

Kamera Görüntülerinden Gidilen Yolun Kestirimi

Aykut Münük¹, Münir Sali¹ ve M.Fatih Amasyalı¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Çalışmada hareket eden bir nesne üzerine yerleştirilen bir kameradan alınan görüntülerle nesnenin 2 boyutlu ortamda gittiği yolun bulunması amaçlanmıştır. Metot olarak öncelikle kameradan alınan ardışık görüntülerdeki eşleşen SIFT (Scale-invariant feature transform-Ölçekten Bağımsız Öznelik Dönüşümü) noktaları bulunmaktadır. Daha sonra eşleşen noktaların koordinat farklarının histogramları kullanılarak bu iki görüntü arasında nesnenin gittiği yolun büyüklüğü ve yönü belirlenmektedir. Gidilen yol 2 boyutlu uzayda yönlü doğru parçaları dizisiyle temsil edilmektedir. Bir cep telefonu kamerasıyla gerçek ortamlarda yapılan deneyler sonucunda gidilen yolun, hareketsiz ortamlarda başarılı, hareketli (kameranin bağlı olduğu nesne haricinde başka hareketli nesneler olduğu) ortamlarda ise gürültülü olarak belirlenebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *SIFT, Ölçekten Bağımsız Öznelik Dönüşümü, Görsel Odometri*

Moving Path Estimation from Video Sequences

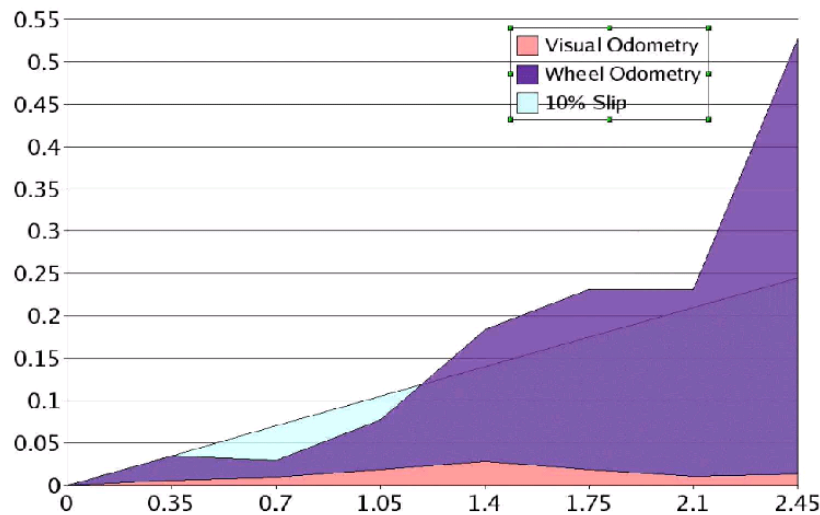
The aim of the study is estimating a robot's path from its camera sequences. Firstly, Scale Invariant Feature Transform - SIFT method was used to detect the identical points of the successive frames. The histograms of the coordinate differences of the matched points are used for estimating the path. The respective pathway was represented in two dimensional spaces by directional combining of the matched (identical) points. The goal of the experiment is to be able to achieve a comparison of the experimental path and theoretical path of a certain object that holding a camera. The experimental results show, the path estimation by using successive images is applicable in static environments, but in the dynamic environments, the generated paths are very noisily.

Key Words: *SIFT, Visual Odometry*

1. GİRİŞ

Otonom robotların gerek gündelik hayatta (rehber robotlar, hastabakıcı robotlar vb.) gerekse insanların gitmelerinin zor, tehlikeli (uzay, afet sonrası yıkıntılar, bomba, mayın imha vb.) olduğu alanlarda kullanımı giderek artmaktadır. Otonom bir robotun bir ortamda iş görebilmesi için başlıca koşullardan biri nerede olduğunu bilmesidir. Başlangıçta bulunduğu yeri bildiği bir durumda bir hareket işaretine göre ilerleyen robotun yeni konumunu hesaplaması ideal ortamlarda (hatasız ölçümleme ve hatasız kontrol) sadece hareket işaretine göre mümkünken gerçek uygulamalarda giderek artan bir hataya sebep olmaktadır. Bu nedenle literatürde hareket işaretinin yanında ortamdan alınan ölçümlerin de (çevredeki engel, nesnelere uzaklık vb.) kullanıldığı istatistiki algoritmalar geliştirilmiştir (Haehnel ve diğ, 2002). Bu algoritmalar ailesine Eşzamanlı Konumlandırma ve Harita Çıkarma (SLAM) adı verilmektedir. Bu algoritmalarda robotun bir sonraki konumu ve ortam algısı, önceki hareket işaretlerine, önceki konumuna ve önceki ortam algısına bağlı olasılıklar olarak hesaplanmaktadır.

