

### Problematika dosahu OE přístrojů v reálných atmosférických podmínkách

Optické vlastnosti atmosféry

Vliv atmosféry na optický signál

#### Rekonstrukce optického signálu degradovaného průchodem atmosférou

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



# Osnova přednášky

- 1. Optické vlastnosti atmosféry Země
- 2. Vliv atmosféry na optický signál
- 3. Rekonstrukce optického signálu
  - Spektrální filtrace
  - Prostorová filtrace
  - Adaptivní optika
  - Softwarová restaurace obrazu
  - Projekt KYKLOP







# OPTICKÉ VLASTNOSTI ATMOSFÉRY ZEMĚ

22.10.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



3



Charakteristika atmosféry



Obrázek: Demonstrace vlivu atmosféry











22.10.2010





22.10.2010



#### Útlum optického záření



22.10.2010





### Útlum optického záření

$$O(\lambda) = \beta(\lambda) + \alpha(\lambda)$$
$$\alpha(\lambda) = f(RH, T, p, ...)$$
$$\beta(\lambda) = \frac{3.91}{S_m} \left(\frac{0.55}{\lambda}\right)^{0.585S_m^{1/3}}$$

kde $\alpha(\lambda)$ koeficient absorpce [km<sup>-1</sup>],<br/> $\beta(\lambda)$  $\beta(\lambda)$ koeficient rozptylu [km<sup>-1</sup>],<br/>meteorologická dohlednost [km].









### Ukázka vlivu útlum optického záření



a) pro Sm = 15 km b) pro Sm = 5 km c) pro Sm = 0.5 km Obrázek: Vliv atmosféry na kvalitu optického signál

Typické hodnoty meteorologické dohlednosti pro region JM: LÉTO: do 10-15 km, ZIMA: kolem 3 km

22.10.2010





Útlum optického záření – přenosová funkce

$$\exp\left\{-\left[\alpha(\lambda)\cdot s + \beta(\lambda)\cdot s \cdot \left(\frac{f_r}{f_c}\right)^2\right]\right\}, \operatorname{pro} f_r < f_c,$$

 $M_a(f_r, r, \lambda) =$ 



lze ji stanovit z meteor. údajů (T, p, RH, ...)



22.10.2010



### Útlum optického záření – přenosová funkce



Obrázek: Typická modulační přenosová funkce útlumu atmosféry

22.10.2010





#### Turbulence atmosféry



Obrázek: Vliv turbulence na obraz









Obrázek: Typické spektrum turbulence

22.10.2010





Turbulence - strukturní parametr indexu lomu Cn2

$$C_n^2 = \frac{0.95 \left(\frac{y_{0.5}}{f}\right)^{5/3}}{2.91 k^{1/3} l}$$

- kde: / vzdálenost pozorovaného objektu [km],
  - f ohnisková vzdálenost objektivu pozorovacího přístroje [mm],
  - k vlnové číslo [m<sup>-1</sup>],
  - y<sub>0.5</sub> rozměr plochy, v níž je intenzita ozáření obrazové roviny objektivu bodovým zdrojem rovna polovině její maximální hodnoty [mm].





Turbulence atmosféry

a)pro dlouhé expozice:  $MTF_{turbul} = \exp(-57.3 \cdot f_r^{5/3} \cdot C_n^2 \cdot \lambda^{-1/3} \cdot s)$ 

b) pro krátké expozice:

$$MTF_{turbul} = \exp\left\{-57.3 \cdot f_r^{5/3} \cdot C_n^2 \cdot \lambda^{-1/3} \cdot s \cdot \left[1 - x \cdot \left(\frac{\lambda \cdot f_r}{D}\right)^{1/3}\right]\right\}$$

lze ji stanovit z meteor. údajů (T, p, RH, SF, v...)





