

# Kesişim Noktalarının Derinlik Analizi

## Range Analysis of Junctions

Mehmet Akif Akkus, Merve Aydınlar, Sinan Kalkan  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Üniversitesi  
Ankara, TÜRKİYE

Email: {akifakkus,merve,skalkan}@ceng.metu.edu.tr

**Özetçe** —Bu çalışmada, imgedeki köşe benzeri yapılar ve onlara karşılık gelen 3B derinlik ve yüzey yapıları arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, köşe benzeri 2B yapılar ile 3B derinlik bilgisi arasında kayda değer bir ilişki olup olmadığı gözlemlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada köşe benzeri yapılar imgede kesişim noktaları olarak düşünülmüştür. Kesişim noktaları da Y-kesişim, Ok-ışareti kesişim, L-kesişim ve T-kesişim olmak üzere 4 sınıfta incelenmiştir ve her bir sınıfın 3B'ta nasıl bir yüzey yapısına denk geldiği incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, literatürde yaygın olarak kullanılan varsayımları doğrulayan sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler**—yerel 3 boyut yapıları; köşe noktalarının analizi; Y-kesişim; L-kesişim; T-kesişim; ok işareti-kesişim; derinlik resmi.

**Abstract**—In this study, we analyze the relation between corner like structures and the corresponding local 3D structure using 3D range data. Namely, we try to find a relation between corner-like local 2D structures and corresponding 3D range data. We consider corner like structures as junctions. Junctions are classified into four classes: Y-junction, arrow-junction, L-junction and T-junction, and for each class, the underlying surface structure is investigated. As a result, we provide results that confirm widely-used assumptions regarding the underlying structure of junctions in the literature.

**Keywords**—local 3d structures, junction analysis, Y-junction, L-junction, T-junction, arrow-junction, range image.

## I. GİRİŞ

Bilgisayarlı görme, 3 boyutlu bir uzayın 2B izdüşümlerinden tekrar 3B görsel bilgi elde etmeye çalıştığı için, doğası gereği eksik-tanımlı bir problemidir. 2B imgelerin 3B dünyamızın bir yansımasıdır ve bu süreçte derinlik, ışık, doku gibi önemli bilgiler eksilir. Eksikliği gidermek ve daha kesin bilgiler elde etmek için imgedeki temel yapılarıdaki istatistiksel düzenlilik kullanılması yaygın kabul gören yöntemlerden birisidir [1]. Bu bağlamda, imge kesişim noktalarının ayrı bir yeri bulunmaktadır; imge kesişim noktaları, ayırt edilebilir olmaları, rastlantısal olmayan yapıları [2] ve özellikle yüzeylerin 3B'de nasıl kesiştiği konusunda zengin bilgi taşımaları [3, 12. Bölüm] nedeniyle, görme sistemleri için oldukça elzemdir, ve özellikle 2B'den 3B yüzey ve derinlik tahmin etme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 12. Bölüm].

Literatürde, farklı kesişim (Y, L, T ve ok) türlerinin farklı derinlik veya yüzey yapılarına denk geldiği varsayılmaktadır



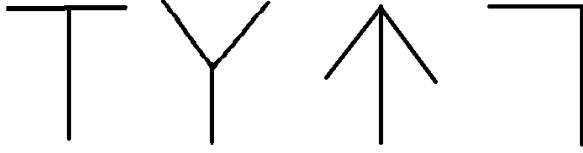
Şekil 1: İrdellemizde kullanılan 20 kayıttan 10 tanesi. Gri görüntü, sol-üst köşedeki görüntünün derinliğini göstermektedir. Mavi noktalar, derinlik bilgisi bulunmayan noktaları göstermektedir (Kaynak [6]).

