

Konuma Bağlı Uzamsal İlişkilerin Biçimbilimsel Modellenmesi

Morphological Modeling of Position-Based Spatial Relationships

R. Gökberk Cinbis, Selim Aksoy

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi, Bilkent, 06800, Ankara

cinbis@ug.bilkent.edu.tr, saksoy@cs.bilkent.edu.tr

Özetçe

Uzamsal bilgi, görüntü analizi modellerinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu bildiride, ikili ve üçlü uzamsal ilişkileri bulmak için, matematiksel biçimbilim kullanarak, özelleştirilebilir, gerçekçi ve hızlı yöntemler öneriyoruz. Bu ilişkiler, resmin her noktasında, referans nesneye veya nesnelere göre, istenilen ilişkinin değerini veren bir matris hesaplanarak gösterilmektedir. Modelimiz, bir nesnenin istenilen yönlerden gözükmecek kısımlarını da dikkate almayı mümkün kılmakta, ayrıca, nesnelerin uzamsal olarak çok farklı olduğu durumlara da başarılı olmaktadır. Yapay ve gerçek görüntülerde yaptığımız deneyler ise modelimizin diğer yöntemlere olan üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

Abstract

Spatial information plays a very important role in image understanding. Fuzzy mathematical morphology provides an effective basis for extracting binary and ternary spatial relationships by creating a fuzzy landscape where the value at each point corresponds to the relationship degree according to its position with respect to the reference object(s). We improve existing morphological approaches in terms of flexibility and efficiency while also obtaining more intuitive results. Our morphological definitions are sensitive to relative visibility of areas based on partial occlusions, and can also cope with the cases where some objects extend significantly differently relative to others. We show the effectiveness of the proposed definitions using synthetic and real images.

1. Giriş

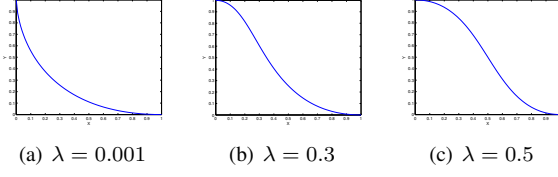
Görüntülerdeki nesnelerin çeşitliliği ve karmaşık arkaplanlar görüntü erişimi ve sınıflandırması problemlerinde bölge temelli yerel özniteliklerin analizini gerektirmektedir. Fakat, benzer yerel özniteliklerin resmin anlamsal açıdan ilgisiz bölgelerinde de bulunabiliyor oluşu, sahne sınıflandırmada bağlam bilgisinin kullanılmadığı durumlarda bu yöntemleri de başarısız kılabilmektedir. Üstelik, her ne kadar görüntüdeki bölgeler doğru olarak sınıflandırılabilir olsa dahi aynı bölgeler, farklı sahnelerde, içeriğe bağlı olarak farklı anlamlar kazanabilmektedir. Bu durum özellikle tıbbi görüntülerde ve uydu görüntülerinde karışık sahnelerin varlığı nedeniyle önem kazanmaktadır.

Bu çalışma TÜBİTAK KARIYER 104E074 ve European Commission Sixth Framework Programme Marie Curie International Reintegration Grant MIRC-CT-2005-017504 numaralı projeler tarafından desteklenmiştir.