#### Turbulence atmosféry – přenosová charakteristika



Obrázek: Srovnání typické MTF útlumu a turbulence - noc

22.10.2010





#### Turbulence atmosféry – přenosová charakteristika



Obrázek: Srovnání typické MTF útlumu a turbulence - poledne

22.10.2010





# VLIV ATMOSFÉRY NA OPTICKÝ SIGNÁL

22.10.2010





#### Absorpce, Rozptyl

- Pokles intenzity zobrazení
- Pokles kontrastu zobrazení

Turbulence

• Geometrické deformace obrazu

22.10.2010





### Statické vlivy ovlivňující zobrazení

- Absorpce optického záření
- Rozptyl optického záření





Obrázek: Vliv útlumu na optický signál (vpravo)

22.10.2010





#### Statické vlivy ovlivňující zobrazení

- Absorpce optického záření
- Rozptyl optického záření
- Refrakce, ...

Projevy:

- pokles intenzity optického záření
- pokles kontrastu obrazu



• odklon optického paprsku od původního směru













22.10.2010





#### Dynamické vlivy ovlivňující zobrazení

• Turbulence atmosféry



Obrázek: Vliv turbulence na optický signál (vpravo)

22.10.2010





### Dynamické vlivy ovlivňující zobrazení

• Turbulence atmosféry

Projevy:

- geometrické deformace obrazu
- změna dopadového úhlu paprsku
- pokles kontrastu obrazu při
  - dlouhých expozicích
- fluktuace energie paprsku ve směru šíření





22.10.2010



Dynamické vlivy ovlivňující zobrazení – kvantifikace turbulence



Obrázek: Schéma pasivního scintilometru

22.10.2010





#### Dynamické vlivy ovlivňující zobrazení



#### Obrázek: Vizualizovaná turbulence

22.10.2010





### Dynamické vlivy ovlivňující zobrazení



Obrázek: Drift fragmentu obrazu – záměrného bodu

 $\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ \dots \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} \Delta[x_1, y_1] \\ \Delta[x_2, y_2] \\ \Delta[x_3, y_3] \\ \Delta[x_4, y_4] \\ \dots \end{pmatrix}$ 

22.10.2010





Dynamické vlivy ovlivňující zobrazení – drift záměrného bodu



22.10.2010





#### Kompenzace vlivu turbulence



#### 22.10.2010





### Použitá literatura

- [1] Řehoř Z.: Charakteristiky atmosféry, které mohou ovlivnit přesnost měření pasivních systémů lokalizace objektu; *Výzkumná zpráva projektu CILEPAS*, 120 stran, Brno, 2002.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2002.
- [3] Sandot, D.- Dvir, A.- Bergel, I.- Kopeika, N.S.: Restoration of thermal images distorted by the atmosphere, based on measured and theoretical atmospheric modulation transfer fuction; *Optical Engineering, 33*, č.1, str. 44-53, 1994.
- [4] M. J. Black and P. Anandan, "The robust estimation of multiple motions: Parametric and piecewise smooth flow fileds," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 63, no. 1, pp. 75–104, January 1996.
- [5] DOSKOČIL, Radek, BALAŽ, Teodor, MACKO, Martin, et al. Real-Time Software Restoration of Optic Image Degraded by the Atmosphere. *Mathematics and Computers in Science and Engineering*, World Scientific and Engineering Academy and Society, WSEAS Press, Athens, s.79-84. ISBN 978-960-474-027-7, Greece, 2008.

22.10.2010





# **REKONSTRUKCE OPTICKÉHO SIGNÁLU**

22.10.2010





## Osnova přednášky

- Rekonstrukce optického signálu
  - Spektrální filtrace
  - Prostorová filtrace
  - Adaptivní optika
  - Softwarová restaurace obrazu
  - Projekt KYKLOP





## Rekonstrukce optického signálu

#### Spektrální filtrace



Obrázek: Závislost středního koef. útlumu na vlnové délce

22.10.2010





## Rekonstrukce optického signálu

#### Spektrální filtrace



Obrázek: Spektrální propustnost filtru pro zvýšení kvality obrazu

22.10.2010





# Rekonstrukce optického signálu

#### Spektrální filtrace

- VÝHODY
  - jednoduchá aplikace
  - účinnost metody je úměrná na charakteristice filtru
  - zpracování signálu bez časového zpoždění
- NEVÝHODY
  - mění spektrální vlastnosti přijímaného signálu
  - neúčinná pro potlačení turbulence