[3, 12. Bölüm]. Ancak, bu varsayımın doğruluğu henüz sistematik bir şekilde incelenmemiştir. Bu çalışmada, birbiri ile kalibre edilmiş 3B lazer tarayıcı ve renkli optik kamera kullanarak (örnek görüntüler için Şekil 1), farklı kesişim türleri (Y, L, T ve ok) ve o noktadaki farklı derinlik türleri arasındaki ilişki analiz edilmektedir. Bu sayede, literatürde sıklıkla kullanılan varsayımların doğruluğunu irdelleyebilmekteyiz. Ayrıca, bu çalışmanın değişik tür imge yapılarının diğer bir ifadeyle imge kesişim noktalarının derinlik bilgisinin anlaşılmasında yardımcı olabileceği düşünülmüştür.

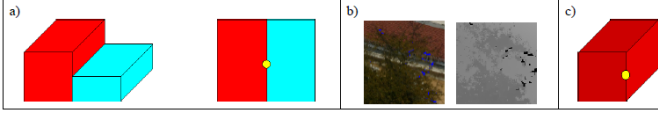
## A. İlgili Çalışmalar

Görüntü ve derinlik arasındaki ilişki literatürde farklı amaçlar için incelenmiştir. Örneğin, Huang ve arkadaşları [4] ışık, doku gibi alt-düzyer bilgiler ile 3B yüzey arasındaki ilişkiyi; Howe ve Purves [5] ise derinlik bilgisi ve görüntü arasındaki ilişkileri kullanarak yanlış derinlik ve uzaklık algısını araştırmıştır.

Mevcut çalışmaya en yakın çalışma, Kalkan ve arkadaşları tarafından yapılan [6], [7] temel imge yapıları ve derinlik yapıları arasında yapılandır. Kalkan ve arkadaşları, işbu çalışmadan farklı olarak, kesişim noktalarını türlere ayırmamıştır. Kalkan ve arkadaşlarının çalışmalarında yoğunlaştığı 2 boyut imge yapıları homojen, kenar içeren, köşe içeren, ve doku bilgisi içeren yapılar şeklinde bir analiz iken; bu çalışmada bahsi geçen köşe içeren imge yapılarının özelleşmiş hali de diyebileceğimiz Y,L,T ve Ok işareti türü şeklinde bir analizdir.



Şekil 2: İmge Kesişim Türleri



Şekil 3: Farklı 3B derinlik türleri. (a) Düzenli derinlik süreksizliği. (b) Düzensiz derinlik süreksizliği. (c) Yönelim süreksizliği. (Kaynak: [6])

## II. TEMEL 2B VE 3B YAPILAR

2B yapıları temel olarak dört bölümde incelenebilir: (i) Homojen: Birbirini yakın koyuluk değeri içeren imge yapılarıdır. (ii) Kenar içeren: İmgedeki ani koyuluk değişimlerdir. (iii) Köşe içeren: Birden fazla kenar yapısının kesişmesiyle oluşan yapılarıdır. (iv) Doku bilgisi içeren: Kesin bir tanım olmasa da, imgedeki tekrarlı, rasgele veya yönlü yapılarıdır. Bu yapılar, iki boyutlu temel yapılarıdır. Bu çalışmada, kesişimler spesifik köşe çeşitleri olarak incelenmiştir. RGB imgedeki dört çeşit kesişim, Y-kesişim, L-kesişim, T-kesişim ve Ok-kesişim olarak derinlik imgesinin yardımıyla incelenmiştir. Bu kesişimler Şekil 2’de gösterilmiştir.

3 boyutlu derinlik imgesi süreklilik ve süreksizlik bakımından dörde ayrılır (Bknz. Şekil 3 ve [6]): (i) Yüzey Sürekliliği: Bu imge parçalarına düzlemler oturtulduğunda, bu düzlemlerin yönelimleri neredeyse aynı olur. (ii) Yönelim Süreksizliği: Bu yapı, iki veya daha çok yönelimleri farklı olan yüzeyin bir araya gelmesiyle oluşur. (iii) Düzenli Derinlik Süreksizliği: Bu yapı, iki ya da daha fazla aralarında belli bir uzaklık olan yüzeyle oluşur. (iv) Düzensiz Derinlik Süreksizliği: Bu yapıda belirli bir yüzeyden ziyade engebeli yüzeyler ve düzensiz derinlik farkları gözlenir. Bu yüzeylerin yönelimleri kayda değer biçimde birbirinden farklıdır.

