

Küresel Konumlama Sistemlerinin Kullanılmadığı Durumlarda Ataletsel Navigasyon Sistemlerinin Başarımının Korunması

Preserving Accuracy of Inertial Navigation Systems in GNSS-Denied Environments

Dr. D.R. Levent Güner¹, Prof. Dr. M. Kemal Özgören², Prof. Dr. Bülent E. Platin²

¹ Seyrüsefer ve Güdüm Sistemleri Tasarım Müdürlüğü

ASELSAN A.Ş.,
lguner@aselsan.com.tr

² Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
ozgoren@metu.edu.tr, platin@metu.edu.tr

Özet

Bu bildiriye, küresel konumlama sistemlerinin (KKS) elektronik karıştırma nedeniyle kullanılmadığı durumlarda özellikle elektro optik/termal (EO/IIR) arayıcı başlık veya kızılötesi hedef tespit sistemi (FLIR) gibi görüntüleyici sistemlere sahip akıllı mühimmat/füze sistemlerindeki ataletsel navigasyon sistemlerinin (ANS) göreve devam edebilmesi amacıyla yeni bir yöntem önerilmektedir. Platformun elektro-optik ya da kızılötesi görüntüleyici algılayıcısı tarafından daha önceden döşenmiş sinyal yayıcıları kilitlenilmekte ve pasif yer ölçme yöntemlerinin geliştirilerek hava platformuna uyarlanması sonucu elde edilen algoritmalar ile konum güncelleme ölçümleri yapılmaktadır. Önerilen yöntemin, önerilen konum güncelleme/kestirme algoritmaları için sinyal yayıcıların uygun yerleşimi sonucunda Ataletsel Navigasyon sisteminin (ANS) KKS olmaksızın görev yapabilme başarımını arttırdığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ataletsel navigasyon sistemi, KKS' nin karıştırılması, kestirme algoritmaları, sinyal yayıcı tabanlı navigasyon sistemi.

Abstract

In this work, a new method is proposed to improve performance of Inertial Navigation Systems (INS) of onboard missiles and smart weapons in GNSS (Global Navigation Satellite System) jamming. Previously laid beacons are used by the platform's electro-optic/infrared (EO/IIR) seeker or forward looking infrared systems (FLIR) to take bearings at them and position updates are performed by using modified survey algorithms. It is emphasized that, the proposed method along with the position update algorithms increases platform's capability to operate without GNSS aiding with the proper deployment of beacons

Keywords: inertial navigation system, GPS jamming, surveying algorithms, beacon navigation system.

1. Küresel Konumlama Sistemlerinin Karıştırıldığı Durumda Hedef Belirleme Sorunu

Temelde dört uydudan gelen sinyallerin sinyal varış zamanı tekniği ile işlenmesine dayanan küresel konumlama sistemlerinin kullanımı 21. yüzyılda baş döndürücü bir hızla artmış, neredeyse tüm araçların navigasyon sistemleri ve cep telefonlarından saatlere kadar her yerde kullanılan, herkesin erişebildiği, tüm dünya çapında hassas konum bilgisi veren, kullanıcı tarafından çok az yatırım gerektiren bir sistem olarak modern dünyanın vazgeçilmezi olmuştur.

Öte yandan barış döneminde hayatımızı kolaylaştıran küresel uydu navigasyon sistemleri (GNSS) ne yazık ki bir kriz döneminde güvenilirliği ve erişilebilirliği ilk sorgulanan sistemler olarak ortaya çıkmaktadır [1], [2], [3].

Füzeler ile akıllı mühimmat seyrüsefer sistemleri maliyet-etkinlik ve temin edilebilirlik gibi nedenlerle küresel konumlama sistemi (KKS) destekli taktik seviye ataletsel navigasyon sistemlerine (ANS) sahiptir. Füzelerde günümüzde kullanılmakta olan ataletsel navigasyon sistemleri, KKS desteği olmaksızın kısa bir süre hassasiyetlerini devam ettirebilmektedir. Füzelerin ve insansız hava araçlarının (IHA) çoğunluğu KKS'nin savaş alanının büyük bölümünde karıştırıldığı durumda hassas olarak görev yapabilme yeteneğini kaybetmektedir.

Savaş alanında hedefin belirlenmesi ve yok edilmesine yönelik çalışmalarını içeren tipik bir senaryoda KKS destekli ataletsel navigasyon sistemi ve FLIR ile donatılmış bir IHA tarafından yeri belirlenen hedefin koordinatları, lazer mesafe ölçümü ile hesaplanarak komuta merkezi üzerinden hedefi en kısa sürede ateş altına alabilecek ateş destek unsuruna on metreler seviyesinde bir hassasiyetle aktarılmaktadır. Ateş destek unsurları çoğunlukla yakın hava desteği ya da topçu