Görüntüdeki bağlam bilgisinin hem insan algılamasındaki hem de bilgisayarla görmedeki önemi bilinmektedir. Bağlam modellemede kullanılan yapısal yöntemlerden biri ise uzamsal ilişki bilgisini kullanmaktır. Bugüne kadar uzamsal ilişkiler için topolojik, uzaklık temelli ve görece konum temelli tanımlar önerilmiştir. Biz, görüntü sınıflandırmada ve resime erişimde bu yöntemleri, geleneksel piksel veya bölge temelli yöntemlerin uygulanamayacağı durumlardaki kullanımını göstermiştik [1]. Bu bildiride ise, ikili yön ilişkileri ve üçlü arada olma ilişkileri üzerine yoğunlaşıyoruz. Bugüne kadar önerilmiş ikili ilişki bulma yöntemlerinin çoğu noktalar arası açı hesaplamalarına dayanmaktadır [2]. Genellikle, nesnelerin kütle merkezleri arasındaki açı veya nokta ikililerinin arasındaki açılardan oluşturulan açı-histogramları görece konumu yaklaşık olarak hesaplamakta kullanılmaktadır. Ayrıca, kuvvet-histogramı, projeksiyon alma ve biçimbilime dayanan yöntemler de bulunmaktadır [3, 2, 4]. Bir nesnenin, diğer iki nesne arasında kalması anlamına gelen “arada” ilişkisi ise ikili ilişkilere göre çok daha az incelenmiştir. Bu ilişkinin bulunmasında dışbükey zarf (convex hull) temelli, doğru parçalarının kombinasyonlarını kullanan ve matematiksel biçimbilim temelli yöntemler önerilmiştir [5]. Ancak çoğu, işlem miktarı açısından masraflı, sadece biçimsel olarak toplu nesnelerde başarılı olabilen ve bir nesnenin diğerine göre uzamsal olarak çok farklı olduğu veya birbirleri tarafından görülmeyen içbükey kısımlarının olduğu durumları işleyemeyen yöntemlerdir.

Algoritma tasarımı, nesnelerin şekillerini (örn. içbükeylik, uzamsal duruş) ve uzaklık bilgisini hesaba katmak doğal bir gereksinimdir. Matematiksel biçimbilim bu amaç için çok uygun bir temel oluşturmaktadır. Ayrıca, ilişkilerin kısmen belirsizliği ve özelliği, bulanık gösterim temelli modellemeyi kaçınılmaz kılmaktadır. Biz, ikili ve üçlü ilişkilerin belirlenmesi için ayarlanabilir, insan algılamasına yakın değerler veren verimli yöntemler hedefliyoruz. İlk önce, referans nesne veya nesnelere göre resmin her noktasında istenilen ilişkinin şiddetini gösteren bir matris tanımlıyoruz. Bu matrisin hesaplanmasında yönlü biçimbilimsel genişleme (directional mathematical dilation) uygulanıyor. Daha sonra, istenilen ilişkinin derecesini hedef nesnenin bu matris ile kesişimine bakarak hesaplıyoruz.

Bu bildiride temel katkımız, geliştirdiğimiz açıl ve uzamsal olarak ayarlanabilir yapısal öge (structuring element) tanımımızdır. Bunun yanında, görüntüde nesnelere göre istenilen ilişki yönünde görünür olmayan alanları da belirliyoruz. Tanımımız, bir nesnenin diğerine göre uzamsal olarak çok daha yayılmış olduğu durumların hesaplanışını da kapsamaktadır. Yapay ve gerçek görüntüler kullanarak tanımımız gösterilmiş ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 1: Farklı λ sabitlerinde kübik Bézier eğrisi şeklindeki $g_\lambda(x)$ eğrisi.

2. Uzamsal yön ilişkileri

Yön ilişkileri, iki nesnenin birbirine göre uzamsal duruşunu göstermektedir. Her ne kadar sağ, sol, yukarı, aşağı ilişkilerinin kullanımı yaygın olsa da, açı temelli tanımlar daha genel kapsamlıdır. Bir B referans nesnesi ve istenilen α yönü için, $\beta_\alpha(B)$ ilişki matrisi, referans nesne etrafında istenilen ilişki için her noktada ilişki derecesini belirleyen bir bulanık küme olarak tanımlanabilir.

