

**Mini Drone ile Demiryollarında Engel ve Kurp Algılaması için Görüntü İşlemede Doğrusal Hough Dönüşümü Yaklaşımı**

Seçkin ULUSKAN

*Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Elektrik Elektronik Programı, Eskişehir, Türkiye***seckinuluskan@eskisehir.edu.tr**(Alınış/Received: 01.07.2025, Kabul/Accepted: 17.07.2025, Yayımlama/Published: 31.07.2025)*

Öz: Bu çalışma, demiryolları üzerinde uçarak görüntü alan mini drone'lar için Hough dönüşümüne dayalı bir engel ve kurp algılama sistemi tanıtmaktadır. Drone'lar daha önce, demiryolu altyapısını izlemek ve ray boyunca olası bir arızayı tespit etmek için kullanılmıştır. Diğer taraftan, yapay zeka raylı sistemlerde hem engel hem de ray kusurlarını tespit amacıyla kullanılmıştır. Bu teknolojiler henüz geliştirmeye açıktır. Bu sebeple, güvenilirlik açısından, ve destek veya yedek sistem olarak insanlarca geliştirilmiş, görüntü işlemeye dayalı engel tanıma algoritmalarının geliştirilmesi önemini korumaktadır. Çalışma, rayların ufuk noktası sinüzoidi boyunca Hough dönüşümünün kesitinin izlenerek ray üzerindeki engellerin tespit edilmesini önermektedir. Bu sayede, iki boyutlu Hough dönüşüm bilgisi, Hough tepelerinin tamamının aynı anda gözlemlenebileceği tek boyutlu bir bilgiye indirgenmiş olur. Bu yaklaşım, mini drone'lar için daha az karmaşık bir algoritma ortaya koyacaktır. Yine, kurp algılaması için görüntü daha küçük yatay parçalara ayrılarak yine Hough tepelerinin hareketleri incelenmektedir. Önerilen çözümün performansını test etmek amacıyla, drone'ların demiryolu üzerinde uçarken video kaydı yaptığı gerçek senaryoların simüle edildiği demiryolu animasyon videoları oluşturulmuştur. Yapılan testlerde, önerilen çözümün raylar üzerindeki engellerin tespitinde başarılı olduğu gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Raylı sistemler, Görüntü işleme, Sinyal işleme, Demiryolu engel algılama, Kurp algılama

Railway Obstacle and Curve Detection via Straight Line Hough Transform for Image Processing by Mini Drones

Abstract: This study introduces an obstacle and curve detection system based on the Hough Transform, specifically designed for small drones that capture imagery while flying over railway tracks. Drones have previously been utilized for monitoring railway infrastructure and detecting potential faults along the track. On the other hand, artificial intelligence has been applied in railway systems for detecting both obstacles and rail defects. However, these technologies are still open to development. Therefore, to enhance reliability and provide a supportive or redundant mechanism, it remains important to develop obstacle detection algorithms based on image processing, independently of AI-based systems. The proposed approach suggests monitoring the section of the Hough transform along the sinusoid of the track's vanishing point to detect of obstacles located on the rails. By this way, the two-dimensional Hough transform information is reduced to a one-dimensional representation, in which all Hough peaks can be observed simultaneously. This reduction leads to a less complex algorithm suitable for implementation on small drones. For curve detection, the image is divided into smaller horizontal segments, and the movement of Hough peaks is analyzed accordingly. To evaluate the performance of the proposed solution, railway animation videos simulating real scenarios where drones record video while flying over tracks have been generated. Test results demonstrate that the proposed method effectively detects obstacles on the railway tracks.

Keywords: Rail systems, Image processing, Signal processing, Railway obstacle detection, Rail curve detection

Atıf için/Cite as: S. Uluskan, "Mini drone ile demiryollarında engel ve kurp algılaması için görüntü işlemede doğrusal hough dönüşümü yaklaşımı," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 22, ss. 147-158, Temmuz 2025. doi: 10.47072/demiryolu.1731563

1. Giriş

Demiryolları, insanlara güvenli ve konforlu bir ulaşım yolu sunduğundan, demiryolu taşımacılığının önemi ve popülerliği dünya genelinde artmaktadır. Bu durum, ileri düzey demiryolu teknolojileri geliştirmeyi amaçlayan demiryolu araştırmalarını da hızlandırmaktadır. Demiryolu güvenliği, bu araştırmaların başlıca konularından biridir. Demiryolu güvenliği alanında önemli bir konu olan hemzemin geçit kazaları, trenin diğer araçlara, yayalara ya da rayların üzerinde veya yakınında geçici olarak bulunan diğer nesnelere çarpmasıyla meydana gelen kazalar olarak tanımlanır [1]. Hemzemin geçit kazaları, tüm demiryolu kazalarının büyük bir bölümünü (%26) oluşturmaktadır [1].

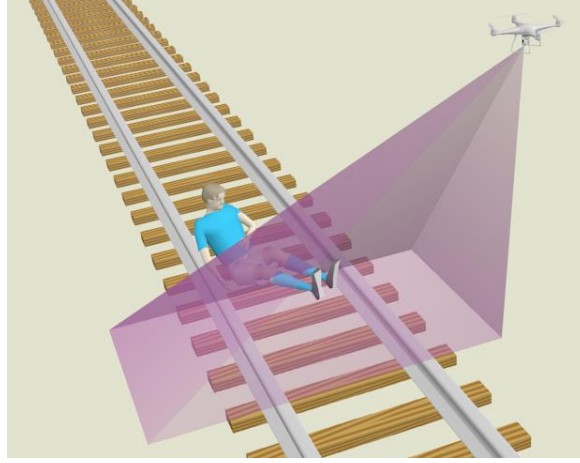
Hemzemin geçit kazalarının önüne geçmek ya da trenlerin seyirleri sırasında ray üzerindeki nesnelere çarpmasını önlemek için daha önce bazı otomatik engel algılama sistemleri önerilmiştir. Raylardaki engelleri tespit etmek için iki farklı strateji uygulanabilir. Birinci strateji; endüktif döngüler, magnetometreler, pnömatik tüpler, piezoelektrik kablolar gibi sabit sensörlerin ray boyunca yerleştirilmesini içerir. Bu çözümde kullanılan malzemeler ucuz olsa da, kurulum ve bakım maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır [2]. İkinci strateji ise, engelleri tespit edebilmek için sensörlerin doğrudan tren üzerine monte edilmesini içerir. Bu sensörler; termal kameralar, lazerler, radarlar, ultrasonik sensörler ve video kameralar olabilir [2]. Bu sensörler genellikle edinme açısından daha pahalıdır, fakat sadece tren üzerine yerleştirildiklerinden çok az sayıda sensöre ihtiyaç duyulur. Bu noktada, pahalı sensörlerin ray boyunca taşınmasını sağlayabilecek insansız hava araçları (drone'lar), birleşik bir çözüm sunabilir. Bu sensörleri taşıyan drone'lar, rayları periyodik ve yerel olarak denetleyebilir. Bu çalışma, Şekil 1'de gösterildiği gibi, drone'lar aracılığıyla görüntü tabanlı bir engel algılama sistemi önermektedir.