birlikleridir. Topçunun hedefi etkili olarak ateş altına alabilmesi için hedefin yerinin en fazla 100 metre doğrulukla bilinmesi gerekmektedir. KKS' nin karıştırıldığı bir durumda ANS ile donatılmış kundağı motorlu obüsler gibi kara araçları sıfır hız güncelleme teknikleri kullanarak doğruluklarını koruyabilme şansına sahipken, hedef belirleme amacıyla kullanılan IHA ya da yer taarruz görevindeki savaş uçaklarındaki navigasyon seviyesi ANS' ler bile yaklaşık 1 deniz mili/saat hata yapacaklardır. Bu durumda, IHA tarafından verilecek olan hedef koordinatları kilometreler düzeyinde hatalı olacağından topçu birliği ile hedefin etkin şekilde yok edilmesi mümkün olamayacaktır. Aynı şekilde hedefe taarruz etmekle görevlendirilen av/bombardıman uçakları da bir saatlik uçuş boyunca yaklaşık bir deniz mili konum hatası yapacak, uçaktaki akıllı mühimmatlar uçaktan mühimmata yönelim aktarma sırasında hatalı koordinatlarla ilklendirilecek ve yine kilometreler düzeyinde hatalı hedef koordinatlarına yönlendirileceklerdir. Bu durumda arayıcı başlıklarla donatılmış güdümlü sistemlerde dahi arayıcı başlık hedef belirleme bölgesine giremeyecek ve hedefin imhası söz konusu olamayacaktır.

2. Önerilen Yöntem

Navigasyon sistemlerinde görülen büyük ilerlemelerin teknoloji ve araç-gereç-aygıt bazında olduğu gerçeğinden hareketle günümüzde kullanılan en gelişmiş navigasyon sistemleri ile yüzyıllar öncesinde gemilerin kullandığı seyir teknikleri yönetsel açıdan çok fazla değişiklik göstermemiştir ve aynı geometrik temellere dayanmaktadır. Navigasyon sistemleri kör seyir sistemleri, dışa bağımlı

sistemler ve veritabanı eşleme sistemleri olarak üçe ayrılabilir [2]. KKS'nin olmadığı/karıştırıldığı durumlarda alternatif olarak kullanılacak navigasyon yöntemleriyle ilgili analizlerde, KKS hatalarının zamandan bağımsız olduğu ve dünyanın her yerinde (kapalı alanlar ve denizin altı hariç) navigasyon yapmayı olanaklı kıldıkları unutulmamalıdır. Küresel konumlama sistemlerine alternatif olarak önerilebilecek tüm sistemler KKS'nin kullanılmadığı durumlarda navigasyon yapmayı ancak belirli sınırlar dahilinde mümkün kılacaktır

KKS'nin karıştırılmasına karşı akla gelebilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Çalışma kapsamında bu alternatifler de değerlendirilmiş ve kullanılmalarının avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Küresel konumlama sistemine yönelik en belirgin tehdit, sinyal gücünün karıştırıcı ile bastırılmasıdır. Dolayısıyla kendi GPS sistemimizi yapmak, Geosenkron uydu ağı, DGPS (differential GPS) kullanmak vb. uydu tabanlı alternatifler, çok yüksek ve devamlı maliyet unsuru kabul edilse dahi karıştırılmaya dayanıklı olmadıkları için uygulanabilir değildir. Yer konuşlu radyo navigasyon sistemleri bir alternatif olarak ortaya çıkmakla birlikte eski altyapıların idame ve hassasiyet problemleri vardır. Arazi destekli seyir (terrain aided navigation) kuvvetli bir alternatif olarak özellikle seyir füzelerinde kullanılmaktadır. Ancak görev planlaması, arazinin öznitelikleri, yüksek işlem gücü gereksinimi ve donanım ihtiyacı ile sisteme özel bir çözümdür [4], [5]. Çeşitli destek sistemlerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Çeşitli seyir destek sistemlerinin karşılaştırılması.

Navigasyon Sistemi/yöntemi	Karıştırmaya dayanıklılık	Küresel/ bölgesel	Yayın kontrolü	Hava şartları etkisi	GNSS karıştırıldığında göreve devam edebilme	Tipik hassasiyet	Füzelerde kullanım
DME/ TACAN	Orta	Bölgesel	Platform aktif	Önemsiz	Evet	~500 metre	İlave donanım gerektirir.
VOR	Orta	Bölgesel	Platform pasif	Önemsiz	Evet	1.5 -4 derece istikamet açısı	İlave donanım gerektirir.
Hiperbolik Navigasyon	Orta/yüksek	Bölgesel	Platform pasif	Önemsiz	Evet	0.25-1 deniz mili	İlave donanım gerektirir. Konum doğruluğu ve ilk konum tespit süresi TTFF problemleri.
Yıldız destekli seyir	Yüksek	Küresel	Platform pasif	Ağır, açık gökyüzü gereksinimi, yüksek irtifa için uygun.	Evet	0.2-1 deniz mili (tipik)	İlave donanım gerektirir.
TAN/ TERCOM	Yüksek	Bölgesel	Radar altimetre aktif	Önemsiz	Evet	Arazi benzersizliği ve düzlüğüne bağlı olarak ~30 m – ile çözümsüzlük arasında	Radar altimetre gerektirir.
Yer konuşlu bilinen nokta ağı	Yüksek	Bölgesel	Platform pasif	Görüş menziline bağlı	Evet	Sinyal yayıcıların düzenleme paternine bağlı.	İlave donanım gerektirmez