Robotun hareketinin dolayısıyla yeni konumunun hesaplanması için ortamdan alınabilen ölçümlere örnek olarak teker / paletin dönme sayısı, açısı, robotun etrafındaki cisimlere uzaklıkları, robotun üzerindeki bir kamera ile alınan görüntü verilebilir. Şekil 1’de Mars’ta kullanılan otonom robotla yapılan bir deneyin sonuçları verilmiştir[X]. Robot hareketinin tekerlerin dönme sayısı ile hesaplandığı durumla (Wheel odometry), kamera görüntüleriyle hesaplandığı durum (Visual odometry) yapılan hatalar cinsinden karşılaştırılmıştır. Ölçekler metre cinsindendir.



Şekil 1. Kaya tırmanışı yaparken tekerlek ve görsel odometrinin hataları (yatay düzlem gidilen yol, dikey düzlem yapılan hata)

Şekil 1’de görüldüğü gibi düzgün olmayan (kayalık) ortamlarda tekerlerle yapılan tahminlerin hatası, görsel odometriye göre çok daha yüksektir. Bunun sebebi tekerin dönmesine rağmen, robotun bu dönüş kadar yol alamamasıdır.

Literatürdeki Görsel odometri (robota bağlı bir kameradan alınan görüntüleri kullanarak robotun gittiği yolun kestirimi) sistemlerinin başarılarını, PARS grubu olarak geliştirdiğimiz robotların konumlandırma sistemlerine eklenmesi için kullandığımız metotlar ve yaptığımız deneyler bu çalışmanın içeriğini oluşturmaktadır.

Çalışmanın 2. bölümünde Görsel odometri sistemini nasıl uyguladığımız, 3. bölümde görsel odometride kullanılan SIFT algoritması, 4. bölümde ise deneysel sonuçlarımız sunulmuştur. 5. bölümde bu süreçten öğrendiklerimiz ve gelecekte yapmayı planladıklarımız yer almaktadır.

2. GÖRSEL ODOMETRİ

Bir kamera ile çekilen bir videodan kameranın hareketinin kestirimi işlemi görsel odometri olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmamızda bir cep telefonu kamerasını sabit bir açıyla tutarak yürüyen bir insanın gittiği yol kestirilmiştir. Yapılan işlemin sözde kodu aşağıda verilmiştir. Kodda t zamanı, N videodaki imge sayısını göstermektedir.

for $t = 1 : N-1$

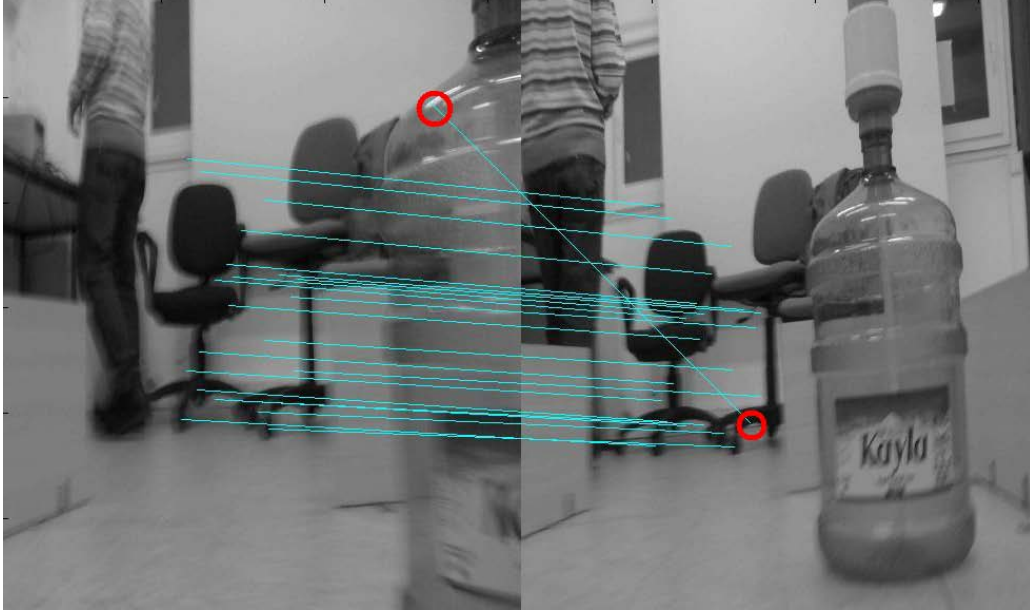
Eşleşen aday noktalar = SIFT(imge(t), imge($t+1$))

