

3B KAMERA TAKİBİ İÇİN EYLEMSİZLİK ALGILAYICILARININ BİRLEŞTİRİLMESİ

INERTIAL SENSOR FUSION FOR 3D CAMERA TRACKING

Nuri Özer¹, A. Tanju Erdem², Ali Ö. Ercan², Çiğdem Eroğlu Erdem¹

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bahçeşehir Üniversitesi

nuri.oz@stu.bahcesehir.edu.tr, cigdem.eroglu@bahcesehir.edu.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Özyeğin Üniversitesi

tanju.erdem@ozyegin.edu.tr, ali.ercan@ozyegin.edu.tr

ÖZETÇE

Bilindiği gibi, 3B hareketin kestirilmesi için kullanılacak bir geliştirilmiş Kalman süzgecinde (EKF), kamera ölçümlerinin yanı sıra ivme ve açı ölçer gibi eylemsizlik algılayıcıları verilerinin kullanılması süzgecin performansını artırmaktadır. Bu performans artışı, özellikle yüksek hızlı hareketlerin takibi sırasında çok belirgindir. Öte taraftan, eylemsizlik algılayıcılarının EKF içerisinde kontrol girdisi olarak mı yoksa ölçüm bilgisi olarak mı kullanılmasının daha faydalı olacağı net bilinmemektedir. Bu bildiriye, eylemsizlik algılayıcılarının kontrol girdisi veya ölçüm bilgisi olarak kullanıldığı bir çok farklı durumların karşılaştırmasını içeren simülasyon sonuçlarını sunuyoruz. Simülasyon sonuçlarımız göstermektedir ki, açısal hız ölçer algılayıcısını kontrol girdisi olarak kullanmak her zaman daha iyi takip performansı vermektedir. Öte taraftan, ivme ölçer algılayıcısı kontrol girdisi veya ölçüm bilgisi olarak kullanılabilir. Bu makalede ayrıca, daha önce literatürde yer almayan bir ivme ve açısal hız ölçer verilerinin kamera ölçümleri ile birleştirme yöntemine karşılık gelen EKF denklemleri elde edilmekte ve sunulmaktadır.

ABSTRACT

It is well known in a Bayesian filtering framework, the use of inertial sensors such as accelerometers and gyroscopes improves 3D tracking performance compared to using camera measurements only. The performance improvement is more evident when the camera undergoes a high degree of motion. However, it is not well known whether the inertial sensors should be used as control inputs or as measurements. In this paper, we present the results of an extensive set of simulations comparing different combinations of using inertial sensors as control inputs or as measurements. We show that it is better use a gyroscope as a control input while an accelerometer can be used as a measurement or control input. We also derive and present the extended Kalman filter (EKF) equations for a specific case of fusing accelerometer and gyroscope data that has not been reported before.

1. GİRİŞ

3B sanal ve gerçek ortamların tam olarak doğru bir şekilde

kaynaştırılmasının gerektiği eklenmiş gerçeklik (AR) uygulamalarında hassas 3B hareket takibi yapmak kritik bir rol almaktadır [1]. 3B takip sistemleri için önerilen pek çok yöntem bulunmasına rağmen, bunlardan GPS, GSM ve UMTS bilgilerini kullanan yöntemler iç mekan uygulamaları için uygun değildirler [2]. Kızıl ötesi (IR) ışık ve radyo frekans (RF) sinyallerini kullanan takip sistemleri etrafa IR ışık yayıcıları ve RFID etiketleri yerleştirmeyi gerektirmektedir [3], fakat bu yaklaşım kültürel miras uygulaması gibi görsel işaretlerin mekanlara yerleştirilmesine izin verilmeyen eklenmiş gerçeklik uygulamaları için uygun değildir. Öte taraftan, hareketten yapı çıkarma (SFM) tabanlı ve sadece kamera ölçümlerini kullanarak yapılan takip sistemleri yavaş kamera hareketleri için düzgün çalışmakta [5], fakat yüksek hız ve ivmeli hareketlerde düzgün çalışmamaktadır. İvme ve açısal hız ölçer gibi eylemsizlik algılayıcıları ise kameranın konumunun ve yönünün zaman içerisinde türevlerini ölçtükleri için, yüksek hızlı ve ivmeli hareketlerde takip performansını arttırmak için kullanılabilirler [6,7].