Bu çalışmada önerilen yöntemde, düşük hassasiyette (taktik seviye) ataletsel navigasyon sistemi ve elektro-optik/kızılötesi arayıcı başlık veya kamera ile donatılmış hava platformlarının (füzeler, akıllı mühimmatlar ve insansız hava araçları vb.) daha önceden döşenmiş olan ve Radyo frekansında (RF) karıştırılmadan etkilenmeyen, kızılötesi bantta ışık veren sinyal yayıcıları kilitlenerek çeşitli konum güncelleme teknikleri ile dışarıdan destek almaları ve ataletsel navigasyon sistemi Kalman filtresinin bu desteği işleyerek platformun navigasyon yeteneğinin korunması/iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Sinyal yayıcıların günümüzde hızla gelişmekte olan tek başına bırakılmış algılayıcı teknolojileri sayesinde görevlerini yeterli sürelerde yerine getirebileceği değerlendirilmektedir. Hava araçlarının ve füze sistemlerinin kullanım doktrinleri değerlendirildiğinde, söz konusu sistemlerin uçuşlarının bir bölümünü dost bölgede gerçekleştirdikleri, böylelikle sinyal yayıcıların dost bölgede konumlandırılmaları ve döşenmelerinde herhangi bir kısıt olmadığı, operasyon bölgesine ise çeşitli araçlar ile (havadan atma, özel kuvvetler vb.) ile döşenebileceği öngörülmüştür. Mevcut durumda, söz konusu platformların KKS karıştırıldığında dost bölgede bile görevsel yeteneklerinin büyük bölümünü kaybedecekleri değerlendirilmektedir.

Bölgesel veya ülke çapında bir karıştırma durumunda çok sayıda değişik hava platformları ve füze sistemlerine hizmet verebilecek bir sinyal yayıcı tabanlı navigasyon ağı öngörülmüştür. Böylelikle platformdan bağımsız olarak bir bölgede navigasyon desteği sağlanabilecektir.

Önerilen yöntemin öne çıkan özellikleri,

- uzun süreler ile sınır bölgesinde devriye/ gözetleme uçuşu yapan insansız hava araçlarından, taktik güdümlü bomba ve mühimmatlara, üs bölgesinde devriye gezen insansız suüstü araçlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılabilmesi,
- mesafe ölçümü ihtiyacı olmadığı için mesafe ölçme sistemi olmayan veya taktik durum gereği kullanamayan platform ve füze sistemlerine uygun olması,
- halihazırda EO/kızılötesi arayıcı başlığı veya kamerası olan platformlarda (füzeler, IHA'lar vb) ilave donanım gerektirmemesi,
- platformlardaki işlemcilerle ilave hesaplama yükü getirmeyen konum güncelleme algoritmalarının kullanımı,
- optik sinyal yayıcıların düşman tarafından tespit ve imhasının çok zor oluşu olarak özetlenebilir.

3. Konum Güncelleme Teknikleri

Dünya üzerinde bilinen noktalardan faydalanarak başka noktaların koordinatlarının bulunması amacıyla özellikle topçu yer ölçme birlikleri tarafından uygulanan yer ölçme teknikleri, bu çalışmada füze ya da insansız hava aracının konum güncelleme ölçümleri için uyarlanarak kullanılmıştır.

Belirlenen senaryoda kızılötesi görüntüleyici arayıcı / kamera ve ANS ile donatılmış olan akıllı mühimmatın;

- uçuş yolu boyunca arayıcı başlık ilgi alanına girecek olan sinyal yayıcıları kilitlenerek bu sistemlere sadece açı ölçümü yapabildiği,
- mesafe ölçümünün lazer mesafe ölçer gerektirmesi ve füze / mühimmat sistemlerinde böyle bir olanağın bulunmaması nedeniyle mesafe ölçümü yapamadığı,
- kendi seyrüsefer çözümünü sadece ataletsel sensör bilgisi ile oluşturduğu

varyansızdır.

Platformun sinyal yayıcılarına sadece açı ölçümü yaparak konum güncelleme desteği elde edebilmesi için üç teknik önerilmiştir. Bunlardan üç noktadan geriden kestirme ve iki noktadan geriden kestirme genellikle kara birliklerinin hassas yer ölçme (surveying) birlikleri tarafından kullanılan yöntemler olup hava platformuna uyarlanmışlardır. Her iki teknik de platformun kendi konumunu bilmesine ihtiyaç duymamaktadır [6].

Üç noktadan geriden kestirme konum bulma tekniği kendi konumu hakkında hiçbir bilgiye sahip olmayan bir sistemin konumu bilinen üç noktaya sadece yan ve yükseliş açısı ölçümü yaparak kendi konumunu bulması esasına dayanır (Şekil 1). Bu yöntem arayıcı başlık görüş alanı içerisinde bir gözlem anında üç sinyal yayıcının bulunması durumunda kullanılmıştır. 3 noktadan geriden kestirme tekniği literatürde topçu yer ölçme birlikleri tarafından ve genellikle durarak ölçüm alabilen robot vb. platformlar tarafından üretim hatları vb. kapalı mekânlarda kullanılmaktadır [7][8][9][10][11].

