

# **DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ**

**KKY/DPZ**

**Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.**  
**Západočeská univerzita v Plzni**  
**katedra kybernetiky**

**e-mail: [zelezny@kky.zcu.cz](mailto:zelezny@kky.zcu.cz)**

**místnost: UN556**

**tel.: 377 63 2548**

**URL: <http://www.kky.zcu.cz/cs/courses/dpz>**

**verze souboru 160921**

# Obsah

Obsah.....	2
1. DPZ – definice a význam .....	5
1.1. Rozdělení metod DPZ .....	7
2. Fyzikální podstata DPZ .....	8
2.1. Standardizace barev .....	10
2.2. Mísení barev .....	12
2.3. Reprezentace barev .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.4. Ovlivnění elektromagnetického vlnění atmosférou .....	14
3. Digitální zpracování materiálů DPZ.....	17
3.1. Předzpracování .....	17
3.1.1. Histogramy .....	19
3.1.1.1. Využití histogramu pro segmentaci .....	21
3.1.1.2. Matice sousednosti (coocurrence matrix) .....	22
3.1.1.3. Metoda přebarvování .....	22
3.1.1.4. Rozplav .....	23
3.1.2. Bodové jasové transformace .....	23
3.1.2.1. Jasové korekce .....	23
3.1.2.2. Jasové transformace .....	23
3.1.2.3. Prahování .....	25
3.1.2.4. Ekvalizace histogramu .....	26
3.1.3. Geometrické transformace.....	27
3.1.4. Diskrétní konvoluce.....	30
3.1.5. Vyhlazování (filtrace).....	31
3.1.6. Gradientní operátory .....	32
3.1.6.1. Aproximace derivací diferencemi (1. a 2.) .....	33
3.1.6.2. Srovnání s parametrickým modelem hran .....	34
3.1.6.3. Marrova teorie hranové (detekce průchody nulou 2. derivace obrazové funkce) .....	35
3.1.7. Frekvenční analýza .....	36
3.1.7.1. Fourierovy řady: .....	36
3.1.7.2. Fourierova transformace:.....	36
3.1.7.3. Diskrétní Fourierova transformace (DFT): .....	36
3.1.7.4. Rychlá Fourierova transformace (FFT):.....	36
3.1.8. Restaurace obrazu .....	36
3.2. Segmentace.....	40
3.2.1. Prahování .....	41
3.2.1.1. Metody určování prahu.....	42
3.2.2. Segmentace na základě detekce hran .....	43
3.2.3. Segmentace narůstáním oblastí ( region growing ).....	44

3.2.4.	Segmentace srovnáváním se vzorem ( template matching ) .....	46
3.3.	Popis objektů .....	47
3.3.1.	Identifikace oblastí.....	48
3.3.1.1.	Jiná možnost barvení oblastí: .....	48
3.3.1.2.	Barvení je sekvenční proces .....	48
3.3.2.	Popis tvaru na základě hranice oblastí.....	49
3.3.2.1.	Freemanovy řetězové kódy .....	49
3.3.2.2.	Jednoduché geometrické popisy hranice .....	50
3.3.2.3.	Popis hranice posloupností segmentů.....	51
3.3.3.	Reprezentace a popis tvaru vycházející z oblasti obrazu .....	51
3.3.3.1.	Jednoduché skalární popisy oblastí .....	52
3.3.3.2.	Momentový popis .....	55
3.3.3.3.	Konvexní obal.....	55
3.4.	Klasifikace .....	56
3.4.1.	Příznakové rozpoznávání.....	57
3.4.2.	Strukturální (syntaktické) metody .....	59
3.5.	Studium dynamických jevů .....	60
3.5.1.	Rozdílové metody analýzy pohybu .....	60
3.5.2.	Optický tok .....	61
3.5.3.	Analýza pohybu na základě detekce významných bodů.....	62
3.5.3.1.	Detekce významných bodů.....	62
3.5.3.2.	Vzájemná korespondence .....	62
3.6.	3D Zpracování .....	63
3.6.1.	Teorie 3D vidění .....	64
3.6.2.	Modely 3D objektů.....	65
3.7.	Modelování s obrazovými daty .....	67
3.8.	Integrace obrazových dat a jejich vstup do GIS.....	67
4.	Zářivé vlastnosti krajinných objektů .....	68
4.1.	Povrch bez vegetace .....	68
4.1.1.	Půdy .....	69
4.1.2.	Minerály a horniny .....	71
4.2.	Vegetační povrch.....	71
4.3.	Voda.....	72
5.	Systém pořizování dat distančními metodami.....	74
5.1.	Konvenční metody.....	74
5.2.	Nekonvenční metody.....	75
5.2.1.	Televizní systémy .....	75
5.2.2.	Snímací rozkladová zařízení (skenery) .....	76
5.2.2.1.	Mechanooptický skener .....	76
5.2.2.2.	Elektrooptický skener .....	77
5.2.3.	Digitální fotografie .....	78
5.2.4.	Zobrazující a nezobrazující zařízení.....	78

