

İLİNTİLİ GÖRÜNTÜLERİN BİRLEŞİK MARKOV RASTGELE ALAN MODELİ VE GERÇEK-ZAMANLI UYGULANABİLİR ENİYİLEME YAKLAŞIMI

Mahmut Şamil SAĞIROĞLU
TÜBİTAK UEKAE

Osman Nuri UÇAN
İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Bölümü

ÖZET: Bu makalede ilintili görüntülerin Markov Rastgele Alan (MRA) modeline dayalı birleşik uygulaması sunulmuş ve bu uygulamanın gerçek zamanlı kullanılabilirliği için bir en-iyileme yaklaşımı önerilmiştir. 'Beamforming' yöntemi ile elde edilen uzaklık ve güvenilirlik bilgisinden faydalanarak piksel-piksel bir biriyle ilintili olan iki ayrı görüntü çıkartılmıştır. Bu model görüntülerin yeniden oluşturulması ve yenilenmesi işlemi için ortaya konmuştur. Modelin hızlı uygulanabilirliği için çözüm süresini kısaltıcı yaklaşımlarda bulunulmuştur. Ayrıca örnek şekillerin yeniden oluşturulmuş uzaklık ve yenilenmiş güvenilirlik görüntülerinden yararlanarak 3 boyutlu gösterimleri de elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *İlintili Görüntü, Markov Rastgele Alanları, En-iyileme, Yeniden oluşturma, Güncelleme.*

SUMMARY: This paper describes a Markov Random Field model for coupled range and confidence signals. Beamforming is a method used to bring a range image from backscattered echos of acoustic signals. Another information is confidence of signal which associated point by point with this range data. In the proposed algorithm, the range and confidence images are modeled as Markov Random Fields whose probability distributions are specified by a single energy function. The optimization of this model gives reconstructed range and restored confidence images and an approach to the optimization is suggested for the real-time implementation of this method.

Keywords: *Related Image, Markov Random Filed, Optimisation, Reconstruction.*

1.GİRİŞ

Bu makalede ilintili görüntülerin MRA modeline dayalı uygulaması sunulmuş ve bu uygulamanın gerçek zamanlı kullanılabilirliği için bir eniyileme yaklaşımı önerilmiştir. İlintili görüntüler kullanılarak birleşik halde görüntü oluşturma ve güncelleme algoritmaları ortaya konulmuştur. Uygulama için kullanılan görüntüler sualtı akustik görüntüleridir. Görüntülerin oluşturulması için ışın-oluşturma yöntemi kullanılmıştır. Işın oluşturma yöntemi akustik sinyaller için büyük bir kullanım alanına sahiptir. Işın oluşturma yönteminde gönderilen ışının yansıtıp geri gelmesi arasındaki süreyle bağımlı bir uzaklık bilgisi elde edilir. Ayrıca bu sinyalle nokta nokta ilişkili olan ve ilintili olarak ifade edilen bir güvenilirlik bilgisi de elde edilir.

Bu sinyaller iki ayrı görüntüye karşılık düşürülür. Bunlar Uzaklık (MG) ve Güvenilirlik görüntüsü (GG) olarak adlandırılır. Bu görüntüler fiziksel ortamın kontrol dışı etkilerini de içermektedir. Bu görüntüleri gürültüden arındırmak için MRA ile modelleme yapılmakta ve modeldeki enerji fonksiyonuna en-iyileme uygulanarak sonuç görüntüler elde edilmektedir. Uzaklık ve güvenilirlik görüntüleri için Murino V., A. Trucco, C.S. Regazzoni, 1998 makalesinden faydalanılmıştır. Söz konusu yazarlardan gerçek ölçüm değerleri alınmıştır. Güvenirlik görüntüsü düzgeleme sonucunda $[0,1]$ arasında değer almaktadır. Gerçek modelde en-iyileme işlemi çok uzun sürmektedir. Bu süreyi kısaltmak için enerji fonksiyonun en-iyilenmesinde bazı yaklaşımlara gidilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Murino V., A. Trucco, C.S. Regazzoni (1998) makalesine göre yaklaşık 3 kat hızlı alınmıştır. Ayrıca elde edilen yeniden oluşturulmuş MG'leri kullanılarak 3 boyutlu görüntüler sunulmuştur.

