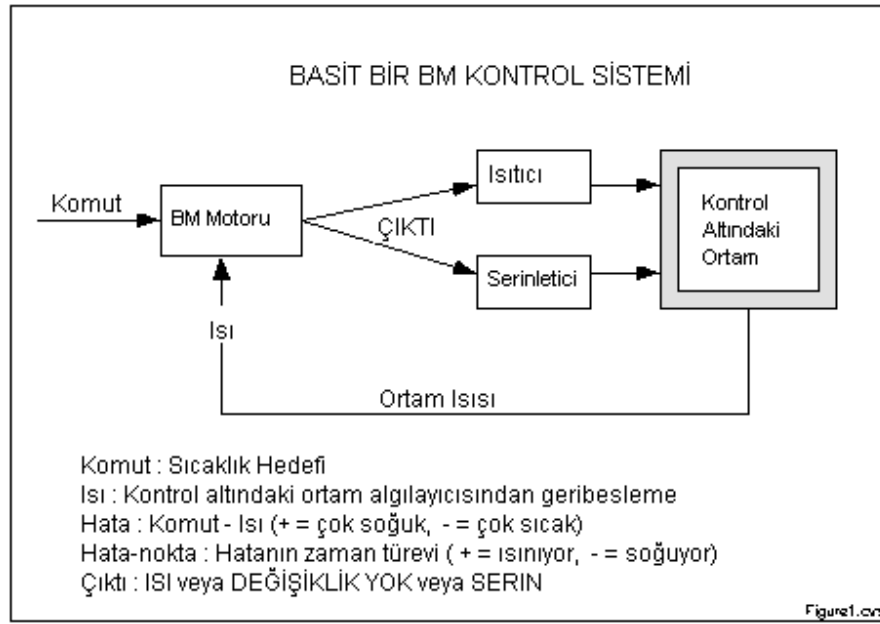
Yukarıda dilbilim değişkenlerinin içeriği anlatıldı. Hatanın bulanık parametreleri (komut-geri besleme) ve hata-nokta (hatanın değişme oranı) “eksi”, “sıfır” ve “artı” gibi sıfatlar ile değiştirildi. Bunu anlamak için en basit pratik uygulama olan 3x3 boyutunda bir matris hayal edin. Sütunlar “eksi”, “sıfır” ve “artı” “hata-nokta” girişleri soldan sağa doğru bilgileri ifade eder. Bu planlanmış yapı kural matrisi diye adlandırılır. İki giriş koşuluna sahiptir. Bunlar “hata” ve sonuçların cevaplarını oluşturur (her satır ve her sütun kesişimi). Bu durumda çıkan cevap sonuçları için dokuz ihtimalli mantıksal ürün (VE) vardır.

Bununla birlikte tam olarak gerekli değildir. Kural matrisi genellikle bir “sıfır” merkezli satır ve sütun bölgelerini sağlamak için tek sayıda satır ve sütuna sahiptir. Bu merkezde her nasılsa oluşan çakışma fonksiyonlarına ihtiyaç duymayabilir ve kabul edilebilir çıktılar için oluşan sürekli kararsızlığa, uygun “sıfır” bölgelerinden “aynı” çıktı cevaplarına kadar bu bölgenin olmayışı sistemin sıfırı aramasına sebep olur. Burada farklı sayıda satır ve sütuna sahip olmak mümkündür. Bu girişlerin nümerik derecelere ihtiyaç duyulduğunda oluşur. Olabilecek kuralların en büyük sayısı, basitçe satır ve sütunların sayısının ürünüdür, fakat buradaki kuralların hepsinin tanımlanması bazı giriş durumları pratik işlemlerde asla oluşmaz ise gerekli değildir. Bu yapının birinci hedefi mümkün olan olası girişleri sistem yeterli kontrol altında oldukça haritalamaktır.

4.9. Süreci Başlatma

Bulanık Mantığı uygulamanın birinci adımı neyin nasıl kontrol edileceğini tam olarak karar vermektir. Örneğin, biz basit bir ölçüm oran kontrolünü bir elektrik ısıtıcısı elemanı ve hızı değişen soğutma fanı ile tasarlamak istediğimizi varsayalım. Olumlu sinyal çıkışı 0-100 oranında ısı çağrısı yapar. Olumsuz sinyalde 0-100

oranında soğutma çağrısı yapar. Kontrol tam dengeleme ve bu aktif iki cihazın kontrolü ile sağlanabilir.



Şekil 4.1. Kontrol sisteminin basit bir akış diyagramı

Matriste dil ile ilgili değişkenleri ifade edebilmek için anlamlı bir sistem oluşturmak gereklidir. Bu örnek için aşağıdakiler kullanılacaktır.

“N” = “eksi” hata veya hata-nokta girişi seviyesi

“Z” = “sıfır” hata veya hata nokta giriş seviyesi

“P” = “artı” hata veya hata nokta giriş seviyesi

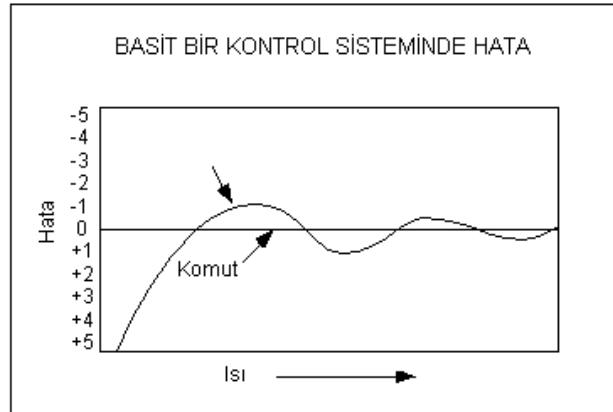
“H” = “ısı” çıktı cevabı

“-“ = “Değişiklik yok” o anki çıktı için

“C” = “Serin” çıktı cevabı

Mümkün olan en düşük sayıdaki ürün giriş kombinasyonunu tanımla ve buradaki terimleri kullanarak uygun çıktıların sonuçlarına yanıt ver. 3x3'lük ısıtma ve serinleme cevap çıktıları için bütün 9 kuralın tanımlanması gerekir. Her kural için çıktı cevapları ile ilişkili dil' e ait değişkenlerin kural sonuçları matrise çıkartılır.

4.10. Nasıl Ve Ne Kontrol Ediliyor



Şekil 4.2. Tipik bir kontrol sisteminin yanıtı

Şekil 2 tipik bir kontrol sisteminde komut ve hatanın nasıl görüldüğünü gösterir. Bu sistem dengeyi arayan komut belirleyicisi ile ilişkilidir.

TANIMLAMALAR

GİRİŞ#1 : (“Hata”, artı(P), sıfır(z), eksi(N))

GİRİŞ#2 : (“Hata-nokta”, artı(P), sıfır(Z), eksi(N))

SONUÇ # : (“Çıktı”, Isı(H), DEĞİŞİKLİK YOK(-), SERİN(C))

GİRİŞ#1 Sistem Durumu

Hata = Komut–Geri besleme

P = çok soğuk Z = Şimdi iyi N = çok sıcak

GİRİŞ#2 Sistem Durumu

Hata–nokta = $d(\text{Hata})/dt$

P = ısınmıyor Z = aynı N = soğuyor

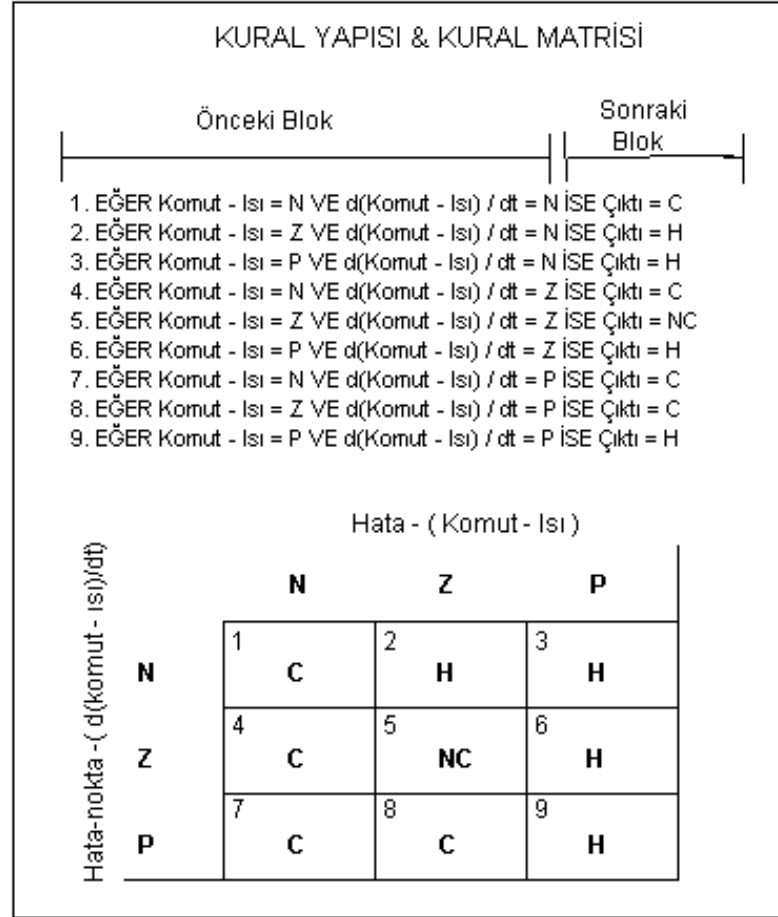
ÇIKTI Sonuçlar & Sistem Cevabı

ÇIKTI H = ısıtma için çağrı - =Hiç bir şey yapma C = Serinletme için çağrı

SİSTEM İŞLEME KURALLARI

Dilbilime ait kurallar kontrol sisteminin içeriğini iki parçada ifade eder; önceki blok (EĞER ve İSE arasında) ve sonuç bloğu (İSE’ yi izleyen kısım). Sisteme bağlı olarak mümkün olan her giriş kombinasyonunu değerlendirmek gerekemeyebilir (5x5 ve yukarısı matrisler için). Buna rağmen bazı istisnalar oluşabilir yada hiç

oluşmaz. Bu tip değerlendirme genellikle tecrübeli operatör tarafından yapılır, birkaç kural değerlendirilir. Bu yüzden işleme mantığının basitleştirilmesi ve belki de BM'nin sistem performansını geliştirir.



Şekil 4.3. ve 4.4. Kural Matrisi

Dokuz kurallı sonuçları matrise aktardığınızda, matriste fark edilebilir bir simetri vardır. Bu öneri (garanti değil) iyi davranışlı (lineer) sistemin sonucudur. Bu uygulama bazı kontrol problemlerinin oldukça basit olduğunu kanıtlayabilir, bununla beraber süreç' de simüle edilir. Hata ve hata-noktanın ekli seviyeleri, eğer arzulanan sistemin çağrı yanıtları bunun için ise dahil edilir. Bu kural tabanının ölçüsünü ve karmaşıklığını artırır fakat kontrolün kalitesi de artabilir. Şekil 4 önceki kurallardan türetilen kural matrisini gösterir.

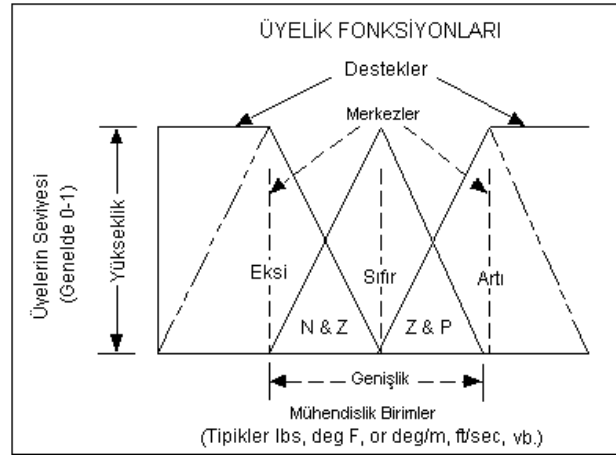
Dilbilim değişkenleri Bulanık Mantığın işleyen parametreler sistemini sunmada kullanılır. Kural matrisi, Bulanık mantık kontrol sistem kurallarının haritalanması için basit bir grafik aracıdır. İki giriş değişkeni sağlar ve onların

mantıksal ürününü bir çıkış değişkeni cevabı olarak ifade eder. Kullanmak için, girişlere bağlı düz İngilizce kuralları kullanarak sistemi tanımla, uygun çıkış cevap sonuçlarına karar ver ve bunları kural matrisine yükle.

