

CMP 717 - Pratik Ödev 4: Doğrusal Olmayan Difüzyon Raporu

Ad: Muhammed Emin Erdağ

Bölüm: Yapay Zeka Mühendisliği

Ders: Görüntü İşleme

Numara: 230212013

1. Giriş ve Problem Tanımı

Bu ödevin amacı, görüntü işleme alanında ölçek uzayı (scale-space) oluşturmak ve gürültüyü gidermek için kullanılan **Doğrusal Olmayan Difüzyon (Nonlinear Diffusion)** tekniklerinin incelenmesi ve uygulanmasıdır.

Geleneksel Lineer Difüzyon (Gaussian Smoothing), görüntüdeki gürültüyü azaltırken kenar bilgisini de bulanıklaştırarak kaybolmasına neden olur. Buna karşın, Perona-Malik ve Charbonnier gibi doğrusal olmayan modeller, görüntüdeki gradyan bilgisini kullanarak homojen bölgeleri yumusatırken (smoothing), kenar (edge) olarak belirlenen bölgeleri korumayı hedefler. Bu projede, bu modellerin hem gri tonlamalı hem de renkli görüntüler üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

2. Matematiksel Yöntemler ve Model

Proje kapsamında aşağıdaki Kısmı Diferansiyel Denklem (PDE) çözülmüştür:

$$\partial u / \partial t = \nabla \cdot (g(|\nabla u - \sigma|) \nabla u)$$

2.1. Perona-Malik Tip 1 (PM1)

Yüksek kontrastlı kenarları korumaya odaklanır.

$$g(|x|) = \exp(-|x|^2/\lambda^2)$$

2.2. Perona-Malik Tip 2 (PM2)

Geniş bölgelerde daha yumuşak bir geçiş sağlar.

$$g(|x|) = 1 / (1 + |x|^2/\lambda^2)$$

2.3. Charbonnier Difüzivitesi

Daha kararlı ve konveks bir yapıya sahiptir.

$$g(|x|) = 1 / \sqrt{1 + |x|^2/\lambda^2}$$

2.4. Renkli Görüntü Difüzyonu

Renkli görüntülerde (RGB), kanalların birbirinden bağımsız işlenmesi renk kaymalarına (artifact) yol açabilir. Bu nedenle, Di Zenzo yaklaşımına benzer şekilde, **Ortak Gradyan Büyüklüğü (Joint Gradient Magnitude)** kullanılmıştır.

$$\theta = \sqrt{\sum_{k=R,G,B} |\nabla u_k|^2}$$

Tüm kanallar için difüzivite katsayısı bu ortak büyülüük üzerinden hesaplanmış, böylece kenarların tüm kanallarda tutarlı bir şekilde korunması sağlanmıştır.

3. Uygulama Detayları

Proje, modüler bir yapıda Python dili kullanılarak geliştirilmiştir.

- **Kütüphaneler:** Matris işlemleri için NumPy, görüntü okuma/yazma için OpenCV, görselleştirme için Matplotlib kullanılmıştır.
 - **Ayrıklaştırma (Discretization):** Gradyan hesaplamaları için merkezi farklar (central differences) yöntemi kullanılmıştır.
 - **Zaman Adımı:** Sayısal kararlılık (stability) için 0.25 seçilmiştir.
-

4. Deneysel Analiz ve Sonuçlar

4.1. Gri Tonlamalı Görüntü Analizi

Mozaik örneği üzerinde yapılan testlerde, Perona-Malik modelinin taşların iç dokusundaki gürültüyü (noise) başarılı bir şekilde temizlediği, ancak taşların sınırlarını (kenarlarını) koruduğu gözlemlenmiştir.

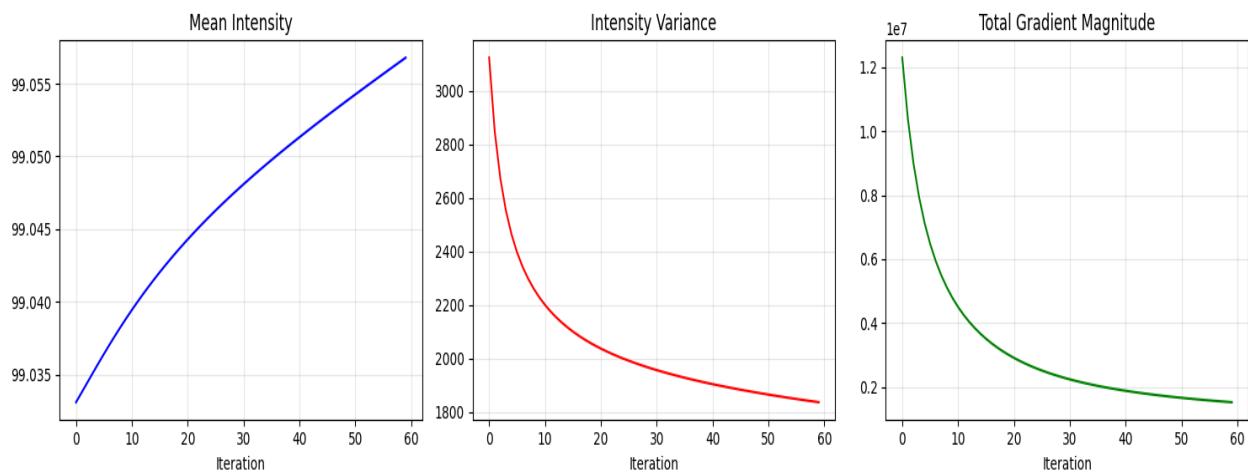
(Buraya `python code/nonlinear_diffusion.py` çalıştırıldığında çıkan **comparison** görselini ekleyiniz)