2. MRA MODELİ

Markov özelliğine göre bir piksele ilişkin koşullu olasılık değerinin, $P(x_w / X)$, tüm X kümesine bağlı olmasına gerek yoktur. Yalnızca N_w komşuluk kümesi içerisinde bulunması yeterlidir. Yani $P(x_w / X) = P(x_w / N_w)$ 'dir. Hammersley-Clifford teoreminden de hatırladığımız üzere MRA'nın yerel karakteristik olasılığıyla Gibbs in yerel enerji potansiyelleri arasında bir MRA-Gibbs denkliği tanımlanmıştır (Geman, 1984 : 721-741).

$$P(X) = \frac{1}{\Omega} e^{-\frac{1}{\beta} E(X)}, \quad (1)$$

Burada Ω normalizasyon katsayısı, β sıcaklık katsayısı ve $E(X)$ enerji fonksiyonudur. Benzetimli tavlama β pozitif gerçel sayı olarak alınmıştır. Enerji fonksiyonu komşuluk sistemine bağlı olarak yerel enerji fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilebilir. Y gözlenen ve X sonuç verisi olsun. Bayes formülünden bilindiği üzere $P(X/Y)$ olasılığı (a posteriori probability) $P(X)$ (a priori) ve $P(Y/X)$ (conditional) 'ye bağlı olarak bulunabilir. $P(X/Y)$ olasılığı Gibbs tipinde yazılabilir. MAP (Maximum A-Posteriori) koşulunu sağlamamız için $E(X/Y)$ enerji değerini en-iyilememiz gerekmektedir. En-iyilenme sonucunda ki X, Y gözlenmiş verisinden çıkabilecek olasılığı en yüksek değerdir.

Murino V., A. Trucco, C.S. Regazzoni (1998)'ye göre alan enerji fonksiyonu ara işlemler atlanarak direkt olarak alınacak olursa,

$$E(Z, S / Y_z, Y_s) = \sum_{i \in Z, S} \left[\sum_{j \in N_i} (z_i - z_j)^2 \cdot (1 - s_i \cdot s_j) + \frac{(z_i - y_{z_i})^2 \cdot \sqrt{s_i}}{2\sigma_z^2} + (s_i - s_i^*)^2 + \frac{(s_i - y_{s_i})^2}{2\sigma_s^2} \right] \quad (2)$$

Burada Z yeniden oluşturulmuş uzaklık görüntüsünü, S yenilenmiş güvenilirlik görüntüsünü, Y_z gözlenmiş uzaklık görüntüsünü, Y_s gözlenmiş güvenilirlik görüntüsünü vermektedir. Güvenirlik değişkeni gerçek bir prototip laboratuarda

ölçülmüş ve Murino V., A. Trucco, C.S. Regazzoni (1998) makalesinde verilmiştir. z_i i'inci pikselin uzaklık değerini, s_i i'inci pikselin güvenilirlik değerini, y_{z_i} i'inci pikselin gözlenmiş uzaklık değerini, y_{s_i} i'inci pikselin gözlenmiş güvenilirlik değerini temsil etmektedir. Ayrıca N komşuluk sistemidir. σ_z^2, σ_s^2 sırası ile algılayıcı sisteminin tespit edilmiş uzaklık ve güvenilirlik varyans değerleridir. s_i^* komşu piksellerin çoğunluğu, algılayıcıların eşik değerinden büyükse 1 olmakta aksi durumda 0 olmaktadır. Bu temel denklem üzerinde bazı değişiklikler ve hesap süresini azaltacak yaklaşıklar yapılmıştır. (2) nolu denklemde yer alan $(1 - s_i \cdot s_j)$ ifadesi değiştirilmiştir. Düzgeleme nedeniyle s değerlerinin 0 ve 1 arasında yer almaktadır. S değerinin en üst ve en alt değer alması durumu Tablo 1 de gösterilmiştir. Denklem (3)-(7) de $(1 - s_i \cdot s_j)$ yerine $(1 - s_i) \cdot s_j$ ifadesi konulmuştur.