5.2.5.	Geometrické vlastnosti skenovaného obrazového záznamu .....	79
5.2.5.1.	Tangenciální změny měřítka.....	79
5.2.5.2.	Kolísání velikosti obrazového prvku .....	80
5.2.5.3.	Poziční chyby v poloze objektů v důsledku jejich rozdílné výšky	81
5.3.	Dálkový průzkum v tepelné části spektra.....	81
5.3.1.	Princip tepelného měření .....	82
5.4.	Dálkový průzkum země v mikrovlnné části spektra .....	83
5.5.	Aktivní metody .....	84
5.5.1.	Radarový signál základních druhů povrchů .....	84
5.5.2.	Přehled radarových systémů .....	85
5.5.3.	Další techniky získávání geografické informace prostřednictvím radaru:	86
5.5.3.1.	Interferometr .....	86
5.5.3.2.	Diferenční interferometrie .....	86
5.5.3.3.	Altimetr (výškoměr) .....	86
5.5.3.4.	Rozptyloměr.....	86
5.6.	Obrazová spektrometrie.....	86
6.	Družicové systémy.....	88
6.1.	Typy družicových drah.....	88
6.1.1.	rovníková (geostacionární) oběžná dráha.....	88
6.1.2.	šikmá oběžná dráha .....	88
6.1.3.	subpolární oběžná dráha .....	88
6.2.	Přehled družicových systémů .....	89
6.2.1.	Geostacionární meteorologické družice .....	89
6.2.2.	NOAA.....	89
6.2.3.	LANDSAT.....	90
6.2.4.	SPOT.....	90
6.2.5.	IRS .....	91
6.2.6.	Ruské zpravodajské družice .....	91
6.2.7.	Americké zpravodajské družice .....	91
6.2.8.	RESURS – 01 .....	91
6.2.9.	JERS – 1 .....	91
6.2.10.	IKONOS .....	92
6.2.11.	EARTHWATCH .....	92
6.2.12.	QuickBird .....	92
7.	Seznam literatury .....	93

## 1. DPZ – definice a význam

Dálkový průzkum Země ...Remote sensing  
Teledetection  
Fernmerkung

Bezkontaktní měření

### Definice:

- Dálkový průzkum Země je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu.

(Lillesand, Kiefer)

- Dálkový průzkum je shromažďování informací o přírodních zdrojích s využitím snímků pořízených senzory umístěnými na palubách letadel nebo družic.

(Bob Ryerson)

- Dálkový průzkum je skupina technik, zabývající se pořizováním snímků a jiných forem dat, pořízených měřeními na dálku, zpracováním a analýzou těchto dat.

(Resors)

- Dálkový průzkum může být definován jako shromažďování informací o objektech bez fyzického kontaktu s nimi. Letadla a družice jsou běžnými nosiči, ze kterých se tato měření z dálky provádějí. Termín dálkový průzkum je omezen na metody, které využívají elektromagnetického záření jako prostředku ke zjišťování objektů a k měření jejich charakteristik.

(Sabins)

- Dálkový průzkum je způsob získávání informací o zemském povrchu i vodních plochách s využitím snímků pořízených

z ptáčích perspektivy, využívá elektromagnetického záření v jednom nebo více intervalech spektra, toto záření je odraženo nebo emitováno ze Země.

(Campbell)

- Dálkový průzkum znamená získávání informací o objektech a jevech na dálku – bez přímého kontaktu s těmito jevy či objekty, při kterém se využívá dvou základních poznatků:
  - člověk, ať již sám či za pomoci různě složitých přístrojů, je schopen získávat kvalitativní i kvantitativní informace o jevech a věcech, které ho obklopují
  - každý tento jev či objekt nějakým charakteristickým způsobem ovlivňuje své okolí

(Dobrovolný)

- Dálkový průzkum je nejdražší způsob jak vytvořit obrázek.
- Dálkový průzkum je umění rozdělit svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si lze hrát s cílem odhalení jejich neuvěřitelného potenciálu.

(Bashfield)

(Huntington)

Dálkový průzkum → dálkový průzkum Země

System DPZ lze rozdělit na dva subsystemy:

- subsystem **sběru informací a přenosu dat**
- subsystem **analýzy a interpretace dat**

Dva druhy informace, kterou lze pomocí DPZ získávat

- **informace o poloze, tvaru, velikosti objektů, i jejich vzájemné vzdálenosti** apod.  
→ FOTOGRAMMETRIE
- **informace tematická**, tedy např. o druhu vegetace nebo povrchu zkoumané komunikace

→ DPZ

## 1.1. Rozdělení metod DPZ

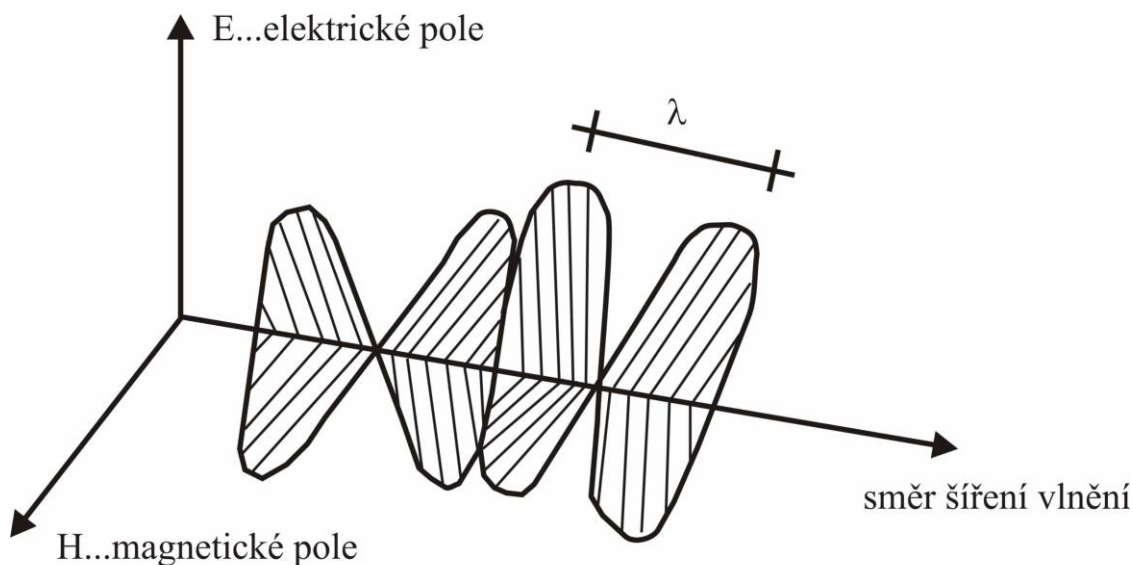
- a) konvenční (fotografie)
- b) digitální (imagery)