Kamera ölçümlerini ve eylemsizlik bilgilerini birleştirmek için gevşek-bağlı yaklaşım ve sıkı-bağlı yaklaşım olmak üzere iki ana yaklaşım bulunmaktadır [8,9]. İlk yaklaşımda, 3B hareket tahmini için bir tanesi kamera ölçümlerini kullanan diğeri eylemsizlik algılayıcı ölçümlerini kullanan iki ayrı süzgeç kullanılmaktadır. Kamera ölçümlerini kullanan süzgeç, eylemsizlik verilerini kullanan süzgece integral hataları için bir sınır sağlarken, eylemsizlik verilerini kullanan süzgeç, kamera ölçümlerini kullanan süzgeç için 3B hareket tahminleri sağlamaktadır. Diğer taraftan, sıkı-bağlı yaklaşımda, kamera ve eylemsizlik ölçümleri tek bir süzgeç içerisinde birleştirilir. Bu sayede her iki tür bilginin de daha verimli kullanılması sağlanmaktadır.

Bu bildiriye, kamera ve eylemsizlik verilerinin sıkı-bağlı yaklaşım altında ve değişik kombinasyonlarda birleştirilmesi incelenmiştir. Bir kamera, bir ivme ölçer ve bir açı ölçeri içeren basit bir simülasyon düzeneği kullanılmış, kamera ve eylemsizlik verileri için gürlüğü içeren ölçümler üretilmiştir. Bu ölçümler, 3B kamera hareketi takibi için kontrol girdisi ve ölçüm bilgisi olarak EKF süzgecinde kullanılmıştır.

Açı ölçer ve ivme ölçer verilerini kamera verileri ile birleştirmek için aşağıdaki dokuz farklı yaklaşım mümkündür:

1. Sadece kamera kullanılması
2. Sadece ivme ölçer verilerinin kontrol girdisi olarak kullanılması
3. Sadece ivme ölçer verilerinin ölçüm bilgisi olarak kullanılması

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından EEEAG-110E053 numaralı proje kapsamında desteklenmektedir.

978-1-4673-0056-8/12/\$26.00 ©2012 IEEE

4. Sadece açısız hız ölçer verilerinin kontrol girdisi olarak kullanılması
5. Sadece açısız hız ölçer verilerinin ölçüm bilgisi olarak kullanılması
6. Hem açısız hız ölçer hem de ivme ölçer verilerinin kontrol girdisi olarak kullanılması
7. İvme ölçer verilerinin kontrol girdisi olarak, açısız hız ölçer verilerinin ölçüm bilgisi olarak kullanılması
8. Açısız hız ölçer verilerinin kontrol girdisi olarak, ivme ölçer verilerinin ölçüm bilgisi olarak kullanılması
9. Hem açısız hız ölçer hem de ivme ölçer verilerinin ölçüm bilgisi olarak kullanılması

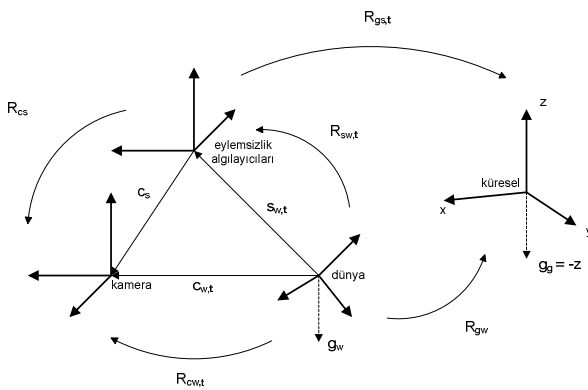
Yukarıdaki dokuz yaklaşımdan sadece üçü (a, b, ve g) daha önce literatürde araştırılmıştır [10,11]. Biz bu bildiriye, yukarıdaki tüm dokuz yaklaşıma ait EKF performansını karşılaştırıyoruz.

Bölüm 2'de, EKF'de kullanılan kamera ve eylemsizlik algılayıcılarının ölçüm modelleri anlatılmaktadır. Bölüm 3'de ivme ölçerlerin kontrol girdisi ve açısız hız ölçerlerin ölçüm bilgisi olarak kullanıldığı durum için gerekli EKF denklemleri sunulmaktadır. Bu özel durum daha önce literatürde araştırılmadığı için ilgili denklemler bildiğimiz kadarıyla ilk kez burada verilmektedir. Bölüm 4'te simülasyon düzeneği tanımlanmakta ve simülasyon sonuçları sunulmaktadır. Son olarak Bölüm 5'te simülasyon sonuçlarından çıkarılan gözlemler sunulmaktadır.