Tablo 1. s_i değerinin eski ve yeni halinin etkileri

s_i	s_j	$1 - s_i \cdot s_j$	$(1 - s_i) \cdot s_j$
0	0	1	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Eniyileme başladığı zaman orijinal pikselin komşu piksellere benzemesine zorlanmaktadır. Orijinal ve komşu pikselin güvenilir olmaması durumunda benzemeleri için bir gerek yoktur. Bizim çalışmamıza göre orijinal piksel güvenilir olmaz ve komşu piksel daha güvenilir olursa orijinal piksel mümkün olduğunca komşu piksellere benzemelidir. Değişiklik benzer sonuçları daha az iterasyonla bulmamızı sağlamıştır. Böylece güncelleme işlemi daha doğrulukla çalışmıştır. Çünkü kenar değerleri daha fazla korunmuş ve filtre etkisiyle oluşan bulanma azaltılmış olmaktadır.

3. ENİYİLEME YAKLAŞIMI

Son değişiklikle beraber (2) eşitliği şu şekle dönüşmektedir.

$$E(Z, S / Y_Z, Y_S) = \sum_{i \in Z, S} \left[\underbrace{\sum_{j \in N_i} (z_i - z_j)^2 \cdot (1 - s_i) \cdot s_j}_{(1)} + \underbrace{\frac{(z_i - y_{z_i})^2 \cdot \sqrt{s_i}}{2\sigma_z^2} + (s_i - s_i^*)^2 + \frac{(s_i - y_{s_i})^2}{2\sigma_s^2}}_{(2)} \right] \quad (3)$$

'Simulated Annealing' yöntemi kullanılarak (3) denkleminin, genel minimumu bulunabilir (Kirkpatrick, Gellatt ve Vecchi, 1983 : 671-680). Daha önce de belirttiğimiz gibi problem çözümü gerçek zamanlı uygulamaya olanak sağlamamaktadır. Bunun için bazı yaklaşımlar yapılması gerekmektedir. Bu yaklaşımları 2 ayrı seviyede yapacağız.

(3) denkleminde toplama işlemi iki parçaya bölünebilir. (3) ilişkisi Y_Z bilindiğinde,

$$E_Z(Z, S / Y_Z, Y_S) \equiv E_Z(Z, S / Y_Z) = \sum_{i \in Z, S} \left[\sum_{j \in N_i} (z_i - z_j)^2 \cdot (1 - s_i) \cdot s_j + \frac{(z_i - y_{z_i})^2 \cdot \sqrt{s_i}}{2\sigma_Z^2} \right] \quad (4)$$

(3) ilişkisi Y_S bilindiğinde,

$$E_S(Z, S / Y_Z, Y_S) \equiv E_S(S / Y_S) = \sum_{i \in Z, S} \left[(s_i - s_i^*)^2 + \frac{(s_i - y_{s_i})^2}{2\sigma_S^2} \right] \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Daha önce de ele aldığımız gibi Z görüntüsünün direkt olarak S görüntüsü üzerinde etkisi yoktur. Dolayısıyla bu eşitliği s değerleri ayrı kalacak şekilde ayırırsak yaklaşım tamamen yanlış olmaz. Sadece eniyilemenin ayrık yapılacak olmasından dolayı bulunan minimum noktalar genel minimumlar olmayabilir. Burada 2 ayrı eşitlik çıkmıştır. Eşitlik (5) ilk olarak eniyilenir daha sonra bulunan s değerleri eşitlik (4) kullanılarak tekrar z için eniyileme yapılır.