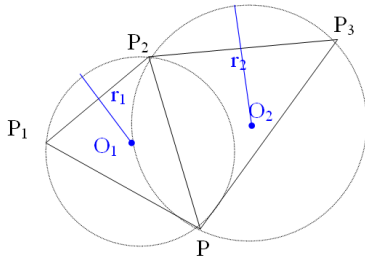
İki noktadan geriden kestirme olarak tanımlanan konum bulma yönteminde füze arayıcı başlığı tarafından iki ayrı gözlem noktasının her birinde iki sinyal yayıcının aynı anda gözlenmesi ve bu sinyal yayıcılarına sadece açı ölçümü yapılması sayesinde iki gözlem noktasının da koordinatları bulunabilir. Bu yöntemde son gözlem noktasının güncellenen koordinatları füze sisteminin Kalman filtresine konum desteği olarak verilmiştir. İki noktadan geriden kestirme yönteminin uygulanabilmesi için iki gözlem noktası arasındaki mesafenin füze ataletsel navigasyon sistemi tarafından belirlenmesi gereklidir. Literatürde iki noktadan geriden kestirme yönteminin insansız platformlarda kullanımına yönelik herhangi bir çalışma bulunamamıştır.

İleriden kestirme konumu bilinen iki noktadan konumu bilinmeyen noktaya sadece yan ve yükseliş açısı ölçümü yaparak gözlenen noktanın koordinatlarının bulunması esasına dayanır. Ancak incelenen durumda füze, sinyal kaynağını gözlediği durumlarda kendi koordinatlarını hatalı

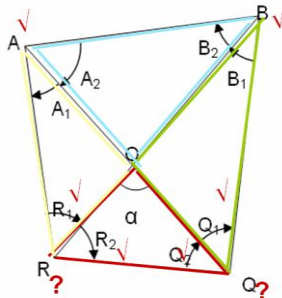
olarak bilmektedir. Öte yandan gözlenen sinyal yayıcının koordinatları bilinmektedir.

Bu çalışmada, ileriden kestirme yöntemi temel alınarak yeni bir ölçüm yöntemi geliştirilmiş ve ters ileriden kestirme olarak adlandırılmıştır. Ters ileriden kestirme yönteminde, füze tarafından hesaplanan birinci ve ikinci gözlem noktalarının sağ, yukarı ve rakım değerleri ile gözlenen sinyal yayıcıya ölçülen yan ve yükseliş açıları kullanılarak gözlenen sinyal yayıcının koordinatları hesaplanmaktadır. Sinyal yayıcının hesaplanan koordinatları ile bilinen koordinatları arasındaki fark, füzenin iki gözlem noktası arasında kısa süre içinde yapacağı hatanın çok fazla değişmeyeceği (kısa dönemli kararlılık) kabulü altında, her iki gözlem noktasına koordinat düzeltmesi olarak verilmekte ve ikinci gözlem noktasının güncellenmiş hali füze ataletsel navigasyon sisteminin Kalman filtresi algoritmasına konum desteği olarak girmektedir. Bu yöntemin değişik uygulamaları mümkündür. Yöntemdeki önemli bir varsayım, füzenin kuzey açısındaki kaymanın konumundaki kaymaya göre nispeten daha az olduğudur. Konum güncelleme faaliyetinde istikamet açısı hatasından kaynaklanan düzeltme yönü hatası kabullenilmektedir.

Kullanılan konum güncelleme tekniklerinin ortak özelliği mesafe ölçümüne ihtiyaç duymamaları, yani pasif yöntemler olmalarıdır. Mesafe ölçümü için sinyal yayıcılar RF sinyal almak ya da sinyal yayıcılara olan mesafeyi ölçmek için lazer mesafe ölçer kullanmak platformun ve sinyal kaynaklarının düşman tarafından tespitini kolaylaştıracağı için sinyal yayıcıların sadece kızılötesi bantta ışımaya yapması ve düşman kestirme sistemleri tarafından uzun menzillerden algılanabilen RF vb yayın yapan sistemler olmaması öngörülmüştür.



Şekil 1 Üç noktadan geriden kestirme algoritması kesişen çemberlerin çözümüne dayanır.



Şekil 2 İki noktadan geriden kestirme yöntemi.

4. Yöntemler İle İlgili Ölçütler

Hava platformunun uçuşu süresince hangi konum güncelleme yöntemlerinin kullanılacağı, oluşturulan bir karar mekanizması aracılığıyla benzetime tanıtılmıştır. Her üç konum güncelleme yönteminin de sağlamak zorunda olduğu bazı fiziksel kısıtlar bulunmaktadır. Ayrıca bu fiziki kısıtları sağlasa dahi yüksek başarılı bir konum güncelleme elde edilebilmesi için ölçütler tanımlanması faydalıdır.

Örneğin iki noktadan geriden kestirme yönteminde temel fiziksel kısıt iki noktanın da iki gözlem anı boyunca arayıcı kilitlenme menzili içinde olması, arayıcı ilgi alanı (FOR) içinde olması ve son olarak ikisinin de arayıcı görüş alanı (FOV) içinde olmasıdır.