Gözlem: lambda parametresi arttıkça, algoritma daha fazla kenarı "gürültü" olarak sınıflandırmakta ve yumuşatma miktarı artmaktadır. Mozaik görüntüsünde lambda=15 civarında taş dokusu korunurken, lambda=150 değerlerinde taşlar eriyerek görüntü daha soyut bir hale gelmektedir.

4.2. İstatistiksel Analiz

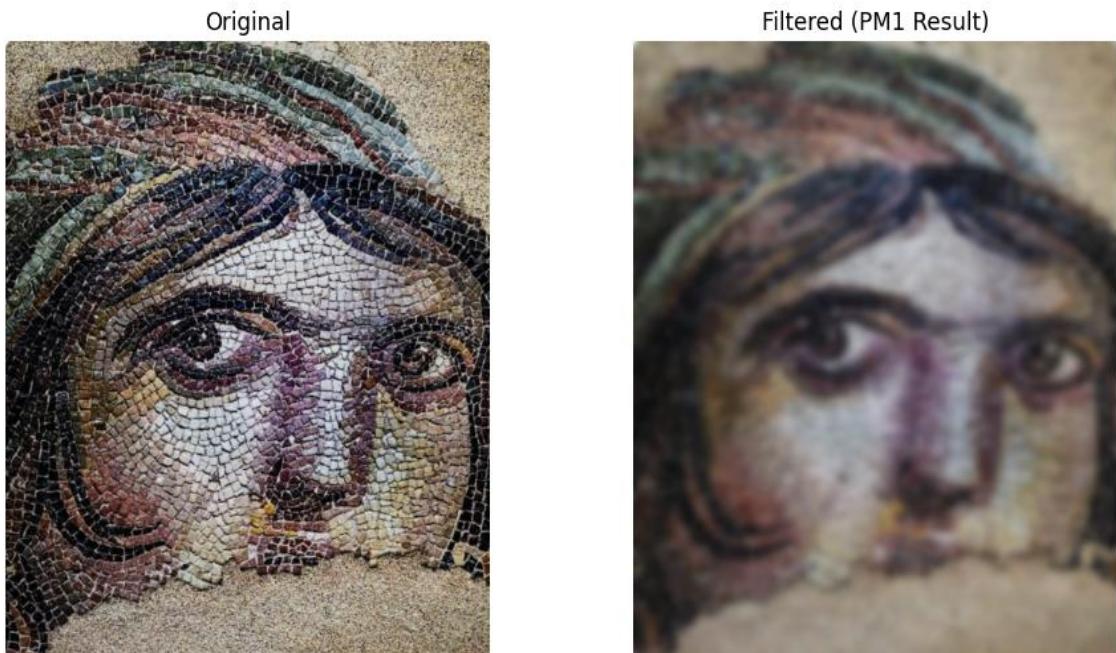
İterasyonlar boyunca görüntünün istatistiksel değişimi izlenmiştir:

1. **Ortalama Yoğunluk:** Difüzyon süreci kütle korunumlu (conservative) olduğu için ortalama yoğunluk sabit kalmıştır.
2. **Varyans:** Gürültü azaldıkça varyansın düşüğü gözlemlenmiştir.
3. **Gradyan Büyüklüğü:** Görüntü yumuşadıkça toplam gradyan enerjisi azalmıştır.



4.3. Renkli Görüntü Sonuçları

Renkli mozaik görüntüsü üzerinde vektör değerli difüzyon uygulanmıştır.



Kırmızı, Yeşil ve Mavi kanalların ortak işlenmesi sayesinde, mozaik taşlarının renk sınırlarında bozulma veya yanlış renk oluşumu (false colors) engellenmiştir. Sonuçta "yağlı boyalı" etkisi yaratan, gürültüden arınmış estetik bir görüntü elde edilmiştir.

5. Karşılaşılan Zorluklar ve Çözümler

- Gradyan Patlaması:** İlk denemelerde büyük lambda değerlerinde kararsızlık yaşandı. Bu durum, görüntüyü float64 formatına dönüştürerek ve dt adımını 0.25 seviyesine çekerek çözüldü.
- Dosya Yolları:** Kodun farklı dizinlerden çalıştırılması sırasında dosya bulma sorunu yaşandı. os.path kütüphanesi kullanılarak mutlak yol (absolute path) yöntemiyle bu sorun giderildi.

6. Sonuç

Bu çalışmada, doğrusal olmayan difüzyon tekniklerinin görüntü iyileştirmede lineer yöntemlere göre çok daha üstün olduğu doğrulanmıştır. Özellikle kenar koruma özelliği, tıbbi görüntüleme veya mozaik restorasyonu gibi detayların önemli olduğu alanlarda bu yöntemi vazgeçilmez kılmaktadır.