Hesap süresini daha da düşürmek için yeni bir varsayım yapılabilir. Toplamsallık içerisinde bulunan ifadelerin ayrı ayrı ele alınmasını sağlayalım, bunların hızlı bir şekilde minimuma gitmesi için (5) nolu denklemin türevini alırsak,

$$s_{i_{yeni}} = \frac{s_i^* + \frac{y_{s_i}}{2\sigma_S^2}}{1 + \frac{1}{2\sigma_S^2}}, \quad (6)$$

sonucunu buluruz. Burada $s_i^* = [0,1]$, $0 \leq y_{s_i} \leq 1$ olduğu bilindiğine göre $0 \leq s_{i_{yeni}} \leq 1$ olduğu görülür. Bu şekilde çözümle 7-10 iterasyonda işlem bitmekte ve s_i değerleri bulunmaktadır. Burada (6) ve (7) nolu denklemler gradyan iniş algoritmasının bir uygulaması olarak düşünülebilir. Tabii olarak sonuçların orijinal fonksiyondaki gibi ideal olması beklenemez. Fakat yapılan denemeler sonuçların aşağı yukarı aynı değerleri vermesine rağmen işlem süresi 3 kat kadar kısalmıştır. Uygulamanın ikinci adımı olan (4) nolu denklemin türevini alırsak

$$z_{i_{yeni}} = \frac{\left[\sum_{j \in N_i} z_j (1 - s_i) s_j \right] + \frac{y_{z_i} \sqrt{s_i}}{2\sigma_Z^2}}{\left[\sum_{j \in N_i} (1 - s_i) s_j \right] + \frac{\sqrt{s_i}}{2\sigma_Z^2}}, \quad (7)$$

eşitliğini elde ederiz. Uzaklık görüntüsünde 7-10 iterasyonda çözüme ulaşılmaktadır. Bu yaklaşımlarla bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.SONUÇ

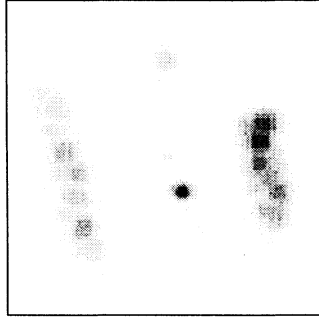
Bu makalede ilintili görüntülerde MRA modeline dayalı uygulanabilir yeni bir eniyileme yaklaşımı önerilmiştir. Burada elde edilen (6) ve (7) nolu denklemler

tavlama işlemine sokulmuştur. Bu yaklaşımlar gerçek laboratuvar verileri üzerinde test edildi ve elde edilen 3 boyutlu şekillerin gerçek görüntüyü yansıttığı gözlemlendi. İki adet zincir ve bir adet yuvarlak cisme ilişkin güvenilirlik, uzaklık görüntüleri incelenmiş ve yenilenmiş uzaklık, güvenilirlik çıktıları elde edilmiştir. Ayrıca eşik değerini geçen güvenilirlik değerlerinin uzaklık görüntüsü verilmiştir. Benzer sonuçlar kare bloklara ve bir adet mekanik parça için elde edilmiştir. Ayrıca benzetim verilerinde yapılan denemelerde eniyileme üzerinde değişiklik yapılmadan 16384 pikselden 310'u hatalı saptanırken, yaklaşım sonrası 405 hatalı nokta saptanmıştır. Bu da kazanılan işlem süresi karşısında göze alınabilecek bir işlem hatası olarak gözükmemektedir. Algoritmanın işlem sayısını azaltmış olduğu (6) ve (7) denklemlerindeki basitlemeden kolayca görülebilir. Örneğin, uzaklık görüntüsünde 7-10 iterasyonda yeterli olmaktadır.

