

Resim Ayrılmalarını Akıllı Onarma

Smart Restoration of Painting Cracks

Bekir Dizdaroğlu

Bilgisayar Mühendisliđi Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
bekir@ktu.edu.tr

Özet

Bu bildiride, uygun olmayan çevre koşullarından dolayı oluşabilen resim ayrılmalarını akıllı onarma için bir yöntem önerilmektedir. İlk önce, resimdeki ayrılmalar biçimbilimsel bir teknik olan silindir-şapka dönüşümü kullanılarak sezimlenmektedir. Daha sonra, sezimlenen bu bölgeler, alt piksel doğruluğunu gerçekleştirebilen ve imge yapısını mükemmel bir şekilde koruyabilen içboyama yöntemi kullanılarak doldurulmaktadır. Deneysel sonuçlar önerilen yöntemin geçerliliğini göstermektedir.

Abstract

In this paper, a method is proposed for smart restoration of painting cracks which could be occurred due to improper environmental factors. Initially, cracks on the painting are detected by using the top-hat transformation which is a morphological technique. After, these detected regions are filled in by using the inpainting method which can achieve subpixel accuracy and perfectly preserve image structures. Experimental results demonstrate the validity of the proposed method.

1. Giriş

Kültürel miras, insanoğlunun daha kaliteli bir yaşam sağlamak için tarih boyu uğraşverdiği ve gelecek nesillere aktarmaya çalıştığı kültürel değerlerinin birikimi olarak tanımlanabilir. Uygun olmayan birçok çevresel koşullar bu miraslarda çoğu zaman istenmeyen etkilerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Özellikle eski tarihi resimlerdeki bozulmaları bu duruma örnek olarak verebiliriz. Kuru hava gibi benzer etmenlerden dolayı zamanla bu eserlerde ayrılma ve kabarmalar ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzden, kültürel mirasların korunması için günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır.

Eski resimlerdeki bozukluklar sayısal imge işleme teknikleriyle sanal olarak onarılabilir. Sadece bozukluk içeren bölgelerin aradeğerlenmesi yapılacağından, ilk önce resim üzerindeki bu bölgelerin algılanması gerekmektedir.

Resimdeki ayrılma bozukluklarının algılanması için geliştirilen birçok yöntemde biçimbilimsel bir süzgeç olan silindir-şapka dönüşümü kullanılmıştır [1-2]. Sezimlenen ayrılma bozukluklarının görsel olarak kabul edilebilir bir şekilde doldurulması için son zamanlarda imge işleme alanında oldukça çok kullanılan içboyama yöntemlerinden yön

bağımlı yayılım [1-2]'de biraz değiştirilerek uygulanmıştır. İmge içboyama yaklaşımları, kısmi türevsel denklemler yöntemlerini kullanarak imgedeki leke ve alt yazı gibi küçük bölgelerin doldurulmasını başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir [3-6]. [5]'de renkli imgeleri düzenlileştirmek için bir içboyama metodu önerilmiştir. Bu yöntemle, imge yapısı fazla bulanıklaştırılmadan, imgenin onarılması etkili bir şekilde yapılabilmektedir. [6]'da ise, imgedeki kıvrımlar da dikkate alınarak bir onarma yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem hızlı bir şekilde sonuca gitmesinin yanında imge yapı bilgisini de doldurulacak bölgeye doğru bir şekilde iletilebilmektedir.

Önerilen onarma algoritmasında biçimbilimsel bir süzgeçleme tekniğiyle resimdeki ayrılmaların algılanması yapılmakta ve renkli imgelerinin düzenlileştirmesinde kullanılan [6]'da açıklanan bir teknikle doldurma işlemi gerçekleştirilmektedir.

2. Önerilen Yöntem

Önerilen yöntemde; resimdeki sadece ayrılma içeren bölgelerin düzenlileştirilmesi için, ilk önce bozukluk algılanması yapılmış, daha sonra ise bozuk bölgelerin etkili bir şekilde aradeğerlenmesi sağlanmıştır.

2.1. Ayrılma Algılama

$I: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$, renkli imgeler için $n = 3$ olmak üzere, $\Omega \rightarrow \mathbb{R}^2$ bölgesinde tanımlı çokdeğerli imge olsun. $I_i: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ ise, I 'nin i . imge kanalını gösterebilir ($1 \leq i \leq n$): $\forall \mathbf{p} = (x, y) \in \Omega$.