2. ÖLÇÜM MODELLERİ

2.1. Koordinat Sistemleri

Kamera (c), algılayıcı (s), dünya (w) ve küresel (g) koordinat sistemlerinin birbirleriyle olan ilişkisi Şekil 1'de verilmiştir. Quaternion vektörler ve döndürme matrisleri iki indeks ile tanımlanmışlardır. Örneğin, q_{sw} quaternion dünya koordinat sisteminden (w) algılayıcı koordinat sistemine (s) rotasyonu ifade etmektedir. Aşağıdaki simülasyonlarda algılayıcı koordinat sistemi ile kamera koordinat sistemi aynı kabul edilmiştir. Bu basitleştirme, bu bildiriye sonuçlarının genel olma özelliğini etkilemeyecektir.



Şekil 1. Küresel, dünya, algılayıcı ve kamera koordinat sistemleri ve bunların göreceli pozisyon ve oryantasyonları

2.2. Eylemsizlik Algılayıcı Ölçümleri

Kamera, ivme ölçer ve açısız hız ölçer ölçümlerinin f_s^c , f_s^a ve f_s^ω frekanslarında örneklendiği varsayılmaktadır. Bütün sistemin örnekleme frekansı bu üç frekansın en küçük ortak çarpanıdır. Ayarlanmış açısız hız ölçer sinyalinin algılayıcı koordinat sistemindeki yazımı aşağıdaki şekildedir:

$$y_{s,t}^\omega = \omega_{s,t} + b_{s,t}^\omega + e_{s,t}^\omega$$

$y_{s,t}^\omega$ ölçülen açısız hızı, $b_{s,t}^\omega$ yavaşça değişen sapma değerini, $e_{s,t}^\omega$ örnekleme değişimi $\sigma_\omega^2 = S_\omega f_s^\omega$ olan beyaz Gauss gürültüsünü, S_ω açısız hız ölçer algılayıcının güç spektral yoğunluğunu temsil etmektedir.

Ayarlanmış ivme ölçer sinyali algılayıcı koordinat sistemindeki yazımı aşağıdaki şekildedir:

$$y_{s,t}^a = R_{sw,t}(a_{w,t} - g_w) + b_{s,t}^a + e_{s,t}^a$$

g_w dünya koordinat sistemindeki yerçekimi kuvvetini simgelemektedir. $y_{s,t}^a$ ölçülen doğrusal ivmeyi, $b_{s,t}^a$ yavaşça değişen sapma değerini, $e_{s,t}^a$ örnekleme değişimi $\sigma_a^2 = S_a f_s^a$ olan beyaz Gaussian gürültüsünü, S_a ivme ölçer algılayıcısının güç spektral yoğunluğunu temsil etmektedir.

2.3. Kamera Ölçümleri

Kameradan görünen öznelik noktalarının 3B pozisyonları aşağıda verildiği gibidir:

$$p_t = \begin{bmatrix} p_{x,t} \\ p_{y,t} \\ p_{z,t} \end{bmatrix} = R_{cs}(R_{sw,t}(m_{w,t} - s_{w,t}) - c_s)$$

$m_{w,t}$ bir öznelik noktasının dünya koordinat sistemindeki 3B pozisyonunu, $s_{w,t}$ kameranın dünya koordinat sistemindeki 3B pozisyonunu simgelemektedir. Merkezi izdüşüm yöntemi kullanılarak öznelik noktalarının görüntü düzlemi üzerindeki 2B konumları aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$m_t = \begin{bmatrix} m_{x,t} \\ m_{y,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{p_{x,t}}{p_{z,t}} + e_{x,t}^c \\ \frac{p_{y,t}}{p_{z,t}} + e_{y,t}^c \end{bmatrix}$$

Bu denklemde $e_{x,t}^c$ ve $e_{y,t}^c$, yatay ve dikey yönlerde zamandan bağımsız Gauss kamera ölçüm gürültü değerlerini ifade etmektedirler.

3. SÜZGEÇ

Bu çalışmada, açısız hız ölçer ve ivme ölçerlerin kontrol girdisi veya ölçüm bilgisi olarak kullanıldığı bütün EKF kombinasyonlarını simülasyon ortamında gerçekleştirdik. Bildiriye sınırlı alan nedeniyle burada sadece açısız hız ölçerlerin ölçüm bilgisi ve ivme ölçerlerin kontrol girdisi olarak kullanıldığı durum için gerekli denklemleri veriyoruz. Bu duruma ait EKF denklemleri bildiğimiz kadarıyla daha önce literatürde incelenmemiştir.