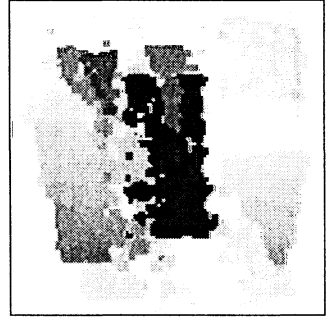
KAYNAKLAR

- MURINO V., TRUCCO, A., REGAZZONI, C.S. (1998). "A Probabilistic Approach to the Coupled Reconstruction and Restoration of Underwater Acoustic Images", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol 20, No 1, 9-22.
- KIRKPATRICH, S., GELLATT, C.D., VECCHI, M.P. (1983). "Optimization by Simulated Annealing", *Science*, vol 220, no 4:671-680.
- GEMAN S., GEMAN, D. (1984). "Stochastic Relaxation, Gibbs Distribution and Bayesian Restoration of Images", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol 6, 721-741.

ŞEKİLLER



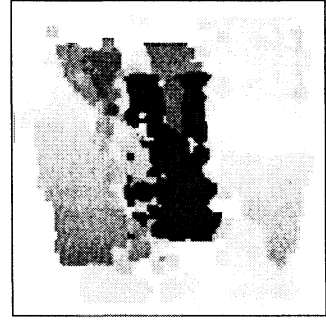
(a)



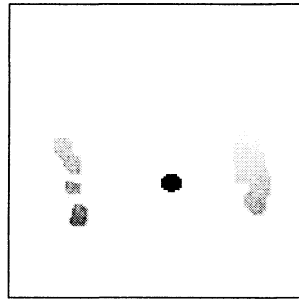
(b)



(c)



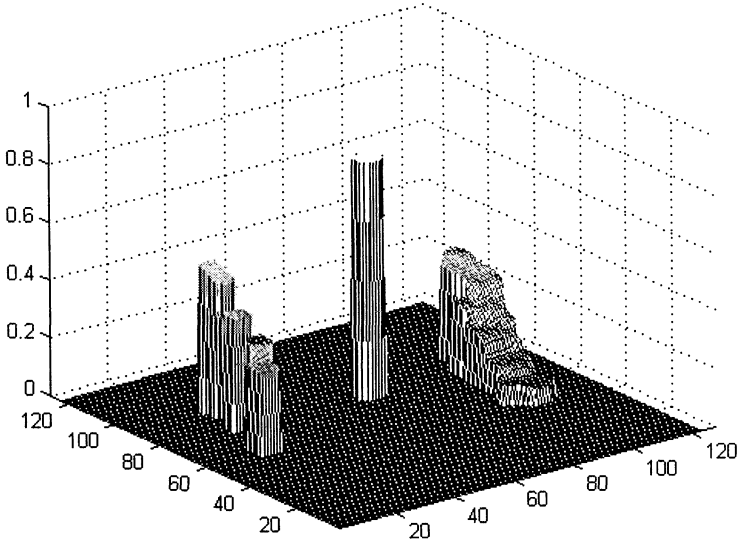
(d)



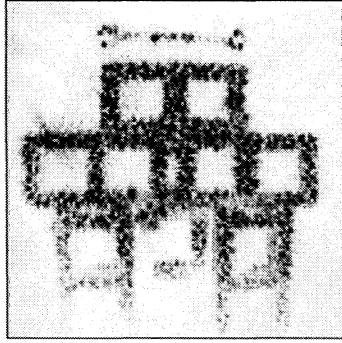
(e)