Ayrılma algılanması, imgenin geometrik yapısı dikkate alınarak geliştirilmiş olan matematiksel biçimbilim yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Temel biçimbilimsel işlemler genişleme ve kemirmedir. Bu işlemler kullanılarak açma ve kapama işlemleri yapılmaktadır.

I_i imge kanalı ve B ise yapılandırma elemanı olsun. $B(s, t)$ yapılandırma elemanı ile $I_i(x, y)$ imge kanalının geliştirilmesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$I_i \oplus B = \max\{I_i(x - s, y - t) + B(s, t)\} \quad (1)$$

İmge kemirmesi ise,

$$I_i \ominus B = \min\{I_i(x + s, y + t) - B(s, t)\} \quad (2)$$

ifadesiyle elde edilir. Açma işlemi, kemirmeden sonra genişleme, kapama işlemi ise genişmeden sonra kemirmeye gerçekleştirilir. Bu işlemler sırasıyla,

$$I_i \circ B = (I_i \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

ve

$$I_i \cdot B = (I_i \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

şeklinde dir.

Resimdeki ayrılmalar genelde çok küçük değerli ışıklılığa sahiptir. Bu tür bozukluklar, parlak bir arka planda koyu bir detay olarak görünürler ve bunların sezimlenmesi silindir-şapka dönüşümüyle yapılabilir:

$$A_i = (I_i \cdot B) - I_i \quad (5)$$

Kapama işleminde iki kez genişleme işlemi uygulanarak resimdeki büyük boyutlu ayrılmalar daha doğruluklu algılanabilir [1-2].

B yapılandırma elamanının tipi ve boyutu resimdeki ayrılmalara göre ayarlanmaktadır. Duruma göre, 3×3 boyutlarında karesel veya dairesel tipli yapılandırma elemanı kullanılabilir.

Silindir-şapka dönüşümüyle elde edilen A_i algılama maskesindeki piksel değerleri, belirlenen bir eşikle karşılaştırılır. Eğer piksel değeri bu eşikten büyükse ilgili piksel bozulmuş olarak işaretlenir. Diğer durumda, yürürlükteki piksel değeri arka plan bilgisini içeriyor denilebilir. Böylece, eşikleme işlemiyle bozulmuş pikseller arka plandan ayrıştırılmış olur.

Eniyi imge eşikleme için, Otsu yöntemi kullanılabilir [7]. Gri ölçekli $I(x, y)$ imgesinin yeğinlik değerleri, $L = 256$ olmak üzere, 0 ile $L - 1$ arasında olsun. Olasılık dağılımı,

$$\rho_i = \frac{m_i}{m} \quad (6)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada m_i , i . düzeydeki piksellerin sayısını ve m ise, imgedeki toplam piksel sayısını göstermektedir.

Tek bir eşikleme için imge pikselleri iki sınıfa bölünür: $C_1 = \{0, 1, 2, e\}$ ve $C_2 = \{e + 1, e + 2, L - 1\}$, burada e eşik değeridir. C_1 ve C_2 sırasıyla imgedeki önplan ve arkaplan ile ilgili sınıflardır. Bu iki sınıfın olasılıkları ise,

$$\omega_1(e) = \sum_{i=0}^e \rho_i \quad (7)$$

$$\omega_2(e) = \sum_{i=e+1}^{L-1} \rho_i = 1 - \omega_1(e) \quad (8)$$

ile elde edilir ve ortalama gri düzey değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mu_1(e) = \sum_{i=0}^e i \rho_i / \omega_1(e) \quad (9)$$

$$\mu_2(e) = \sum_{i=e+1}^{L-1} i \rho_i / \omega_2(e) \quad (10)$$

Eniyi e^* eşığı, sınıf-içi değışintisi en büyüklenecek belirlenebilir:

$$e^* = \arg \max_{0 \leq e < L} \{\sigma_B^2(e)\} \quad (11)$$

Otsu yöntemi, eğer imge histogramı tek doruklu veya tek dorukluya yakınsa hatalı sonuç üretmektedir. Bozukluk içeren imgelerde gri-düzye dağılımları, tek dorukludan iki dorukluya değışebilmektedir. Bu yüzden $\sigma_B^2(e)$ sınıf-içi değışintisi [8]'de açıklanan yaklaşıma göre yapılmıştır:

$$\sigma_B^2(e) = (1 - m_e) (\omega_1(e)\mu_1(e)^2 + \omega_2(e)\mu_2(e)^2) \quad (12)$$