Geçmişte, özellikle demiryolları için bazı görüntü tabanlı engel algılama sistemleri önerilmiştir. Bu konuda yapılan önceki çalışmalarda, otomatik trenler için ray üzerindeki engelleri algılamak amacıyla çeşitli görüntü işleme yöntemleri tanıtılmıştır [3]. Bu yöntemler arasında ray boşlukları, kenar öğeleri, gri seviye varyansı ve ray boyunca korelasyon gibi teknikler yer almaktadır. Başka bir çalışmada [4], trenin önüne yerleştirilen görüntü sensörleri ile gerçek zamanlı bir engel algılama sistemi elde edilmiştir. Bahsedilen çalışmada ray sürekliliği ve ray yüzeyi parlaklığı gibi yöntemler önerilmiştir. Stereo kamera sistemleri, otomatik trenler için 3 boyutlu görüşe dayalı engel algılaması sağlamak amacıyla da kullanılmıştır [5]. Son olarak, Hough dönüşümü, demiryollarında engel algılama için temel araçlardan biri olarak kullanılmıştır [6].

Drone'lar, son dönemde oldukça popüler hale gelmiş ve çok çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda, demiryolu teknolojileri de birçok farklı ihtiyacı karşılamak amacıyla drone'ları kullanmaya başlamıştır. Drone'lar çoğunlukla, demiryolu altyapısını izlemek ve ray boyunca olası bir arızayı tespit etmek ya da erken uyarı vermek için kullanılmaktadır [7]. Diğer taraftan, yapay zeka teknolojisinin gelişmesi sonucu, yapay zeka raylı sistemlerde hem engel [8, 9] hem de ray kusurlarını [10] tespit amacıyla kullanılmaktadır. Yapay zeka teknolojileri henüz geliştirmeye açıktır. Bu sebeple, güvenilirlik açısından ve destek veya yedek sistem olarak insanlarca geliştirilmiş, görüntü işlemeye dayalı engel tanıma algoritmalarının geliştirilmesi önemini korumaktadır.

Bu çalışma, demiryolları için Hough dönüşümüne dayalı bir engel ve kurp algılama sistemi tanıtmaktadır. Çalışma, rayların ufuk noktası sinüzoidi boyunca Hough dönüşümünün kesitinin izlenerek ray üzerindeki engellerin tespit edilmesini önermektedir. Bu sayede, iki boyutlu Hough dönüşüm bilgisi, Hough tepelerinin tamamının aynı anda gözlemlenebileceği tek boyutlu bir bilgiye indirgenmiş olur. Bu yaklaşım, mini drone'lar için daha az karmaşık bir algoritma ortaya koyacaktır. Yine, kurp algılaması için görüntü daha küçük yatay parçalara ayrılarak yine

Hough tepelerinin hareketleri incelenmektedir. Önerilen çözümün performansını test etmek amacıyla, drone'ların demiryolu üzerinde uçarken video kaydı yaptığı gerçek senaryoların simüle edildiği demiryolu animasyon videoları oluşturulmuştur. Yapılan testlerde, önerilen çözümün raylar üzerindeki engellerin tespitinde başarılı olduğu gösterilmiştir.



Şekil 1. Mini drone aracılığıyla elde edilen görüntülerle demiryollarında engel tespiti simülasyonu

2. Metodoloji

Bu kısımda, engel ve kurp algılama sistemine temel oluşturan Hough dönüşümü ve onun demiryolu görüntülerinde kullanımı aktarılacaktır.

2.1. Demiryolları için doğrusal hough dönüşümü

Bu çalışma, drone'lar tarafından kaydedilen görüntüler kullanılarak raylar üzerindeki engellerin tespiti amacıyla Hough dönüşümüne dayalı bir çözüm önermektedir. Hough dönüşümü uygulanmadan önce, görüntülere kenar algılama işlemi uygulanır; bu süreç Şekil 2.a ve 2.b'de gösterilmektedir. Şekil 2.a'da, rayların havadan çekilmiş bir görüntüsü yer alırken; Şekil 2.b, bu görüntünün kenar tespiti sonrası halini göstermektedir. Kenar tespiti uygulanmış görüntüdeki herhangi bir doğru, kutupsal koordinatlar kullanılarak ifade edilebilir [11]:

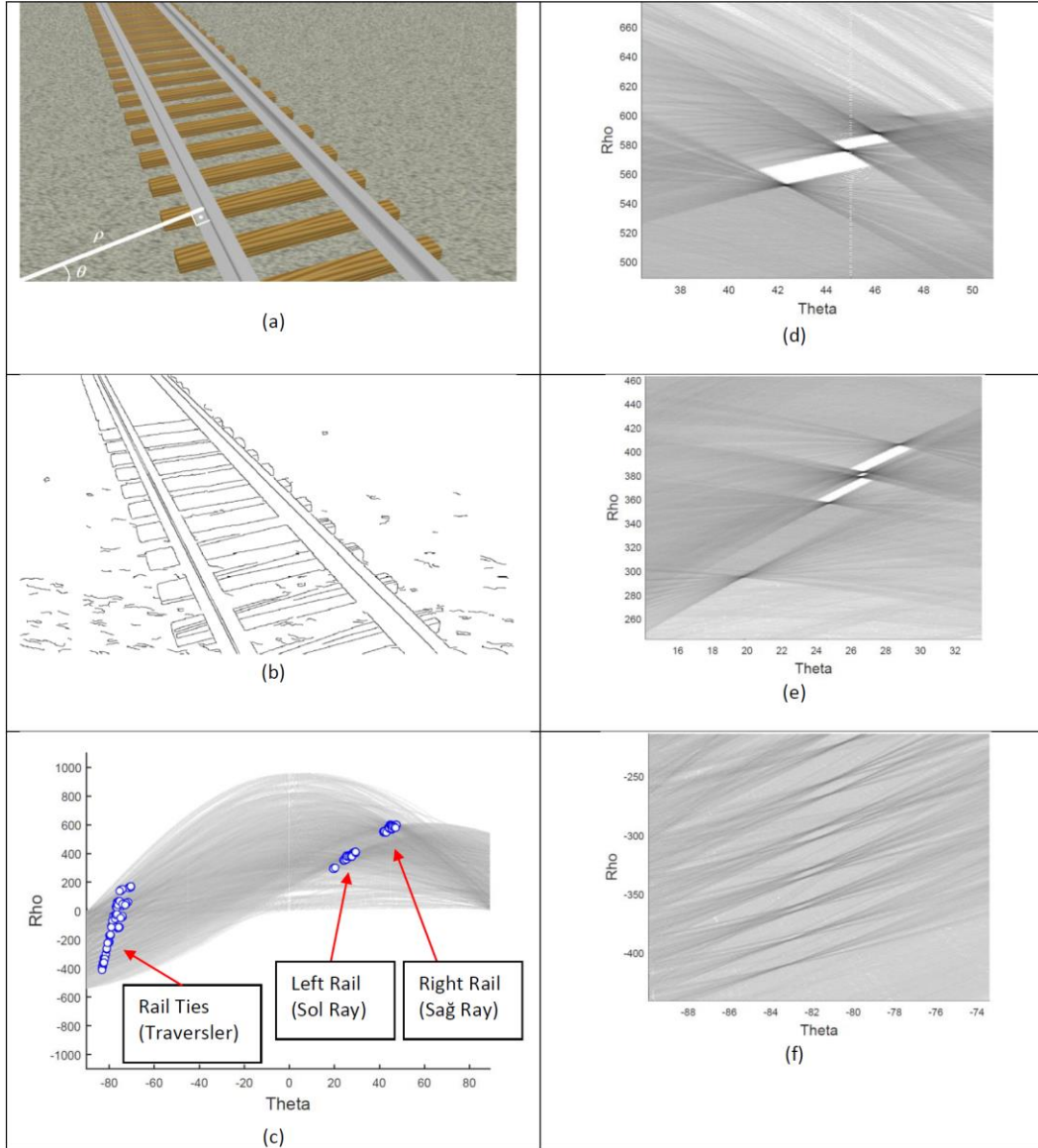
$$\cos(\theta) \cdot x + \sin(\theta) \cdot y = \rho \quad (1)$$

Burada, ρ doğrunun orijine olan uzaklığı, θ ise açısal koordinattır ve Şekil 2.a'da gösterildiği gibidir. Hough dönüşümünün temel fikri, kenar tespiti yapılmış görüntüdeki herhangi bir noktanın, bu noktadan geçen tüm doğrularla temsil edilebileceğidir:

$$\rho(\theta) = \cos(\theta) \cdot x_a + \sin(\theta) \cdot y_a \quad (2)$$

Burada, (x_a, y_a) kenar tespitli görüntüdeki bir noktanın konumudur. $\rho(\theta)$ fonksiyonu, ρ ile θ arasındaki ilişkiyi verir ve aslında bu ifade sinüzoidal bir eğridir [12]. Bu nedenle denklem (2), şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$\rho(\theta) = d \cos(\theta - \alpha) \quad (3)$$



Şekil 2. a) Demiryolunun drone ile çekilmiş renkli görüntüsü (simülasyon), (b) Hough Dönüşüm uygulanabilmesi için kenar algılama gerçekleştirilmesi, (c) Kenar algılama sonrası Hough Dönüşüm, (d) Sağ raya, (e) Sol raya ve (f) Traverslere karışıklık gelen Hough tepelerinin yakınlştırılmış görüntüleri

Burada d ve α parametreleri şu şekilde tanımlanır:

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{x_a}{\sqrt{x_a^2 + y_a^2}}\right) \text{ ve } d = \sqrt{x_a^2 + y_a^2} \quad (4)$$

Sonuç olarak, Hough dönüşümü, kenar tespitli bir görüntüdeki tüm noktaların sinüzoidlerinin bir birleşimidir. Şekil 2.b'nin Hough dönüşümü, Şekil 2.c'de görülebilir. Kenar tespiti yapılmış görüntüde belirli bir doğruya ait noktaların sinüzoidleri, bu doğrunun kutupsal parametreleri etrafında çakışır ve üst üste biner. Bu nedenle, kenar tespiti yapılmış bir görüntüdeki bir doğru, Hough dönüşümünde bir tepe yani Hough tepesi oluşturur.

Raylara ait Hough tepeleri, Şekil 2.c'de bir mavi noktacıklar ile gösterilmiştir. Bu Hough tepelerini daha iyi gözlemlemek için yakınlştırma yapılabilir. Şekil 2.d, 2.e ve 2.fde sırasıyla sağ raya, sol raya ve traverslere karışıklık gelen Hough tepelerinin yakınlştırılmış görüntüleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, her bir bölgede birden fazla Hough tepesi bulunabilmektedir.

Raylara ait Hough tepeleri sonraki bölümlerde k-ortalamalar yöntemi ile iki ayrı gruba ayrılacaktır. $25 < \theta < 35$ aralığında oluşan Hough tepeleri rayın sol kısmına, $42 < \theta < 47$ aralığında oluşanlar ise rayın sağ kısmına karşılık gelmektedir.

Bu çalışmanın temel fikri, raylar üzerindeki herhangi bir engelin bu Hough tepelerinin gücünü azaltacağı yönündedir. Raylar üzerindeki bir engel, hava görüntüsünde bir bozulma yaratır ve bu sayede rayın sol ya da sağ kısmını örtebilir. Sonuç olarak, Hough tepeleri zayıflayabilir hatta tamamen kaybolabilir. Bu nedenle, raylardaki engelleri tespit edebilmek için bu Hough tepelerinin izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, tüm Hough tepelerini aynı anda gözlemlemenin pratik bir yolunu, ufuk noktası üzerinden sunmaktadır. Hough dönüşümüne ait iki boyutlu bilgi, tüm Hough tepelerinin aynı anda izlenebileceği tek boyutlu bir bilgiye indirgenmektedir.