Açısız hız ölçer ölçüm bilgisi ve ivme ölçer kontrol girdisi olarak kullanıldığında durum vektörü aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$x_t = [s_{w,t} \ v_{w,t} \ b_{s,t}^a \ q_{sw,t} \ \omega_{s,t} \ b_{s,t}^\omega]^T$$

Burada $s_{w,t}$, $v_{w,t}$, $b_{s,t}^a$, $q_{sw,t}$, $\omega_{s,t}$ ve $b_{s,t}^\omega$ sırasıyla kameranın konumunu, kameranın doğrusal hızını, ivme ölçerlerin

bias değerini, kameranın yönünün quaternion olarak gösterimini, kameranın açısal hızını ve açısal hız ölçerinin bias değerini ifade etmektedir. İvme ölçer kontrol girdisi olarak kullanıldığı için doğrusal ivme durum vektörü içerisinde yer almamaktadır.

Genişletilmiş Kalman süzgecinin öteleme modeli (açısal hız ve doğrusal ivmenin sabit olması modeli) şöyle ifade edilebilir:

$$x_t = f(x_{t-T}, y_{s,t}^a, \varepsilon_{w,t}^a, \varepsilon_{s,t}^\omega, \varepsilon_{s,t}^{b^a}, \varepsilon_{s,t}^{b^\omega})$$

$$= \begin{bmatrix} s_{w,t-T} + T v_{w,t-T} + \frac{T^2}{2} \varepsilon_{w,t}^a + \frac{T^2}{2} Q_{ws,t-T} (y_{s,t}^a - b_{s,t-T}^a) + \frac{T^2}{2} g_w \\ v_{w,t-T} + T \varepsilon_{w,t}^a + T Q_{ws,t-T} (y_{s,t}^a - b_{s,t-T}^a) + T g_w \\ b_{s,t-T}^a + \varepsilon_{s,t}^{b^a} \\ \Delta q_{sw,t} \odot q_{sw,t-T} \\ \omega_{s,t-T} + \varepsilon_{s,t}^\omega \\ b_{s,t-T}^{b^\omega} + \varepsilon_{s,t}^{b^\omega} \end{bmatrix}$$

burada \odot quaternion çarpımını ifade etmektedir ve

$$\Delta q_{sw,t} = \left[\cos \|\Delta \theta_{s,t}\| \frac{\Delta \theta_{s,t}^T}{\|\Delta \theta_{s,t}\|} \sin \|\Delta \theta_{s,t}\| \right]^T$$

ve

$$\Delta \theta_{s,t} = -\frac{T}{2} (\omega_{s,t-T} + \varepsilon_{s,t}^\omega).$$

Burada $\Delta q_{sw,t}$ için küçük açı yaklaşımı kullanılmıştır. Yukarıdaki öteleme modelinde $\varepsilon_{w,t}^a$, $\varepsilon_{s,t}^\omega$, $\varepsilon_{s,t}^{b^a}$ ve $\varepsilon_{s,t}^{b^\omega}$ sırasıyla ivme ölçerinin öteleme model gürültüsünü, açısal hız ölçerinin öteleme modeli gürültüsünü, ivme ölçerinin bias gürültüsünü ve açısal hız ölçerinin bias gürültüsünü ifade etmektedir. Tahmin edilen konum ve kovaryans matrisleri aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$\hat{x}_{t|t-T} = f(\hat{x}_{t-T|t-T}, y_{s,t}^a, 0, 0, 0, 0)$$

$$\hat{P}_{t|t-T} = F_t P_{t-T|t-T} F_t^T + V_t Q_t V_t^T + V_m Q_m V_m^T$$

Burada P_t kovaryans matrisini, F_t , V_t , V_m ise f 'in sırasıyla x_t , v_t and $y_{s,t}^a$ 'ye göre Jacobian değerlerini ifade etmektedir. Q_t diyagonal olarak sıralanmış öteleme modeli gürültü kovaryans matrisini, Q_m ise diyagonal olarak sıralanmış ölçüm gürültü kovaryans matrisini ifade etmektedir. Gürültülerin kovaryans matrisleri aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$Q_t = \text{diag}(\Sigma_{\varepsilon_{w,t}^a}, \Sigma_{\varepsilon_{s,t}^\omega}, \Sigma_{\varepsilon_{s,t}^{b^a}}, \Sigma_{\varepsilon_{s,t}^{b^\omega}})$$