2.2. Ayrılma İçboyama

Resimdeki ayrılma içeren bölgelerin doldurulması için [6]'da geliştirilen içboyama yöntemi kullanılmıştır. [1-2]'de, gri düzeyli imgeler için geliştirilen bir yön bağımlı yöntem kullanılmıştır. Fakat imgedeki renk bilgileri dikkate alınmadığı zaman imgenin yapısı bazen tam anlamıyla elde edilemez. Sonuçta imge yapısı hedef bölgeye hatalı bir şekilde iletilebilir. Kısmi türevsel denklemlere bağılı I imgesini düzenleme, piksel yeğnlüklerinin yerel yapısına bağılı olarak belirlenen bir yön boyunca imgenin bölgesel bir şekilde düzleştirilmesi işlemidir. İmgenin düzenlenmesi işlemi eşit düzey çizgileri boyunca yapılması gerekmektedir. Bunun için ilk önce imgenin yerel geometrisinin elde edilmesi gerekir.

Her bir $\mathbf{p} = (x, y) \in \Omega$ imge noktası için gerekli olan önemli özelliklerin tanımlaması aşağıdaki durumları içermelidir:

- \mathbf{p} noktasındaki imge yeğnlüklerinin yerel minimum ve yerel maksimum değışimleri boyunca yönlendirilmiş R^2 'de tanımlı olan birbirine dik iki $\theta^+(\mathbf{p})$, $\theta^-(\mathbf{p}) \in S^1$. birim vektörleri. θ^- vektörü genelde imge kenarlarının yönündedir.
- $\theta^+(\mathbf{p})$ ve $\theta^-(\mathbf{p})$ vektörleri boyunca imge yeğnlüğindeki etkin değışimlerin ölçütünü veren sırasıyla ilgili pozitif değeri $\lambda^+(\mathbf{p})$, $\lambda^-(\mathbf{p})$. λ^+ , λ^- herhangi bir imge kenarının yerel şiddeti ile ilgilidir.

$I: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ gri düzeyli imge için, bu yerel $\{\lambda^{+/-}, \theta^{+/-} | \mathbf{p} \in \Omega\}$ geometrisi ∇I imge gradyan alan bilgisinin veya $\nabla I_\sigma = G_\sigma * \nabla I$ ifadesinin hesaplanmasıyla elde edilir. Burada $G_\sigma = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)$, değışintisi σ olan 2 boyutlu bir Gauss süzgecidir. Böylece imge düzenleme işlemi için yerel imge yapılarının hesaplanmasında daha fazla komşuluk bilgisi dikkate alınmakta ve daha doğruluklu yayılım geometrisi elde edilmektedir.

Gri düzeyli imge için $\mathbf{p} = (x, y)$ noktasındaki gradyan bilgisi,

$$\nabla I = (I_x, I_y)^T = \left(\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y}\right)^T \quad (13)$$

şeklinde ifade edilebilir ve bu vektör, ilgili noktadaki en büyük uzamsal değışimin yönünü verir. Burada $\partial I / \partial x$ ve $\partial I / \partial y$ sırasıyla x ve y yönündeki birinci türevlerdir. Gradyan normu ise, aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\|\nabla I\| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad (14)$$

Gri düzeyli imgelerde $\lambda^+ = \|\nabla I_\sigma\|^2$ imgedeki kenarların olası yerel şiddetinin ölçütüdür ve $\theta^- = \nabla I_\sigma^\perp / \|\nabla I_\sigma\|$ ise, imgedeki eşit düzey çizgilerinin, başka bir ifadeyle kenar bilgilerinin yönünü verir.

$\{\lambda^{+/-}, \theta^{+/-} | \mathbf{p} \in \Omega\}$, \mathbf{G} alanıyla: $\Omega \rightarrow P(2)$ 2x2 simetrik ve yarı-pozitif matrislerle, diğer bir ifadeyle tensörlerle daha genel olarak yazılabilir:

$$\forall \mathbf{p} \in \Omega, \quad \mathbf{G}(\mathbf{p}) = \lambda^- \theta^- \theta^{-T} + \lambda^+ \theta^+ \theta^{+T} \quad (15)$$

\mathbf{G} 'nin özdeğerleri λ^+ , λ^- ve ilgili özvektörleri ise, θ^+ , θ^- olur. Örneğin, I gri düzeyli imgenin yerel geometrisi $\mathbf{G}(\mathbf{p}) = \nabla I(\mathbf{p}) \nabla I(\mathbf{p})^T$ tensörüyle ifade edilebilir.