Bu ilişki, yatay eksene göre, referans nesneye ait her b noktasından görüntüdeki her x noktasına oluşturulan her vektör ile istenilen α yönündeki birim vektörü arasında kalan $\theta_\alpha(x, b)$ açısı ile tanımlanabilir. Bloch, [6] makalesinde, ilişki matrisini, α yönünde, görüntüdeki her noktanın referans nesnenin görünür noktalarıyla yaptığı en küçük açı θ' ya göre lineer olarak azalan şu fonksiyonu kullanarak tanımlamaktadır:

$$\beta_\alpha(B)(x) = \max \left\{ 0, 1 - \frac{2}{\pi} \min_{b \in B} \theta_\alpha(x, b) \right\}. \quad (1)$$

Ayrıca, gösterilebilir ki, bu, B' 'ye biçimbilimsel genleşme uygulanmasına eşdeğer bir tanımdır:

$$\beta_\alpha(B)(x) = (B \oplus \nu_\alpha)(x) \cap B^c. \quad (2)$$

Yapısal öge için ise şu tanım kullanılmaktadır:

$$\nu_\alpha(x) = \max \left\{ 0, 1 - \frac{2}{\pi} \theta_\alpha(x, o) \right\}. \quad (3)$$

Burada, o yapısal cisim merkezidir ve B , (2) denklemindeki genleşme işleminin sonucundan çıkarılmaktadır.

Fakat, lineer fonksiyon çoğu durumda gerçekçi sonuçlar vermemektedir (bkz. Şekil 2 ve Bölüm 5). Biz, insan algılamasına çok daha yakın sonuçlar veren, Bézier şeklinde lineer olmayan bir fonksiyon kullanarak yapısal cismimizi tanımlıyoruz:

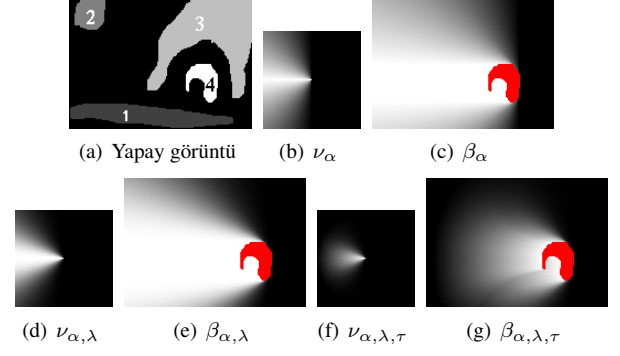
$$\nu_{\alpha,\lambda}(x) = g_\lambda \left(\frac{2}{\pi} \theta_\alpha(x, o) \right). \quad (4)$$

Burada λ bükülme noktasını göstermektedir (Tanım için bkz. [4]). Bu lineer olmayan fonksiyon, farklı durumlar için ayarlanabilir bir yapısal ögeyi mümkün kılmaktadır. Şekil 1'de farklı λ değerleri için örnekler görülmektedir.

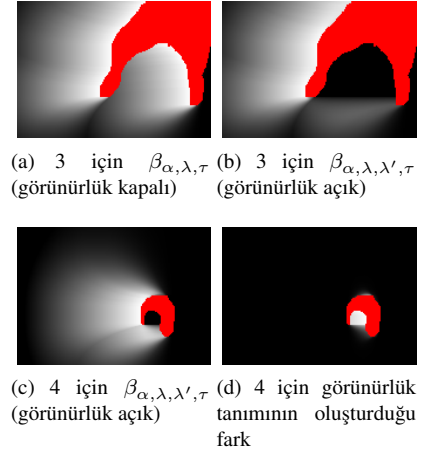
Yapısal öge tanımı, lineer bir terim ekleyerek, referans nesneden uzaklaştıkça uzamsal ilişki zayıflayacak şekilde genişletilebilir:

$$\nu_{\alpha,\lambda,\tau}(x) = g_\lambda \left(\frac{2}{\pi} \theta_\alpha(x, o) \right) \max \left\{ 0, 1 - \frac{\|\vec{o\vec{x}}\|}{\tau} \right\}. \quad (5)$$

Bu denklemde, $\|\vec{o\vec{x}}\|$, herhangi bir x noktasının, yapısal ögenin merkezine olan Öklid uzaklığını, τ ise referans nesnenin artık



Şekil 2: Bir yapay görüntü ve 4 nolu nesne için uzamsal yön ilişkileri. Parametreler: $\alpha = \pi$, $\lambda = 0.3$ ve $\tau = 100$.