2.2. Ufuk noktasının sinüzoidi boyunca hough kesiti

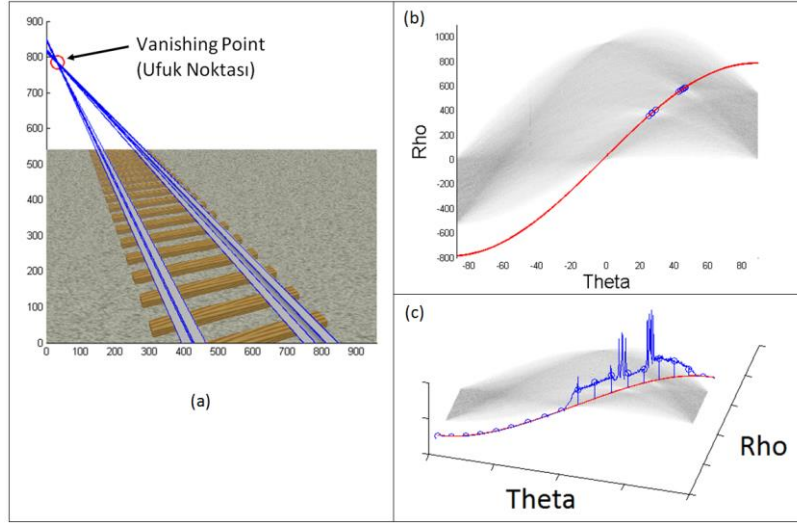
İçinde bulunduğumuz üç boyutlu bir uzayın iki boyutlu bir görüntüsünde, bu üç boyutlu uzaydaki paralel çizgiler belirli bir noktada kesişiyormuş gibi görünür. Bu belirli noktaya, bu çizgilerin ufuk noktası adı verilir [13]. Bu nedenle, demiryolunun sol ve sağ bölümleriyle ilişkili olan tüm çizgiler tek bir ufuk noktasından geçmelidir, çünkü bu çizgilerin hepsi birbirine paraleldir. Şekil 3.a, Şekil 2.a'da gösterilen demiryolu görüntüsü için rayların ufuk noktasını göstermektedir. Ufuk noktası, Şekil 3.a'da da görüldüğü üzere, görüntünün sınırları içinde veya dışında yer alabilir. Bu çalışma, demiryoluna ait tüm Hough tepelerini aynı anda izleyebilmek için, rayların ufuk noktasına ait sinüzoid yapıdan faydalanacaktır.

Ufuk noktaları, Hough dönüşümü kullanılarak hesaplanabilir. İlk olarak, Hough tepelerinden geçen en iyi sinüzoid eğri (Şekil 3.b) tahmin edilmelidir [14]. Bu çalışmada, ufuk noktasının sinüzoidinin parametrelerini doğru şekilde bulmak için doğrusal olmayan en küçük kareler tahmini kullanılmaktadır:

$$(\hat{d}, \hat{\alpha}) = \underset{(d, \alpha)}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N (\rho_i - d \cdot \cos(\theta_i - \alpha))^2 \quad (5)$$

Burada (ρ_i, θ_i) , i 'inci Hough tepesinin konumunu; N ise tüm Hough tepelerinin toplam sayısını ifade etmektedir. Bu en uygun sinüzoid, orijinal görüntüde karşılık gelen noktaya dönüştürüldüğünde, ufuk noktası elde edilir:

$$x_{ufuk} = \hat{d} \cdot \cos(\hat{\alpha}) \text{ ve } y_{ufuk} = \hat{d} \cdot \sin(\hat{\alpha}) \quad (6)$$



Şekil 3. (a) Demiryolu hattı için ufuk noktası, (b) Ufuk noktasının Hough Dönüşüm üzerinde sinüzoidde karşılık gelmesi ve doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi ile tespiti, (c) Ufuk çizgisinin sinüzoidi boyunca elde edilen Hough kesitinin 3 boyutlu grafikte gösterimi

Bu çalışmadaki simülasyonlarda, demiryolu üzerinde uçan drone, demiryoluna ait Hough tepe seviyelerinde herhangi bir değişiklik olup olmadığını inceleyecektir. Her görüntü için iki boyutlu Hough dönüşümünün tamamını incelemek verimsiz bir algoritma olur; çünkü Hough dönüşümünün büyük bir kısmı bu görevle ilgisizdir. Bu çalışma, Hough dönüşümüne ait iki boyutlu bilgiyi tek boyutlu bilgiye indirgemektedir. Hough tepelerinin tamamının, ufuk noktasına ait sinüzoid boyunca konumlandığı bilinmektedir. Hough dönüşümü üç boyutlu grafikte bir yüzey olarak düşünülürse, bu yüzeyin sinüzoid boyunca bir kesiti (kesit düzlemi) alınabilir (bkz. Şekil 3.c). Şekil 3.c’de de görüldüğü gibi, bu kesit, Hough tepelerine ilişkin tüm bilgiyi içermektedir. Sonuç olarak, bu kesiti izlemek, demiryolu üzerindeki engelleri tespit etmek için etkili ve pratik bir yöntem olacaktır.