Eşleşen noktalar = Filtrele(Eşleşen aday noktalar)

Hareket vektörü = Hareket Bul(Eşleşen noktalar)

Yeni konum vektörü = Eski konum vektörü + Hareket vektörü

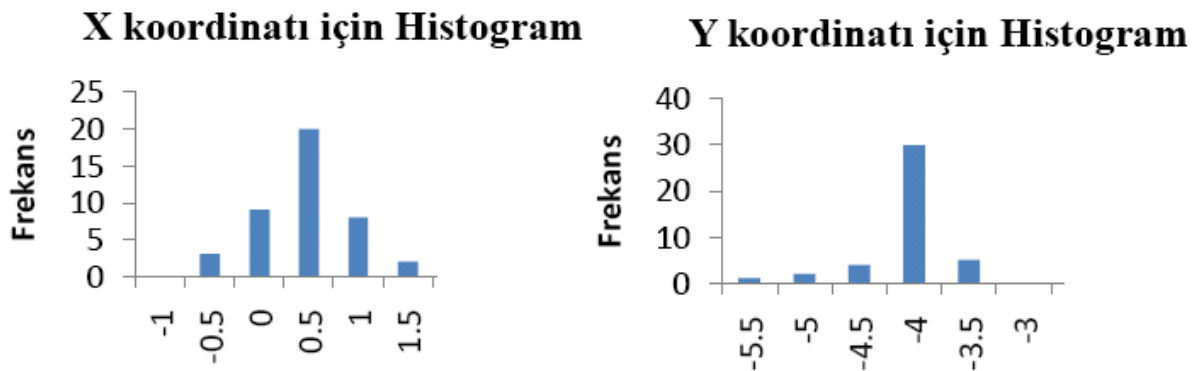
Algoritmanın her imge ikilisi için çalıştırılan ilk adımında 3. bölümde anlatılan SIFT algoritması ile iki imgedeki eşleşen noktalar bulunmuştur. Şekil 2’de örnek ardışık 2 imge üzerinde SIFT ile bulunan 34 nokta eşleşmesi verilmiştir.



Şekil 2. Ardışık 2 imgedeki eşleşen noktalar

Algoritmanın 2. adımında yer alan filtreleme işleminde eşleşen tüm noktalardan yanlış eşleşmeler çıkarılmıştır. Bunun için eşleşen noktaların iki imgedeki X ve Y boyutlarındaki koordinatlarının farkları önceden belirlenen bir eşik değerinden büyükse o nokta ikilisi eşleşen noktalar kümesinden çıkarılmıştır. Şekil 2’de böyle filtrelenen 1 adet nokta ikilisi vardır ve daire ile işaretlenmişlerdir.

Algoritmanın 3. adımında eşleşen noktaların iki imgedeki X ve Y boyutlarındaki koordinat farklarının ortalaması alınarak X ve Y boyutlarındaki hareketin büyüklüğü ve yönü belirlenmektedir. Şekil 3’te iki boyutta bulunan histogramlar kullanılarak kameranın X boyutunda 0.5 birim, Y boyutunda ise -4 birim hareket ettiği bulunmaktadır.