Bu doğal kısıtlara ek olarak, elde edilecek konum bilgisinin hassasiyetinin yüksek olması için bazı geometrik koşulların da sağlanması gereklidir. Örneğin, iki noktadan geriden kestirme için gözlem anında herhangi iki sinyal yayıcının aynı bakış hattı üzerinde olmaması, ölçülen açıların belirli limitler dâhilinde olması ölçümün hassasiyeti açısından önemlidir.

Bu ölçütlerin sağlandığını kontrol etmek amacıyla geometrik durumu ifade eden bir gösterge kullanma yoluna gidilmiştir. KKS sisteminde uydü geometrisinin ölçüm hassasiyetine etkisini ilişkilendirme amacıyla kullanılan “duyarlık kaybı” yer ölçme yöntemlerinin de başarımı hakkında fikir vermek amacıyla kullanılmıştır. Bu amaçla, her üç yöntem için duyarlık kaybı parametresi türetilmiştir. Duyarlık kaybı mesafe ölçümü içeren yöntemlerde sinyal yayıcıların ve platformun birbirlerine göre olan açısal durumunun bir fonksiyonu iken sadece açı ölçümü yapılan yöntemlerde mesafenin ve açısal durumun fonksiyonu olarak ortaya çıkmıştır.

$$z_i = f(x, x_i) + v_i \quad (1)$$

Füzenin x konumunda, i'nci sinyal yayıcının x_i konumundaki durumu için alınan z_i ölçümünde f füze ve sinyal yayıcı konumlarına bağlı doğrusal olmayan bir fonksiyon ve v_i ise ortalaması 0 olan gauss dağılımına sahip hata olarak modellenebilir. Jacobian matrisinin tersinin determinantı ölçüm hatalarının konum hatalarına etkisini gösteren bir ölçüt olarak ileri sürülebilir.

$$\text{Duyarlık Kaybı} = \|H^{-1}\| \quad (2)$$

Ölçümleri içeren denklemler değişkenleri içeren örtülü denklemler olduğundan duyarlık kaybı denklem 4'deki gibi ifade edilebilir.

$$f(x, z) = 0 \quad (3)$$

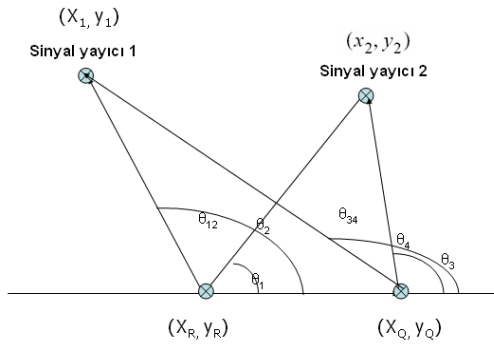
$$[f_z] \delta z = -[f_x] \delta x \text{ ve } f_z = \frac{\partial f}{\partial z}, f_x = \frac{\partial f}{\partial x} \quad (4)$$

$$\|H\| = \frac{\|f_x\|}{\|f_z\|} \text{ ve } \|H^{-1}\| = \frac{\|f_z\|}{\|f_x\|} \quad (5)$$

Örnek olarak, iki noktadan geriden kestirme algoritması için duyarlık kaybı parametresi hesaplanmak istendiğinde, ölçümler $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_2$ ve durum değişkenleri $x = [x_R \ y_R \ x_Q \ y_Q]$ iken duyarlık kaybı denklem 6' de verilmiştir. Duyarlık kaybının küçük olması için en ideal

durum füze-sinyal yayıcı mesafelerinin küçük olması ve her bir gözlem anı için sinyal yayıcılar ile füzenin oluşturduğu üçgenin tepe açısının 90 dereceye yakın olmasıdır. Duyarlık kaybı parametresi, içinde sinyal yayıcıların aynı hat üzerinde bulunmaması, üç noktadan geriden kestirme için noktaların aynı çember üzerinde olmaması gibi ölçütleri de barındırmaktadır.

$$\|H^{-1}\| = \frac{\|f_z\|}{\|f_x\|} = \frac{|r_{1R}| |r_{2R}| |r_{1Q}| |r_{2Q}|}{\sin(\theta_{12}) \sin(\theta_{34})} \quad (6)$$



Şekil 3: İki noktadan geriden kestirme duyarlık kaybı ölçüm ve durum değişkenleri.

Her üç yöntem için geometrik ölçütler Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 2: Konum güncelleme yöntemleri için ölçütler.