- a) aktivní (např. radarové systémy)
- b) pasivní

- podle druhu nosiče: letadla, družice, modely letadel, balony, vrtulníky, pozemní základny
- podle zaznamenané části elektromagnetického spektra: panchromatické, infračervené, tepelné, radarové
- podle zorného pole kamery: s úzkým úhlem, normální, širokoúhlé
- podle osy záběru: svislé a šikmé
- podle velikosti snímaného území: globální, oblastní, lokální, detailní

## 2. Fyzikální podstata DPZ

Nositelem informace (nejen v DPZ) je elektromagnetické záření, tvořené elektromagnetickými vlnami. To má elektrickou a magnetickou složku, které jsou na sebe kolmé.



• **Obr. 1**

Natočení os = polarizace

**Vlnová délka**  $\lambda$  [m]

**Frekvence**  $f = \frac{c}{\lambda}$        $c = 299792.46 \text{ km/s} \sim 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

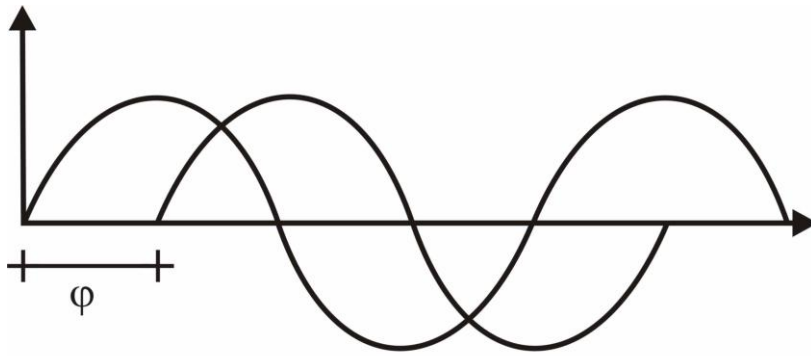
**Intenzita** – velikost záření (bílé světlo – maximální intenzita, černé světlo – nulová intenzita)

**Polarizace** – orientace směru vektoru E vzhledem k zemskému povrchu

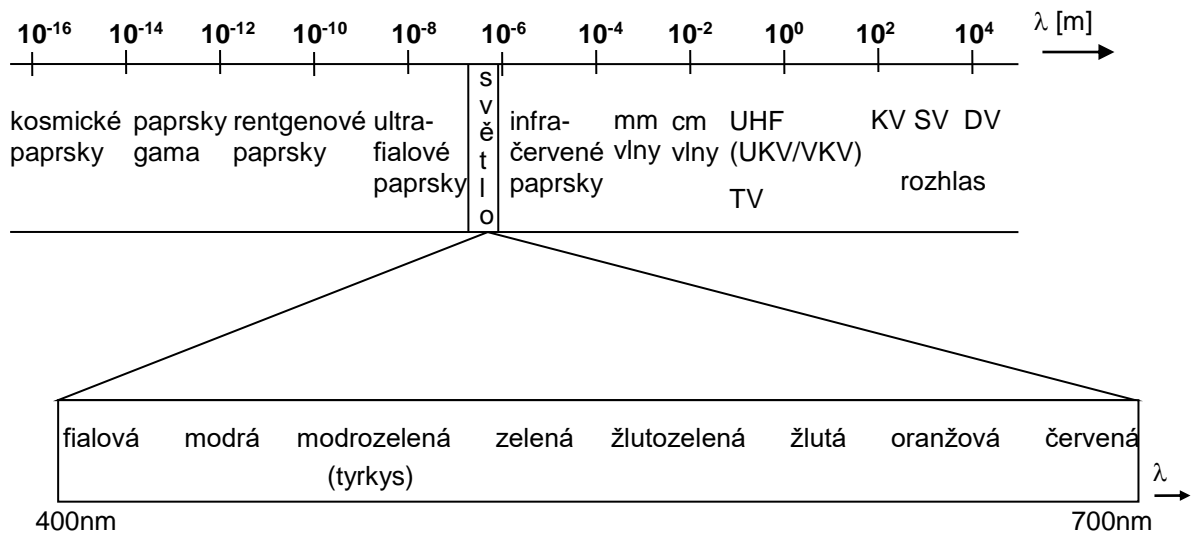
- nepolarizované – různé délky  $\lambda$
- polarizované - pokud oscilují ve všech směrech
  - vodorovná
  - svislá