4.11. Üyelik Fonksiyonları

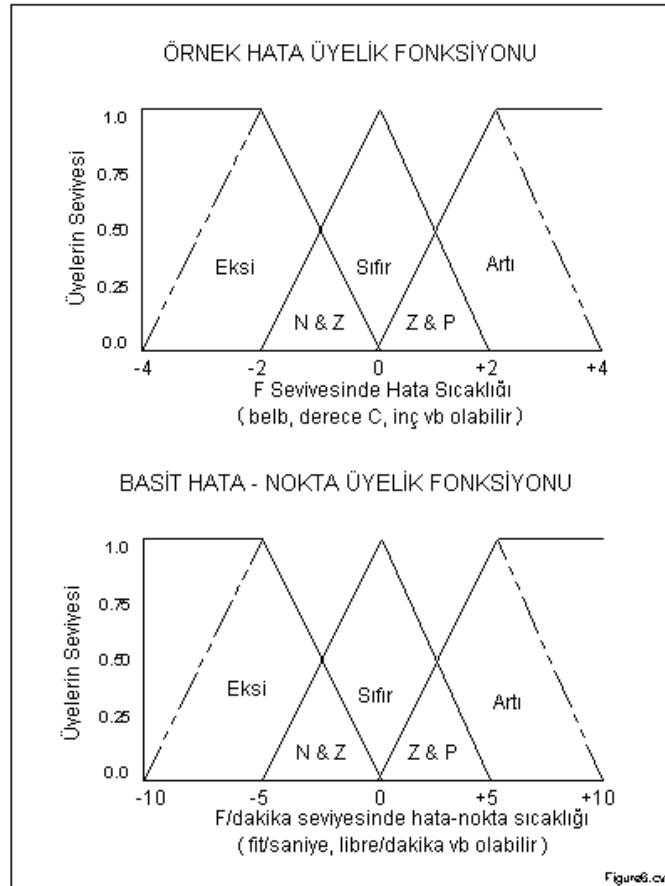
Son makalede kural matrisi tanıtıldı ve kullanıldı. Sonraki mantıksal soru bu kuralların nasıl uygulanacağıdır. Bu sonraki içerik olan üyelik fonksiyonuna rehberlik eder. Üyelik fonksiyonu, her girişin iştikakının büyüklüğünün grafiksel sunumudur. İşlenecek girişlerin her biri bir ağırlık ile ilişkilidir. Girişler arasındaki çakışma fonksiyonunu tanımla, ve nihayetinde çıkış cevabına karar verilir. Kurallar giriş üyelik değerlerini ağırlık faktörü olarak kullanır. Bunu onların son çıktı sonuçlarının bulanık çıktı kümelerinin etkisini tanımlarken kullanılır. Fonksiyonlar bir kez anlaşıldığında, ayarlandığında ve birleştirildiğinde onlar “defuzzified” olur, düzenli çıktılar sistemi devam ettirir. Her giriş ve çıkış yanıtı için ilişkili farklı üyelik fonksiyonları vardır. Not almak için bazı özellikler

ŞEKİL – üçgen şeklindeki geneldir, fakat zil, trapezik, hevesinin ve exponential kullanılır. Daha karmaşık fonksiyonlar mümkün fakat uygulamak için daha büyük hesaplama yüküne ihtiyaç duyulur. YÜKSEKLİK veya büyüklük (genellikle 1’e normalize edilmiş) GENİŞLİK (fonksiyonun tabanı), OMUZLAMAK (eğer bir dış fonksiyon ise en büyük yükseklik kilitlenir. Desteklenmiş fonksiyonlar onların merkezinden 1,0 geçen olarak sağlar) MERKEZ noktaları (üyelik fonksiyon şeklinin merkezi) ÇAKIŞIR (N&P, Z&P, tipik olarak genişliğin %50’si kadar fakat daha az olabilir



Şekil 4.5. Üyelik fonksiyonlarının özellikleri

Şekil 4.5. üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonlarının modeller. Bu örnekte matematiksel basitliğinden dolayı kullanılmıştır. Diğer şekiller kullanılabilir fakat üçgen şekli bu modelin kendisini ifade eder.



Şekil 4.6. Basit bir durum

Şekil 4.6.'da bir -1.0 için “hata” ve $+2,5$ için “hata-nokta” varsayar. Buradaki belirli giriş koşulları geri beslemenin komutunu aştığını ve hata arttığını gösterir.

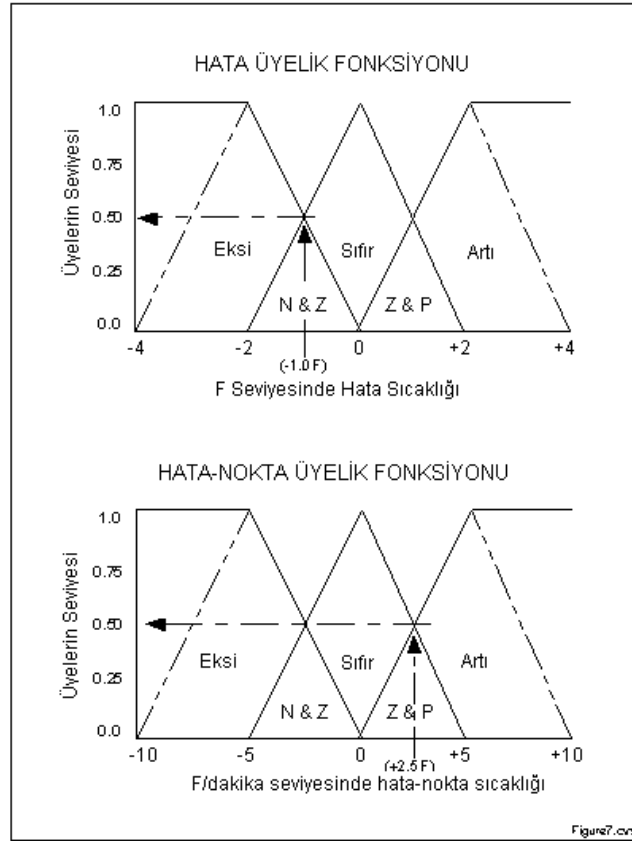
4.12. Hata & Hata-Nokta Üyelik Fonksiyonu

Bir $-1,0$ 'ın “hata” için projelenmiş üyelik seviyesi “eksi” ve “sıfır” fonksiyonunun çakışma parçasının ortasına kadardır. Bu yüzden sonuç “eksi” üyelik $= 0,5$ ve “sıfır” üyelik $0,5$ olur. Sadece “eksi” ve “sıfır” hata ile ilişki olan kurallar çıktı cevaplarına uygulanır. Bu sadece kural matrisindeki sol ve orta kolonları seçer. $+2,5$ 'un “hata-nokta” için, bir “sıfır “ ve “artı” $0,3$ 'ün üyeliği gösterilir. Bu kural matrisindeki orta ve alt satırları seçer. Kural matrisinde iki bölgeyi çakıştırmakla, o sadece 2×2 boyutunda kuralla gibi sol alt köşede sıfır olmayan çıktı sonuçları için oluşur. Diğerleri kurallardaki mantıksal AND(VE)'den dolayı sıfır ağırlığa sahiptir.

Her giriş parametresi ile ilişkili tek bir üyelik fonksiyonu vardır. Üyelik fonksiyonu her girişin değerleri bir ağırlık faktörü ve etkili kurallarla ilişkilidir. Bu ağırlık faktörleri etkinin derecesine veya her aktif kurala sahip üyenin derecesine karar verir. Her aktif kural için üyelerin mantıksal ürününün hesaplanmasıyla bulanık çıktı cevaplarının büyük bir kümesi üretilir. Bütün hepsi birleşmek için kalır ve buradaki çıktı cevapları defuzzify olur.

4.13. Hepsini Hep Beraber Koyma

Sisteme girişler alındıkça kural tabanı değer kazanır. Önce gelen (EĞER X VE Y) bloklar girişleri sonuçları üretmek için test eder. Sonraki (İSE Z) bloğun bazı kuralları diğerleri yeterli değilken yeterlidir. Sonuçları mantıksal form toplamalarında birleştirilmiştir. Buradaki sonuçlar netice sürecini besler. Burada her cevap çıktı üye fonksiyonunun ateşinin gücü (01) kararlıdır.



Şekil 4.7. Hata ve hata-nokta fonksiyonlarının dereceleri

4.14. Üyelik Giriş Derecesi

“hata” = -1,0: “eksi” = 0,5 ve “sıfır” = 0,5

“hata-nokta” = +2.5: “sıfır” = 0,5 ve “artı” = 0,5

ONCEKİ & SONRAKİ bloklar (e = hata, er = hata-nokta yada hata oranı)

Şimdi gerideki kurallara bağlı olma, yukarıdaki üyelik fonksiyonlarının ağırlıkları ile ilgili yapar. “Hata” 1,2,4,5,7,8 kurallarını seçer bununla birlikte “hata-nokta” 4’ den 9’a kadar olan kuralları seçer ve bütün kurallar için “hata-nokta” mantıksal bir üründe birleştirilir (LP yada AND, onların terimlerinden küçük olanı). Seçili 9 kuralın sadece 4’ü (4,5,7,8 kuralları) ateşlenir yada sıfır olmayan sonuçlara sahiptir. Bu bulanık çıktı cevaplarının büyüklüğünü sadece “serinleme” ve “değişiklik yok” olarak bırakır. Şimdiki serin çıktının geri dönüşü sonuçlandırılmalı, birleştirilmeli ve defuzzified yapılmalıdır. Aşağıdaki kurallar listesinde, aşağıdaki tanımlamalar uygulanır; (e) = hata, (er) = hata-nokta.

1. EĞER ($e < 0$) VE ($er < 0$) İSE SERİN $0,5 \& 0,0 = 0,0$
2. EĞER ($e = 0$) VE ($er < 0$) İSE ISI $0,5 \& 0,0 = 0,0$
3. EĞER ($e > 0$) VE ($er < 0$) İSE ISI $0,0 \& 0,0 = 0,0$
4. EĞER ($e < 0$) VE ($er = 0$) İSE SERİN $0,5 \& 0,5 = 0,5$
5. EĞER ($e = 0$) VE ($er = 0$) İSE AYNI $0,5 \& 0,5 = 0,5$
6. EĞER ($e > 0$) VE ($er = 0$) İSE ISI $0,0 \& 0,5 = 0,0$
7. EĞER ($e < 0$) VE ($er > 0$) İSE SERİN $0,5 \& 0,5 = 0,5$
8. EĞER ($e = 0$) VE ($er > 0$) İSE SERİN $0,5 \& 0,5 = 0,5$
9. EĞER ($e > 0$) VE ($er > 0$) İSE ISI $0,0 \& 0,5 = 0,0$

Girişler VE operatörü kullanılarak mantıksal olarak birleştirilir. Böylece bütün beklenen girişler için cevap değerleri üretilir. Aktif sonuçlar mantıksal bir toplumda her üyelik fonksiyonu için birleştirilir. Her çıktı üyelik fonksiyonu için ateşleme gücü hesaplanır. Bütün geri kalanlar buradaki mantıksal toplamları defuzzificatin işlemi ile serin çıktılar üretilerek birleştirilir.

4.15. Sonuçlandırma

Son makaledeki örnekte son adım her kuralın ateşleme gücü belirlemek için tanımlandı. Her ateşleme için 4,5,7,8 kuralları %50 yada 0,5 ile açılır. 1,2,3,6 ve 9 kurallarının hepsi ateşlenmez (%60 yada 0,0). Her kural için mantıksal ürünler defuzzification sürecine aktarılmadan önce düzenli çıktı jenerasyonları birleştirilir veya sonuçlandırılır. Birkaç tane sonuç yöntemi vardır.

MAX-MİN yöntemi her kuralın önemini test eder ve en yüksek olanı seçer. Bu fonksiyonun altındaki alanın “bulanık centroid” koordinatları çıktı gibi alınır. Bu yöntem bütün uygulanabilir kuralların etkilerini birleştirmez, fakat sürekli çıkış fonksiyonu üretir ve uygulaması kolaydır.

MAX-DOT yada MAX-PRODUCT yöntemi her üyelik fonksiyonunu onun kabul edilebilir en yüksek uygun değerleri için tarar. Bu yöntem bütün aktif kuralların etkilerini birleştirir ve düz sürekli çıktılar üretir

ORTALAMA yöntemi çalışan başka bir yaklaşımda fakat her çıktı üye fonksiyon daha fazla kural oyları Artırılmış ağırlıkları vermede başarısızdır örneğin eğer üç tane “eksi” kuralı ateşlenirse, fakat sadece bir “sıfır” kuralı ateşlenir ortalama bu farklılığı her iki ortalama 0,5’e eşit olana kadar etkilemez . Her fonksiyon ortalama kesilir ve bulanık merkezli uygun bölge hesaplanır.