## III. YÖNTEM

Derinlik bilgisini kullanarak, dört çeşit üç boyutlu yapı incelenmiştir. Bu çalışmada Riegel UK Ltd. firmasından temin edilen dışmekan verisi kullanılmıştır (Şekil 1). Bu verisetinde, 20 yüksek çözünürlüklü RGB imgesi ve bunlara karşılık gelen lazer ışınlarıyla ölçülmüş derinlik verisi yer almaktadır. Bu imgeler küçük (24x24) parçalar alınmış ve altta yatan çeşitli üç boyutlu yapılar incelenmiştir.

Derinlik farkı ve yönelim histogramı [6] metrikleri yerel imge parçalarından hesaplanmış ve derinlik imgesinden elde edilmiştir. Bu özellikler kullanılarak bulanık (fuzzy) bir k-NN (k enyakın komşu) sınıflandırıcı eğitilmiş ve kesişim noktalarının analizi için kullanılmıştır. Kesişimler doğrudan derinlik farkı ve yönelim süreksizliği ile ifade edilemediğinden dolayı,

Şekil 4’de gösterildiği gibi kesişimleri oluşturan kenarlardan alınan imge parçaları analiz için kullanılmıştır.

### A. Derinlik Süreksizliği

Bir imge parçasındaki derinlik süreksizliği üç boyutlu yapılar için önemlidir. Derinlik verisinin ikinci türevi derinlik süreksizliğini hesaplamada kullanılır. İlk olarak, bütün koordinatlardaki  $(x, y, z)$  derinlik verileri sıralanır ve ikinci türev hesaplanır. Ardından en büyük türev değerine bölünerek normalize edilir ve her koordinat için ortalama türev büyüklüğü hesaplanır. Son olarak, tüm koordinatların türev büyüklüğünün ortalaması alınarak imge parçasının derinlik süreksizliği bulunur (Bknz. Algoritma 1).

### Algorithm 1 Derinlik Süreksizliği

```

[u, v] ← incelenen piksel
W ← 24
patch ← [u, v] etrafında W genişliğinde pencere
X ← patch içindeki X koordinatları
Y ← patch içindeki Y koordinatları
Z ← patch içindeki Z koordinatları
{XS, YS, ZS} ← {SIRALA(X), SIRALA(Y), SIRALA(Z)}
XΔ ← X’lerin ikinci türevi
YΔ ← Y’lerin ikinci türevi
ZΔ ← Z’lerin ikinci türevi
GapDiscX ← ORTALAMA(NORM(XΔ))
GapDiscY ← ORTALAMA(NORM(YΔ))
GapDiscZ ← ORTALAMA(NORM(ZΔ))
GapDisc ← (GapDiscX + GapDiscY + GapDiscZ)/3

```

Sürekli bölgelerde derinlik süreksizliği metriği yüksek değerler verirken, düzenli veya düzensiz derinlik süreksizliği olan bölgelerde bu metrik düşük değerler verir.

### B. Yönelim Histogramı

Yönelim süreksizliği yönelim histogramı ile ölçülür. Bu metrik, sürekli bölgelerle yönelim süreksizliği ve düzensiz derinlik süreksizliği içeren bölgeleri ayırmakta yararlıdır. Algoritma 2 yönelim histogramının bir imge parçası için nasıl hesaplandığını göstermektedir. İlk olarak yönelim histogramının hesaplanacağı imge parçasından (24x4) küçük (3x3) bölümler alınır. Her küçük bölümün dört köşesinden geçen yüzey bulunur. Daha sonra bu yüzeylerin, minimum yönelim değerine sahip yüzeyle farkları alınır ve yönelim histogramı oluşturulur.