$$Q_m = \text{diag}(\Sigma_{e_{s,t}^a})$$

Bu denklemlerde $\Sigma_{\varepsilon_{w,t}^a}$, $\Sigma_{\varepsilon_{s,t}^\omega}$, $\Sigma_{\varepsilon_{s,t}^{b^a}}$, $\Sigma_{\varepsilon_{s,t}^{b^\omega}}$ ve $\Sigma_{e_{s,t}^a}$ sırasıyla doğrusal ivmenin, açısal hızın, ivmenin bias değerinin, açısal hızın bias değerinin öteleme modeli gürültülerinin ve doğrusal ivmenin ölçüm modeli gürültüsünün diyagonal kovaryans matrislerini temsil etmektedir.

Genişletilmiş Kalman süzgecinin ölçüm modeli aşağıdaki şekilde modellenmiştir:

$$y_t = h(x_t, e_t) = \begin{bmatrix} y_{s,t}^\omega \\ m_t \end{bmatrix}$$

Bu durumda ölçüm modeli sadece kamera ve açısal hız ölçer ölçümlerini içermektedir. Son olarak geri kalan EKF denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$z_t = y_t - h(\hat{x}_{t|t-T}, 0, 0)$$

$$S_t = H_t P_{t|t-T} H_t^T + R_t, \quad K_t = P_{t|t-T} H_t^T S_t^{-1}$$

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-T} + K_t z_t, \quad P_{t|t} = P_{t|t-T} - K_t H_t P_{t|t-T}$$

Buradaki denklemlerde z_t değişiklik değerini, H_t , h 'nin x_t 'ye göre Jacobian değerini, R_t diyagonal ölçüm gürültüsünün kovaryans matrisini temsil edilip $R_t = \text{diag}([\Sigma_{e_{s,t}^\omega}, \Sigma_{e_t^f}])$ olarak ifade edilmektedir.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, kullandığımız simülasyon düzeneğini ve simülasyon sonuçlarını anlatıyoruz. Simülasyonlarda kamera ve eylemsizlik algılayıcılarının birbirlerine sıkıca bağlı olduklarını ve koordinat sistemlerinin aynı olduğunu varsaydık. Mekana ait 3B öznitelik noktalarına karşılık olarak üst üste bindirilmiş iki kübün köşelerini kullandık. Şekil 2'de öznitelik noktalarının 3B pozisyonları görülmektedir. Tüm deneylerde bütün öznitelik noktalarının bütün görüntülerde görüldüğünü ve takip sırasında öznitelik noktaları arasında herhangi bir yanlış eşlemenin olmadığını varsaydık.

Kameranın merkezi, yarı çapı R olan bir daire etrafında T_t periyodu ile hareket ederken, aynı zamanda kendi yerel x , y ve z eksenleri etrafında da dönmektedir (Şekil 2). Kameranın döndüğü daire $k-z$ düzlemi üzerinde olup k , $x=y$ eksenine tekdüzelir. Dairenin merkezi ise dünyanın koordinat sisteminin merkezi olarak alınmıştır. Kameranın doğrusal hareketinin denklemleri şu şekilde ifade edilebilir:

$$s_i(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} R \cos\left(\frac{2\pi}{T_t} t\right) \quad i = x, y$$

$$s_i(t) = R \sin\left(\frac{2\pi}{T_t} t\right) \quad i = z$$

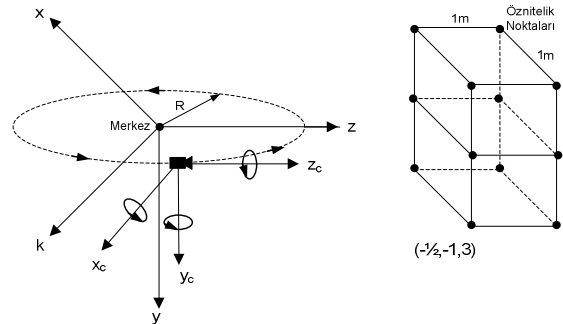
kameranın dönme hareketinin denklemleri de şu şekilde ifade edilebilir:

$$\theta_i(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T_r} t\right) \quad i = x, y, z.$$