KÖK-TOPLAM-KARE (ROOT-SUM-SQUARE) yöntemi bütün uygulanabilir kuralların etkilerini birleştirir, belirli büyüklükteki fonksiyonları tarar ve sıkıştırılmış akın bulanık merkezi hesaplanır. Bu yöntem matematiksel olarak diğer yöntemlere göre daha karmaşıktır, fakat bütün ateşleme kuralları için en iyi ağırlık etkilerini verdiği görüldüğü için seçilmiştir.

4.16. Defuzzification - Düzenli Sayılara Geri Dönme

RSS yöntemi giriş ve çıkışlar ile ilişkili birkaç üye fonksiyonu olmasından beri bütün geçerli kurallar seçilir. Devam eden örnek için -1,0’ın bir hata ve +0,5’in bir hata-nokta “eksi” ve “sıfır” üyelik fonksiyonlarının bölgesi seçilir. Kabul edilebilir çıkış üyelik fonksiyonlarının güçleri(0-1 aralığı) için mümkün kurallar (R1-R9) şunlardır

$$\text{“eksi”} = (R1^2$$

$$+ R4^2 + R7^2 + R8^2)(\text{Serinle}) = (0,00^2 + 0,50^2 + 0,50^2 + 0,50^2)^{.5} = 0,866$$

$$\text{“sıfır”} = (R5^2)^{.5} = (0,50^2)^{.5} (\text{Değişiklik yok}) = 0,500$$

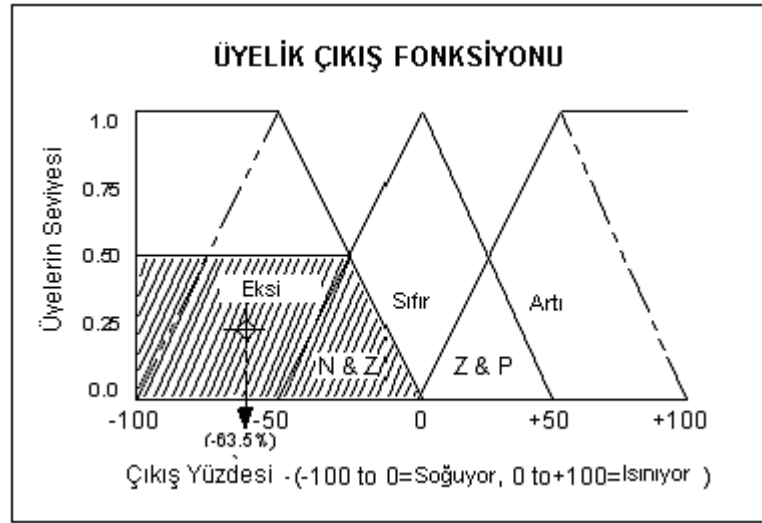
$$\text{“artı”} = (R2^2 + R3^2 + R6^2)(\text{Isıt}) = (0,00^2 + 0,00^2 + 0,00^2 + 0,00^2)^{.5} = 0,000$$

4.17. Bulanık Merkezli Bir Algoritma

Verinin kesin çıkışının “defuzifinotien” işlemi netice işleminin sonuçlarının birleştirilmesi ile başarılı ve daha sonra alanın bulanık merkezi hesaplanır. Her çıkış üyelik fonksiyonunun ağırlık gücü onların kişisel çıkış fonksiyon merkez noktalarına özellikleri ile çarpılır ve toplanır. Sonunda, bu alan ağırlıklı üye fonksiyonunun gücünün toplamı tarafından bölünür ve sonuçlar kesin çıkış gibi alınır. Not almak için bir özelliğe sıfır merkezi sıfırda , herhangi bir sıfır gücü otomatik olarak sıfıra hesaplanır. Eğer sıfır fonksiyonunun merkezi olursa sıfırda denge oluşur, sonra bu

faktör etkiye sahip olabilir (gerçek sistemdeki gibi ısıtma ve soğutma etkileri mükemmel bir şekilde eşit değildir).

$$\begin{aligned}
 &(\text{eksi-merkez} * \text{eksi-güç} + \text{sıfır-merkez} * \text{sıfır-güç} + \text{artı-merkez} * \text{artı-güç}) = \\
 &\text{ÇIKTI} (\text{eksi} - \text{güç} + \text{sıfır} - \text{güç} + \text{artı} - \text{güç}) \\
 &(-100 * 0,866 + 0 * 0,500 + 100 * 0,000) = 63,4\% \\
 &(0,866 + 0,500 + 0,000)
 \end{aligned}$$



Şekil 4.8. Centroid yatay koordinatları

Şekil 8’deki işaretli alanın centroid’ inin yatay koordinatları normalleştirilmiş kesin çıktı gibi alınır. -%63;4 (%63,4 soğuyor)’ un değeri mantıklı gözüküyor belirli giriş koşulları (Hata= -1, Hata-nokta= +2,5) komut asıldığında geri beslemeyi gösterir ve hala artar bu yüzden serinleme umulur ve gerekli sistem cevabı alınır.

4.18. Sistemi Geliştirme Ve Düzenleme

Sistemin düzenlenmesi önceki kuralların değiştirilmesi ile veya sonuçlarla, giriş ve / veya çıkış üyelik fonksiyonlarının merkezlerinin değiştirilmesi, yada giriş ve/veya çıkış fonksiyonlarına ek derecelerin eklenmesi (“düşük”, “orta” ve “hata”nın “yüksek” seviyesi, “hata-nokta” ve çıktı cevapları) ile yapılabilir .Bunu sistemik yapmanın teknikleri kendisinin bir konusudur. Buradaki yeni seviyeler ek kurallar ve üyelik fonksiyonu oluşturulabilir, ”dağ bölgeleri” nin fonksiyonu ve yanıtları daha uzun düzenlenme bitişik fark ile çakıştırır.

Her kuralın mantıksal ürünü, her çıkış üyelik fonksiyonu için birleştirilmiş büyüklüğe verme sonuçlanır. Bu max-min, max-dat, ortalama, RSS yada diğer yöntemler ile yapılabilir. Sonuçlandırma bir kez yapıldığında onların kişisel çıkış üyelik-fonksiyonları haritalanır. Onların bir kısmı yada hepsi delineating olur. Üyelik fonksiyonun kompozit alanının bulanık merkezi hesaplanır ve son çıkış düzgün alınır. Sistemin hesabını “tweaking” e düzgünleştirme ile kurallar ve üyelik fonksiyon parametre tanımları sistemin kabul edilebilir cevapları için başarılıdır.

4.19. Sonuç

Bulanık mantık alışılmışın dışında tamamen farklı bir kontrol problemine yaklaşım sağlar. Bu yöntemde sistemin nasıl çalıştığını anlamak yerine sistemin ne yapması gerektiğine odaklanılır. Birisi sistemi matematiksel olarak modellemek yerine eğer mümkün ise problemi çözmeye konsantre olabilir. Bu değişmez çoğunluk daha hızlı, ucuz çözümler idare eder. Bir kez anlaşıldığında bu teknolojinin uygulanması zor değildir ve sonuçlar genellikle tamamen sürpriz verici ve güzeldir.

5. KALMAN FİLTRESİ VE BULANIK MANTIĞIN BERABER KULLANILMASI

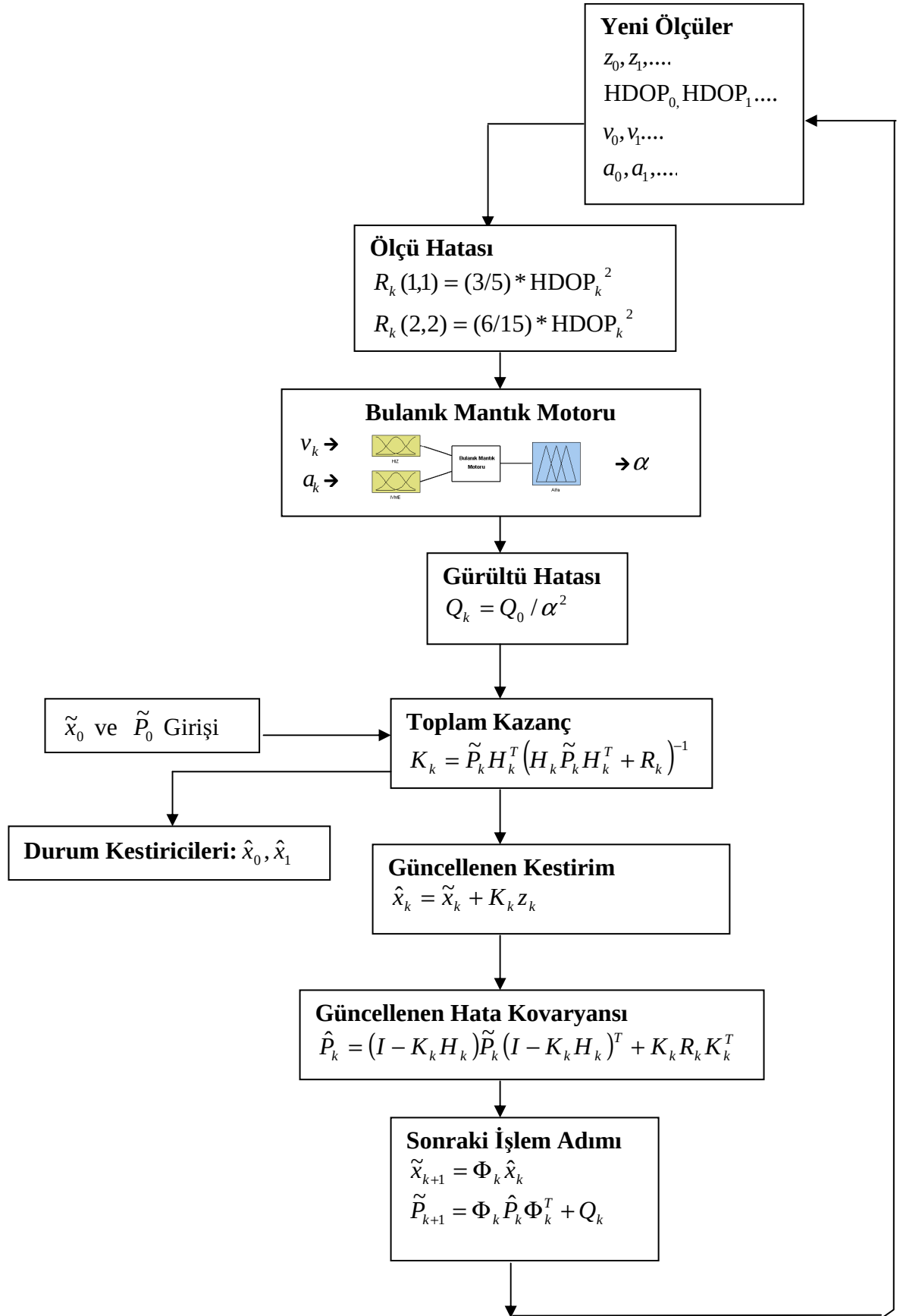
5.1. Kalman Filtresinde Bulanık Mantık Kullanma

GPS alıcısından alınan verileri daha doğru hale getirebilmek için bulanık mantıktan yararlanıldı. Bunun için geliştirilen Kalman filtresi modelini kullandık. Bu modelin içine oluşturduğumuz BM (Bulanık Mantık) sistemini entegre ettik.

BM sistemi girdi değişkeni olarak hız ve ivme değişimi değerlerini alıyor, çıktı olarak alfa değişkenini ürettiyor. Elde edilen α (alfa) çıktı parametresi, Kalman Filtresinde yer alan Q_k (gürültü hatası) matrisinin değiştirilmesinde kullanıldı. Bu katsayı, her kalman döngüsünde BM motorunun çalışması ile yeni değerler elde edilip kullanıldı.

Gelişmiş Kalman Filtremiz ve BM sistemlerimizin çalışma mantığı Şekil 5.1. deki akış diyagramında gösterilmiştir. Diyagramda görüldüğü gibi geliştirdiğimiz Kalman Filtre modelimize BM motoru eklendikten sonra v_k (hız) ve a_k (ivme değişimi) yeni girdi değişkenleri yer almaktadır. Bu değişkenler BM sistemimizde girdi parametresi olarak kullanılmakta ve her döngü başında yenilenmektedir.