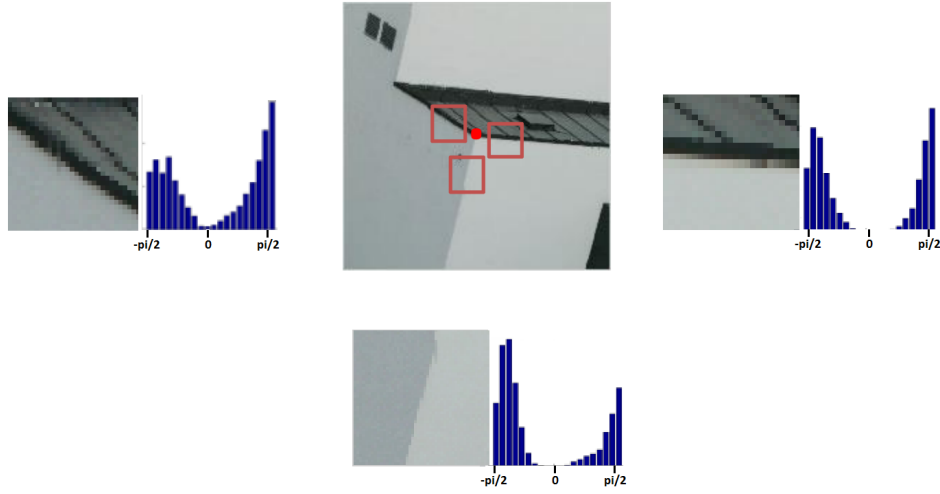
### Algorithm 2 Yönelim Histogramı Algoritması

```

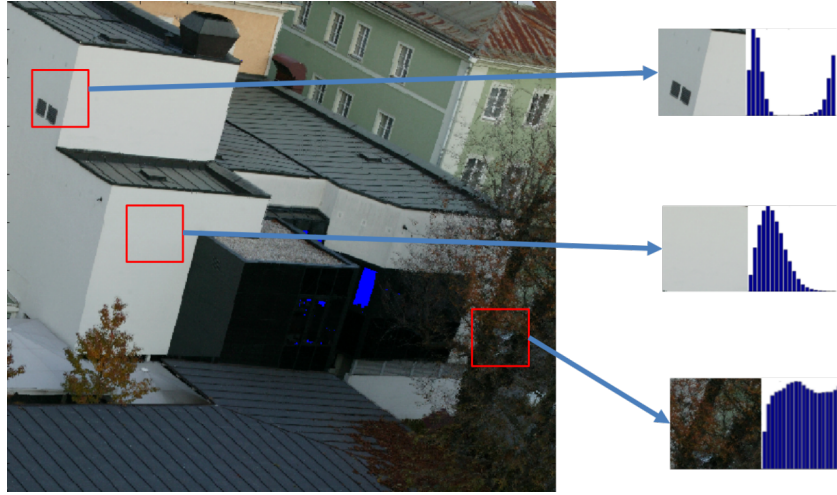
[u, v] ← incelenen piksel
W ← 24
patch ← [u, v] etrafında W genişliğinde pencere
SmallWindows ← patch içindeki tüm 3x3 pencereler
for each s in SmallWindows do
  Noktalar = Koseler(s)
  Duzlemler = Duzlem_oturt(Noktalar)
end for
Uzakliklar = yon_uzakliklari(Duzlemler)
Yon_histogramlari = HISTOGRAM(Uzakliklar)

```

Şekil 5’de düzensiz derinlik süreksizliği, yönelim süreksizliği ve sürekli bölgeler için yönelim histogramı gösterilmiştir. Düzensiz derinlik süreksizliği içeren imge parçalarında (bu imgedeki ağaçlı kısım gibi), yönelim histogramındaki



Şekil 4: Y-kesişim noktası için imge parçaları



Şekil 5: Farklı resim parçaları için yönelim histogramı

bütün değerler yüksektir ve dağılım düzenli (uniform) bir görünümündedir. Çünkü hemen her yönelimi yüzeyler içerisinde barındırmaktadır. Sürekli bölgelerde ise, yönelim histogramı düzensiz derinlik süreksizliğinde olduğu gibi tek bir öbektan veya iki farklı öbektan oluşmuştur ve derinlik farkı değeri yüksektir. Yönelim süreksizliğinde ise histogram iki öbektan oluşmaktadır ve derinlik farkı değeri sıfıra yakındır.