**Fáze**



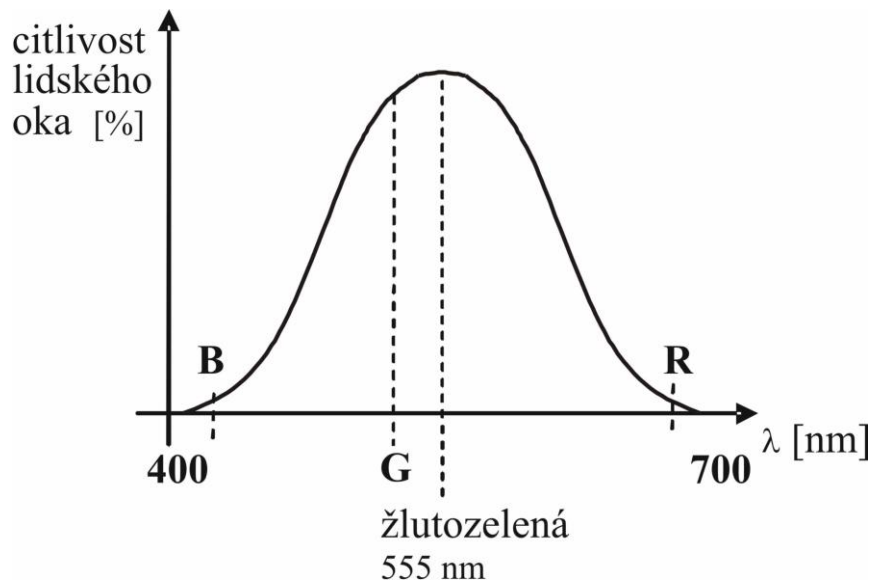


Obr. 2



Obr. 3

Světlo je tedy elektromagnetické vlnění o specifickém rozsahu vlnových délek, okem viditelná část spektrum  $\lambda \in \langle 400, 700 \rangle$  nm



**Obr. 4**

měření – štěrbina, mřížka, spektrometr

Na žlutozelenou barvu je oko nejcitlivější

## 2.1. Standardizace barev

1931 *Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)*

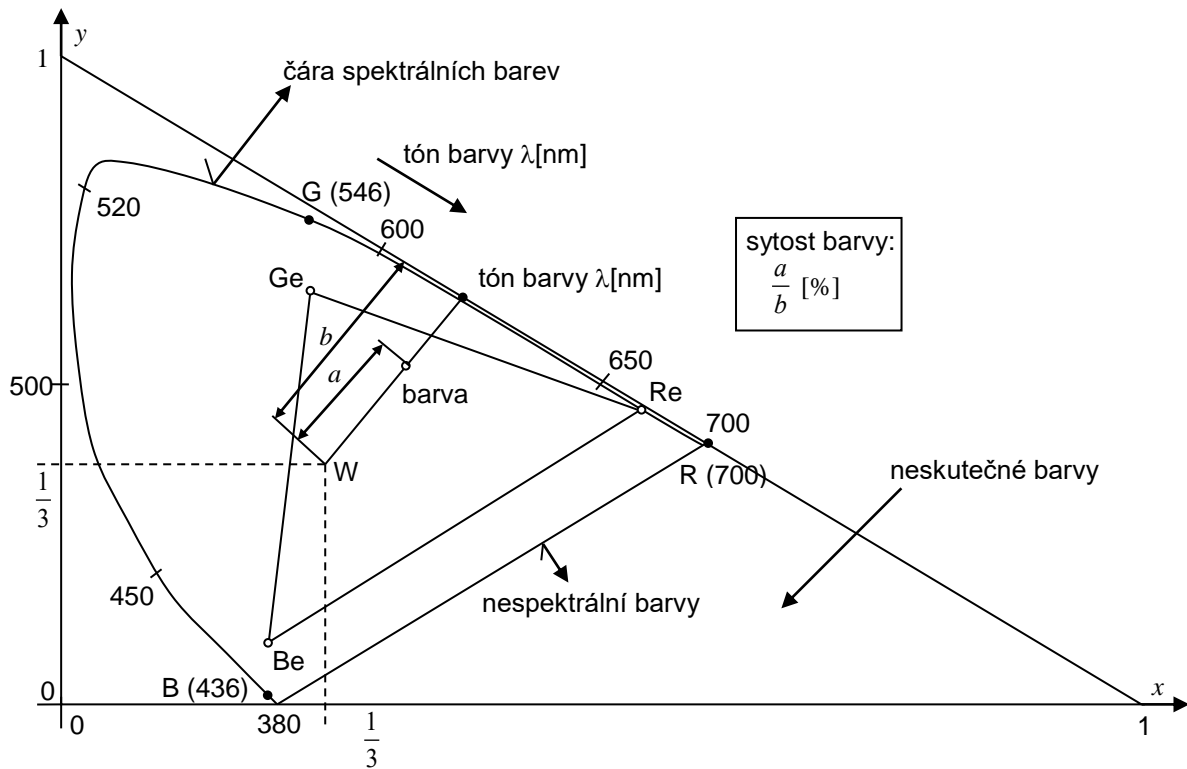
$X, Y, Z; X + Y + Z = I$  (*intensity*)