Şekil 3: Görünürlüğün açık ve kapalı olduğu ilişki matrisleri. Parametreler: $\alpha = \pi$, $\lambda = 0.3$, $\lambda' = 0.001$ ve $\tau = 100$.

görünmez olduğu uzaklık eşik değerini göstermektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, [6] makalesindeki tanım (burada (3) numaralı denklem), açı α 'dan uzaklaştıkça, aşırı yayılmış ve insan algılamasına aykırı bir ilişki matrisi oluştururken, (4) ve (5) tanımları daha gerçekçi çıktılar sağlamaktadır (daha çok örnek için bkz. [4]).

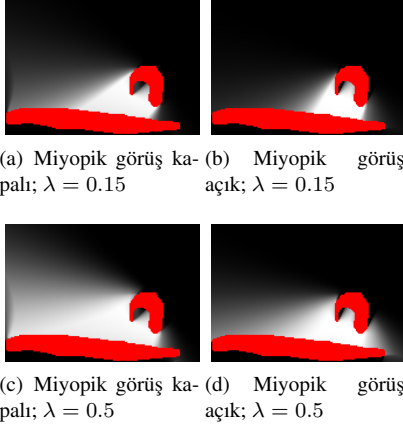
Referans nesne tarafında kısmen ya da tamamen kapatılan ve istenilen yönde gözükmeyen kısımlar, tıpkı Şekil 2'deki 4 nolu nesnede olduğu gibi, (2) denklemine göre ilişki matrisinde yüksek değer sahibi olabilirler. Buna çözüm olarak şu denklemi kullanıyoruz:

$$\beta_{\alpha,\lambda,\lambda',\tau}(B)(x) = (B \oplus \nu_{\alpha,\lambda,\tau})(x) \cap (B \oplus \nu_{\alpha+\pi,\lambda'})(x)^c. \quad (6)$$

Denklemdaki ilk yapısal cisim için (5) tanımını ve ikincisi için (4) tanımını kullanıyoruz. Bulanık kesişim işleminde çarpım işlemini kullanıyoruz ve tümleyici olarak her değeri 1'den çıkarıyoruz (bkz. Şekil 3).

3. Arada olma ilişkisi

Herhangi B ve C referans nesneleri için, aralarındaki bölgeyi gösteren ilişki matrisi $\beta_\delta(B, C)$ de bulanık kümeler ile tanımlanabilir. θ_δ bu nesnelerin arasındaki açı olarak düşünülürse, ilişki matrisi neslerin $\alpha = \theta_\delta$ ve $\alpha = \theta_\delta + \pi$ yönlerinde matematiksel



Şekil 4: Arada olma ilişkisi için 1 ve 4 numaralı nesneler için ilişki matrisleri. Nesne 1 nesne 4'e göre uzamsal olarak yayılmış durumda. τ_{miyopik} resmin genişliğinin yarısı ve $\lambda' = 0.001$ olarak alındı. Nesneler arası görece açılar ise miyopik görüş açık olduğunda 42.28° ve kapalı olduğunda 63.40° olarak bulundu. Görüldüğü üzere, daha büyük λ değerleri için ilişki matrisindeki hata artmaktadır.

genleşme sonucunun kesişimi olarak hesaplanabilir. Nesnelerin görece açıları ise nesneler arası nokta ikililerinden elde edilen açılı histogramının en büyük veya ortalama değeri bulunarak elde edilebilir [5]. Daha sonra, ilişki matrisi şu şekilde hesaplanabilir:

$$\beta_{\delta}(B, C)(x) = \beta_{\alpha=\theta_{\delta}, \lambda, \lambda'}(B)(x) \cap \beta_{\alpha=\theta_{\delta}+\pi, \lambda, \lambda'}(C)(x). \quad (7)$$

Bu tanımdaki $\beta_{\alpha, \lambda, \lambda'}$, τ etkeni olmaksızın, tıpkı (6) denklemi olduğu gibi hesaplanır (yapısal öge için (4) tanımını kullanmaktayız). Ayrıca, ilişki matrisi sadece iki nesnenin birbirleri tarafından gözükken kısımlarında sıfır olmayan değerler sahip olması gerektiği için, 2 bölümündeki görünürlük tanımını kullanmaktayız.