3. Düz Demiryolu Hatlarında Hough Dönüşüm ile Engel Tespiti

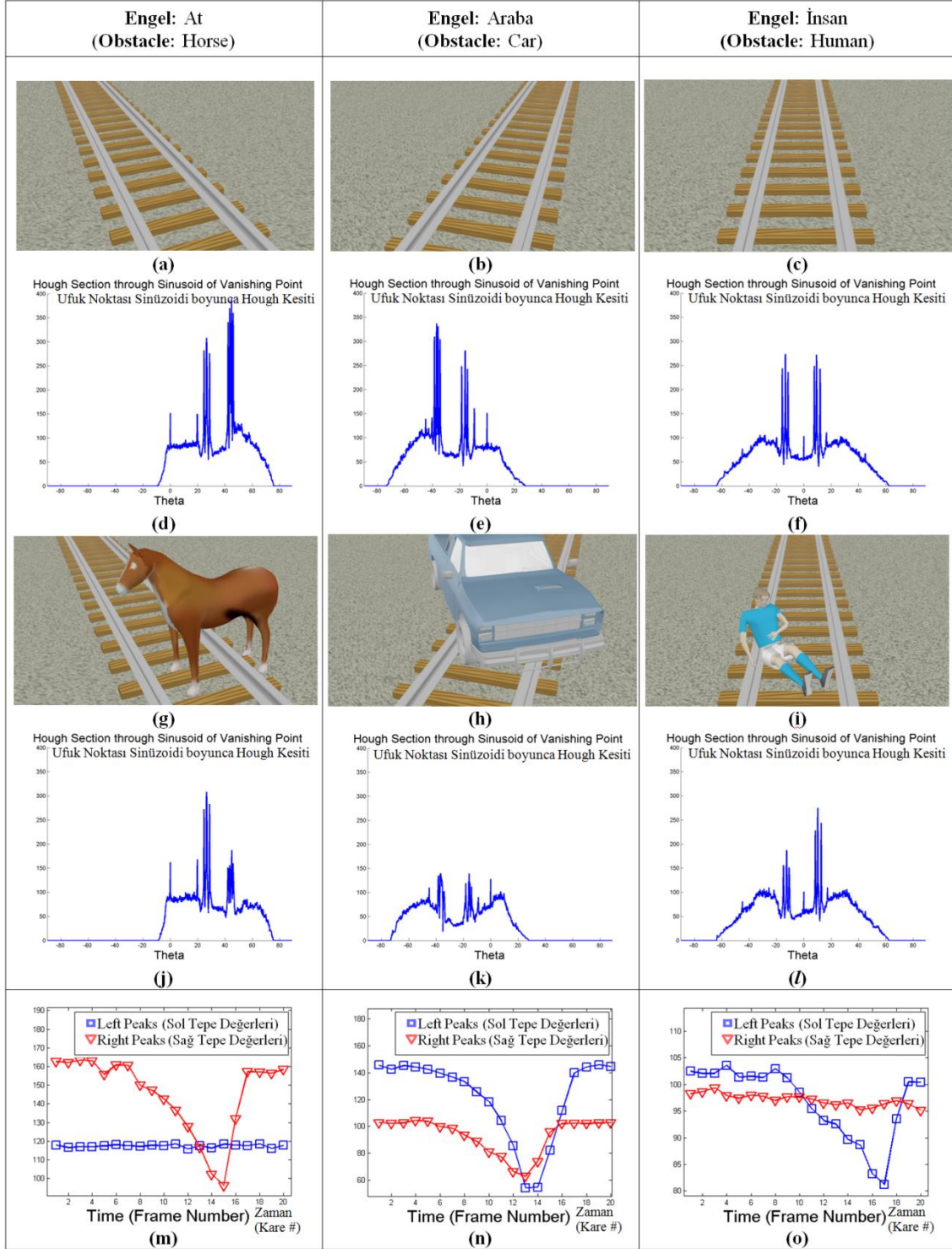
Bu bölümde, yalnızca çizgisel (doğrusal) demiryolu içeren demiryolu animasyon videoları aracılığıyla engel tespit sistemi test edilecektir. Hough dönüşümüne dayalı engel tespit sistemi test edilmeden önce, demiryolu üzerinde hareket eden drone’lar tarafından kaydedilen gerçek videoların simülasyonunu yapmak üzere birkaç animasyon videosu oluşturulmuştur. Drone’un demiryolu boyunca uçtuğu ve videolar kaydettiği varsayılmaktadır (Bkz. Şekil 1).

Drone, demiryolu üzerinde herhangi bir engelin olup olmadığını tespit etmek amacıyla, kaydettiği ilk görüntü karesine Hough dönüşümü uygular. Bu ilk kare için, Hough tepelerinin konumlarını belirler ve ufuk noktasına ait sinüzoidin parametrelerini (Denklemler 5’te gösterildiği gibi) tahmin eder. Ardından, ufuk noktası sinüzoidi boyunca Hough kesitini elde eder (Bkz. Şekil 3.c). Drone, demiryolu boyunca uçarken sabit bir bakış açısını korur; bu da demiryoluna göre sabit bir perspektife sahip olması anlamına gelir.

Sabit görüş açısı, sonraki karelerde her seferinde ufuk noktası sinüzoidinin parametrelerini tekrar hesaplamaya gerek kalmadan, görüntüye Hough dönüşümü uygulandıktan sonra doğrudan sinüzoid boyunca Hough kesitinin çıkarılmasına olanak tanır. Ancak drone, görüş açısını değiştirdiğinde, sinüzoid parametrelerini yeniden hesaplaması gerekir.

Bir görüntü karesine ait Hough kesiti, yerel maksimumlardan oluşur ve demiryolunun sağ ve sol kısmına karşılık gelen iki gruba ayrılabilen birkaç tepe içerir. Şekil 4.a’da, demiryolunun sağ

kısmı görüntü içinde sol kısmına göre daha uzun görünmektedir; bu da Şekil 4.d’de görüldüğü gibi sağ gruptaki Hough tepelerinin daha yüksek olmasına neden olur. Şekil 4.g’de görüldüğü gibi kareye bir engel girdiğinde, Şekil 4.j’de görüldüğü üzere sağ taraftaki Hough tepeleri azalırken, sol taraftaki tepelerde bir değişiklik olmaz. Bunun nedeni, engelin yalnızca demiryolunun sağ kısmını maskeleyesidir.



Şekil 4. Üç farklı engel (at, araba ve insan) ve farklı drone görüntü açıları için üç farklı simülasyon ve sonuçları

Şekil 4.b'de farklı bir bakış açısından dolayı, bu kez demiryolunun sol kısmı daha uzun görünmektedir; bu da Şekil 4.e'de görüldüğü gibi sol gruptaki Hough tepelerinin daha yüksek olmasına neden olur. Şekil 4.h'de sahneye büyük bir engel (örneğin bir araba) girdiğinde, hem sağ hem de sol taraftaki Hough tepelerinde düşüş görülür (Şekil 4.k). Çünkü bu büyük engel her iki tarafı da maskelemektedir.

Şekil 4.c'de, drone raylara ortadan baktığında her iki taraf da görüntüde eşit uzunlukta görünür ve bu da Şekil 4.f'de görüldüğü üzere sol ve sağ gruplardaki Hough tepelerinin eşit seviyelerde olmasına neden olur. Şekil 4.i'de sahneye giren engel, yalnızca sol tarafı maskelediği için, Şekil 4.l'de sol taraftaki Hough tepeleri azalırken sağ taraftakiler sabit kalır.