Akış diyagramında da gösterildiği gibi bulanık mantık sisteminden α katsayısı üretilmektedir. Bu katsayı gürültü hatası matrisinin değiştirilmesinde kullanılır. Değişiklik yapılırken α katsayısı gürültü hatası matrisinin $Q_k = Q_0 / \alpha^2$ ifadesi ile sürekli güncellenmesini sağlamaktadır.

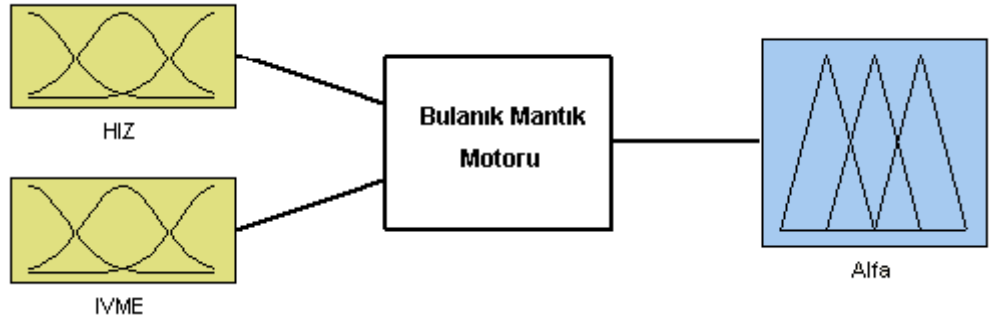


Şekil 5.1. Kalman Filtresi ve Bulanık Mantık Entegrasyonu Akış Şeması

5.2. Bulanık Mantık Sistemi

5.2.1. Sistemin Genel Yapısı

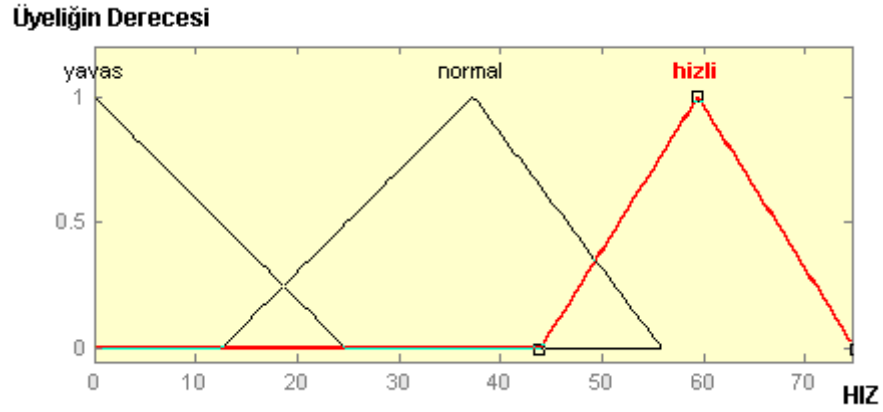
Hazırlanılan BM sisteminde iki adet giriş ve bir adet çıkış değişkeni bulunmaktadır. Giriş değişkenleri ivme değişimi ve hız değerleridir. Giriş değişkeni değerlerini GPS alıcısından elde edilir. Hız GPS alıcısından knot biriminde alınır ve bu değer 1.85 ile çarpılıp km'ye çevirilir. İvme değişimi değerinde iki ölçü arasındaki hız ve zaman değişimi değerlerini kullanarak hesaplanır. Çıkış değişkeni 0 ile 1 aralığında değerler alan alfa katsayısıdır. Oluşturulan BM sistemi genel olarak aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.2. GPS Bulanık Mantık Sistemi

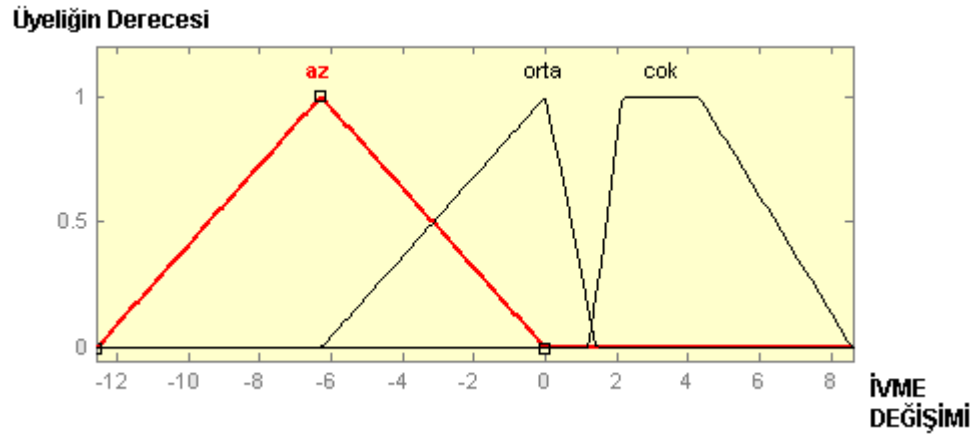
5.2.2. Giriş Üyelik Fonksiyonları

Giriş üyelik fonksiyonları yukarıda da belirtildiği gibi hız ve ivme değişimi değerleridir. Hız değişkeni yavaş, normal ve hızlı olmak üzere üç tiptir. Bu tiplerin işaret ettiği aralıklar elimizdeki GPS verilerinden programın başında belirlenir.



Şekil 5.3. Hız Giriş Üyelik Fonksiyonu

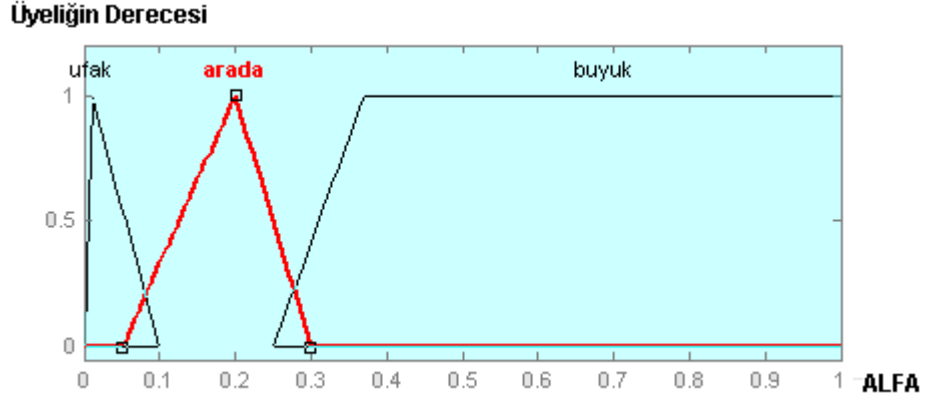
İvme değişimi değeri ise az, orta ve çok olmak üzere 3 tiptir. Hız' da olduğu gibi bu tiplerin aralıkları da sahip olunan GPS verilerinden programın başında belirlenir.



Şekil 5.4. İvme Değişimi Giriş Üyelik Fonksiyonu

5.2.3. Çıkış Üyelik Fonksiyonu

BM motorundan çıkış değişkeni olarak alfa katsayısı üretilir. Bu değer 0 ile 1 arasında gerçel sayıdır. Çıktı değişkeni ufak, arada ve büyük olmak üzere üç tiptir. Bu tiplerin aralıkları sabit ve aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.5. Alfa Çıkış Üyelik Fonksiyonu

5.2.4. Kural Matrisi

Giriş ve Çıkış üyelik fonksiyonlarında değişkenlere tanımlanan tipleri kullanarak kural matrisi oluşturulabilir. Bu tiplere göre kurallar aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 5.1. Kural Matrisi

Giriş Değişkenleri		Çıkış Değişkeni
Hız	İvme Değişimi	Alfa
yavaş	az	büyük
yavaş	orta	büyük
yavaş	çok	ufak
normal	az	ufak
normal	orta	büyük
normal	çok	ufak
hızlı	az	büyük
hızlı	orta	büyük
hızlı	çok	ufak

5.2.5. Bulanık Mantık Sisteminin Kodları

Bulanık Mantık sistemini oluştururken Matlab 6.5 yazılımını kullanıldı. Matlab’ da yazılan kodların temel kısmı aşağıdaki gibidir. Burada önce newfis

fonksiyonu ile bulanık mantık değişkeni tanımlanır. Daha sonra giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları tanımlanır. Sonraki adımda kural matrisi oluşturulur ve bulanık mantık değişkenini “fuzzy_kalman.fis” isimli dosyaya kayıt edilir.

Tablo 5.2. Matlab’ da Bulanık Mantık Kodları

```
fuzzy_kalman=newfis('fuzzy_kalman');

% Giriş değişkenlerini tanımla
fuzzy_kalman = addvar(fuzzy_kalman, 'input', 'HIZ', [min_v max_v]);
fuzzy_kalman = addvar(fuzzy_kalman, 'input', 'IVME', [min_a max_a]);
fuzzy_kalman = addvar(fuzzy_kalman, 'output', 'Alfa', [0 1]);

% Giriş Üyelik Fonksiyonlarını (HIZ ve IVME için aralıklar) tanımla
v_fark = (max_v-min_v)/6;
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'input', 1, 'yavas', 'trimf', [min_v min_v min_v+2*v_fark]);
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'input', 1, 'normal', 'trimf', [min_v+1*v_fark min_v+3*v_fark 9/2*v_fark]);
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'input', 1, 'hizli', 'trimf', [min_v+7/2*v_fark min_v+19/4*v_fark max_v]);

fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'input', 2, 'az', 'trimf', [min_a min_a/2 0]);
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'input', 2, 'orta', 'trimf', [min_a/2 0 max_a/6]);
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'input', 2, 'cok', 'trapmf', [max_a/7 (1/4)*max_a max_a/2 max_a]);

% Cıkis Üyelik Fonksiyonlarını (Alfa katsayisi için aralıklar) tanımla
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'output', 1, 'ufak', 'trimf', [0 0.010 0.10]);
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'output', 1, 'arada', 'trimf', [0.05 0.2 0.30]);
fuzzy_kalman = addmf(fuzzy_kalman, 'output', 1, 'buyuk', 'trapmf', [0.25 0.37 1 1]);

% Bulanik Mantik Kurallari (Toplam 9 tane kural var)
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [1 1 3 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [1 2 3 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [1 3 1 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [2 1 1 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [2 2 3 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [2 3 1 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [3 1 3 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [3 2 3 1 1]);
fuzzy_kalman = addrule(fuzzy_kalman, [3 3 1 1 1]);

writefis(fuzzy_kalman, 'fuzzy_kalman');
```

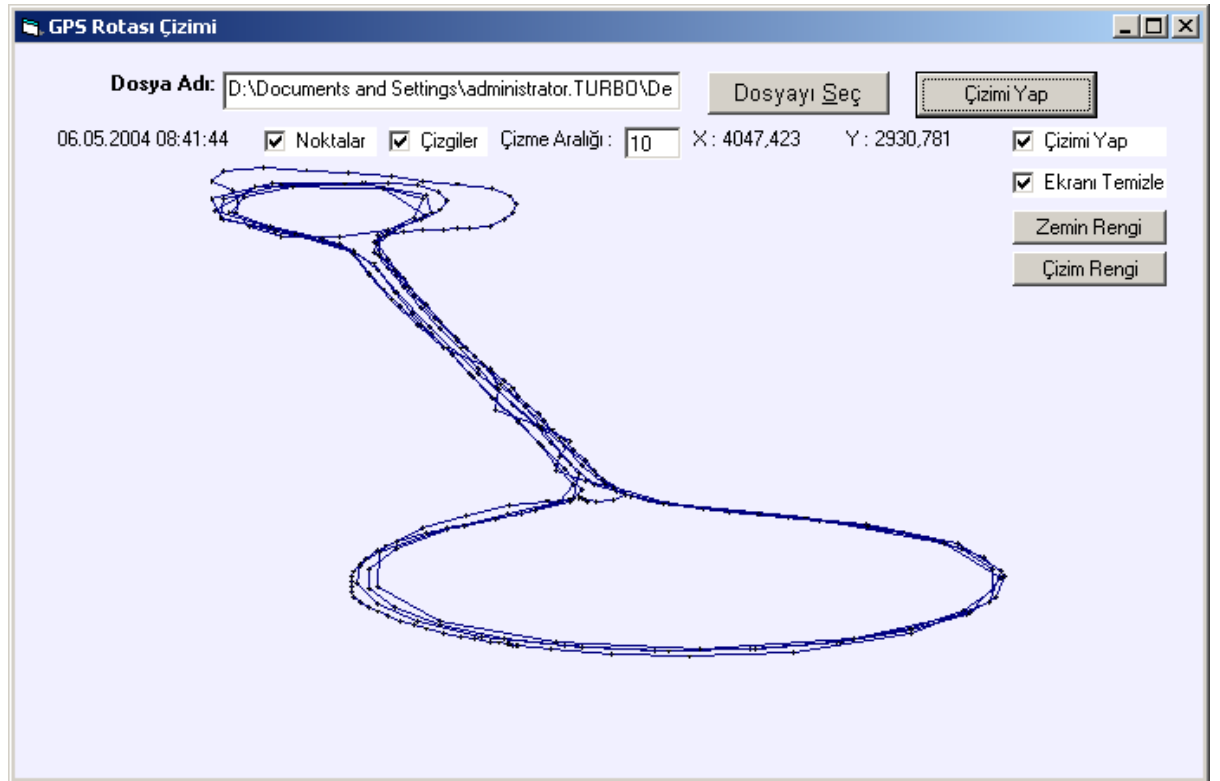
6. UYGULAMA

6.1. GPS Verilerinin Toplanması

12 Mart 2004 Cuma günü saat 11:30' da GYTE Mualimköy kampüsünde Toyota marka bir araba ile örnek GPS verileri toplandı. Veriler toplanırken GPS alıcısı arabanın üzerine monte edildi. Arabanın içerisindeki dizüstü bilgisayarın COM1 portuna GPS alıcısından gelen kablo bağlandı. Visual Basic programlama dilinde hazırladığımız yazılımdaki veri okuma modülü kullanılarak GPS verileri alındı. Veriler anlık olarak belirli zaman aralıklarında metin dosyasına program tarafından otomatik kayıt edildi.