Yöntem	Koşul	Zaman-uzay	Menzil ölçütü	İlgi alanı ölçütü	Görüş alanı ölçütü	Duyarlık kaybı ölçütü
Ters ileriden kestirme	Yalnız bir fener görünür	İki gözlem anı boyunca	Kilitlenme menziliinde	İlgi alanında bir fener	χ	Evet
İki noktadan geriden kestirme	Yalnız iki fener görünür	İki gözlem anı boyunca	Kilitlenme menziliinde	İlgi alanında iki fener	Aynı anda iki fener	Evet
Üç noktadan geriden kestirme	Üç+ fener görünür	Bir gözlem anında	Kilitlenme menziliinde	İlgi alanında üç fener	Aynı anda üç fener	Evet

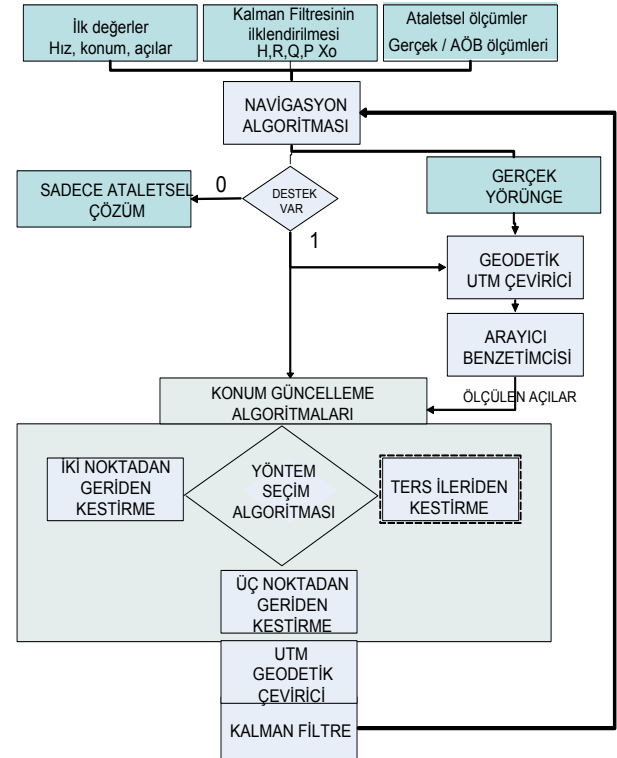
5. Modelleme ve Benzetim Çalışmaları

Benzetim çalışmaları için ataletsel navigasyon sistemi modeli oluşturulmuş, doğrusal olmayan navigasyon denklemleri ile navigasyon eksen takımı mekanizasyonu oluşturulmuş, dolaylı geri beslemeli Kalman filtre tasarlanmıştır. Oluşturulan benzetimin genel mimarisi Şekil 4’ de verilmiştir.

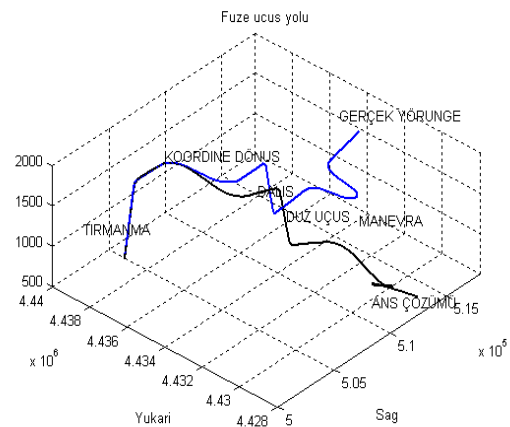
Çalışmada öngörülen füze sistemi kızılotesi görüntüleyici arayıcı başlığa ve taktik MEMS ataletsel ölçüm birimine sahiptir. MEMS ölçüm birimi 50 derece/saat (rms) sabit kayma hatasına sahip bir sistem olarak modellenmiş ve belirlenen tipik uçuş yolu için sistemin hata öznitelikleri doğrultusunda doğrusal ve açısal ivme değerleri yaratılmıştır. Gerçek füze uçuş yolu ve ataletsel ölçüm biriminden gelen ivmelerin navigasyon algoritmasında

işlenmesi sonucu “sadece ataletsel navigasyon çözümü” uçuş yolu hesaplanmıştır.

Şekil 5’ de görülen füze uçuş yolu, düz uçuş, ivmelenme, koordine dönüş, dalış aşamalarından oluşan çeşitli uçuş bölümlerinden oluşturulmuştur. Yaklaşık uçuş süresi 225 saniye ve uçuş hızı 300 m/s civarında alınmıştır. Sadece ataletsel navigasyon çözümü uçuş süresinin sonunda toplam 7500 metreden fazla hata yapmaktadır.

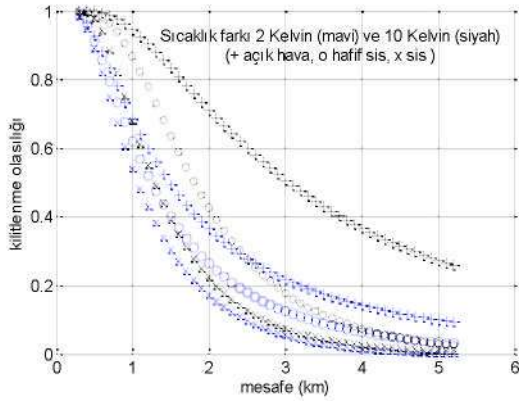


Şekil 4: Oluşturulan benzetimin genel mimarisi.