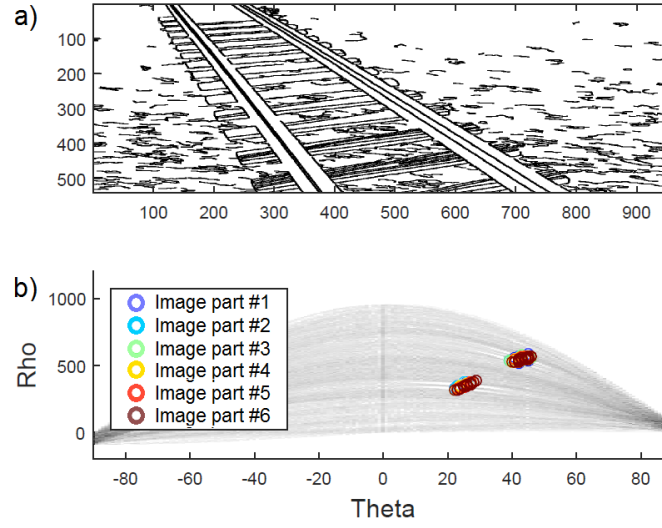
Eğer her bir görüntü karesi için sağ ve sol Hough tepe gruplarının ortalamaları ayrı ayrı alınırsa, bir video için iki ayrı grafik elde edilebilir. Şekil 4.m'de görüldüğü üzere, sağ ray grafiği önce bir düşüş sonra önceki seviyeye geri dönüş gösterirken; sol taraf sabit kalmaktadır. Bu durum, demiryolunun sağ kısmında bir engel olduğunu işaret eder. Şekil 4.n'de hem sağ hem de sol taraf grafiklerinin aynı anda düşüp yükselmesi, her iki tarafta da engel bulunduğunu gösterir. Son olarak, Şekil 4.o'da sol ray grafiği düşüş gösterir; çünkü demiryolunun sol tarafında bir insan bulunmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi, yüksek kare/saniye oranı nedeniyle engel sahneye kademeli olarak girmektedir. Yani başlangıçta atın bacakları sahneye girer, ardından sırasıyla gövdesi ve kafası görüntünün üst kısmında görünür. Bu durum, grafikte yavaş bir düşüş eğilimi oluşturur. Ancak minimum seviyeye ulaşıktan sonra grafik keskin bir şekilde yükselir. Bunun nedeni, engel görüntüye üst kısımdan yavaşça girerken, drone engelin üzerinden geçtiği anda görüntünün alt kısmından hızla çıkmasıdır. Grafikler üzerindeki herhangi bir dalgalanma, olası engellerin tespiti açısından rahatlıkla takip edilebilir. Elbette, yalnızca bir düşüşün ardından gelen bir artış, demiryolu üzerinde bir engel olduğunu gösterir. Eğer her iki grafikte de kalıcı bir düşüş meydana gelirse, bu büyük ihtimalle drone'un bakış açısını kaybettiğini ve ufuk noktasını yeniden hesaplaması gerektiğini gösterir.

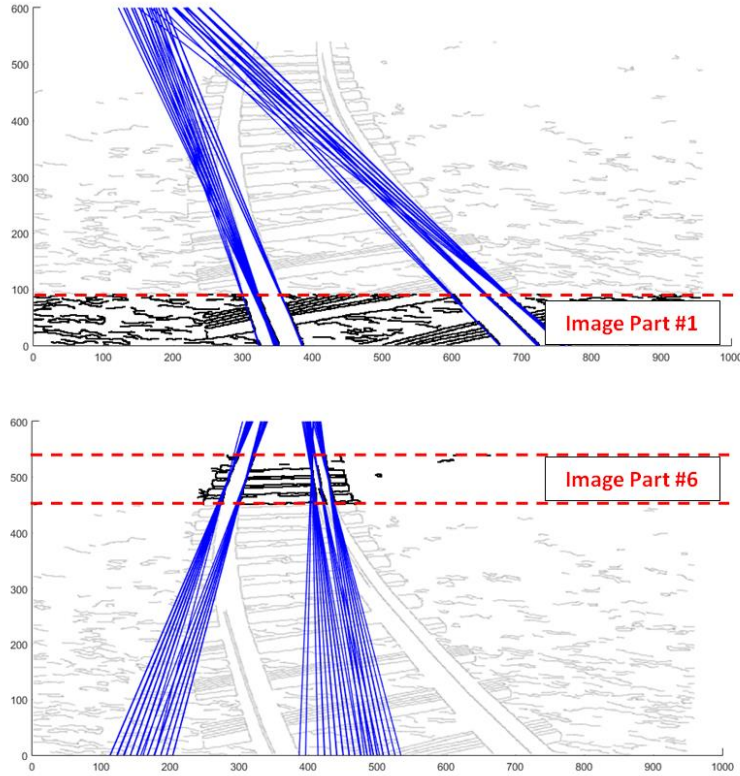
4. Demiryolu Hatlarında Hough Dönüşüm ile Kurp ve Engel Tespiti

Demiryolu üzerinde bir kurp (kavis) olup olmadığını tespit edebilmek için, demiryolunu içeren görüntü düşey eksen boyunca 6 yatay alt görüntüye bölünmektedir. Eğer demiryolunda herhangi bir kurp yoksa, yani görüntüde görülen demiryolu her yerde doğrusal ise, (Şekil 5.a), bu alt görüntülere ait Hough tepeleri büyük ölçüde üst üste çakışır (Şekil 5.b). Bu durum, her bir alt görüntüdeki demiryolu doğrultularının değişmemesinden kaynaklanır. Dolayısıyla, elde edilen Hough tepeleri neredeyse aynı konumda oluşur.

Öte yandan, görüntüde görünen demiryolu bir kurp içeriyorsa, her bir alt görüntüdeki demiryolu doğrultusu farklılık gösterir. Şekil 6, kurp içeren bir demiryolu örneğini göstermektedir. Görüldüğü üzere, görüntü altı yatay parçaya bölündüğünde, Görüntü Parçası #1 ile Görüntü Parçası #6'da demiryolu doğrultusu birbirinden oldukça farklıdır. Ayrıca, doğrusal olmayan yapıdan dolayı, Hough tepeleri yalnızca demiryoluna teğet olan doğrular için oluşabilir. Bu nedenle, bu teğet doğruların yönleri, aynı alt görüntü içinde hafifçe değişmektedir.