GPS verileri toplanırken önce Jeodezi ve Yemekhane binaları arasında, dönemeçlerde dahil olmak üzere dört tur atıldı. Daha sonra GYTE Mualimköy kampüsü ile E5 girişindeki ışıklara kadar gidip gelinerek veriler toplandı.

Mualimköy kampüsü içerisinde araba ile atılan dört tur aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir. Bu şekil geliştirdiğimiz yazılımdan alınmıştır.



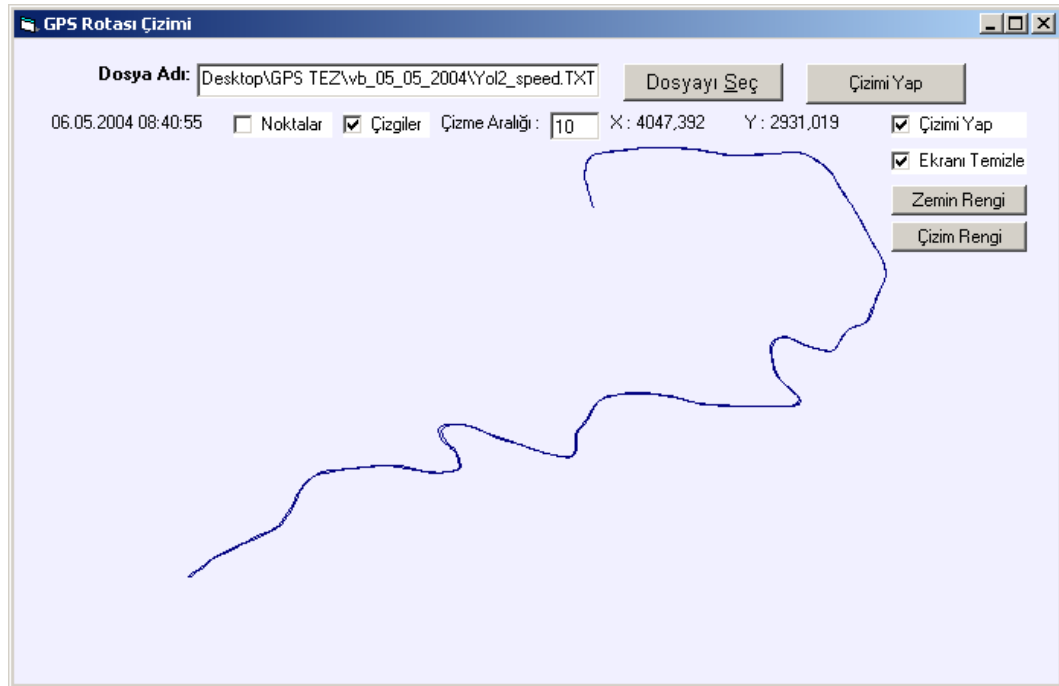
Şekil 6.1. GYTE Mualimköy kampüsü içerisinde alınan GPS verileri

Kampus içersinde iki bina arasından atılan turlardaki arabanın hareket hızı ve zaman bilgileri aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.1. GYTE Mualimköy kampüsü içerisindeki hareket detayı

Tur No	Zaman	Açıklama
1	11:31-11:33	30 km sabit hızla hareket edildi.
2	11:33-11:34	Düz bölümde hız ve yavaşlama yapıldı. Dönemeçler sabit hızla gidildi.
3	11:34-11:36	Dönemeçler hızlanarak, düzyol sabit hızla gidildi.
4	11:36-11:40	Dönemeçler içinde değişik hızla hareket edildi. Bir müddet 5 km hızla gidildi.

GYTE Mualimköy kampüsü ile E5 girişindeki ışıklar arasında araba ile aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi hareket edilmistir.



Şekil 6.2. GYTE Mualimköy kampüsü – E5 girişi ışıkları arasında gidilen rota

- 11:41' de araç kullanılmaya başlandı.
- E5 ışıklara kadar normal hızla (20 km – 60 km aralığında) gidildi.
- Dönüşte hızlı gelindi. (Hız bazen 80 km' ye ulaştı.)
- 11:59' da tur tamamlandı.

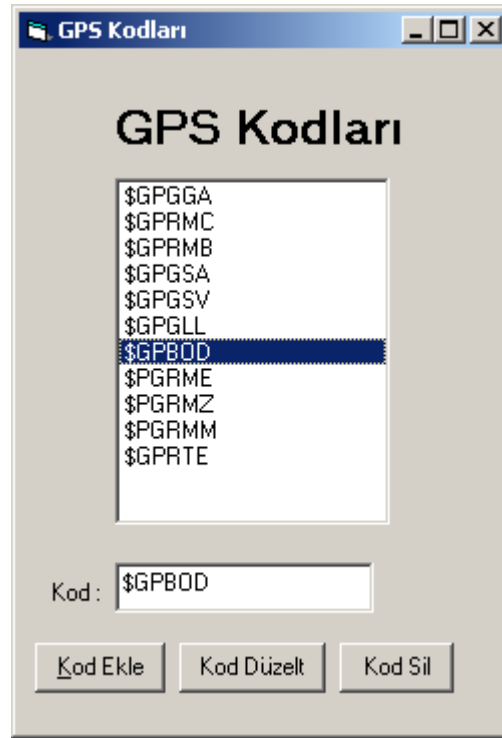
6.2. Geliştirilen GPS Yazılımı

Tez kapsamında yapılan çalışmaları kolaylaştırmak için Visual Basic programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım aşağıdaki işleri yapmaktadır;

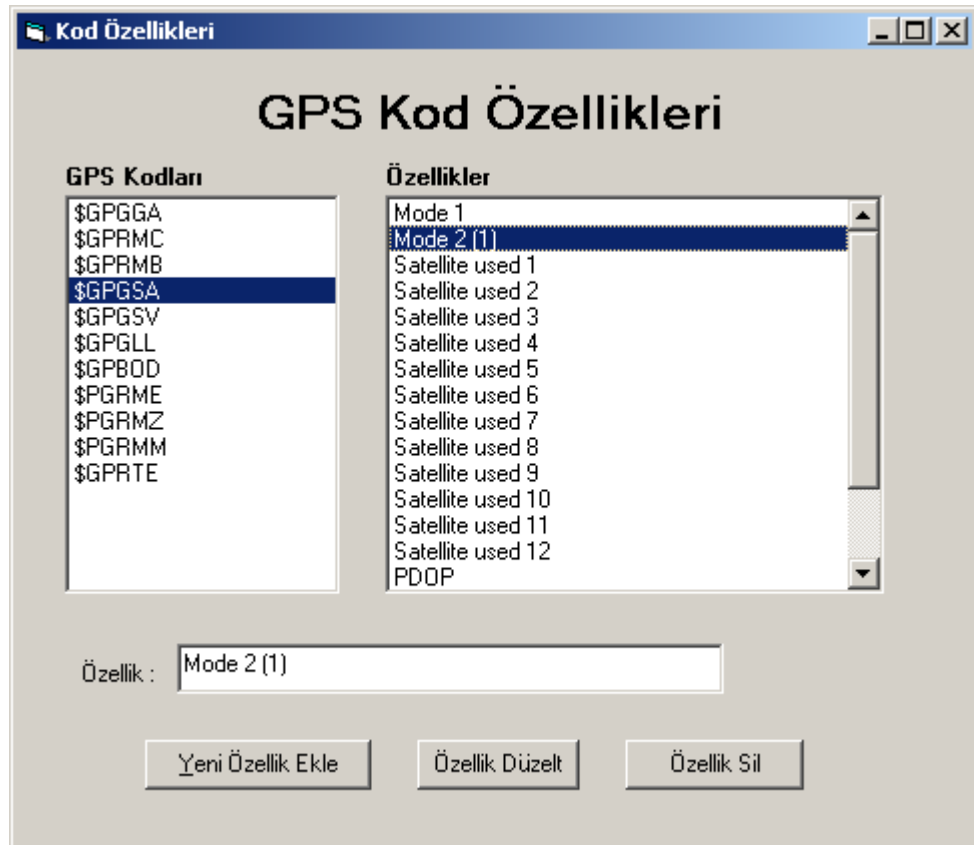
- Yeni cümlecik tanımları (GPS kodu ve özellikleri) ekleyebilme, düzeltme ve silme işlemleri.
- Toplanan GPS verilerinde istenilen cümlecik ve alanların ayrıştırılması
- GPS veri bloklarının ekranda animasyonlu çiziminin yapılması
- GPS alıcısından veri okuma ayarları
- GPS alıcısından veri okuma (Com1 yada Com2 portundan) ve bu verileri anlık olarak dosyaya kayıt etme
- Bir noktadaki GPS ortalama değeri hesaplama
- Kalman Filtreleme Modülü

6.2.1. Yeni Cümlecik Tanımları

Bu kısımda yeni bir GPS kodu ve bu kodun özellikleri tanımlanır, değiştirilir ve silinir.