### C. Bulanık Sınıflandırma

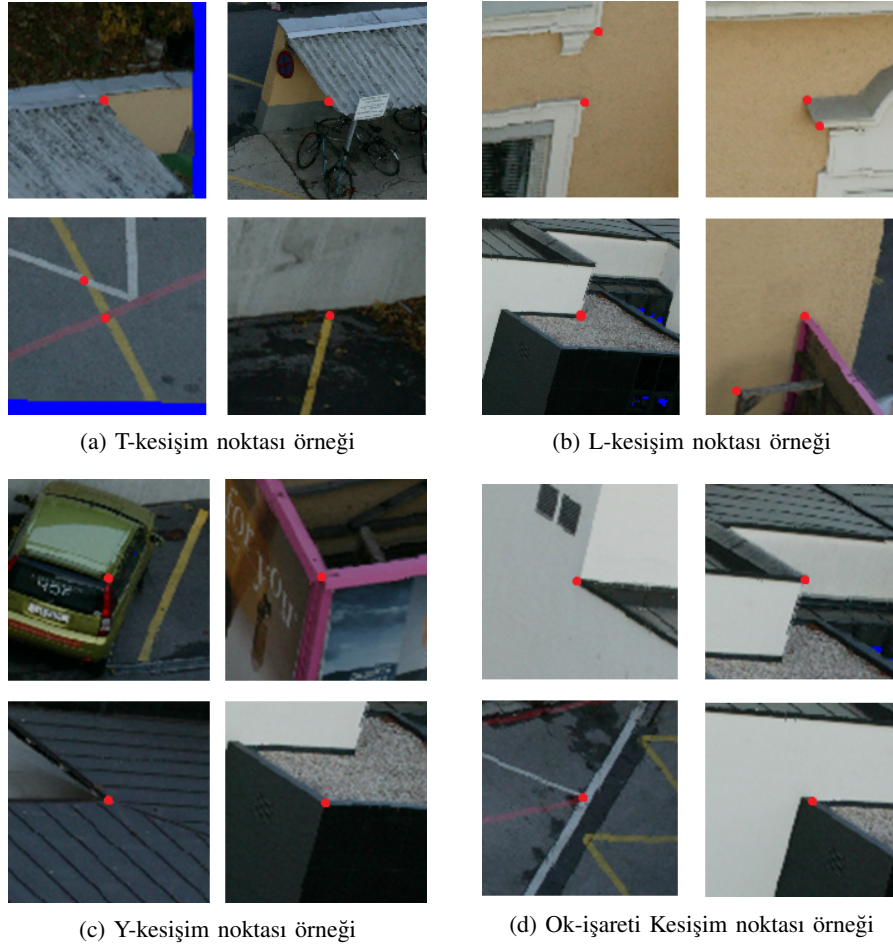
Bu çalışmada incelenen keşişimler güdümlü bir sınıflandırıcıyla test edilmiştir. Kullanılan 132 derinlik imge parçasından ikişer öznitelik çıkarılmıştır. Bu özelliklerden ilki Şekil 4'de gösterilen yönelim histogramıdır ve ikincisi ise bahsedildiği üzere derinlik farkı değeridir.

Bu öznitelikler birbirleriyle ilişkili olmadığından ve benzer değerlere sahip olmadıklarından yığın tipli güdümlü öğrenme kullanılmıştır. Öncelikle öznitelikler ayrı ayrı eğitilmiş ve her öznitelik için bulanık bir sınıflandırıcı oluşturulmuştur. Ardından bu sınıflandırıcıdan gelen sonuçlarla

farklı bir bulanık sınıflandırıcı eğitilmiştir. Yani, art arda iki sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Bu yaklaşım, başarıyı tek bir sınıflandırma algoritmasına göre %82 olan başarı oranını %8 artırarak %90'a yükseltmiştir. Öğrenme algoritmasında 10-kat çapraz geçerlilik ölçütü uygulanmıştır.