#### Spektrální filtrace



Obrázek: Ukázka účinnosti restaurace obrazu s využitím spektrální filtrace







#### Spektrální filtrace



Obrázek: Ukázka účinnosti restaurace obrazu s využitím spektrální filtrace Dálka pozorování: 50km

22.10.2010





#### Adaptivní optika



Obrázek: Princip adaptivní optiky

22.10.2010





#### Adaptivní optika



Obrázek: Princip adaptivní optiky







#### Adaptivní optika



Obrázek: Princip adaptivní optiky







#### Adaptivní optika

- VÝHODY
  - velmi účinná metoda potlačení dynamických vlivů atmosféry
  - minimální časové zpoždění
  - neovlivňuje spektrální charakteristiky signálu
- NEVÝHODY
  - neúčinná na statické vlivy atmosféry
  - potřebuje referenční bod (umělou hvězdu)
  - účinné zpracování jen malých zorných polí
  - náročná na přístrojové vybavení

22.10.2010







#### Adaptivní optika



Obrázek: Ukázka účinnosti využití adaptovní optiky (vlevo)

22.10.2010





#### Prostorová filtrace



Obrázek: Princip prostorové filtrace

#### 22.10.2010





Prostorová filtrace

$$F(f_r) = Norm\left(\frac{1}{MTF}\right) \cdot g$$



Obrázek: Princip prostorové filtrace

#### 22.10.2010





#### Prostorová filtrace



- 1.Vstupní a výstupní optická soustava
- 2. Prostorově-frekvenční modulátor
- 3.Spektrální filtr

#### 22.10.2010





#### Prostorová filtrace

- VÝHODY
  - jednoduchá aplikace
  - zpracování signálu bez časového zpoždění
  - omezeně umožňuje potlačit vliv turbulence (nízkých frekvencí)
- NEVÝHODY
  - relativně složitý prostorový filtr (modulátor)

22.10.2010





#### Prostorová filtrace



Obrázek: Ukázka účinnosti restaurace obrazu s využitím prostorové filtrace

22.10.2010





Softwarová rekonstrukce obrazu – lineární zpracování



Obrázek: Základní algoritmus softwarové rekonstrukce obrazu

22.10.2010





#### Softwarová rekonstrukce obrazu – lineární zpracování



Obrázek: Amplitudová frekvenční odezva filtru

22.10.2010





Softwarová rekonstrukce obrazu – lineární zpracování



Obrázek: Příklad možného algoritmu restaurace obrazu

22.10.2010







**Obrázek: Výřez snímku – jasný bod** (série snímků ve falešných barvách) a) X odezev z vybraných nejlepších snímků, b) modře – ideální odezva bodu, červeně – výsledná odezva vzniklá zprůměrováním dílčích odezev dle a)

22.10.2010





#### Softwarová rekonstrukce obrazu – skládání snímků



**Obrázek: Výřez snímku – jasný bod** (série snímků ve falešných barvách) a) nejlepší jednotlivý snímek, b) jednotlivý snímek deformovaný turbulencí , c) průměrný snímek z 10 po sobě jdoucích

22.10.2010





Softwarová rekonstrukce obrazu – adaptivní zpracování



Obrázek: Příklad možného algoritmu softwarové rekonstrukce obrazu

22.10.2010





#### Adaptivní zpracování – vybrané druhy interakčních algoritmů

Jansson-Van Cittert	$f_{n+1} = f_n + \mu [q - H * f_n]$
Gold-Meinel	$f_{n+1} = C(f_n) + \mu [q - H * C(f_n)]$
Landweber	$f_{n+1} = f_n + \alpha H^T * \left[ q - H * f_n \right]$
<b>Richardson-Lucy</b>	$f_{n+1} = f_n \left( \frac{q * H}{(H * f_n) * H} \right)$
Maximum následnosti	$f_{n+1} = f_n \exp\left[\left(\frac{q}{H * f_n} - 1\right) * H\right]$
S.M.A.R.T	$f_{n+1} = f_n \exp\left[H * \ln\left(\frac{q}{H * f_n}\right)\right]$