Her ne kadar, açılı histogramı genellikle iki nesne arasındaki açı için yaklaşık bir değer veriyor olsa da, bir nesnenin diğerine göre uzamsal olarak yayılmış olduğu durumlarda başarısızdır [5] (örnekler için bkz. Şekil 4). Biz bu probleme çözüm olarak, iki nesnenin sadece birbirine yakın olan noktalarını açılı histogramında kullanmayı öneriyoruz ([5] makalesinde bu "miyopik görüş" olarak adlandırılıyor ve çözüm olarak yakın kısımların hesabı öneriliyor ancak bir yöntem detayları belirtilmiyor).

Yayılmış nesnelerin uzamsal yakınlığını hesaba katmak için, açılı histogramında her nokta ikilisinin açısının katkısı [5]'teki yöntemdeki 1 katsayısı yerine, $\max\{0, 1 - \|\vec{bc}\|/\tau_{\text{miyopik}}\}$ terimiyle çarpıyoruz. Burada, $\|\vec{bc}\|$, b ve c nokta ikilileri arasındaki Öklid uzaklığını ve τ_{miyopik} ise iki nokta arasındaki açının histogramda belirebileceği maksimum uzaklığı göstermektedir. Miyopik görüş tanımımız Şekil 4'te örneklendirilmiştir.

4. Bir nesne için ilişki derecesinin belirlenmesi

İlişki matrisi β , 2 veya 3 bölümlerindeki gibi hesaplandıktan sonra, bir nesnenin referans nesne(ler) ile olan ilişki derecesi şu

şekilde hesaplanabilir:

$$\mu(A) = \frac{1}{\text{alan}(A)} \sum_{a \in A} \beta(a). \quad (8)$$

5. Örnekler

Tablo 1, 2 ve 3'te, Şekil 2(a)'daki yapay görüntü için ilişki istatistikleri verilmiştir. Tanımımızdaki sabitleri $\lambda = 0.3$, $\lambda' = 0.001$, $\tau = 150$ olarak aldık. Tablo 1, sol, sağ, yukarı ve aşağı yönlerinde çeşitli nesne ikilileri için ilişki derecelerini göstermektedir. 1 ve 4 nesne ikilisi için, yöntemimiz doğru bir şekilde 4'ün büyük oranda 1'in üstünde olduğu sonucunu vermektedir. Ancak, kütle merkezi temelli yöntem 4'ün 1'in genel olarak solunda olduğunu ve Bloch'un tanımı solda oluşu için 0.41 değerini vermektedir. Ayrıca, Bloch'un tanımı referans-hedef nesne ikilileri 1-2, 1-3 ve 3-4 için benzer şekilde çelişkili çıktılar vermektedir. Geriye kalan durumlarda ise yöntemler yakın sonuçlar vermektedir.

Tablo 2 çeşitli görece açı değerlerini göstermektedir. Bizim miyopik görüş tanımımızda Inf değeri, τ_{miyopik} sabitine bağlı olarak, nesne ikilisinin ilişkilendirilemeyecek kadar uzak oluşunu temsil etmektedir. Bu, önerilen metodun bir avantajıdır çünkü arada ilişkisinin manasız olacağı durumları belirlemektedir. Hemen her durumda, bizim miyopik görüş tanımımız, diğer tanımlara göre insan algılamasına yakın değerler vermektedir.