$\mathbf{I}: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ renkli imgeler için, bu yerel geometri benzer şekilde yapı tensörlerinin \mathbf{G} alanı ile hesaplanarak elde edilir. Çokdeğerli imgeler için gradyan aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\forall \mathbf{p} \in \Omega, \quad \mathbf{G}(\mathbf{p}) = \sum_{i=1}^n \nabla I_i \nabla I_i^T \quad \text{burada } \nabla I_i = \begin{pmatrix} \frac{\partial I_i}{\partial x} \\ \frac{\partial I_i}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (16)$$

İfadeyi $\mathbf{I} = (R, G, B)$ renkli imgesi için daha açık bir şekilde yazarsak,

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_x^2 + G_x^2 + B_x^2 & R_x R_y + G_x G_y + B_x B_y \\ R_y R_x + G_y G_x + B_y B_x & R_y^2 + G_y^2 + B_y^2 \end{pmatrix} \quad (17)$$

olur. Buradan,

$$\lambda^{+/-} = \frac{g_{11} + g_{22} \pm \sqrt{\Delta}}{2} \quad (18)$$

ve

$$\theta^{+/-} = \begin{pmatrix} 2g_{12} \\ g_{22} - g_{11} \pm \sqrt{\Delta} \end{pmatrix} \quad (19)$$

elde edilir. Burada $\Delta = (g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2$ olarak alınmıştır. İmge geometrisini daha doğruluklu olarak elde etmek için genelde $\mathbf{G} = \mathbf{G} * \mathbf{G}_\sigma$ kullanılır. $\mathbf{G}(\mathbf{p})$, \mathbf{p} noktasındaki \mathbf{I} 'nin yerel çokdeğerli geometrisinin iyi bir kestirimidir ve ifadenin spektral elemanları, hem vektör değerli değişimleri (karşıtlıkları) (\mathbf{G} 'nin λ^-, λ^+ özdeğerlerini) ve hem de yerel imge yapısının yönlerini (kenarlarını) (\mathbf{G}_σ 'nin $\theta^- \perp \theta^+$ özvektörlerini) verir.

\mathbf{I} 'nin \mathbf{G}_σ yerel geometrisi belirlendikten sonra, düzenleme işlemini sürmesi gereken yerel düzleştirme geometrisini belirleyen $\mathbf{T}: \Omega \rightarrow P(2)$ yayılım tensörlerinin özel alanı modellenir. \mathbf{T} tensörü, \mathbf{I} 'nin yerel geometrisine bağlıdır ve \mathbf{G}_σ 'nin λ^+, λ^- ve θ^+, θ^- spektral elemanlarından hesaplanır:

$$\forall \mathbf{p} \in \Omega, \quad \mathbf{T} = f^-(\lambda^+, \lambda^-) \theta^- \theta^{-T} + f^+(\lambda^+, \lambda^-) \theta^+ \theta^{+T}, \quad (20)$$

Burada $f^{-/+}: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, θ^+ , θ^- yönleri boyunca istenen düzenleme şiddetini ayarlayan iki fonksiyonu tanımlar. f^- , f^+ değişik amaçlar için farklı biçimlerde seçilebilir. İmgedeki gürültüyü azaltmak için olası seçim aşağıdaki gibi olabilir:

$$f^-(\lambda^+, \lambda^-) = \frac{1}{(1+\lambda^+ + \lambda^-)^{p1}} \quad \text{ve} \quad f^+(\lambda^+, \lambda^-) = \frac{1}{(1+\lambda^+ + \lambda^-)^{p2}} \quad (21)$$

Burada $p1 < p2$ olarak alınmalıdır.

Bu noktada istenen düzenleme davranışı aşağıdaki gibi olur:

- \mathbf{p} noktasındaki piksel imge sınırında ise (λ^+ büyük değerli), ilgili düzenleme $\theta^-(\mathbf{p})$ sınır yönü boyunca

yapılacaktır. $f^+(\lambda^+, \lambda^-) \ll f^-(\lambda^+, \lambda^-)$ olduğundan, düzenleme şiddeti sınır şiddeti ile ters orantılıdır.

