

Multiresolutie ruisonderdrukking van gekleurde ruis in televisiebeelden

1. Inleiding

In dit project zullen we het probleem van gekleurde ruis bestuderen, zoals dat bijvoorbeeld optreedt in televisiebeelden. We zullen dan kijken wat het effect is van multiresolutie ruisonderdrukking op dit soort ruis. Een televisiebeeld is een elektrisch signaal en is dus ook onderhevig aan de klassieke elektronische ruisbronnen. In vele toepassingen volstaat het om elektronische ruis als wit Gaussiaans te veronderstellen. Wit heeft hier de betekenis van statistisch onafhankelijk, geen twee ruissamples beïnvloeden elkaar. Dit heeft een vlak vermogensspectrum tot gevolg, zoals het elektromagnetisch spectrum van wit licht, vandaar de naam witte ruis. Gekleurde ruis contrasteert hiermee omdat het net geen vlak vermogensspectrum heeft. Bijgevolg bestaat er wel een afhankelijkheid tussen twee ruissamples, vandaar dat ook soms de term gecorreleerde ruis gebruikt wordt.



Fig. 1. Een televisiebeeld met gekleurde ruis.

Materiaal dat ter beschikking staat:

Artikels:

- [1] S. G. Chang, B. Yu, and M. Vetterli, "Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no. 9, pp. 1532-1546, Sep. 2000.

Software:

- "Code.zip" – bevat code om de redundante wavelet transformatie uit te voeren en om gecorreleerde ruis toe te voegen aan een beeld
"einstein.tif" – grijswaardenbeeld van een eerbiedwaardige grijsaard
"judy.png" – frame uit een kleurentelevisie sequentie

2. Analyse van het probleem

2.1. Ontstaan van gekleurde ruis

Een matlab programma om gekleurde ruis te genereren is ter beschikking gesteld (add_corr.m). Dit programma is in staat 8 types gekleurde ruis te genereren. Het programma filtert witte ruis met een lineair filter. Dit is een goed model voor veel praktische toepassingen, want vaak is het zo dat een beeld verstoord wordt (al dan niet gewild) door processen die gemodelleerd kunnen worden als lineaire filters.

- Gebruik dit programma om beelden van gekleurde ruis te genereren. Gebruik $\sigma=20$ en $\text{bandwidth}=0.75$. Bekijk de ruis. Bekijk ook het vermogensspectrum. Welk soort filters

is in elk van de gevallen gebruikt (hoogdoorlaat, laagdoorlaat,...)? Zijn deze filters scheidbaar? Wat is de variantie van de gekleurde ruis in elk van de gevallen? Hoe kan je uit het vermogensspectrum de ruisvariantie bepalen?

2.2 Het vermogensspectrum van een beeld

- Bekijk het vermogensspectrum van een willekeurig ruisvrij beeld (bvb. "einstein.tif"). Wat zijn de kenmerken van een typisch beeldspectrum? Beschrijf de vermogenskarakteristiek. Is dit zo bij elk natuurlijk beeld? Welke implicaties zou dit hebben naar ruisonderdrukking? Bespreek.

Er is een frame uit een televisiesequentie ter beschikking gesteld ("judy.png"). De ruis is hier duidelijk gekleurd. Om dit probleem aan te pakken, hebben we een schatting nodig van de correlatie tussen ruispixels. De autocorrelatie is als volgt gedefinieerd:

$$R(k) = \frac{E[(X_i - \mu)(X_{i+k} - \mu)]}{\sigma^2}$$

Waarbij X_i de i -de sample is van een signaal X , μ het gemiddelde en σ^2 de variantie. Een eerste manier om de correlatie te bepalen is door het rechtstreeks schatten van de autocorrelatiefunctie uit een vlak gebied in de afbeelding, waarbij natuurlijk rekening wordt gehouden dat de translatie k , en dus de autocorrelatiefunctie bij een afbeelding tweedimensionaal is.

- Bereken nu op deze manier de autocorrelatie functie voor het de ruis van een kleurkanaal van het judy beeld.

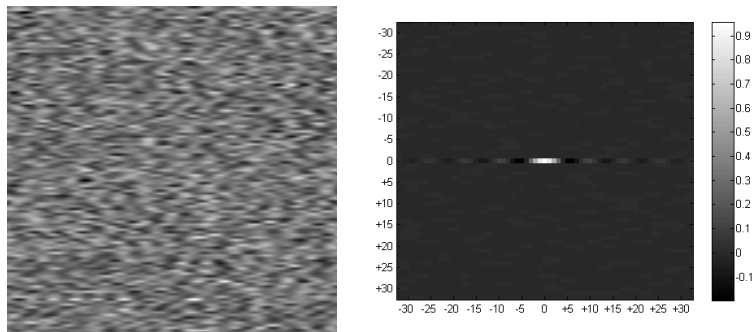


Fig. 2. Gekleurde "streepjes" ruis (links) en zijn autocorrelatiefunctie (rechts) bemerk de sterke correlatie in de horizontale richting

Een andere manier om de correlatie te bepalen is met behulp van het vermogensspectrum van de ruis. Een eenvoudige manier om het spectrum van de ruis te bepalen uit een ruzig beeld is weer met behulp van een vlak gebied. Het vermogensspectrum van dit gebied zal dan overeenkomen met het vermogensspectrum van de ruis. Waarom?