Tablo 3 çeşitli arada ilişkisi derecelerini göstermektedir. Diyebiliriz ki, 4, 1 ile 2 nesnelerinden ziyade 1 ile 3 nesneleri arasındadır. Ayrıca, 4, 2 ile 3'ün arasında değil ve 2 de 3 ile 4'ün arasında değildir. Tanımımız, [5]'te önerilen yöntemle göre, bu yorumlara çok daha yakın sonuçlar vermektedir. Diğer durumlarda ise her iki yöntem de benzer sonuçlanmaktadır.

Şekil 5'te Kanada'daki British Columbia eyaletinin LANDSAT uydusuyla çekilmiş bir görüntüsünün [1]'de anlatılan yöntemle bölgelere bölünüşü görülmektedir. Şekil 6'da, bir köprü arama senaryosu verilmiştir. Burada köprü, iki su arasında kalan ve asfalt olarak sınıflandırılmış alan olarak tanımlanmıştır. Şekil 7'de ise bir nehrin kuzey (yukarı) bölgesinin bulunuşuna dair senaryo gösterilmektedir. Şekil 7(a)'daki görünürlük tanımı kullanılmaksızın elde edilen ilişki matrisi hatalı olarak nehrin güneyinde bulunan bölgeleri de almaktadır. Görünürlük tanımını ve (5) denklemiindeki yapısal ögesini (6)'daki ilk matematiksel genleşme için $\alpha = \pi/2$, $\lambda = 0.5$, $\tau = 150$ sabitleri ile, ikinci genleşme için $\alpha = -\pi/2$, $\lambda = 0.001$, $\tau = 100$ sabitleri ile kullandığımızda Şekil 7(b)'deki sonuç elde edilmektedir. Bu çıktıda görüldüğü üzere suyun karaya alttan daha yakın olduğu yerler üstten yakın olduğu yerlere göre daha yüksek değerlere sahiptir. Son olarak, (6) denklemiinde ikinci genleşmede kullanılan yapısal ögenin boyutunu 200×200 ile sınırlandırarak, karaya yukarıdan 200 pikselden daha fazla yakın olan su alanlarının hesabı girmediği Şekil 7(c)'de görülen ilişki matrisi elde edilmiştir.

6. Sonuç

Bulanık matematiksel biçimbilim kullanarak ikili ve üçlü nesne ilişkilerinin belirlenmesinde yeni, ayarlanabilir ve verimli tanımlar sunduk. Tanımlarımız bir nesnenin belli yönlerden gözükme-yen kısımlarını tanımlayan görünürlük kavramını desteklemektedir. Ayrıca, tanımımız, bir nesnenin uzamsal olarak diğerine

Tablo 1: Şekil 2(a)'da verilen yapay görüntüdeki bazı nesne ikilileri için farklı yönlerde ilişki dereceleri.

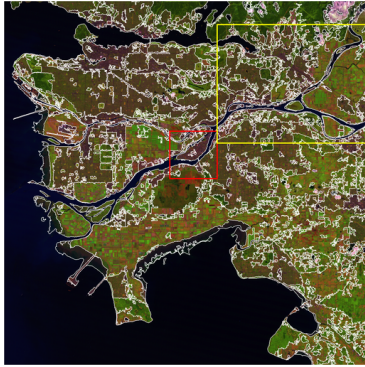
Ref.	Hedef	Kütle merkezi temelli [2]				Bloch'un tanımı (3)				Tanımımız (6)			
		sol	sağ	yukarı	aşağı	sol	sağ	yukarı	aşağı	sol	sağ	yukarı	aşağı
1	2	0.24	0.00	0.76	0.00	0.60	0.13	1.00	0.00	0.05	0.01	0.46	0.00
1	3	0.00	0.38	0.62	0.00	0.19	0.70	0.98	0.00	0.03	0.14	0.53	0.00
1	4	0.00	0.72	0.28	0.00	0.41	0.87	1.00	0.00	0.05	0.40	0.79	0.00
3	4	0.01	0.00	0.00	0.99	1.00	0.99	0.34	1.00	0.05	0.01	0.00	0.72

Tablo 2: Şekil 2(a)'da verilen yapay görüntüdeki bazı nesne ikilileri için görece açı değerleri.