- \mathbf{p} noktasındaki piksel homojen bölgede ise (λ^+ küçük değerli), ilgili düzenleme olası bütün yönlerde yapılacaktır (yön bağımsız düzenleme). Bu durumda $f^+(\lambda^+, \lambda^-) \cong f^-(\lambda^+, \lambda^-)$ ve $\mathbf{T} = \mathbb{I}_d$ (birim matris) olur.

Buna göre, çokdeğerli düzenleme işlemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial t} = \frac{\partial I_i}{\partial t} = \text{trace}(\mathbf{T}\mathbf{H}_i) \\ \mathbf{I}_{(t=0)} = \mathbf{I}_{\text{gürültülü}} \\ \mathbf{I}_{(t+1)} = \mathbf{I}_{(t)} + dt \frac{\partial \mathbf{I}_{(t)}}{\partial t} \end{cases} \quad (22)$$

Burada dt , adım katsayısı, $\text{trace}(\cdot)$, $\mathbf{T}\mathbf{H}_i$ matrisinin izi ve \mathbf{H}_i ise, I_i 'nin Hessian matrisidir:

$$\mathbf{H}_i = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 I_i}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 I_i}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 I_i}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 I_i}{\partial y^2} \end{pmatrix} \quad (23)$$

Denklemden $\frac{\partial^2 I_i}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 I_i}{\partial y \partial x}$ olarak alınabilir.

Aslında yön bağımlı yayılım ile klasik süzgeçleme teknikleri arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

$$\frac{\partial I_i}{\partial t} = \text{trace}(\mathbf{T}\mathbf{H}_i) \Leftrightarrow \partial I_{i(t)} = I_{i(t=0)} * G_t^T \quad (24)$$

Buradaki 2 boyutlu yönlü G_t^T Gauss maskesi,

$$G_t^T(\mathbf{p}) = \frac{1}{4\pi t} \exp\left(-\frac{\mathbf{p}^T \mathbf{T}^{-1} \mathbf{p}}{4t}\right) \quad (25)$$

şeklinde ifade edilir. Daha doğrusu iz-tabanlı düzleştirme yaklaşımı yönlü Gauss düzleştirme gibi davranış gösterir. Düzleştirmenin yönü ve şiddeti \mathbf{T} tensör yapısı ile sağlanır. Sonuç olarak imgedeki kenar bilgileri korunurken, kıvrımlı imge yapılarında, özellikle keskin köşelerde, istenmeyen yuvarlatma etkileri ortaya çıkar. Bu sorun süzgecinin imgedeki kıvrımları göz önüne almamasından dolayı oluşur. [6]'da geliştirilen yöntemde ise, tek değişkenli standat Gauss maskesi kullanılarak imge yerel bir süzgeçlemeden geçirilmiştir:

$$G_t(x) = \frac{1}{\sqrt{4\pi t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4t}\right) \quad (26)$$

Yöntemde düzleştirme yapısını süren \mathbf{T} tensör alanı, birkaç vektör alanlarının toplamına ayrıştırılmıştır ve daha sonra bu vektör alanlarının her biri ile imgenin çizgi tümlev evrişimi (ÇTE) gerçekleştirilmiştir. ÇTE, vektör alanıyla belirlenen akış çizgileri boyunca bir süzgeç fonksiyonuyla imgenin tek boyutlu evriştirilmesi olarak tanımlanır [9]. Yöntemde kullanılan vektör alanını elde etmek için düzleştirme geometrisi \mathbf{T} aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır [6]:

$$\mathbf{T} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha=0}^{\pi} (\sqrt{\mathbf{T}a_\alpha}) (\sqrt{\mathbf{T}a_\alpha})^T d\alpha \quad (27)$$

Burada $a_\alpha = (\cos \alpha \quad \sin \alpha)^T$ olarak alınmıştır. ÇTE aşağıdaki ifadeyle hesaplanır:

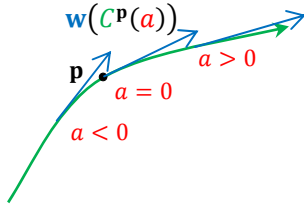
$$\mathbf{I}^{[t+dt]} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \mathbf{I}_{\text{ÇTE}(\sqrt{T}a_\alpha)}^{[t]} \quad (28)$$