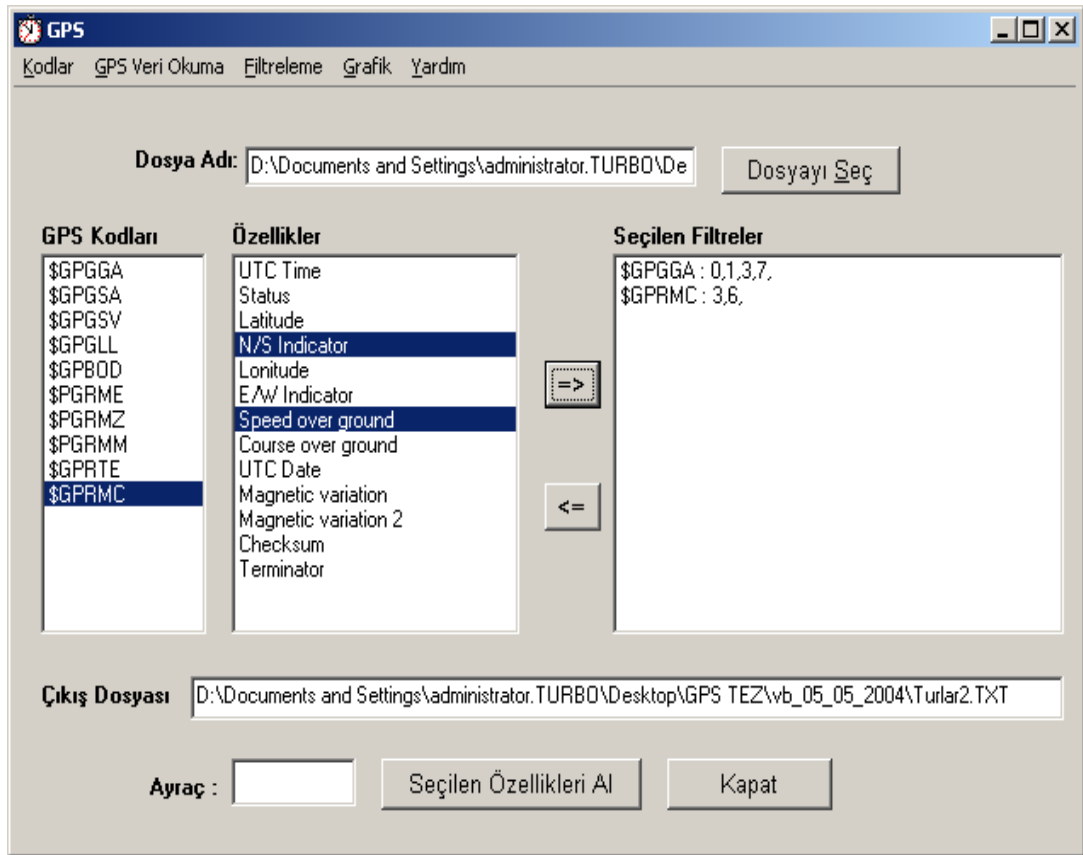
Şekil 6.3. GPS Kodu Tanımlama, Değiştirme ve Silme Ekranı



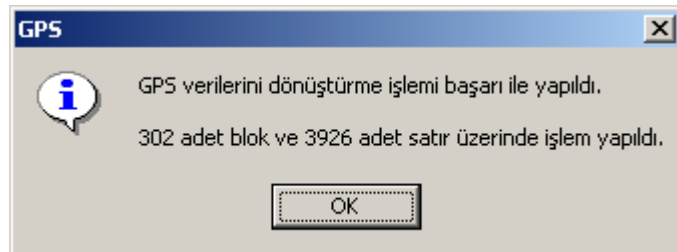
Şekil 6.4. GPS Kod Özellikleri Tanımlama, Değiştirme ve Silme Ekranı

6.2.2. Toplanan Verilerdeki Cümleciklerin Ayırıştırılması

İstenilen gps kodunun özellikleri bu kısımdan seçimler yapılarak çıkış dosyası olarak belirtilen dosyaya aktarılabilir. Burada tanımlanmış GPS kodları ve özellikleri MS Access veritabanı içerisinde okunmaktadır. Seçilen kod ve özellikler verilerin alınacağı text dosyasından bulunarak alınır. Burada text dosyamızın NMEA-0183 standartlarına uygun olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 6.5. GPS cümleciklerindeki istenilen alanların alınması ekranı

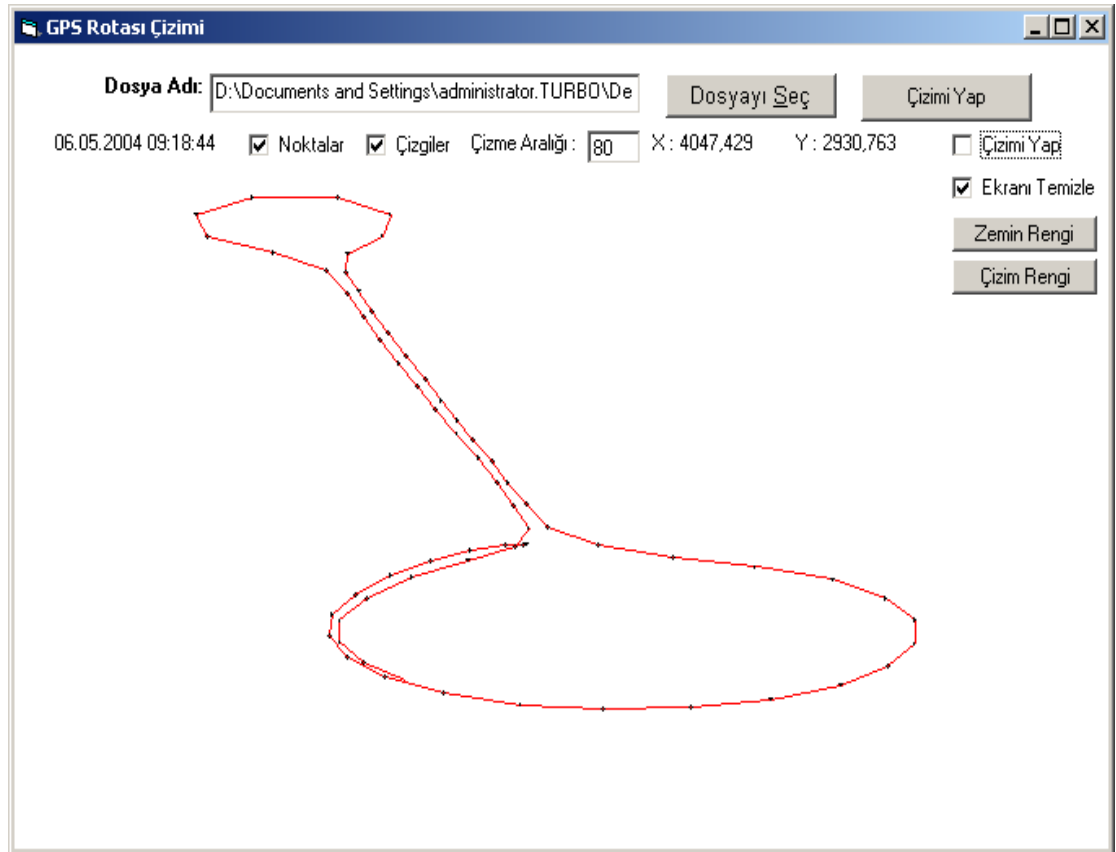


Şekil 6.6. GPS cümleciklerindeki istenilen alanların alınması sonuç ekranı

6.2.3. GPS Veri Bloklarının Ekranda Çizilmesi

Bu kısımda GPS verilerinin ekranda çizimi yapılır. Burada ayrıca verinin alındığı nokta, çizgi rengi, zemin rengi, ekranı temizleme, çizimi durdur ve çizme aralığı gibi özellikler bulunmaktadır. Çizme aralığında girilen değerler milisaniye cinsindendir. Çizme aralığı sayesinde alınan verilerin animasyonunun hızı ayarlanabilmektedir.

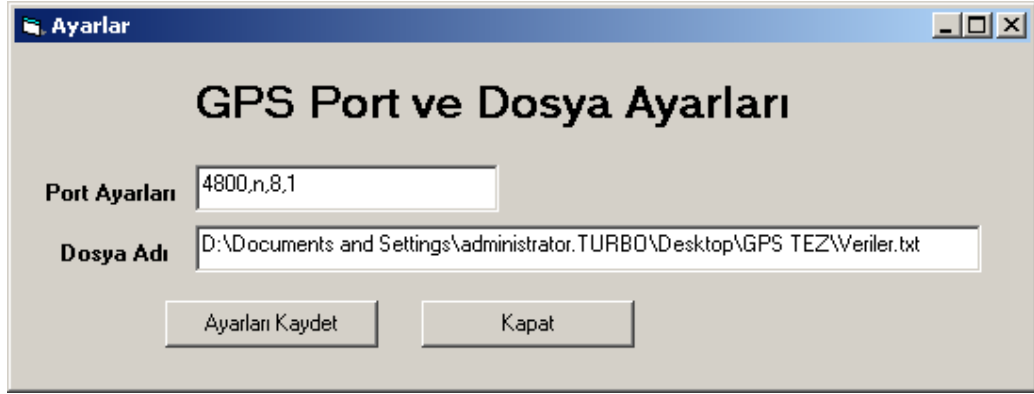
Çizimi yapmadan önce ham GPS verisindeki gerekli cümlecik alanlarının bölüm 6.2.2' deki modülden ayrıştırılması gerekmektedir.



Şekil 6.7. GPS verilerinin çizimi

6.2.4. Veri Alıcısı Ayarları

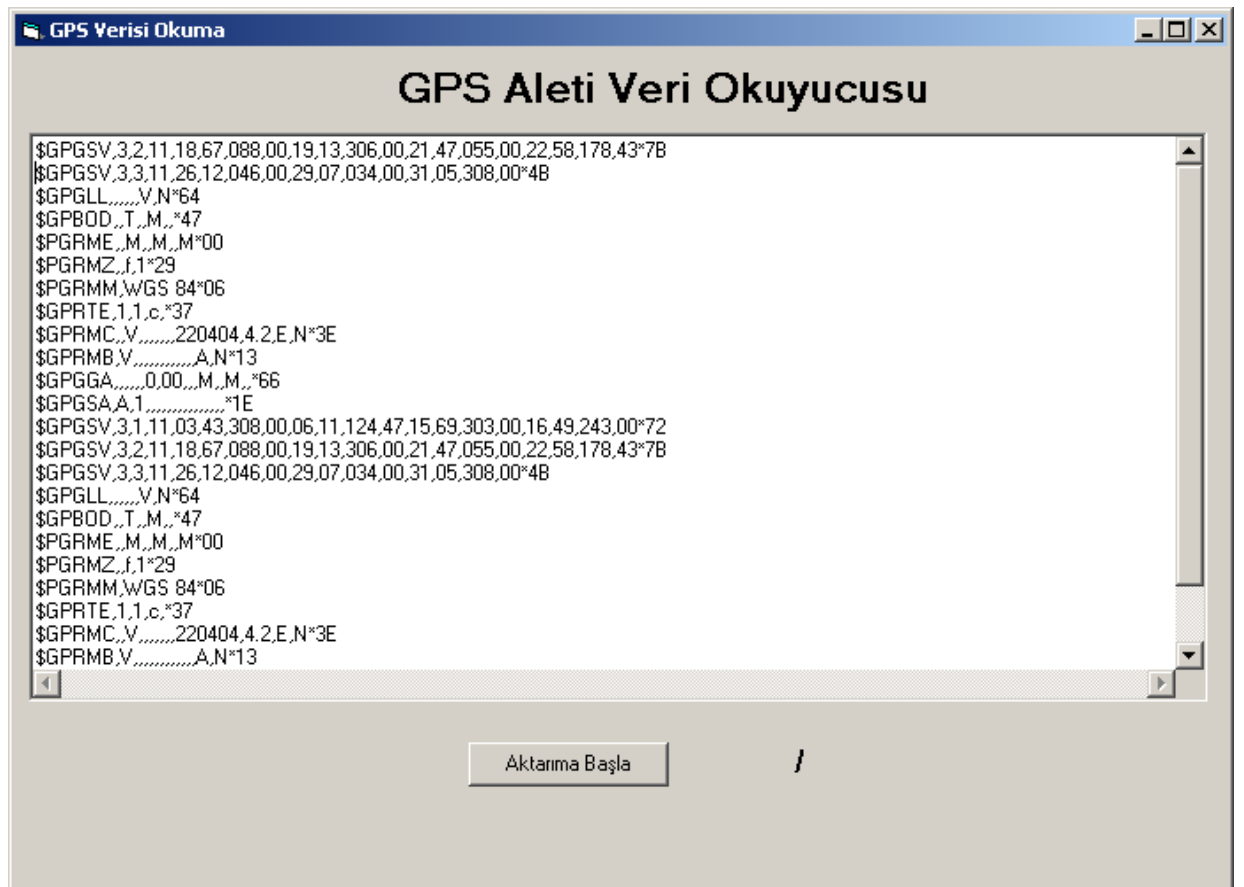
GPS alıcısının bağlı olduğu giriş ayarları (port bilgisi) ve alınan verilerin kayıt edileceği dosyanın yeri burada tanımlanır. Ortalama GPS değeri hesaplayıcısı modülü de buradaki dosya adını kullanmaktadır.



Şekil 6.8. GPS Port Ayarları

6.2.5. GPS Veri Alıcısından Veri Okuma

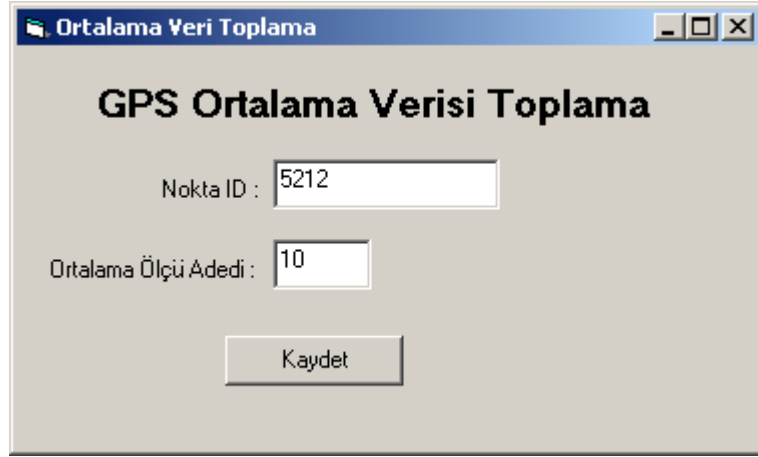
Bu modül bilgisayarın seri portuna bağlı GPS alıcısından verileri okur ve 1 saniyelik zaman aralıklarında gerçek zamanlı olarak metin dosyasına kayıt yapar. Bu metin dosyasının adı ayarlar bölümünden belirtilir.