**Normalizace intenzitou:**

$$x = \frac{X}{I}, \quad y = \frac{Y}{I}, \quad z = \frac{Z}{I}$$

$x + y + z = 1 \Rightarrow$  rovina v 3D prostoru

## Zobrazení barev souřadnicemi $x, y$ v trojúhelníku MKO

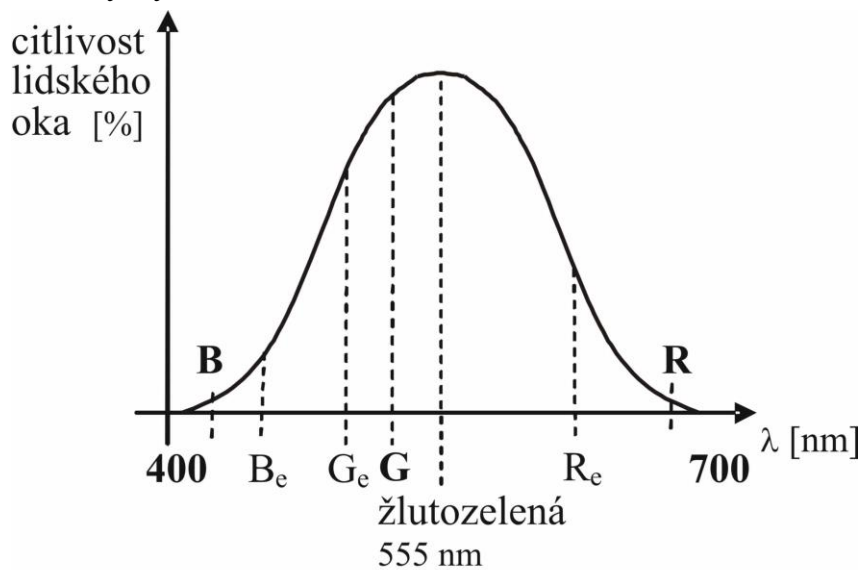


Obr. 5

- ♦ **spektrální barvy** – čisté, maximálně syté barvy
- ♦ **nespektrální barvy** – nejsou obsaženy ve slunečním spektru, vznikají míšením barev z obou konců viditelného spektra
- ♦ **směrem do středu** – barvy se zmenšenou sytostí
- ♦  $x = \frac{1}{3}, y = \frac{1}{3} \Rightarrow$  **izoenergické** (stejný obsah všech vlnových délek) **světlo** – bílé

**Televizní kolorimetrie** – pro reprodukci barev vyskytujících se v přírodě potřebujeme několik základních barev, jejichž míšením vznikne daná barva. V našem případě jsou voleny více směrem k viditelné oblasti spektra, zelená je volena jako méně sytá žlutozelená barva  $\Rightarrow$  rozsah reprodukováných barev je menší.

**JAS**  $\approx$  světelný výkon [w]



**Obr. 6**

- ✧ **světelný tok** = součet energií jednotlivých vlnových délek vážený jejich poměrnou účinností  
jednotka – *lumen* [lm]
- ✧ **osvětlení plochy** = *lux* [lx]  
 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / 1 \text{ m}^2$
- ✧ **svítivost** – světelný tok, pozorovaný v jednotkovém prostorovém úhlu – *kandela* [cd]
- ✧ **jas** – svítivost vztažená na jednotkový povrch zdroje světla
- ✧ **ČBTV – jasový signál**  
příspěvky barevných signálů pro jasový (ryze černobílý) signál

$$Y = 0,30R + 0,59G + 0,11B$$

## 2.2. Mísení a reprezentace barev

- ✧ **Umělci**
  - ♦ vztah k základní (syté) barvě
  - ♦ **TINT** odstín – výsledek přidání bílého pigmentu do čistého pigmentu → snižuje sytost
  - ♦ **SHADE** stín – výsledek přidání černého pigmentu do čistého pigmentu → snižuje jas

- ♦ *TONE* tón – výsledek postupného přidání bílého a černého pigmentu do čistého pigmentu

#### ✧ ***Stroje***

- ♦ *IHS* model
- ♦ Intenzita (*intensity*)  $\approx R+G+B$
- ♦ *Hue* – průměrná vlnová délka
- ♦ *Saturation* (sytost) – úbytek bílé barvy

#### ✧ ***Součtové mísení***

mísení zdrojů světla

všechny složky nulové – černá

všechny složky maximální – bílá

- ♦ *RGB* model
- ♦ použití: Tv, monitory

#### ✧ ***Rozdílové mísení***

z dopadajícího světla se odečítají určité barevné složky, takže odražené nebo prosté poskytuje oku dojem barevného povrchu

všechny složky nulové – bílá

všechny složky maximální – černá

- ♦ *CMY* model
- ♦ *C* – cyan (modrozelená, tyrkysová)
- ♦ *M* – magenta (fialová)
- ♦ *Y* – yellow (žlutá)
- ♦ použití: barevný tisk
- ♦ většinou se v tiskárnách používá model *CMYK* (*K* – black) – zvýšená spotřeba černé barvy při tisku černých ploch:
  - a)  $C+M+Y$  nebude úplně černá
  - b) zbytečná spotřeba barevného pigmentu

#### ✧ ***Teplota barvy***

- ♦ teplotou barvy se rozumí teplota ideálního zářiče zahřátého tak, že vydává stejnou barvu světla, udává se v *kelvinech* [K]
- ♦ červená        2000 K