Yukarıda T_r dönme periyodunu, A maksimum dönme açısını ifade etmektedirler. Kameranın ölçüm gürültülerinin, yani $e_{x,t}^c$ ve $e_{y,t}^c$, varyans değeri σ_c^2 kameranın doğrusal ve dönme hareketiyle ilintili olarak hesap edilebilir [9]:

$$\sigma_c^2 = \left(\frac{2R}{DT_t f_s^c}\right)^2 + \left(\frac{2 \tan(A)}{T_r f_s^c}\right)^2 + \frac{\alpha f_s^c}{F^2}$$

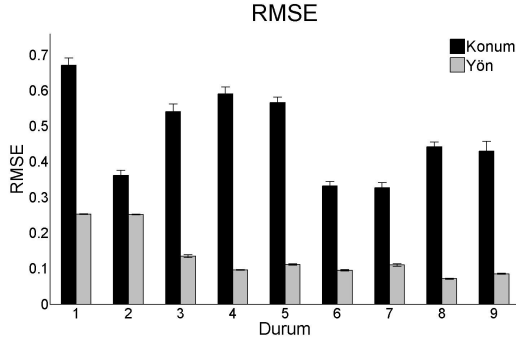
Yukarıda F kameranın odak uzaklığını, D ise kameranın 3B noktalara ortalama yatay uzaklığını belirtir; D değeri bizim deneylerimizde $1m$ alınmıştır.



Şekil 2. Üç yönde de doğrusal ivme ve açısal hız içeren bir üç boyutlu (3B) kamera hareketi; gözlenen 3B noktalar hiç düzlemle sınırlı değildir.

Bizim deneylerimizde, R ve A değerleri sırasıyla $1m$ ve $\pi/15$ rad olarak seçilmiştir. T_t ve T_r için hızlı harekete karşılık gelecek şekilde sırasıyla $10^{-0.4}$ ve 10^{-1} s değerleri kullanılmıştır. Kameranın frekansı 30Hz, eylemsizlik algılayıcılarının örnekleme frekansı ise 120Hz olarak belirlenmiştir.

EKF süzgecini sentetik olarak üretilen algılayıcı bilgileriyle 300 saniye çalıştırdık ve her deneyi 5 kez tekrarladık. Üç eksen üzerinden ortalama konum ve yön tahmini hataları RMSE değerleri olarak Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Tüm yaklaşımlar için konum (siyah) ve yön (gri) tahmin hataları ve standart sapma değerleri. Soldan sağa: 1. sadece kamera ölçümleri, 2. kamera+ivme ölçer (kontrol), 3. kamera+ivme ölçer (ölçüm), 4. kamera+açısal hız ölçer (kontrol), 5. kamera+ açısal hız ölçer (ölçüm), 6. kamera+ivme ölçer (kontrol)+açısal hız ölçer (kontrol), 7. kamera+ivme ölçer (kontrol)+açısal hız ölçer (ölçüm), 8. kamera+ivme ölçer (ölçüm)+açısal hız ölçer (kontrol), 9. kamera+ivme ölçer (ölçüm)+açısal hız ölçer (ölçüm).

Şekil 3'teki barlardan görüldüğü üzere, iki eylemsizlik algılayıcısının EKF performansına etkisi farklıdır. Yukarıdaki performans değerlerinden elde ettiğimiz sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Eylemsizlik algılayıcılarının doğrusal hareketin tahminine olan etkisi: (i) İvme ölçerin kontrol girdisi olarak kullanıldığı durum en iyi sonucu vermektedir. (ii) Açısal hız ölçerin kontrol girdisi yada ölçüm bilgisi olarak kullanılmasına bağlı olmaksızın ivme ölçerin ölçüm girdisi olarak kullanıldığı durum en iyi ikinci sonucu vermektedir.

Eylemsizlik algılayıcılarının dönme hareketin tahminine olan etkisi: (i) Açısal hız ölçerin kontrol girdisi olarak ve ivme ölçerin de ölçüm bilgisi olarak kullanıldığı durum en iyi sonucu vermektedir. (ii) İvme ölçerin kullanılıp kullanılmamasından bağımsız olarak, açısal hız ölçerin kontrol girdisi olarak kullanılması ölçüm girdisi olarak kullanılmasına göre her zaman daha iyi sonuçlar vermektedir.

