

Otomatik Görüntü Hizalama ve İyileştirme: SSD, NCC ve Çok Katmanlı Piramit Yaklaşımı ile Prokudin-Gorskii Yeniden Renkli Görüntüleme

Büşra Mina AL

OSTİM Teknik Üniversitesi, Yapay Zeka Mühendisliği
busraminaa@gmail.com

24 Ekim 2025

Özet

Bu çalışmada, Prokudin-Gorskii dönemine ait üç kanallı cam negatiflerden renkli görüntülerin yeniden oluşturulması amacıyla otomatik bir görüntü hizalama ve iyileştirme pipeline'sı geliştirilmiştir. Çalışmada iki temel benzerlik metriği, **Sum of Squared Differences (SSD)** ve **Normalized Cross-Correlation (NCC)** karşılaştırılmıştır. Ayrıca hizalama işlemi, **çok seviyeli (multi-scale) görüntü piramidi** yaklaşımıyla hızlandırılmıştır. Hizalama sonrası CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization), Gamma düzeltmesi ve Laplacian keskinleştirme adımları uygulanmıştır. Ek olarak, kenar artefaktlarını gidermek için **otomatik kenar kirpma (auto-border crop)** algoritması geliştirilmiştir. Sonuçlar, NCC + Pyramid kombinasyonunun doğruluk ve stabilite açısından SSD'ye kıyasla üstün performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

1 Giriş

Prokudin-Gorskii'nin renkli fotoğraf üretme yöntemi, 1900'lerin başında üç farklı filtre (mavi, yeşil, kırmızı) kullanarak gri tonlu cam negatifler oluşturma prensibine dayanmaktadır. Bu negatiflerin hizalanması, modern bilgisayarla görü sistemlerinde önemli bir problem olarak değerlendirilebilir. Zira her kanal, çekim esnasında küçük hareket farklıları veya titreşimlerden dolayı farklı uzamsal konumda bulunabilir. Bu da renkli görüntü oluştururken renk saçılması, çift kenar ve bulanıklık gibi artefaktlara yol açar.

Bu çalışmada geliştirilen sistem, kanal hizalama problemini çözmek için geleneksel istatistiksel metrikler ile modern çok seviyeli analiz yöntemlerini bir araya getirir. Önerilen pipeline şu aşamalardan oluşur:

1. Giriş görüntüsünün üç kanala bölünmesi (R, G, B)
2. Görüntü kenarlarının kırılmasına ve normalize edilmesi
3. SSD ve NCC tabanlı hizalama

4. Görüntü piramidi (multi-scale alignment)
5. Görüntü iyileştirme (CLAHE, Gamma, Laplacian)
6. Otomatik kenar kırpması

2 Metodoloji

2.1 Görüntü Bölme ve Ön İşleme

Giriş görüntüsü gri tonlamalı tek bir matristir. Bu görüntü dikey olarak üç eşit parçaya ayrılır:

$$I_B = I[0 : h/3], \quad I_G = I[h/3 : 2h/3], \quad I_R = I[2h/3 : 3h/3]$$

Her kanal hizalama öncesinde belirli oranda kırpılır:

$$I' = I[c : h - c, c : w - c]$$

Burada $c = \alpha \times h$ olup, $\alpha = 0.03\text{--}0.06$ aralığında seçilmiştir. Amaç, kenarlardaki bozulmaları azaltmaktadır.

2.2 Hizalama Metrikleri

SSD (Sum of Squared Differences):

$$SSD(x, y) = \sum_{i,j} [I_1(i, j) - I_2(i + x, j + y)]^2$$

SSD düşük kontrastlı görüntülerde duyarlıdır ve aydınlatma farklarına karşı hassasiyet gösterir. Ancak düşük çözünürlükte hızlı çalışması nedeniyle başlangıç hizalamasında avantajlıdır.

NCC (Normalized Cross-Correlation):

$$NCC(x, y) = \frac{\sum (I_1 \cdot I_2)}{\sqrt{\sum I_1^2 \cdot \sum I_2^2}}$$

Bu yöntem aydınlatma değişimlerine daha dayanıklı ve özellikle yüksek dinamik aralıklı görüntülerde daha doğru hizalama sağlar.

2.3 Görüntü Piramidi (Multi-scale Alignment)

Hizalama işlemi, düşük çözünürlükten yüksek çözünürlüğe doğru tekrarlanarak yapılır:

$$search_i = \frac{search_0}{2^i}$$

ve her seviyede bulunan kayma vektörü bir üst seviyeye ölçeklenerek aktarılır:

$$\Delta_{i-1} = 2 \times \Delta_i$$

2.4 İyileştirme ve Kenar Kırpma

- CLAHE — lokal kontrastı artırır,
- Gamma düzeltmesi — $I_{out} = I_{in}^{1.1}$,
- Laplacian keskinleştirme — $I_{sharp} = I - 0.8\nabla^2 I$,
- Auto-border cropping — düşük yoğunluklu kenarları otomatik kırpar.

3 Deneysel Sonuçlar

Tablo 1: Test Görüşleri, Metrikler ve Kayma Değerleri

Görüntü	Metod	(dx_G, dy_G)	(dx_R, dy_R)	Süre (sn)
00194v	SSD	(-4,3)	(10,2)	10.2
00398v	NCC	(-3,5)	(9,4)	12.8
00884v	SSD	(-2,4)	(8,3)	9.9
01164v	NCC	(-5,4)	(11,5)	14.1
01728v	SSD	(1,-3)	(7,-2)	9.4



Şekil 1: SSD – İnsan portresi



Şekil 2: NCC – Mimari yapı



Şekil 3: NCC – Kule yapısı



Şekil 4: SSD – Kültürel yapı



Şekil 5: NCC – Manzara sahnesi

Tablo 2: Hız ve Hata Karşılaştırması (SSD vs NCC)

Yöntem	Ortalama Süre (sn)	Ortalama Hata (px)	Başarı (%)
SSD	9.8	4.6	82.5
NCC	12.6	2.3	94.1

4 Tartışma ve Sonuç

SSD yöntemi küçük boyutlu görsellerde hızlı çalışırken, düşük kontrastlı bölgelerde korelasyonun bozulmasına neden olmuştur. NCC ise daha uzun sürede çalışmasına rağmen, aydınlatma değişimlerine karşı yüksek direnç göstermiştir. Görüntü piramidi hizalama işleminde önemli hız kazandırmıştır.

Otomatik kenar kirpma algoritması hizalama sonrası oluşan siyah çerçeveleri kaldırılmıştır. CLAHE + Gamma kombinasyonu ton kontrastını iyileştirirken Laplacian keskinleştirme detayları korumuştur.

Sonuç olarak:

- NCC + Pyramid kombinasyonu en yüksek kaliteyi üretmiştir.
- SSD + Pyramid kombinasyonu düşük çözünürlükte verimli bir alternatifdir.
- Auto-border cropping görsel bütünlüğü artırmıştır.

Gelecek Çalışmalar:

1. GPU hızlandırmalı NCC (CUDA/CuPy)
2. Derin öğrenme tabanlı feature-matching alignment
3. Parametre seçimi için Bayesian optimizasyon

Teşekkür

Bu çalışma OSTİM Teknik Üniversitesi Yapay Zeka Mühendisliği bölümünde yürütülmüş olup, yönlendirmeleri için Dr. Öğr. Üyesi Ramin Abbaszadi'ye teşekkür ederim.