- ♦ bílá            6000 – 7000 K
- ♦ modrá        10 000K

### 2.3. Ovlivnění elektromagnetického vlnění atmosférou

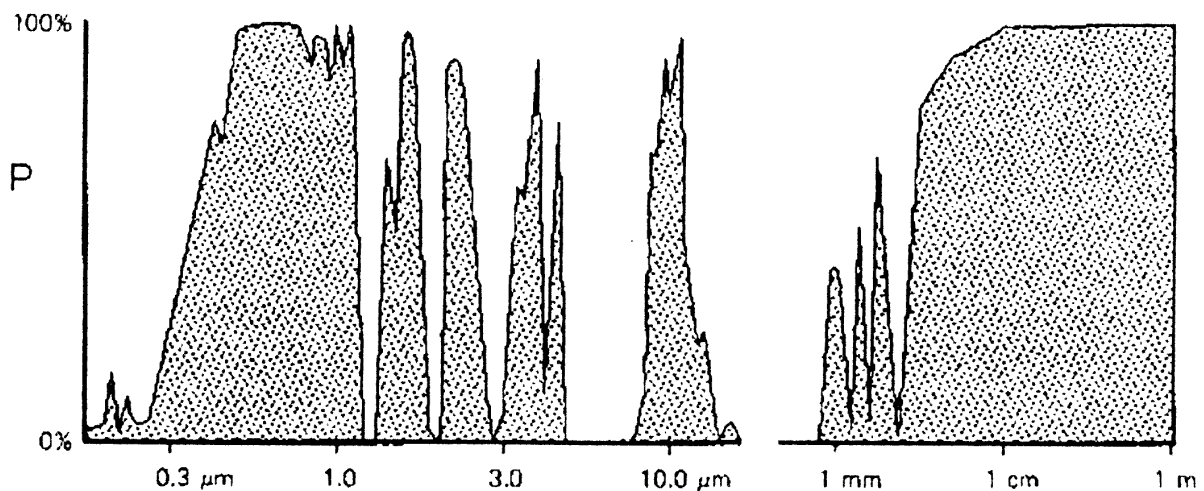
#### - rozptyl

- Rayleighův (molekulární) rozptyl – částice menší než  $\lambda$ , modrá barva oblohy, západy a východy slunce
- aerosolový rozptyl – částice větší než  $\lambda$ , vodní pára
- neselektivní rozptyl - velké částice, bílá barva, oblaků a mlhy

#### - pohlcování

- jednotlivé složky atmosféry pohlcují určité části spektra
- hlavní plyny pohlcují záření O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, vodní pára

Atmosférická okna



Část spektra	Interval vlnových délek [ $\mu\text{m}$ ]
UV/ viditelné záření	0.30 – 0.75
	0.77 – 0.91
Blízké IČ záření	1.00– 1.12
	1.19 – 1.34
	1.55 – 1.75
	2.05 – 2.40
Střední IČ záření	3.50 – 4.16
	4.50 – 5.00
Termální IČ záření	8.00 – 9.20
	10.20 – 12.40

## Oblasti spektra využitelné v DPZ

### - *ultrafialové záření* (0.1 – 0.4 $\mu\text{m}$ )

- výrazně pohlcováno atmosférou
- UV laser
- vyhledávání ložisek zlata
- monitorování ropných skvrn
- geologické aplikace

### - *viditelné záření*

- modré světlo      0.4 – 0.5  $\mu\text{m}$
- zelené světlo      0.5 – 0.6  $\mu\text{m}$
- červené světlo    0.6 – 0.7  $\mu\text{m}$
- zdrojem je pouze Slunce – zaznamenávání pouze v denních hodinách
- nejvyužívanější především z historického hlediska
- v mnoha aplikacích není jeho použití nejvýhodnější

### - *blízké infračervené záření*

- lze zaznamenat jak konvenčními fotografickými metodami, tak i elektronicky
- méně pohlcováno atmosférou
- voda se v tomto pásmu chová jako černé těleso
- topografie
- studium vegetace
- lesnictví
- zemědělství

### - *střední infračervené záření*

- dvě atmosférická okna 1.5 a 2.2  $\mu\text{m}$
- první okno
  - rozlišení druhů vegetace, rozpoznávání ledu a sněhu, odlišení oblačností, studium zdravotního stavu vegetace
- druhé okno
  - mnoho minerálů má v této oblasti charakteristický absorpční pás

### - *termální infračervené záření*

- opět dvě atmosférická okna 3 - 5 a 8 – 12  $\mu\text{m}$
- zjišťování povrchové teploty oceánů, tepelné znečištění řek a jezer i krajin, lokalizace lesních požárů
- první okno

ještě značné množství odraženého slunečního záření – noční hodiny  
- druhé okno  
množství odraženého slunečního záření je minimální – i denní  
hodiny

- *mikrovlnné záření*

- především aktivní systémy - radary

- studium reliéfu

- plovoucí led

- geologie

- lesnictví

- zemědělství

- pomocí mikrovlnných aktivních systémů lze získat i neobrazová data,  
informace o výškových poměrech, o řadě meteorologických prvků, atd.