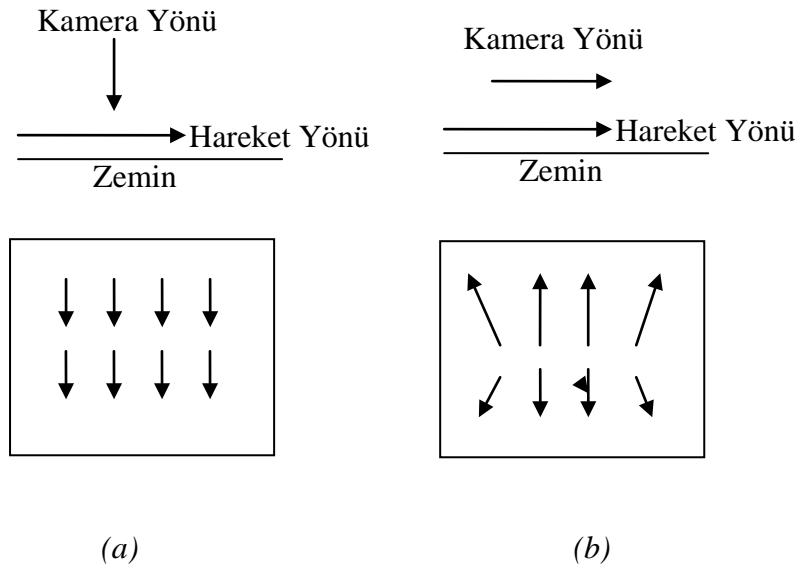


Şekil 3. Eşleşen noktaların X ve Y boyutlarındaki koordinat farklarının histogramları

Algoritmanın son adımında ise 3. adımda bulunan hareket vektörü eski konum vektörüyle toplanarak yeni konum vektörü bulunmaktadır.

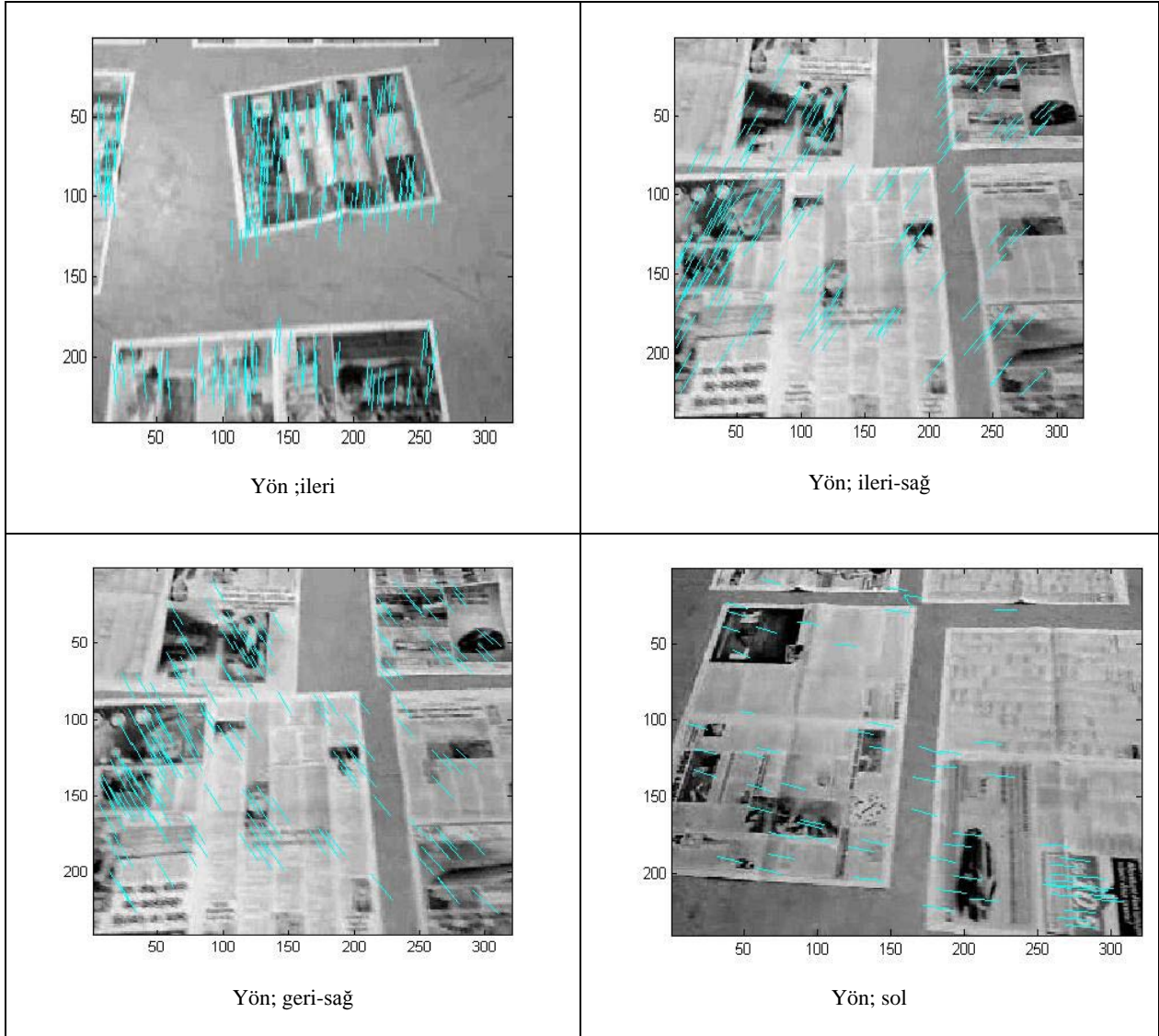
Algoritmada gri seviyedeki 250*200 piksellik imgelerle çalışılmıştır. Algoritmanın çalışma hızı Pentium 4, 512 MB RAM'lik bir makinede ortalama 1 imge/sn'dir. Bu hız gerçek zamanlı bir çalışma için yeterlidir.