Burada her bir Gauss değıştisi, dt standart sapmasına sahiptir. Bu yaklaşımla vektör alanının tümlev eğrilerini izleyerek ÇTE hesaplaması zor olduğundan, en yakın komşu aradeğerlemesine veya Runge-Kutta tümlev hesaplamasına bağılı basit yöntemler kullanılabilir. ÇTE için hızlı bir yöntem [10]'da açıklanmıştır. Fakat bu yaklaşımda bir süzgeç maskesi kullanılmamıştır. Gauss ağırlıklı fonksiyonla ÇTE aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\mathbf{I}_{\text{ÇTE}}^{[t]}(\mathbf{p}) = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{I}^{[t=0]}(C^{\mathbf{p}}(x))G_t(x)dx \quad (29)$$

Burada $C^{\mathbf{p}}(a)$, $a \in \mathbb{R}$ parametrelı ve \mathbf{p} noktasından başlayan \mathbf{w} 'nin tümlev eğrisini tanımlar (Şekil 1):

$$\begin{cases} C^{\mathbf{p}}(0) = \mathbf{p} \\ \frac{\partial C^{\mathbf{p}}(a)}{\partial a} = \mathbf{w}(C^{\mathbf{p}}(a)) \end{cases} \quad (30)$$



Şekil 1: Genel bir $\mathbf{w}: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^2$ vektör alanının $C^{\mathbf{p}}$ tümlev eğrisi.

Yöntemde tek bir döngü için gerçekleştirilen işlem adımları kısaca aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- 1) $\mathbf{I}^{[t]}$ imgesinin \mathbf{G}_σ düzlenmiş yapısal tensör alanını hesapla,
- 2) \mathbf{G}_σ 'nin özdeğerlerini ve özvektörlerini bul,
- 3) \mathbf{G}_σ 'dan \mathbf{T} geometrik tensör alanını hesapla,
- 4) $[0, \pi]$ aralığındaki bütün α değerleri için,
 - $\mathbf{w} = \sqrt{T}a_\alpha$ vektör alanını hesapla,
 - $C^{\mathbf{p}}$ eğrisi boyunca $\mathbf{I}^{[t]}$ 'nin ileri ve geri yönlerdeki ÇTE'sini hesapla,
- 5) 4. adımda hesaplanan ÇTE'lerinin hepsinin ortalamasını al.

3. Deneysel Çalışma

Önerilen yöntem, [2] ve [5]'de açıklanan onarma yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Test işlemi için kullanılan 250x357 boyutundaki resim Şekil 2.a)'da gösterilmiştir. Bozuklukların algılanması aşamasında, 5x5 karesel bir yapılandırma elemanı kullanılmış ve algılama eşik değeri otomatik olarak belirlenmiştir. Onarma işleminde [5]'deki yöntem için, $p1 = 0.5$, $p2 = 1.2$, $\sigma = 0.5$ ve $dt = 20$ ve önerilen yöntem için ise, $p1 = 0.15$, $p2 = 150000$, $\sigma = 2$ ve $dt = 20$ olarak ayarlanmıştır.

Şekil 2.b)'de resimdeki algılanan bozukluklar gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi, algılama eşik

değeri otomatik olarak belirlendiğinden, bazı bölgelerde hatalı bir şekilde bozukluk sezimlenmesi yapılmış ve bazı ayrılmalar ise algılanamamıştır.

Şekil 3.'de ise, [2]'deki yöntemle ve ayrıca Şekil 2.b)'de verilen algılama maskesiyle sezimlenen bölgelerin [5]'deki ve önerilen yöntemlerle elde edilmiş içboyama sonuçları gösterilmiştir. Dikkat edilirse, Şekil 3.a)'da büyük boyutlu ayrılmalar tam olarak onarılamamış, Şekil 3.b)'de imge yapısı doldurulan bazı hedef bölgelere kaynak bölgelerden hatalı bir şekilde ilerletilmiş; ama Şekil 3.c)'de görüldüğü gibi, önerilen yöntemle bozukluklar iyi bir şekilde doldurulmuştur. Başka bir ifadeyle, önerilen yöntemle bozukluk içeren bölgeler, imge yapısı da göz önüne alınarak komşu piksel değerleriyle etkili bir şekilde giderilmiştir.

Yöntemler, *Cimg Kütüphanesi* [11] kullanılarak Microsoft Visual C++ 2005 derleyicisinde ve Windows Vista işletim sistemi altında 2 GB RAM belleğe sahip 2.20 GHz işlemcili bir dizüstü bilgisayarda koşulmuştur.