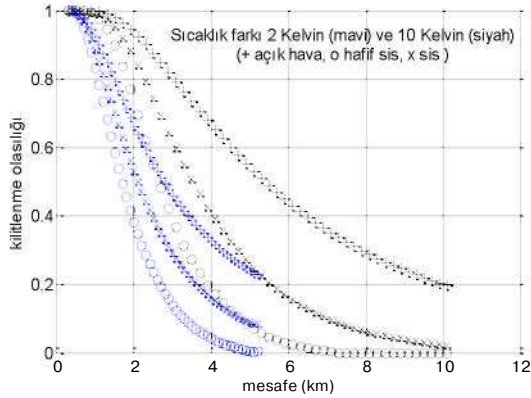


Şekil 5 MEMS AÖB ile gerçek ve ataletsel navigasyon çözümü yörüngeleri.

8-12 mikron kızılötesi dalga boyunda ışıma yapan sinyal yayıcılar için kilitlenme menzilleri tipik bir füze arayıcı başlığı için NVTHERM programı kullanılarak hesaplanmıştır [12]. 0.25 ve 1 metrekare kesit alanına sahip iki sinyal yayıcı tanımlanmış ve iyi ve kötü hava şartlarında görüş mesafesine bağlı hedef belirleme mesafeleri hesaplanmıştır. 2 Kelvin ve 10 Kelvin sıcaklık farkı ile ışıma yapan sinyal yayıcılar için açık hava, hafif sis ve sisli ortamdaki hedef (sinyal yayıcı) belirleme mesafeleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



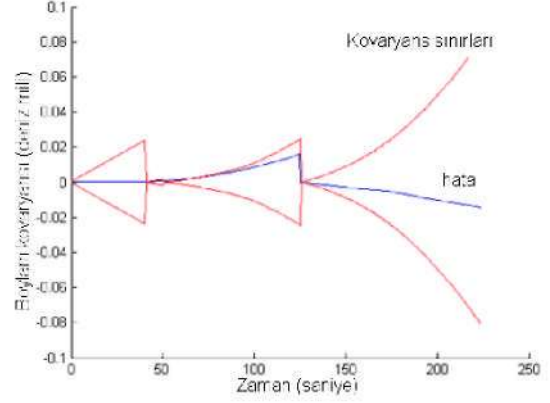
Şekil 6: 0.25 m² sinyal yayıcı için kilitlenme mesafeleri.



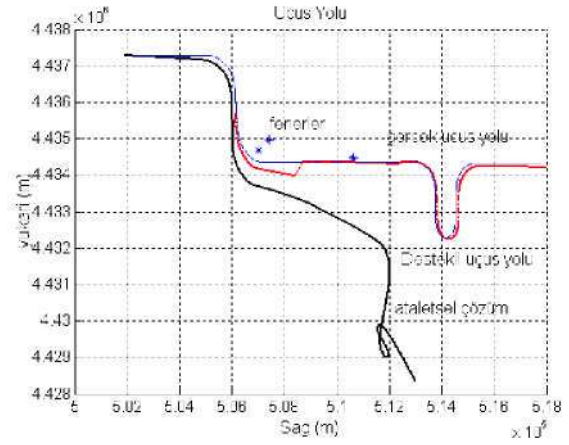
Şekil 7: 1 m² sinyal yayıcı için kilitlenme mesafeleri.

Ataletsel navigasyon sisteminin uçuş boyunca yaptığı konum hatasının azaltılması için sinyal yayıcılara yapılan gözlemler ile elde edilen konum güncellemeleri kullanılmıştır. Örnek bir senaryoda Konum güncelleme ile konum kovaryans değerlerindeki değişme Şekil 8'da, uçuş yolu iyileştirmesi Şekil 9'da görülmektedir.

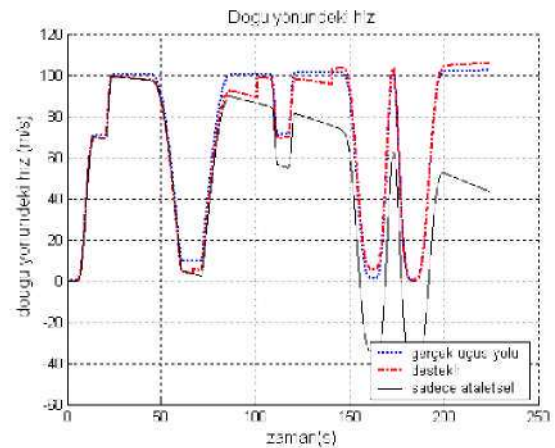
Şekil 9'da görülen üç sinyal yayıcı ile dört noktada yapılan konum güncelleme ile elde edilen hız bileşenlerindeki iyileştirmeler Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de görülmektedir. Yaklaşık 225 saniyelik uçuş boyunca 7000 metreden fazla hata yapan füze sisteminin yer konuşlu üç adet sinyal yayıcıdan destek alarak konum hata miktarını 700 metreden daha az konum hatası bandına çekebildiği gösterilmiştir [13]. Bu düzeltme miktarı da arayıcı başlığın hedefe kilitlenebileceği bölgeye girebilmesi için yeterlidir.