Çalışmanın geliştirilme aşamasında karar verilmesi gereken konulardan birisi de kameranın çekim açısıydı. Kameranın çekim açısı belirlenirken, kameranın hareketiyle, ardışık imgeler arasında eşleşen noktaların koordinat farkı hareketlerinin birbirlerine en benzer oldukları açı aranmış ve en iyi açının yerin çekildiği (hareket düzlemine dik) açı olduğu bulunmuştur. Şekil 4'te kameranın yere paralel ve dik konumlarda olduğunda ardışık imgelerde eşleşen noktaların örnek hareketleri verilmiştir.



Şekil 4. Kamera açısının eşleşen noktaların hareketleri üzerindeki etkisi, kamera açısı (a) hareket yönüne dik, (b)hareket yönüne paralel

Hareket yönüne dik açıyla çekilen videolarda 4 farklı hareket için elde edilen hareket vektörleri Şekil 5'te gösterilmiştir. SIFT metodu tamamen homojen yüzeylerde belirgin noktalar bulamadığından dolayı Şekil 5'teki denemelerde zemine gazeteler serilmiştir. Robotların gerçek ortamlarında da tamamen homojen ortamlar olmadığından yapılan bu düzenleme yöntemin kullanılabilirliğini azaltmamaktadır.



Şekil 5. 4 farklı hareket için ardışık imge ikililerinden elde edilen hareket vektörleri

Şekil 5 incelendiğinde kameranın gerçek hareketiyle, eşlenen noktalarla elde edilen hareket vektörünün uyumlu olduğu görülmektedir.

3. ÖLÇEK TEN BAĞIMSIZ ÖZNİTELİK DÖNÜŞÜMÜ (SIFT)

İki imgedeki aynı bölgelerin bulunması için literatürde birçok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada bu işlem için Lowe (Lowe, 2004) tarafından önerilen Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü – SIFT seçilmiştir. Bunun sebebi yöntemin imgenin boyutundan, imgenin alındığı kameranın bakış açısından, imgenin alındığı ortamın ışık koşullarından, imgedeki nesnelerin

açısından bağımsız olarak eşleme işlemini başarabilmesidir. SIFT algoritmasında temel olarak izlenen 4 adım vardır (Serce ve diğ., 2008):

- 1-Ölçeksel uzaydaki ekstrem(uç değer) noktaların tespiti
- 2-Kilit noktalarının belirlenmesi
- 3-Yönelim tespiti
- 4-Düğüm noktalarının niteliklendirilmesi

Uç değer, ölçeksel uzayda sabit olan noktalardır. Ölçeksel uzay oluşturularak kilit nokta olabilecek noktalar tespit edilir ve bu noktaların Gauss filtresinden geçirilir, kenar tespit yöntemleri(LOG,DOG,.. vb.) kullanılarak iki resim arasındaki fark elde edilir. Daha sonra düşük kontrasta sahip olan noktalar elenerek daha kararlı olan noktalar elde edilir. Yönelim tespiti ise düğüm noktalarının piksel-altı hassasiyetiyle konumlandırdıktan sonra bu noktaların yerel türevlerin yönleri kullanılarak yapılır.