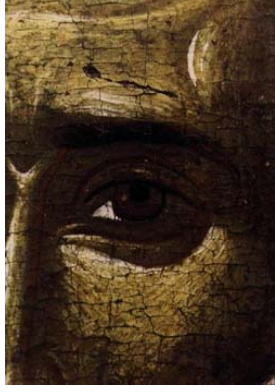
4. Sonuçlar

Bu çalışmada eski resimlerdeki ayrılmaların otomatik olarak algılanması ve doldurulması için bir yöntem önerilmiştir. Bazı resimlerde ince fırça darbeleri de ayrılma gibi benzer özelliklere sahip olduğundan yanlışla bozukluk olarak algılanmasına karşın, onarılmış resimde çokdeğerli imgeler için geliştirilen içboyama tekniğiyle kabul edilebilir sonuç elde edilmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] I. Giakoumis, I. Pitas, "Digital Restoration of Painting Cracks", *IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'98)*, California, USA, June 1998.
- [2] I. Giakoumis, N. Nikolaidis and I. Pitas, "Digital Image Processing Techniques for the Detection and Removal of Cracks in Digitized Paintings", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, issue 1, pp. 178-188, January, 2006.
- [3] B. Dizdaroğlu, A. Gangal, "A Spatiotemporal Algorithm for Detection and Restoration of Defects in Old Color Films", *Lecturer Notes in Computer Sciences*, vol. 4678, pp. 509-520, 2007.
- [4] M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles and C. Ballester, "Image Inpainting", *ACM SIGGRAPH*, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.417-424, 2000.
- [5] D. Tschumperlé and R. Deriche, "Vector-Valued Image Regularization with PDE's : A Common Framework for Different Applications", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, No.4, April 2005.
- [6] D. Tschumperlé, "Fast Anisotropic Smoothing of Multi-Valued Images using Curvature-Preserving PDE's", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 68, No 1, June 2006, pp. 65-82.
- [7] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histogram," *IEEE Transactions on System Man Cybernetics*, vol. SMC-9, no. 1, 1979, pp. 62-66.
- [8] N. Hui-Fuang, "Automatic thresholding for defect detection", *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 14, 15 October 2006, pp. 1644-1649.
- [9] B. Cabral and L.C. Leedom, "Imaging vector fields using line integral convolution", *SIGGRAPH'93*, in Computer Graphics Vol.27, pp.263-272, 1993.

- [10] D. Stalling and H.C. Hege, "Fast and Resolution Independent Line Integral Convolution", *ACM SIGGRAPH*, 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Technique, pp.249-256, 1995.
- [11] D. Tschumperlé, The Cimg Library: <http://cimg.sourceforge.net>, The C++ Template Image Processing Library.

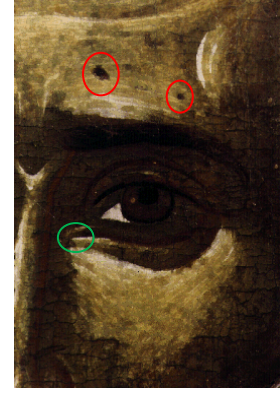


(a)

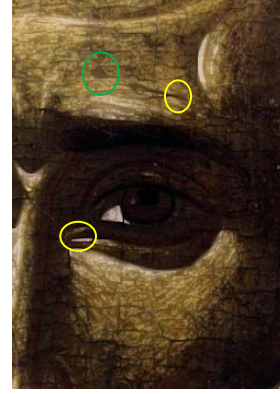


(b)

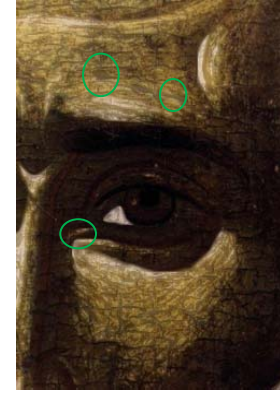
Şekil 2: a) Ayrılmalar içeren test resmi ve b) algılanan bozukluklar.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3: a) [2]'deki yöntemle, b) [5]'deki yaklaşımla ve c) önerilen içboyama yöntemiyle elde edilen onarılmış resimler (yeşil: iyi, sarı: orta ve kırmızı: başarısız doldurma sonucu).