- Bereken nu op deze manier het vermogensspectrum van de ruis van hetzelfde kleurkanaal van het judy beeld.
- Het Wiener–Khinchin theorema zegt dat het vermogensspectrum de Fourier getransformeerde is van de autocorrelatiefunctie. Via beide technieken kan men dus het vermogensspectrum of de autocorrelatiefunctie bepalen. Wat zijn dan de voor- en nadelen van beide methoden om tot de autocorrelatie functie te komen?
- Wanneer we veronderstellen dat de opnameruis wit Gaussiaans was, welke mechanismen in de transmissie kunnen dan zorgen voor de aangetroffen gekleurde ruis bij PAL-televisie? Ga op zoek naar mogelijke verklaringen.

3. Ruisonderdrukking

We zullen nu het probleem van gecorreleerde ruis proberen op te lossen. Maak acht ruizige versies van het Einstein beeld door telkens een ander soort gekleurde ruis toe te voegen met behulp van "add_corr.m". Gebruik telkens $\sigma=20$ en $\text{bandwidth}=0.75$.

Gebruik in de volgende puntjes de verkregen beelden en het beeld uit de televisiesequentie ("judy.png").

3.1 Fourier domein ruisonderdrukking

De discrete Fourier transformatie (DFT) projecteert een signaal op een basis van complexe exponentiëlen. Deze complexe exponentiëlen zijn onderling orthogonaal en zijn enkel gekenmerkt door hun frequentie. Dit betekent dat ze niet plaatsgebonden zijn. In beeldverwerking gebruiken we de tweedimensionale DFT, wat betekent dat een beeld wordt geprojecteerd op een basis van tweedimensionale complexe exponentiëlen, gekenmerkt door twee frequenties, een horizontale en een verticale frequentie.

Zoals we hebben gezien is gekleurde ruis sterker in sommige frequentiebanden dan in andere. Wanneer we het spectrum van de ruis kunnen schatten, bvb. zoals in het vorig puntje, hebben we een idee over het ruisvermogen in elk punt van het spectrum. Uit de Fourier transformatie van het ruisbeeld kunnen we dan weer het (signaal + ruis) vermogen in elk punt van het spectrum schatten.

- Bedenk een techniek die gebruik maakt van deze informatie om ruis te onderdrukken in het Fourier domein. Implementeer deze techniek, pas ze toe op de beelden, bereken de de Peak signal to noise ratio (PSNR) en bespreek.

De PSNR wordt uitgedrukt in decibel is een vaak gebruikte kwaliteitsmaat voor afbeeldingen. Ze is gedefinieerd als:

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\text{RMSE}} \right)$$

met RMSE de vierkantswortel van de gemiddelde kwadratische fout tussen het oorspronkelijke, ruisvrije beeld en het beeld na ruisonderdrukking.

- Bemerkt dat het televisiebeeld een kleurenbeeld is. Bedenk een manier om op dezelfde manier ruisonderdrukking te doen op een kleurenbeeld. Daarvoor kan het interessant zijn om te kijken of de ruis ook gecorreleerd is over de kleurkanalen heen. Bedenk een goede kleurentransformatie om de kleurkanalen te decorreleren. Implementeer nu dit ruisonderdrukking algoritme voor kleurenbeelden. Wat is het effect van de kleurentransformatie op het resultaat?

3.2 Wavelet domein ruisonderdrukking

De wavelet transformatie laat toe om structuren in een beeld te lokaliseren zowel in de tijd (plaats) als in frequentie, dit is dus een fundamenteel verschil met de DFT. Als gevolg is de frequentieselectiviteit echter niet zo nauwkeurig als bij de DFT. Deze eigenschap levert echter voordelen op bij natuurlijke beelden. Waarom?

In wat volgt gebruiken we de redundante (niet gedecimeerde) wavelet transformatie. De functies voor de waveletdecompositie en reconstructie (respectievelijk `mrdwt` en `mirdwt`) zijn meegeleverd als gecompileerde matlabroutines.

- We hebben gezien dat het vermogensspectrum van witte ruis ideaal vlak is en dat de ruis samples statistisch onafhankelijk zijn. We weten dat een wavelet decompositie kan gezien worden als een herhaalde toepassing van lineaire filters (de decompositiefilters). Bereken voor het geval van de 'db4' wavelet de variantie van de ruis op de

waveletcoëfficiënten in de verschillende subbanden. De filtercoëfficiënten kan je bekomen met het matlab commando *wfilters*.

- Indien het vermogensspectrum van de ruis niet ideaal vlak is, zoals in het geval van gekleurde ruis, zijn de pixelwaarden onderling niet meer statistisch onafhankelijk (i.e. gecorreleerd). Bereken voor het geval van de 'db4' wavelet de variantie van de waveletcoëfficiënten in de verschillende subbanden. We zullen een wavelet thresholding ruisonderdrukingsalgoritme implementeren [1]. Bij wavelet thresholding worden de wavelet coëfficiënten individueel vergeleken met een bepaalde threshold en op nul gezet wanneer ze onder de threshold vallen.
- Bekijk de wavelet subbanden van de verschillende ruizige versies van het einstein beeld en vergelijk met die van het einstein beeld witte ruis. Wat valt je op? Waarom is thresholding een goede methode?
- Bedenk een goede manier om de threshold te kiezen in elke subband. Verschilt dit van de manier die je zou gebruiken voor witte ruis? Motiveer.
- Implementeer nu deze wavelet thresholding methode en pas het algoritme toe op de beelden. Bepaal de PSNR, vergelijk met de resultaten uit vraag 3.1 en bespreek.
- Pas nu ook dit algoritme aan om het werken met kleurenbeelden mogelijk te maken. Pas het algoritme toe op het judy beeld. Vergelijk met het resultaat uit vraag 3.1 en bespreek.