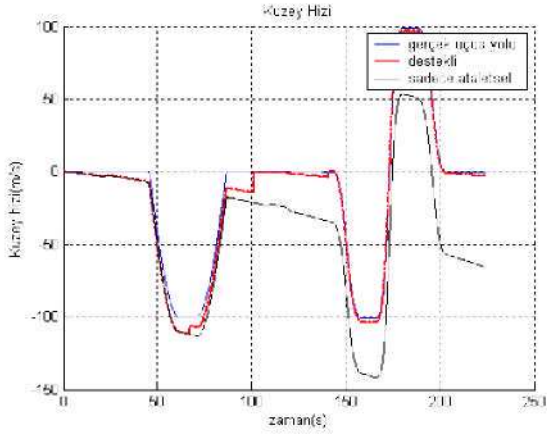
Şekil 8: Boylam için kovaryans sınırları ve hata miktarı



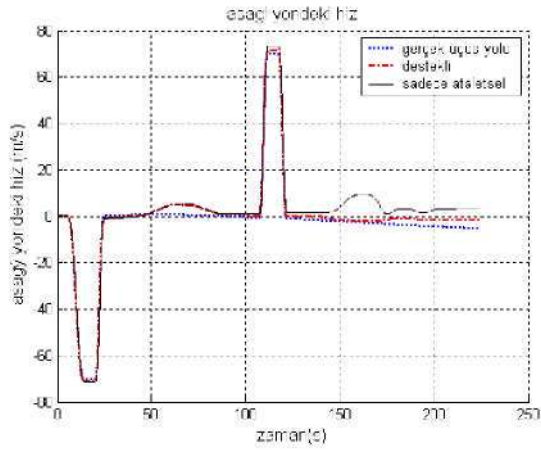
Şekil 9: Üç adet sinyal yayıcı ile dört noktada yapılan güncelleme sonucu elde edilen sonuç.



Şekil 10: Konum güncellemeleri ile doğu hızının değişimi



Şekil 11: Konum güncellemeleri ile kuzey yönündeki hızın değişimi.



Şekil 12: Konum güncellemeleri ile yerçekimi yönündeki hızın değişimi.

6. Sonuç

Bu çalışmada küresel konumlama sistemlerinin düşman tarafından karıştırıldığı durumlarda elektrooptik-kızılötesi kamera/arayıcı ve düşük hassasiyetli taktik ataletsel navigasyon sistemi ile donatılmış füze sistemlerinin görevi devam edebilmesi için yer ölçme algoritmalarının kullanıldığı ölçüm yöntemleri önerilmiştir. Uçuş yörüngesi boyunca görülebilen sinyal yayıcı sayısına bağlı olarak üç tip konum güncelleme yöntemi kullanılmış, her yöntemdeki geometrik kısıtlar duyarlılık kaybı ölçütü kullanılarak tanımlanmıştır. Kestirme yöntemlerinin uygun kullanımı ile platformun Kalman filtresinin gerekli düzeltmeleri alabildiği ve navigasyon çözümünü istenen ölçüde düzeltebildiği gösterilmiştir.

7. Kaynaklar

- [1] Schmidt, G., "INS/GPS Technology Trends", NATO SET Military Capabilities Enabled By Advances in Navigation Sensors Symposium. Antalya, 1-2 October 2007.

- [2] "Basic Guide to Advanced Navigation", NATO RTO Publication, SET-054/RTG-30, 2004.
- [3] Benshoof, P., "Civilian GPS systems and Potential Vulnerabilities", 746th Test Squadron, http://www.navcen.ucscg.gov/cgsic/meetings_2004.
- [4] Ekütekin, V., "Navigation and Control Studies on Cruise Missiles", Ph.D. Thesis, Mechanical Engineering Dept, METU, January 2007.
- [5] Siouris, G. M., "Missile Guidance and Control Systems", Springer-Verlag New York, Inc., pp. 551-576, 2004.
- [6] FM 6-2, "Tactics, Techniques, and Procedures for Field Artillery Survey", Headquarters, Department of the Army, Washington, DC, 1972.
- [7] Hmam, H., "Mobile Platform Self-Localization, Information, Decision and Control", 2007 IDC07 pp 242-247.
- [8] Brady, M., Cameron, S., Durrant-Whyte, H., Fleck, M., Forsyth, D., Noble, A., "Progress Toward a System that can Acquire Pallets and Clean Warehouses.", Proceedings of the International Symposium on Robotics Research, Santa Cruz, CA, August 1987, pp. 359-374.
- [9] Koyuncu H., Yang, Shuang Hua., "A Survey of Indoor Positioning and Object Locating Systems", IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.10, No.5, May 2010, pp 121-128.
- [10] Hui L., Houshang D., Pat B., Jing L., "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—part c: Applications and Reviews, Vol. 37, no. 6, November 2007, pp. 1067-1080.
- [11] Cohen, C., Koss, F., "A Comprehensive Study of Three Object Triangulation", Proceedings of SPIE Conference on Mobile Robots, 1993.
- [12] "NVTherm User's Manual", U.S Army RDECOM, CERDEC, Night Vision and Electronic Sensors Directorate, Modeling & Simulation Division, Fort Belvoir, VA, August 2010.
- [13] Güner, D. R. L. "Inertial Navigation System Improvement Using Ground Station Data", Ph.D. Thesis, Mechanical Engineering Department, METU, September, 2012.