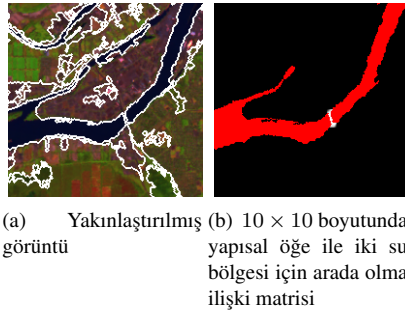
Nesne 1	Nesne 2	Kütle merkezi	Açı histogramı	Miyopik görüş ile açı histogramı
1	2	119.25	115.98	93.98
1	4	31.88	42.29	63.41
2	3	-10.99	-12.03	-21.97
2	4	-29.92	-30.04	Inf

Tablo 3: Şekil 2(a)'da verilen yapay görüntüdeki bazı nesne üçlülere için arada ilişkisi dereceleri.

Ref.1	Ref.2	Hedef	[5]'deki (17) nolu denklem tanımı	Tanımımız (7)
1	2	3	0.12	0.10
1	2	4	0.52	0.22
1	3	4	0.77	0.95
2	3	4	0.41	0.02
3	4	2	0.27	0.00

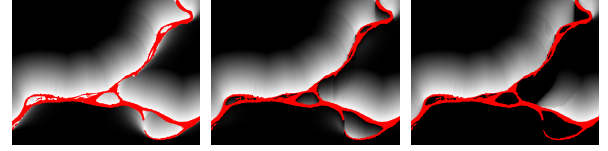


Şekil 5: British Columbia'nın LANDSAT görüntüsü.



(a) Yakınlaştırılmış görüntü (b) 10 × 10 boyutunda yapısal öge ile iki su bölgesi için arada olma ilişkisi matrisi

Şekil 6: Şekil 5'teki kırmızı çerçeve içindeki alanda köprü arama sonuçları (detaylar için metne bakınız).



(a) Görünürlük kapalı (b) Görünürlük açık (c) Boyutu kısıtlanmış yapısal cisim ile görünürlük

Şekil 7: Şekil 5'teki sarı çerçeve içindeki alanda nehrin kuzeyini arama sonuçları (detaylar için metne bakınız).

göre çok yayılmış olduğu durumları da içermektedir. Sayısal ve görsel örnekler, bize, modellimizin güncel yöntemlere göre insan algısına daha yakın sonuçlar verdiğini gösterdi. Bundan sonraki adımlardan biri, bu modelleri görüntü sınıflandırmada ve görüntü erişiminde kullanmak olacaktır.

7. Kaynakça

- [1] S. Aksoy, K. Koperski, C. Tusk, G. Marchisio, and J. C. Tilton, "Learning Bayesian classifiers for scene classification with a visual grammar," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, no. 3, pp. 581–589, March 2005.
- [2] I. Bloch and A. Ralescu, "Directional relative position between objects in image processing: A comparison between fuzzy approaches," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 7, pp. 1563–1582, July 2003.
- [3] P. Matsakis and L. Wendling, "A new way to represent the relative position between areal objects," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 7, pp. 634–643, July 1999.
- [4] R. G. Cinbis and S. Aksoy, "Modeling spatial relationships in images," Department of Computer Engineering, Bilkent University, Ankara, Turkey, Tech. Rep. BU-CE-0702, January 2007, <http://retina.cs.bilkent.edu.tr/papers/BU-CE-0702.pdf>.
- [5] I. Bloch, O. Colliot, and R. M. Cesar, "On the ternary spatial relation "between"," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*, vol. 36, no. 2, pp. 312–327, April 2006.
- [6] I. Bloch, "Fuzzy relative position between objects in image processing: A morphological approach," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 7, pp. 657–664, July 1999.