Şekil 6.9. GPS veri okuyucusu

6.2.6. GPS Ortalama Değer Hesaplayıcısı

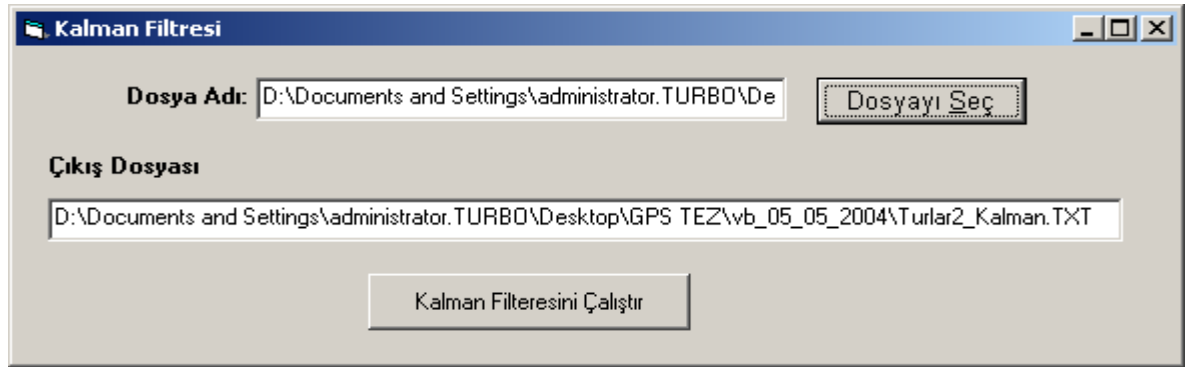
Bu modülde GPS alıcısından belirtilen miktarda ölçü alınır. Alınan bu ölçülerin ortalaması kayıt edilir. Kayıt edilen dosyanın konumu, ayarlar bölümünde belirtilmesi gerekmektedir.



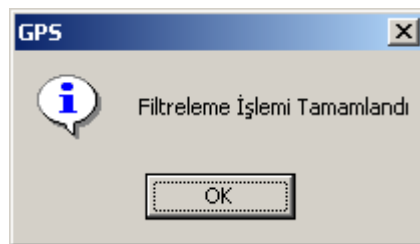
Şekil 6.10. GPS Ortalama Verisi Toplama

6.2.7. Kalman Filtresi

Oluşturduğumuz kalman filtresi modelini uygular. Uygulanan sonuçların kayıt edileceği dosya kullanıcı tarafından belirtilir.



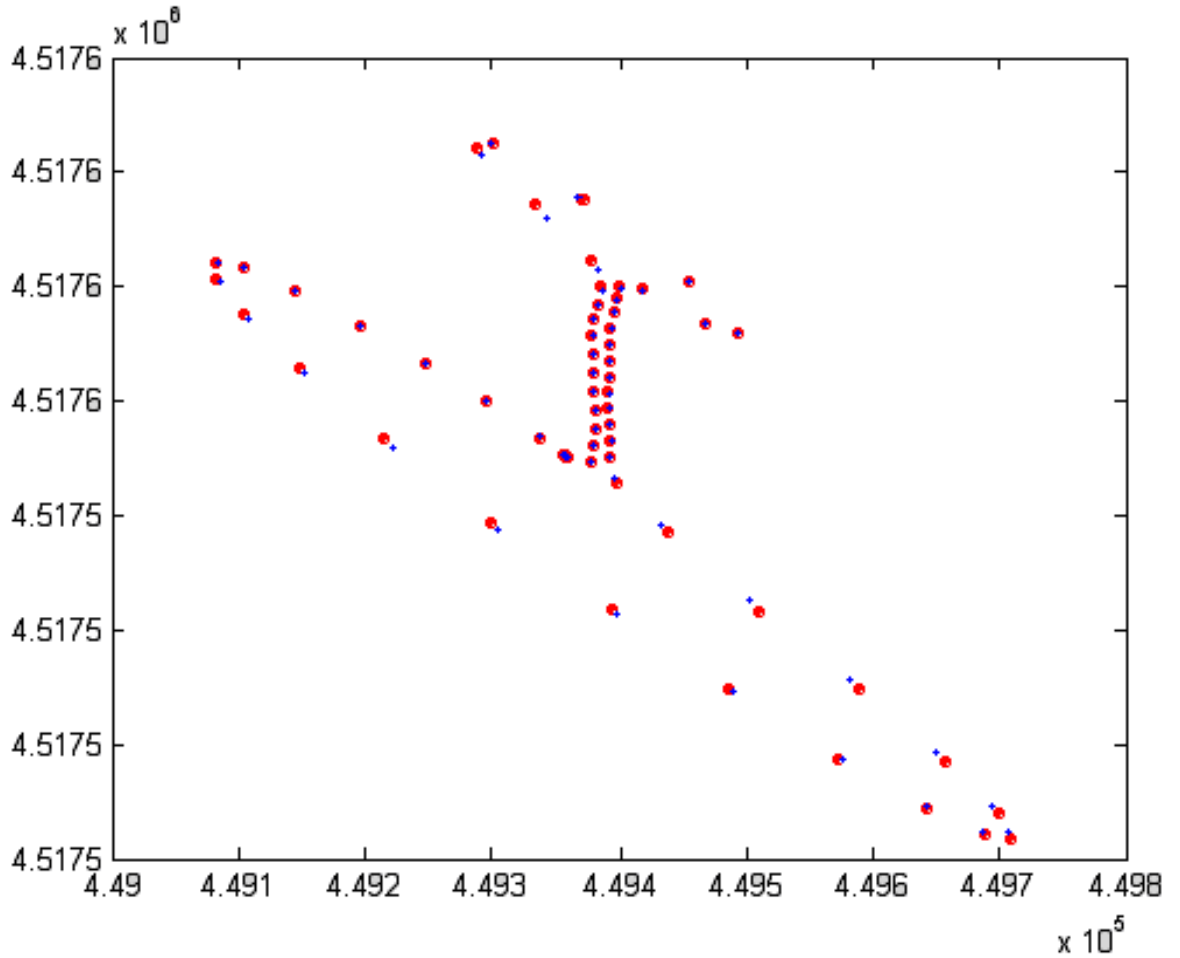
Şekil 6.11. Kalman filtresi ekranı



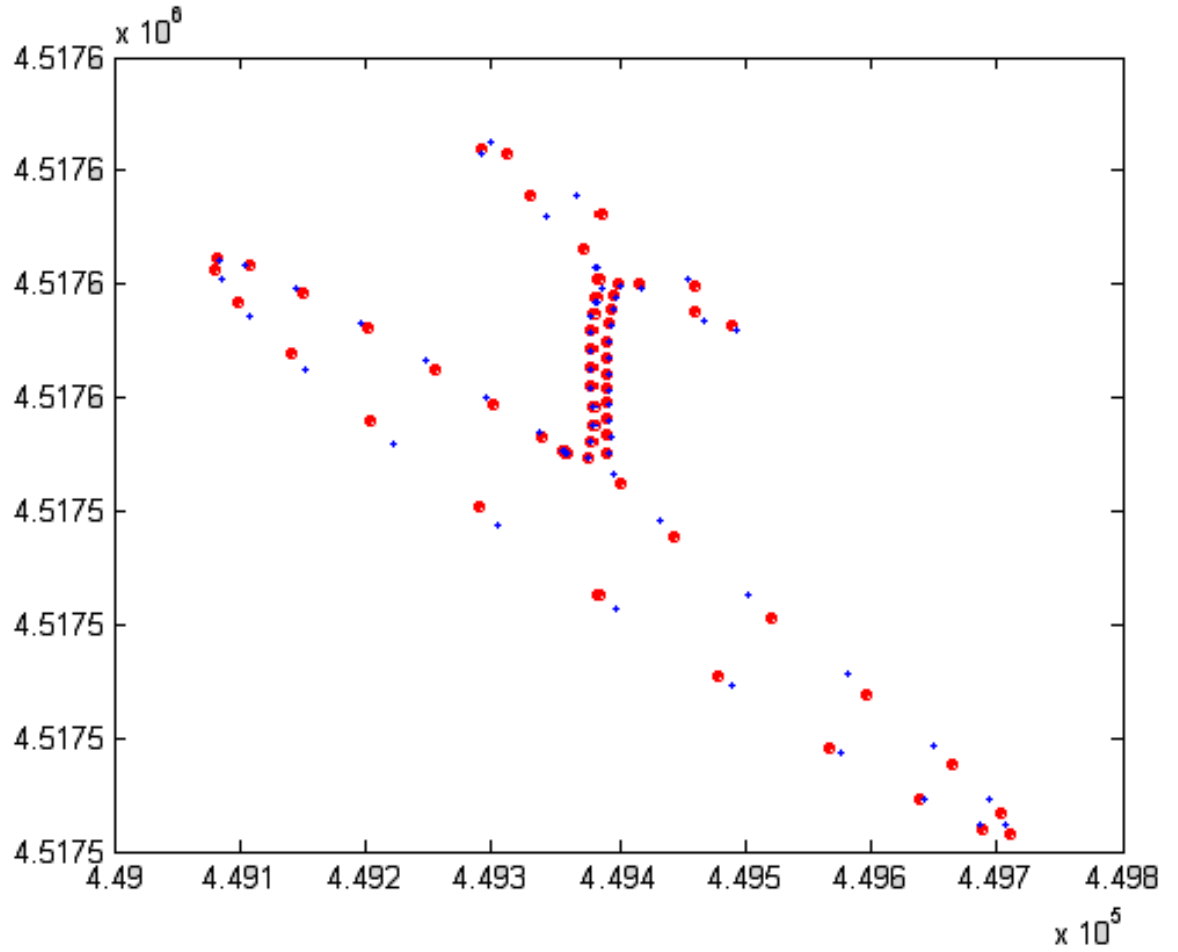
Şekil 6.12. Kalman filtresi sonuç ekranı

6.3. Uygulamaların Sonuç Ekranları

GYTE Mualimköy kampüsü içerisinde topladığımız GPS ölçülerinin Kalman ve Kalman - Bulanık Mantık filtrelemeleme sonuç ekranları aşağıdaki gibidir. Mavi renk Kalman Filtresini, kırmızı renk ise Kalman - Bulanık Mantık Filtresini ifade etmektedir. Sonuç ekranlarından görüldüğü gibi sadece Kalman Filtresindeki sonuca göre Kalman - Bulanık Mantık filtresi sonucu ilk GPS ölçülerine daha yakındır.