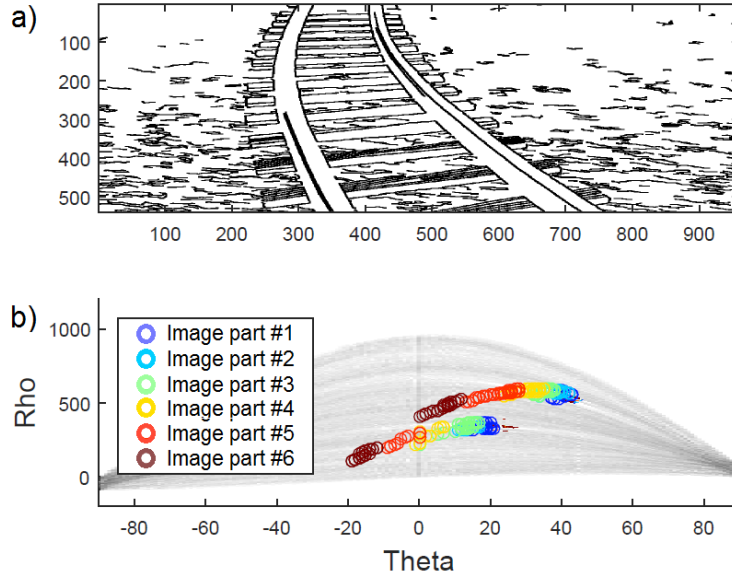


Şekil 5. (a) Görüntü içinde bütün olarak doğrusal görünen demiryolu, (b) doğrusal görünen demiryolu hattının 6 yatay parçası için Hough tepeleri

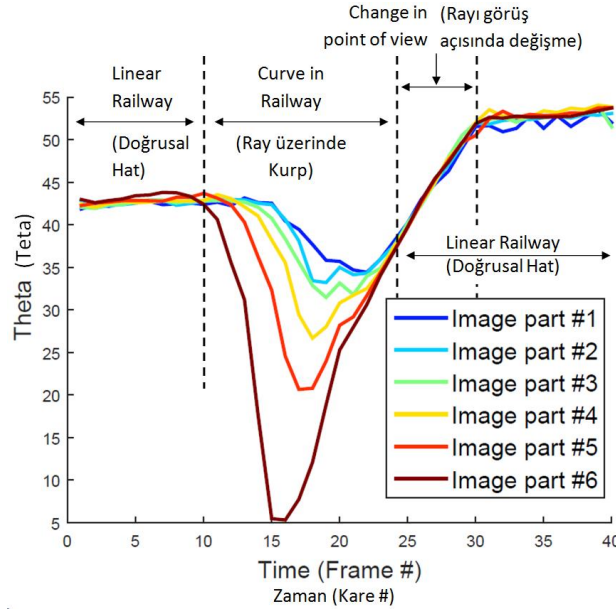


Şekil 6. Karpı içeren bir demiryolu için yatay görüntü parçalarında demiryolunun doğrultusu ve demiryoluna teğet doğrular

Kurp içeren görüntülerde, teğet doğrulara karşılık gelen Hough tepeleri, tek bir alt görüntü içinde dahi hafif kaymalar göstermektedir. Kurp içeren bir görüntüye ait alt görüntülerin Hough tepelerinin konumları Şekil 7.b’de gözlemlenebilir. Görüldüğü gibi, her alt görüntüye ait Hough tepeleri farklı konumlarda yer almakta ve aynı alt görüntü içinde bile Hough tepeleri soldan sağa hafifçe kaymaktadır. Bu çalışmada, Hough tepelerinin böyle dağınık bir desen göstermesinin, demiryolu üzerinde bir kurp bulunduğuna işaret ettiği önerilmektedir. Bu özellik, demiryolu üzerindeki kurpların tespitinde kullanılabilir.



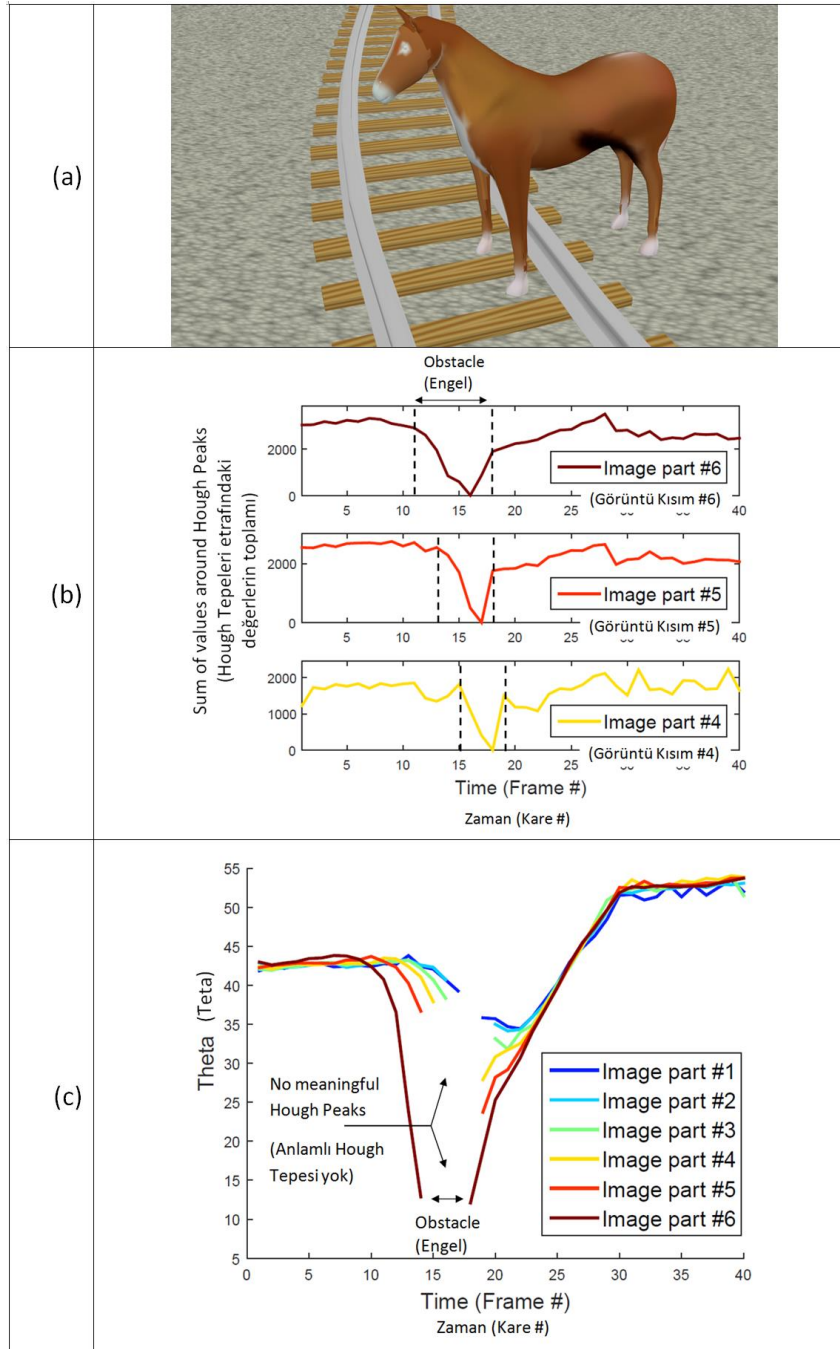
Şekil 7. (a) Kurp içeren demiryolu görüntüsü, (b) Kurp içeren demiryolu görüntüsünün 6 yatay parçası için Hough tepeleri