Bu bildiride, açısal hız ölçer ve ivme ölçer verilerinin ikisinin birden kullanıldığı dört yaklaşıma ait CPU zamanlarını da karşılaştırdık. İki eylemsizlik algılayıcısının da kontrol girdisi olarak kullanıldığı yaklaşımda durum vektörünün boyutu en kısa olduğu için en hızlı çalışan yaklaşım buydu, o nedenle bu yaklaşımın CPU zamanını referans olarak aldık. İki eylemsizlik ölçerin de kontrol girdisi olarak kullanılması durumu ile karşılaştırıldığında (i) ivme ölçer ölçüm girdisi olarak kullanılınca işlem hızı 2.02 kat yavaşladı, (ii) açısal hızölçer ölçüm girdisi olarak kullanılınca işlem hızı 2.72 kat yavaşladı, ve (iii) hem ivme hem de açısal hız ölçer ölçüm girdisi olarak kullanılınca işlem hızı 2.95 kat yavaşladı. Bu

sonuçlardan görüleceği gibi, açısal hızölçerin ölçüm girdisi olarak kullanılması işlem hızını ivme ölçere göre daha çok yavaşlatmaktadır.

5. SONUÇ

Bu bildiride, 3B kamera hareketi takibi için eylemsizlik algılayıcıları ve kamera ölçümlerinin EKF süzgecinde bir arada kullanıldığı dokuz farklı yaklaşımın performansını karşılaştırdık. Deneylerimizde, kameraya bağlı biri 3-DOF ivme ölçer ve diğeri 3-DOF açısal hız ölçer olmak üzere iki eylemsizlik algılayıcısı kullandık. Her algılayıcının ölçüm bilgisi olarak kullanıldığı veya kontrol girdisi olarak kullanıldığı veya kullanılmadığı durumlara karşılık gelen toplam dokuz EKF süzgecinin performansını inceledik. Bu karşılaştırma, bildiğimiz kadarıyla literatürde ilk kez yapılmaktadır.

Bu bildiride sunulan simülasyon sonuçları ile, açısal hız ölçer ve ivme ölçerin EKF performansına olan etkilerinin farklı olduğu gösterilmiştir. Bu performans farkını şöyle özetlemek mümkündür: Açısal hızölçeri kontrol girdisi olarak kullanmak hem konum hem de yön takibi için daha iyidir. Diğer taraftan, ivme ölçerin doğrusal hareket takibi için kontrol girdisi olarak kullanılması daha iyi sonuç vermeye beraber, yön takibi için ölçüm girdisi olarak kullanılması daha iyi sonuçlar vermektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: Teleoperators and Vir. Env.*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, Aug. 1997.
- [2] A. Schmeil and W. Broll, "Mara: an augmented personal assistant and companion," in *SIGGRAPH '06: ACM SIGGRAPH 2006 Sketches*. New York, NY, USA: ACM, 2006, p. 141.
- [3] G. Papagiannakis, G. Singh, and N. Magnenat-Thalmann, "A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems," *J. Comp. Anim. Virtual Worlds*, vol. 19, no. 1, pp. 3-22, Feb. 2008.
- [4] G. Papagiannakis and N. Magnenat-Thalmann, "Mobile augmented heritage: Enabling human life in ancient pompeii," *Int. J. of Architectural Comp.*, vol. 5, no. 2, pp. 396-415, June 2007.
- [5] P. Corke, J. Lobo, and J. Dias, "An introduction to inertial and visual sensing," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 26, no. 6, pp. 519-535, 2007.
- [6] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. Mac-Intyre, "Recent advances in augmented reality," *Computer Graphics and App., IEEE*, vol. 21, no. 6, pp. 34-47, nov/dec 2001.
- [7] Y. Yokokohji, Y. Sugawara, and T. Yoshikawa, "Accurate image overlay on video see-through hmds using vision and accelerometers," *Proc. IEEE Virtual Reality*, pp. 247-254, 2000.
- [8] D. Strelow, "Motion estimation from image and inertial measurements," Ph.D. dissertation, CMU, 2004.
- [9] A. O. Ercan and A. T. Erdem, "On Sensor Fusion for Head Tracking in Augmented Reality Applications," *American Control Conference, IEEE*, pp. 1286-1291, 2011.
- [10] G. Bleser and D. Stricker, "Advanced tracking through efficient image processing and visual-inertial sensor fusion," *Computers & Graphics*, vol. 33, no. 1, pp. 59-72, 2009.