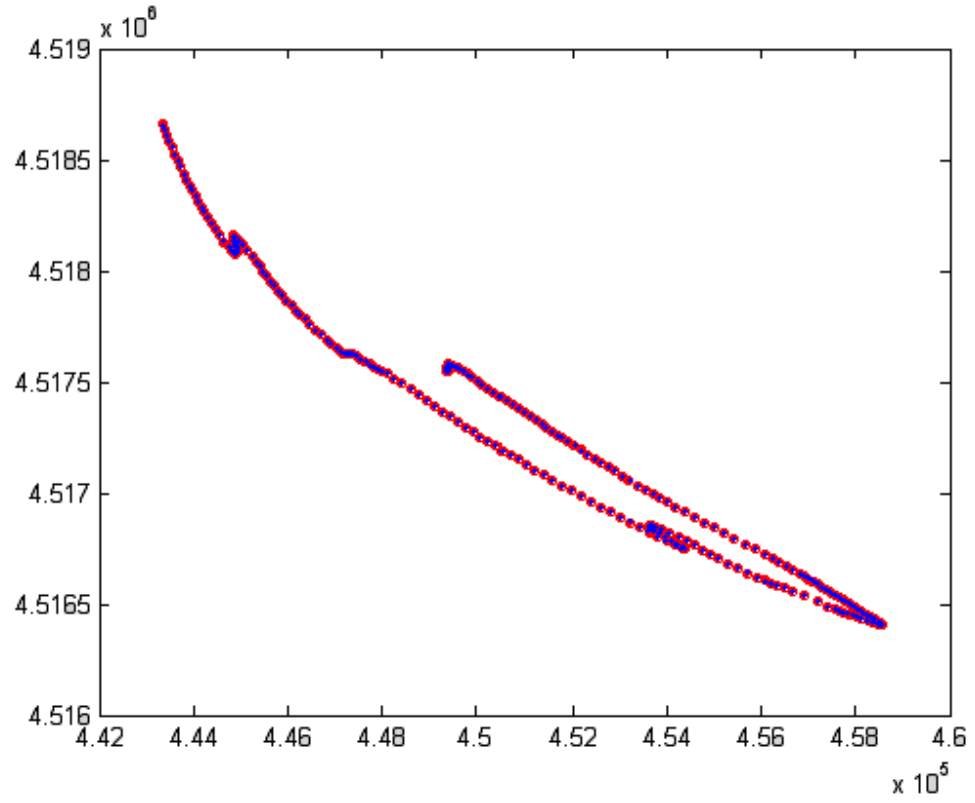


Şekil 6.13. GYTE – Mualimköy kampüsü içerisinde Kalman - Bulanık Mantık filtresi kullanılması ile elde edilen sonuç ekranı

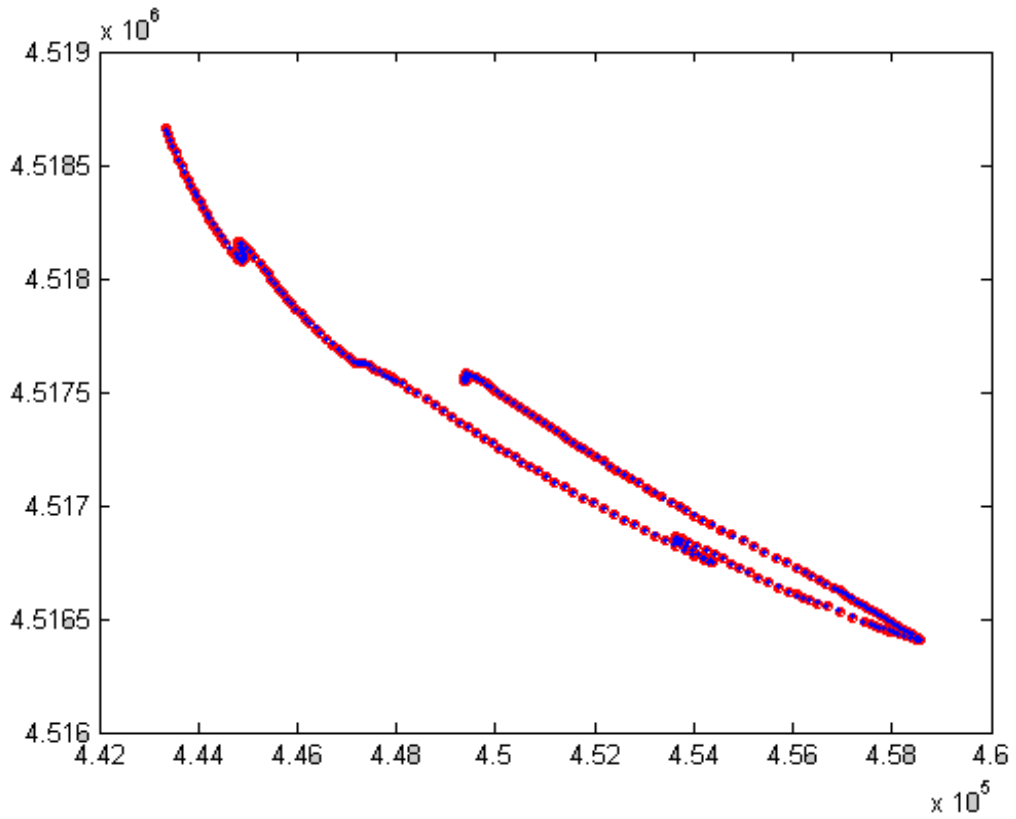


Şekil 6.14. GYTE – Mualimköy kampüsü içerisinde Kalman filtresi kullanılması ile eldilen sonuç ekranı

GYTE Müalimköy kampüsü ile E5 arasında aynı alıcı ile topladığımız ölçülerin Kalman ve Kalman - Bulanık Mantık filtrelemeleme sonuç ekranları aşağıdaki gibidir. Burada Şekil 6.13 ve 6.14’ te gösterdiğimiz (GYTE – Mualimköy kampüsü) ekranlarındaki gibi Kalman - Bulanık Mantık filtresi sonuçları ilk GPS ölçülerine daha yakındır. Ölçü aldığımız alan burada çok daha büyük olduğu için detaylar net olarak görülememektedir.

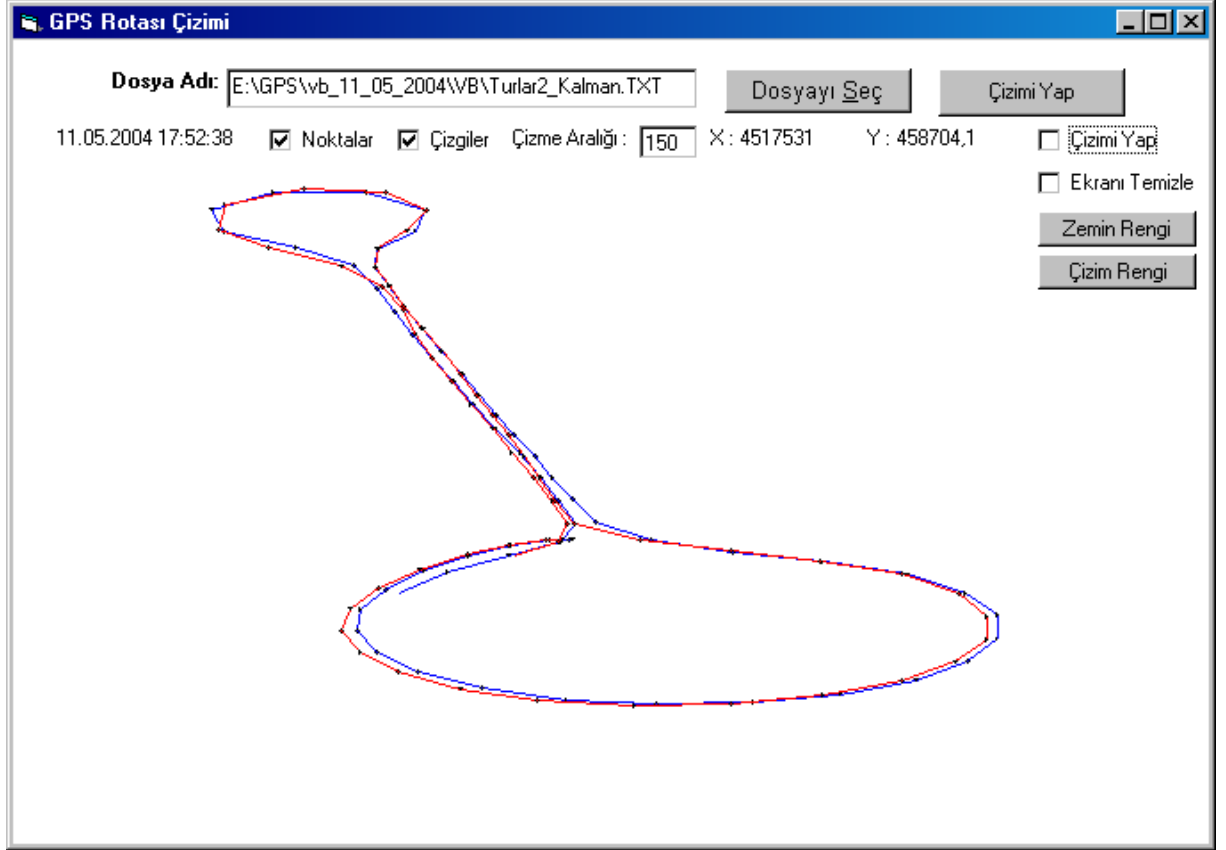


Şekil 6.15. GYTE – Mualimköy kampüsü – E5 arası Kalman- Bulanık Mantık filtresi sonuç ekranı



Şekil 6.16. GYTE – Mualimköy kampüsü – E5 arası Kalman filtresi sonuç ekranı

Visual Basic programlama dilinde geliştirdiğimiz GPS yazılımda GYTE Mualimköy içerisinde attığımız birinci turun verileri Kalman Filtresinden geçirildi. Elde edilen veriler ile ilk GPS ölçüler bu yazılımın rota çizim modülünde aşağıdaki gibi karşılaştırıldı. Bu şekilde mavi renk ilk GPS ölçülerini, kırmızı renk ise Kalman Filtrelemesi sonucunda elde edilen ölçülerini göstermektedir.



şekil 6.17. GYTE – Mualimköy kampüsü içerisinde GPS yazılımında Kalman filtresi çizim ekranı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hareket eden bir aracın GPS verilerineü Kalman Filtresi içerisinde Bulanık Mantık yöntemi kullanılması ile sağlanan katkılar araştırılmıştır. Bu uygulamada hız sabit, değişmeyen ve hızı değişebilen (ivmeli hareket eden) araçların GPS verileri kullanılmıştır.

Hazırlanan modelde Kalman - Bulanık Mantık filtresi ölçüleri Kalman Filtresi ölçülerine göre ilk ölçü değerlerine daha yakındır. Bu sonuçların böyle olması kullanılan GPS aletindeki verilerin zaten Kalman Filtresi ile filtrelenerek alınmış olmasından kaynaklanabilir.

Tez kapsamında geliştirilen GPS yazılımına internet bağlantısıda eklemek mümkündür. GPRS ve XML gibi teknolojileri kullanarak elde edilen düzeltilmiş veriler, sitenin konumlandığı sunucudaki veritabanına aktarılabilir. Bu verileri' de harita üzerine aktararak aracın nerede olduğunu göstermek mümkün olacaktır.

Bu çalışma kargo şirketlerinde, hastanelerde ambülans takibinde ve emniyet teşkilatı gibi birçok yerde uygulanabilir. Böylece araçların konum bilgilerine anlık olarak erişilip doğru karar verilmesi kolaylaşacaktır.

KAYNAKLAR

1. John Wiley, New York, 1987, "Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L.A. Zadeh", ed. R.R. Yager et al.
2. Axelrad, P. and Brown R. G., 1994. Global Position System: Theory and Applications, GPS Navigation Algorithms, Chapter 9, pp. 409-433. The American Institute of Aeronautics and Astronautics, United States of America.
3. E. Cox, Fuzzy Fundamentals, IEEE Spectrum, October 1992, pp. 58-61
4. C.C. Lee, Fuzzy Logic in Control Systems, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, SMC, Vol. 20, No. 2, 1990, pp. 404-35
5. İnce, C. D., 1999. Dinamik Sistemlerin GPS ve Kalman Filtresi ile Anlık Olarak İzlenmesi, Doktora Tezi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, İTÜ.
6. Kalman, R. E., A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Journal of Basic Engineering (ASME), 82 D, March 1960, pp.35-47.
7. Levy, L. J., 2001. The Kalman Filter: Navigation's Integration Workhorse, The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory.
<http://www.cs.unc.edu/welch/kalmanLinks.html>
8. Stansfield, E., Introduction to Kalman Filters, UK Adaptive Signal Processing Club Discussion Meeting, http://www.aspc.qinetiq.com/Events/Mar01/Kalman_Tutorial_Paper.pdf, 2001 Berkshire, UK.
9. Fuzzy Logic Toolbox for use with Matlab User's Guide Version 2, 2002 The MathWorks <http://www.mathworks.com>
10. Naveed Ahmed, Fuzzy Logic Control Using Matlab Part II, FAST-NUCES, Lahore April 2003 <http://www.khwarzimid.org>
11. Greg Welch and Gary Bishop, An Introduction to Kalman Filter, 2001 University of North Carolina <http://www.cs.unc.edu/~welch>
12. Common NMEA Sentence types
http://www.commlinx.com.au/NMEA_sentences.htm Tasmania, Australia

ÖZGEÇMİŞ

Kadir İMAMOĞLU, 1978 yılında Kırcaali 'de doğdu. 1999 yılında KOÜ Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2001 yılında GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ, Fen Bilimleri Anabilim Dalı, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Kadir İMAMOĞLU halen bu öğrenimine devam etmektedir.