Şekil 1: İki adet zincir ve bir adet yuvarlak cisme ait

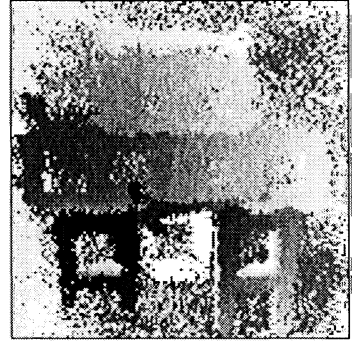
- a) Gürültülü güvenilirlik görüntüsü
- b) Gürültülü uzaklık görüntüsü
- c) Yenilenmiş güvenilirlik görüntüsü
- d) Yeniden oluşturulmuş uzaklık görüntüsü
- e) Eşik değerini geçen güvenilirlik değerlerindeki uzaklık görüntüsü



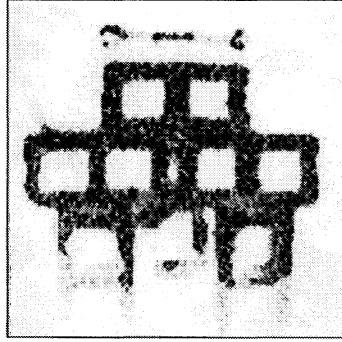
Şekil 2: İki adet zincir ve bir adet yuvarlak cisme ait üç boyutlu görüntü



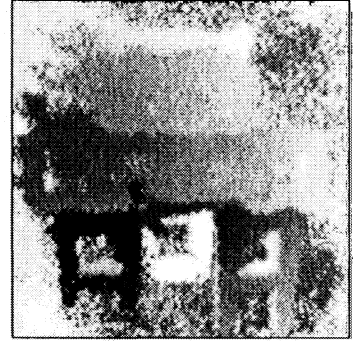
(a)



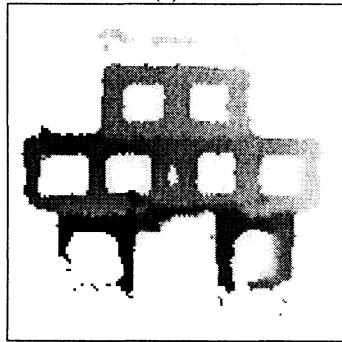
(b)



(c)



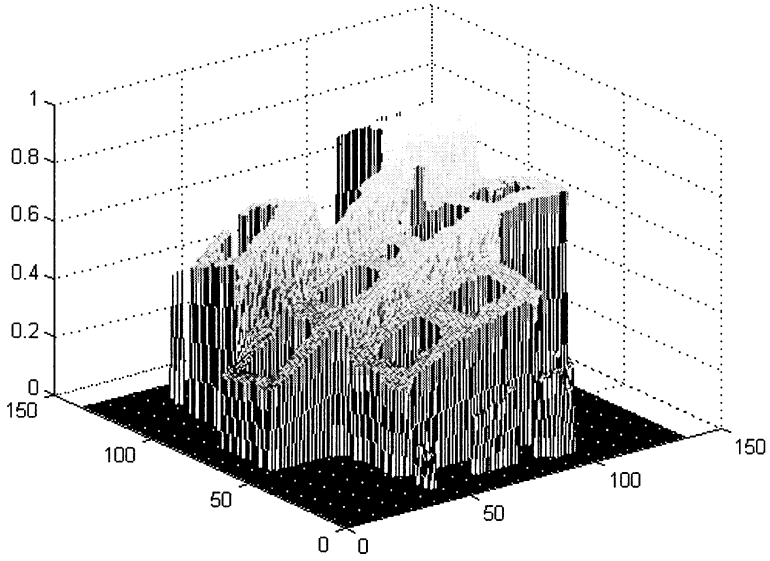
(d)



(e)

Şekil 3: Kare bloklara ve bir adet su anahtarına ait

- a) Gürültülü güvenilirlik görüntüsü
- b) Gürültülü uzaklık görüntüsü
- c) Yenilenmiş güvenilirlik görüntüsü
- d) Yeniden oluşturulmuş uzaklık görüntüsü
- e) Eşik değerini geçen güvenilirlik değerlerindeki uzaklık görüntüsü



Şekil 4: Kare bloklara ve bir adet su anahtarına ait üç boyutlu görüntü