Ekstremlerin elde edilmesi: Aynı nesnenin farklı pozisyonlarda tanınmasını sağlayacak olan kısımdır. Görüntü üzerinde birçok nokta tespiti yapılır fakat bu noktaların bazıları nesne ile ilgili olmadığından dolayı Gauss filtreleme fonksiyonu (Eşitlik 1) kullanarak ayıklanır.

$$G(x,y,\sigma)=[1/(2\pi\sigma^2)]*e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de I: orijinal resim, G:değişken orantıya sahip Gauss fonksiyonu göstermek üzere Ölçeksel uzay fonksiyonu Eşitlik 2’de verilmiştir.

$$L(x,y,k\sigma)=G(x,y,k\sigma)*I(x,y) \quad (2)$$

Kilit noktaların belirlenmesi: Görüntüde tespit edilen kilit noktalar kontrast değerleri baz alınarak elenir(düşük kontrasta sahip noktalar elenir). Bu işlemi yapmak için DOG metodu kullanılır.

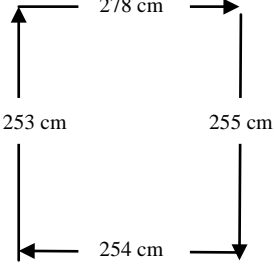

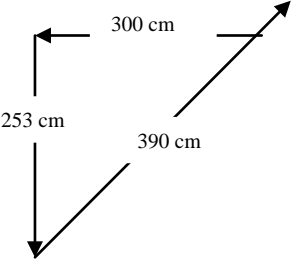
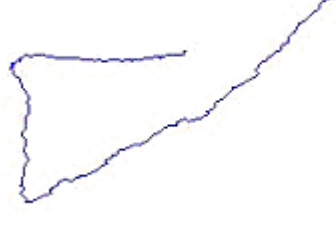
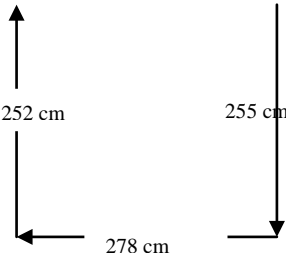

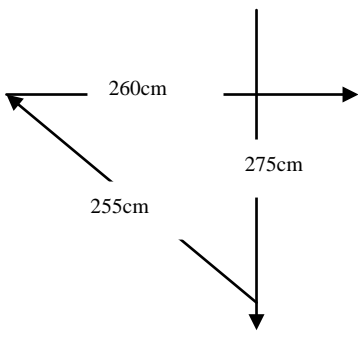

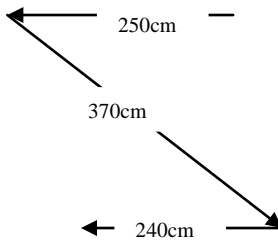

Yönelim tespiti: Bu adım, iki boyutlu düzlem üzerinde nesnedeki açısal değişiklikler için nesneyi kaybetmememizi sağlayacaktır. Bu evrede büyüklük ve yön hesaplanır.

Düğüm(kilit) noktalarının niteliklendirilmesi: Bu evrede ise üç boyutlu eksende görüntü içerisindeki nesnenin kaybı engellenir.

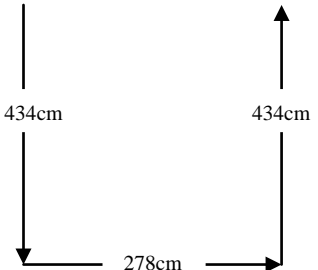

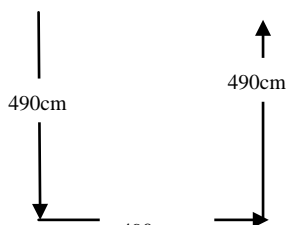

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde 2. bölümde anlatılan adımlar uygulanarak sabit ve dinamik ortamlarda uygulanan metodun sonuçları verilmiştir. Tablo 1’de sabit, Tablo 2’de dinamik (görüntüye hareketli başka nesnelerinde girdiği) ortamlarda yalpan denemeler gösterilmiştir.