### 3. Digitální zpracování materiálů DPZ

Obrazový materiál obsahuje informaci dvojího druhu

- topografické (geometrické) vlastnosti objektů např. poloha, velikost, vzdálenost objektů apod.
- tématické vlastnosti objektů  
fotointerpretace

Digitální zpracování nabývá na významu od první pol. 70. let a souvisí s

- rozvojem výpočetní techniky
- dostupností primárně digitálních dat, poskytovaných družicemi  
LANDSAT

Digitální zpracování obrazových materiálů DPZ lze rozdělit do následujících oblastí:

- předzpracování obrazu  
(slouží ke korekci zkreslení a šumu, které vznikají při vytváření obrazu)
- zvýraznění obrazu  
(slouží ke zvýraznění některých rysů obrazu pro další zpracování)
- extrahování informace  
(zahrnuje především klasifikaci obrazu)
- studium dynamiky jevů  
(využíváno ke zjišťování časových změn)
- modelování s obrazovými daty
- integrace obrazových dat a jejich vstup do GIS
- 3D zpracování

#### 3.1. Předzpracování

*korekce zkreslení a náprava chyb*

dva druhy chyb: systematické  
náhodné

**chyby** lze rozdělit na: a) vnitřní  
b) vnější

**korekce:** a) radiometrické  
b) geometrické

#### **ad a) Radiometrické korekce**

- kompenzace sezónních rozdílů  
(při studiu obrazových záznamů pořízených v průběhu roku je třeba kompenzovat změny osvětlení vlivem různé výšky Slunce. Výška Slunce je normalizována například dělením každého záznamu sínem výšky Slunce. V některých aplikacích DPZ jsou prováděny i korekce na vzdálenost Slunce od Země)
- odstranění náhodných radiometrických chyb  
(např. typická chyba „páskování“ při příčném skenování vlivem špatné kalibrace jednoho senzoru)
- atmosférické korekce

#### **ad b) Geometrické korekce**

zdroje nepřesností plynou většinou ze způsobu vytváření obrazového záznamu a jsou tedy specifické jak pro leteckou fotografii, tak i pro záznamy z různých typů skenerů

Geometrické korekce slouží k následujícím *účelům*

- transformace obrazových dat do určité mapové projekce
- propojení obrazových dat s prostorovou vektorovou databází v GIS
- porovnání dvou či více obrazových záznamů pořízených stejnými nebo odlišnými snímacími zařízeními za účelem studia časových změn
- tvorba ortofotomap
- vytváření mozaiky z několika obrazových záznamů

Rektifikace je obecný proces transformace polohy všech obrazových prvků z jednoho souřadného systému do jiného souřadného systému. Protože poloha každého bodu v původní a nové soustavě je rozdílná (a jiný může být i jeho rozměr), druhým krokem této transformace je převzorkování (resampling)

Ortorektifikace je proces, během něhož jsou odstraněny i nepřesnosti vznikající v důsledku relativní změny polohy objektů, jež plyne z jejich různé nadmořské výšky.

## PŘEDZPRACOVÁNÍ (Digital image (picture) processing)

- zpracování na nízké úrovni abstrakce
- vstupem obraz  $f(i,j)$
- výstupem ve většině případů obraz  $g(i,j)$

„ Nejlepší předzpracování je žádné předzpracování “

- Nejvíce informace je vždy obsaženo v původním obrazu, s každým předzpracováním informace klesá.

Cíl : úpravy obrazu, které

- potlačí zkreslení
- zvýrazní rysy obrazu, které jsou důležité pro jeho další zpracování

Dělení metod podle velikosti okolí bodu použitého při výpočtu:

- bodové jasové transformace
- geometrické transformace
- lokální operace (filtrace šumu, hranová detekce)
- zpracování obrazu ve frekvenční oblasti

Zpracování obrazu **usnadňuje** apriorní znalost o podmínkách jeho získání a o charakteru poruch.

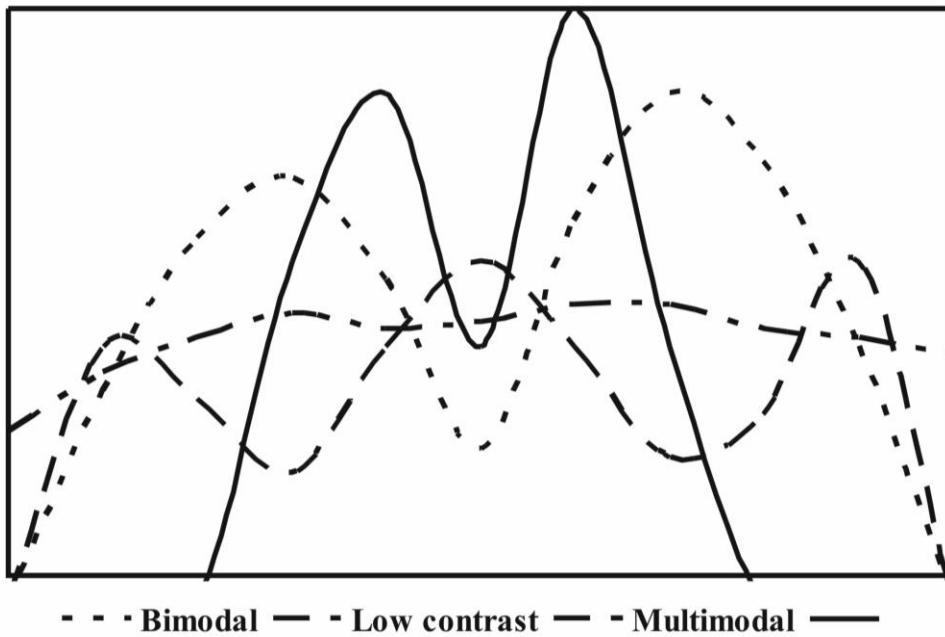
### 3.1.1. Histogramy

$H(p)$  je funkcí jasu, vyjadřuje četnost bodů s daným jasem

a) absolutní

$$H(p) = \sum h(i,j,p)$$

$$\begin{aligned} h(i, j, p) &= 1 && \text{pro } f(i,j) = p \\ h(i,j,p) &= 0 && \text{pro } f(i,j) \neq p \end{aligned}$$