## IV. DENEYLER

Kesişim noktalarının için, verisetinden keşişim içeren imge parçaları önce köşe noktalarının tespitini yapan bir algoritma ile toplanmış, sonradan iyi sonuçlar vermediği düşünülerek elle toplanmıştır. Şekil 6, bu imge parçalarından bazılarını ve bu keşişim noktalarının çeşidini göstermektedir. Yapılan deneyler, bir imge parçasındaki derinlik süreksizliği ve yönelim çokluk dağılımının, homojen, kenarlı ve dokulu yapıları başarılı bir şekilde ayırdığını göstermektedir. Ancak bu metrikler köşeli yapıları ayırmada yetersiz kalmaktadır. Bunun sebebi ise köşeli yapıların diğer yapılara göre çok değişken olması, gerçek veriyle çalışıldığı için köşelerin kusursuz olmaması ve tek bir imge parçasının köşenin karakteristiğini incelemeye yetmemesidir. Bu yüzden, keşişim noktasını merkez alan tek bir imge



Şekil 6: Değişik keşişim noktalarının görselleştirilmesi

Tablo I: 2B keşişim noktalarına karşılık 3B yapı olasılıkları

	Düzenli Der. Süreksizliği	Yönelim Süreksizliği	Yüzey Süreksizliği	Düzensiz Der. Süreksizliği
T-keşişim nok.	0.50	0.23	0.26	0.00
L-keşişim nok.	0.28	0.22	0.47	0.02
Y-keşişim nok.	0.19	0.67	0.10	0.04
Ok-keşişim nok.	0.27	0.47	0.26	0.00

parçası kullanmak yerine, keşişim kolları üzerinde yer alan birden fazla imge parçası kullanılmıştır. L-keşişim için iki, ve diğer keşişim çeşitleri için üç imge parçası kullanılmıştır. Bu imge parçaları için derinlik düzensizliği ve yönelim çokluk dağılımı değerleri hesaplanmış ve bu değerler sınıflandırıcıya verilmiştir. Sonuçlar Tablo I'da gösterilmiştir.

## V. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar, T-keşişiminin diğer keşişim çeşitlerine göre daha büyük oranda derinlik düzensizliği içerdiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, L-keşişiminin daha büyük oranda sürekli bölgelerde görüldüğü ve yakın olasılıklarla derinlik ve yönelim süreksizliği olan bölgelerde görüldüğü saptanmıştır. Beklendiği üzere, Y-keşişim ve Ok-keşişimin büyük oranda yönelim süreksizliğinden oluştuğu gözlenmiştir.

Bu keşişimleri ayırmada süreklilik olasılıkları kullanılabilir. T-keşişimler Y-keşişimlere oranla daha çok sürekli bölgelerde görülmüşlerdir. Son olarak bütün keşişim türleri için düzensiz derinlik süreksizliği olasılığı çok düşüktür.

## KAYNAKÇA

- [1] N. Krüger and F. Wörgötter, "Statistical and deterministic regularities: Utilization of motion and grouping in biological and artificial visual systems," *Advances in Imaging and Electron Physics*, vol. 131, pp. 81–146, 2004.
- [2] A. Witkin and J. Tenenbaum, "On the role of structure in vision," *Human and machine vision*, vol. 1, pp. 481–543, 1983.
- [3] L. Shapiro and G. Stockman, "Computer vision," 2001.
- [4] J. Huang, A. Lee, and D. Mumford, "Statistics of range images," in *CVPR*, vol. 1. IEEE, 2000, pp. 324–331.
- [5] C. Howe and D. Purves, "Range image statistics can explain the anomalous perception of length," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, no. 20, pp. 13 184–13 188, 2002.
- [6] S. Kalkan, F. Wörgötter, and N. Krüger, "Statistical analysis of local 3d structure in 2d images," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, vol. 1, 2006, pp. 1114–1121.
- [7] —, "First-order and second-order statistical analysis of 3d and 2d image structure," *Network: Computation in Neural Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 129–160, 2007.