Tablo 1. Sabit ortamlarda yapılan çeşitli deney sonuçları

Görüntü çekilirken izlenen rota	SIFT ile bulunan rota
	
	
	
	
	

Tablo 2. Dinamik ortamlarda yapılan çeşitli deney sonuçları

Görüntü çekilirken izlenen rota	SIFT ile bulunan rota
	 <p>Sadece başlangıç yönü hareketli ortam içinde gerçekleşmiştir.</p>
	 <p>Çekimin tamamı hareketli ortamda yapılmıştır.</p>

Çalışmanın değerlendirilmesinde kullanılacak başarı ölçütü bulunan yolun, gerçek yola benzerliğidir. Tablo 1 ve 2 incelendiğinde sabit ortamlarda gerçek rota ile bulunan rotanın birbirine oldukça benzer olduğu, dinamik ortamlarda ise ana rotanın bir ölçüde korunduğu ancak oldukça gürültülü rotalar bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte kamera görüntülerinin bir insanın yürürken elinde tuttuğu bir kameradan alındığı düşünülürse, kameranın ilk sütunlarda verilen gerçek rotadaki kadar düzgün bir şekilde hareket ettirilmediği anlaşılabacaktır. Tablo 1'deki rotalardaki küçük oynamaların, ellerin küçük hareketlerinden ve insan yürüyüşünün düzensiz salınımından ileri geldiği düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmamızda bir cep telefonu kamerasını hareket düzlemine dik tutarak yürüyen bir insanın gittiği yol kestirilmiştir. Bu işlem robotların üzerlerine bağlanan kameralardan alınan görüntülerle robotların gittikleri yolun hesaplanmasının bir benzeridir. Bunun için kameradan alınan ardışık imgelerdeki eşleşen noktalar SIFT algoritmasıyla bulunmuş ve eşleşen noktaların koordinatları arasındaki farklar kullanılarak gidilen yol hesaplanmıştır. Deneyler birbirinden 2 farklı (sabit ve dinamik) ortamda gerçekleştirilmiştir. Sabit ortamda gidilen yol

başarılı bir şekilde tahmin edilirken, dinamik ortamda oldukça gürültülü olarak tahmin edilebilmiştir.

Gelecek bir çalışma olarak, dinamik ortamlardaki problemin çözümü için eşleşen noktaların hareket vektörlerinin kümelenerek kameranın ve ortamdaki diğer nesnelerin hareket vektörlerinin birbirlerinden ayırt edilmesi düşünülmektedir.

Son yıllarda literatürde robotun konumunu ve çevresini daha iyi doğru hesaplayabilmesi için algılayıcı verilerini birleştirme yoluna gidilmektedir (sensor fusion). Bu yaklaşıma paralel olarak gelecek çalışmamızda gerçek robotumuz üzerinde lokalizasyon yaparken teker odometrisine bu çalışmada yapılmış olan görsel odometrinin eklenmesi planlanmaktadır.

Bununla birlikte SIFT algoritması noktasal eşleştirmeler yaparak benzer noktaları bulmaktadır, bu işlem dokusal yüzeylerde işe yaramamaktadır. Bu olumsuz etkiden kurtulmak için bir imge segmentasyonu algoritması olan JSEG ile SIFT algoritmasının birbirleri ile senkronize çalışması veya yeni bir sentez sağlanarak çıkarılan özelliklerin benzerliklerine bağlı kilit noktaların eşleşmesi yanında dokusal yüzeylerinde eşleşmesi sağlanabilir.

Deney ortamının büyütülüp kameranın bir otoyolda hareket eden bir arabanın üzerine (dinamik ortam- yüksek hız) takılıp arabanın gittiği yolun bulunması bir başka gelecek araştırma alanı olarak düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Haehnel, D., Schulz, D., and Burgard, W., 2002, "Map building with mobile robots in populated environments", International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 496-501.
2. Mark Maimone, Yang Cheng, Larry Matthies, 2007, "Two Years of Visual Odometry on the Mars Exploration Rovers", Journal of Field Robotics, **24(3)**, 169-186.
3. David G. Lowe, 2004, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", International Journal of Computer Vision, **60(2)**, 91-110.
4. Serce, H., Bastanlar, Y., Temizel, A., Yardimci, Y., 2008, "On Detection of Edges and Interest Points for Omnidirectional Images in Spherical Domain", SIU 2008, 20-22 April, Didim, Turkey.