22.10.2010



Adaptivní zpracování – vybrané druhv interakčních algoritmů



Obrázek: Rychlost iterakce vybraných algoritmů na nezašumělém obraze

22.10.2010





Adaptivní zpracování – vybrané druhy interakčních algoritmů



Obrázek: Rychlost iterakce vybraných algoritmů na nezašumělém obraze

22.10.2010





22.10.2010

# Rekonstrukce optického signálu

#### Softwarová rekonstrukce obrazu

- VÝHODY
  - Ize ji snadno adaptovat na konkrétní podmínky
  - Ize ji kombinovat s dříve uvedenými metodami
  - umožňuje komplexní potlačení vlivu atmosférického kanálu (statických i dynamických vlivů)
- NEVÝHODY
  - časové zpoždění závislé na velikosti a frekvenci obrazu
  - náročná na hardwarové vybavení





#### Softwarová rekonstrukce obrazu



Obrázek: Ukázka účinnosti restaurace softwarové rekonstrukce obrazu

22.10.2010





#### Softwarová rekonstrukce obrazu - turbulence



Obrázek: Ukázka účinnosti restaurace softwarového potlačení turbulenceu

22.10.2010





Projekt KYKLOP

22.10.2010





Projekt KYKLOP



Obrázek: Mapa měřících stanic

22.10.2010





#### Projekt KYKLOP – základní údaje

Počet zapojených pozorovatelů:	56
--------------------------------	----

Průměrný počet snímků na obrázek: 560

Průměrný průměr objektivu:	150 mm
Výsledný průměr objektivu:	1122 mm
Velikost báze:	až 770 km

22.10.2010





#### Projekt KYKLOP – základní údaje

Princip snímání

synchronní

Restaurační algoritmus:

S. M. A. R. T.

$$f_{n+1} = f_n \exp\left[H * \ln\left(\frac{q}{H * f_n}\right)\right]$$

22.10.2010







Obrázek: Princip projektu KYKLOP







Projekt KYKLOP

Obrázek: Princip projektu KYKLOP

22.10.2010





#### Projekt KYKLOP



Obrázek: Nezpracovaný snímek planety Saturn

22.10.2010





#### Projekt KYKLOP



Obrázek: Snímek zpracovaný průměrováním a klasickým filtrem FIR

22.10.2010





#### Projekt KYKLOP



Obrázek: Snímek zpracovaný metodou synchronního snímání a adaptivním filtrem

22.10.2010





#### Earth's shadow



Obrázek: Zatmění Měsíce zpracované metodou synchronního snímání

22.10.2010





#### Děkuji za pozornost

22.10.2010





### Použitá literatura

- [1] Řehoř Z.: Charakteristiky atmosféry, které mohou ovlivnit přesnost měření pasivních systémů lokalizace objektu; *Výzkumná zpráva projektu CILEPAS*, 120 stran, Brno, 2002.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2002.
- [3] Sandot, D.- Dvir, A.- Bergel, I.- Kopeika, N.S.: Restoration of thermal images distorted by the atmosphere, based on measured and theoretical atmospheric modulation transfer fuction; *Optical Engineering, 33*, č.1, str. 44-53, 1994.
- [4] M. J. Black and P. Anandan, "The robust estimation of multiple motions: Parametric and piecewise smooth flow fileds," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 63, no. 1, pp. 75–104, January 1996.
- [5] DOSKOČIL, Radek, BALAŽ, Teodor, MACKO, Martin, et al. Real-Time Software Restoration of Optic Image Degraded by the Atmosphere. *Mathematics and Computers in Science and Engineering*, World Scientific and Engineering Academy and Society, WSEAS Press, Athens, s.79-84. ISBN 978-960-474-027-7, Greece, 2008.

22.10.2010