Şekil 8. Demiryolunun sağ rayı için Hough tepelerinin açı değerlerinin zamana göre değişimi

Demiryolunun sağ kısmına ait Hough tepelerinin zamanla değişimi, Şekil 8’de sunulmuştur. Farklı renklerdeki grafikler, Şekil 6 ve 7’de tanımlanan farklı alt görüntülere aittir. Bu grafikler, Şekil 7.b’de gösterilen sağ ve sol demiryolu kısımlarına ait Hough tepelerinin k-ortalamalar yöntemi (ρ ve θ uzayında iki merkezli) ile merkezlerinin (centroid) bulunması yoluyla elde edilmiştir. Görüldüğü gibi, doğrusal bir demiryolu durumunda bu grafikler yatay doğrular biçimindedir ve birbirlerine çok yakındır. Ancak demiryolunda bir kurp ortaya çıktığında, bu alt görüntülere ait grafikler dağılma göstermektedir (bkz. Şekil 8). Kurp sona erdiğinde bu çizimler yeniden üst üste binmektedir. Eğer grafik yatay değil de eğimli ise, bu durum drone’un bakış açısını değiştirdiğini (yani ufuk noktasının değiştiğini) gösterir. Drone’un bakış açısı yeniden sabitlendiğinde, grafikler yine yatay ve çakışmış hâle gelir. Son olarak, Şekil 9.a’da gösterildiği gibi, kurp üzerinde engel varsa, alt görüntülerin Hough tepe değerleri azalır ve hatta

sıfırlanabilir (Şekil 9.b). Böylelikle Şekil 9.c'de gösterildiği üzere hem kurp hem de engelin varlığına dair tespit yapılabilir.



Şekil 9. (a) Engel ve kurp içeren bir demiryolu görüntüsü, (b) Sağ ray için yatay görüntü parçalarında hesaplanan Hough tepe değerlerinin zamanla değişimi, (c) Sağ ray için yatay görüntü parçalarında Hough tepelerinin açı değerlerinin zamanla değişimi

4. Sonuç

Drone'lar, demiryollarını periyodik ve yerel olarak denetleyerek engel tespiti konusunda büyük bir potansiyele sahip olabilir. Bu çalışma, drone'lar aracılığıyla gerçekleştirilen görüntü işleme tabanlı bir engel tespit sistemi önermektedir. Mini drone'lar tarafından gerçek zamanlı

uygulamalarda kullanılabilecek, Hough dönüşümüne dayalı pratik bir çözüm sunulmuştur. Gerçek senaryoları simüle eden animasyon videolarla yapılan deneyler, önerilen çözümün demiryolu üzerindeki engellerin tespitinde başarılı olduğunu göstermiştir. Gelecek çalışmalar, simülasyonlara ek olarak, gerçek görüntülere dayalı sistem tasarımı gerçekleştirilebilir. Ayrıca, mevcut sistem, traverslere ait Hough tepe noktalarını da içerecek şekilde daha ileriye taşınabilir.

Kaynakça

- [1] European Union Agency for Railways, Railway Safety Performance in the European Union, (2016), Available: <https://era.il.era.europa.eu/documents/SPR.pdf>
- [2] Puneekar, N. S., & Raut, A. A., "Improving Railway Safety with Obstacle Detection and Tracking System using GPS-GSM Model", International Journal of Science & Engineering Research, vol. 4, no.8, pp. 288-292, 2013.
- [3] Ruder, M., Mohler, N., & Ahmed, F. (2003). "An obstacle detection system for automated trains", In IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 180-185, 2003
- [4] Ukai, M., Nassu, B., T., Nagamine, N., Watanabe, M., Inaba, T., "Obstacle Detection on Railway Track by Fusing Radar and Image Sensor", in World congress on railway research. 2008.
- [5] Weichselbaum, J., Zinner, C., Gebauer, O., & Pree, W., "Accurate 3D-vision-based obstacle detection for an autonomous train", Computers in Industry, vol. 64, no. 9, pp. 1209-1220, 2013.
- [6] Rodriguez, L. F., Uribe, J. A., Bonilla, J. V., "Obstacle detection over rails using hough transform". Image, Signal Processing, Artificial Vision Sympos., pp. 317-322, 2012.
- [7] Flammini, F., Pragliola, C., & Smarra, G. "Railway infrastructure monitoring by drones". in International Conference on ESARS-ITEC , November, 2016.
- [8] Yan, F., Gu, Y., & Sun, Y. (2025). "Deep Learning-Based Train Obstacle Detection Technology: Application and Testing in Metros", Electronics, 2079-9292, vol. 14 no. 7.
- [9] Chen, C., et al. (2025). "Real-Time Railway Obstacle Detection Based on Multitask Perception Learning", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 25, no. 5, pp. 7142 - 7155.
- [10] Kırat, S. S., & Aydın, İ. (2023). "Açıklanabilir yapay zekâ tabanlı denetimsiz öğrenme ile ray kusur tespiti". Demiryolu Mühendisliği, vol. 18, pp. 1-13.
- [11] Illingworth, J., & Kittler, J., "A survey of the Hough transform", Computer vision, graphics, and image processing, vol. 44, no.1, pp. 87-116, 1988
- [12] Saleh, B. "Introduction to subsurface imaging". Cambridge University Press. New York, 2011.
- [13] Chen, X., Jia, R., Ren, H., & Zhang, Y., "A new vanishing point detection algorithm based on Hough transform", Conference on Computational Science and Optimization (CSO), 2010, pp. 440-443.
- [14] Papusha, I., & Ho, M. (2010), Hough Transform for Directional Orientation, Online resource, Available: http://www.ivanpapusha.com/pdf/hough_directional.pdf

Özgeçmiş



Seçkin ULUSKAN

Lisans eğitimini Boğaziçi Üniversitesi, yüksek lisans eğitimini The University of Texas at Dallas, doktora eğitimini Anadolu Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Elektrik Elektronik programında çalışmaktadır.
E-Posta: seckinuluskan@eskisehir.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.