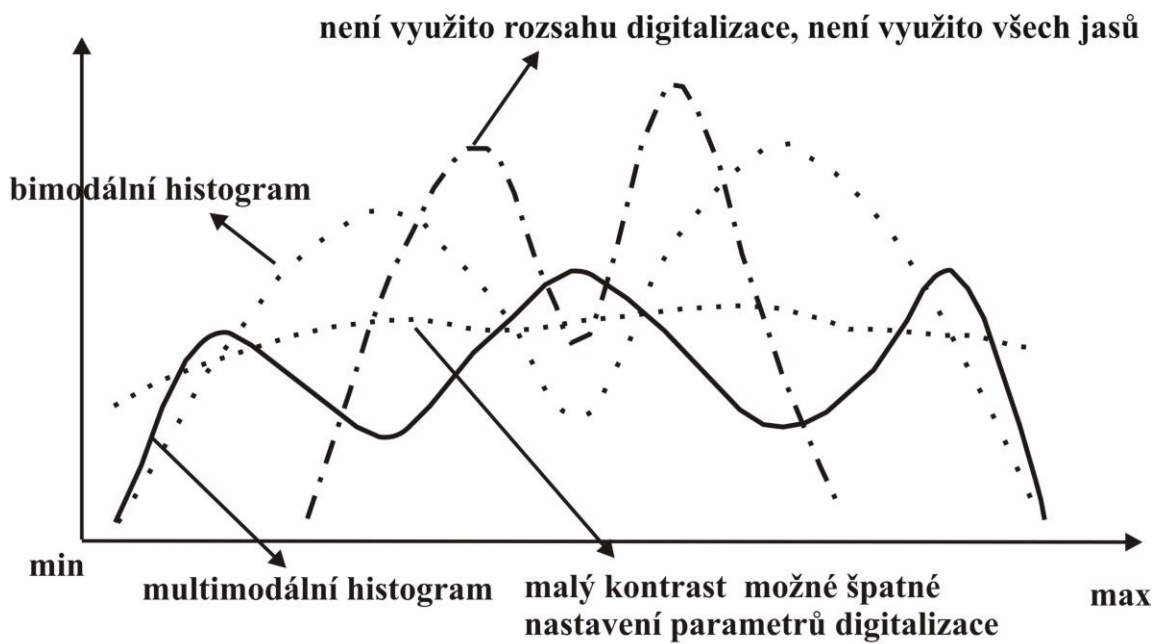
**Obr. 17**

b) relativní

$$H_R(p) = \frac{H(p)}{\sum_p H(p)} = \frac{H(p)}{i \cdot j}$$

$\sum H(p)$  ... plocha obrazu

$$\sum_p H_R(p) = 1$$



**Obr. 18**

c) kumulativní histogram

$$G(p) = \sum_{q=\min}^p H(p)$$

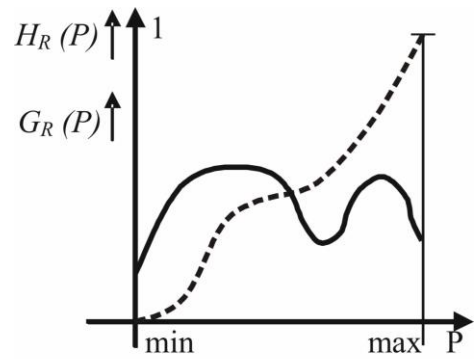
$$G(p) = G(p-1) + H(p)$$

$$G(0) = H(0)$$

$$G(\max) = \sum_p H(p) = i. j. \dots plocha.obrazu$$

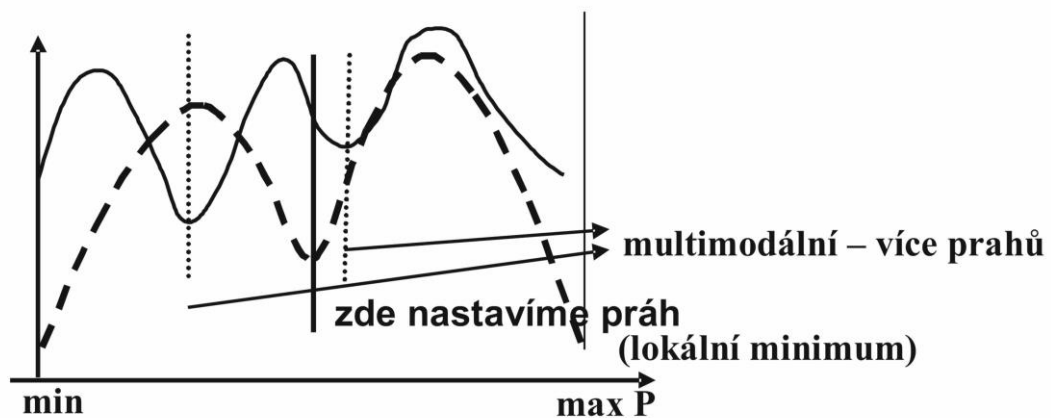
$$G_R(p) = \sum_{q=\min}^p H_R(p)$$

$$G_R(\max) = 1$$

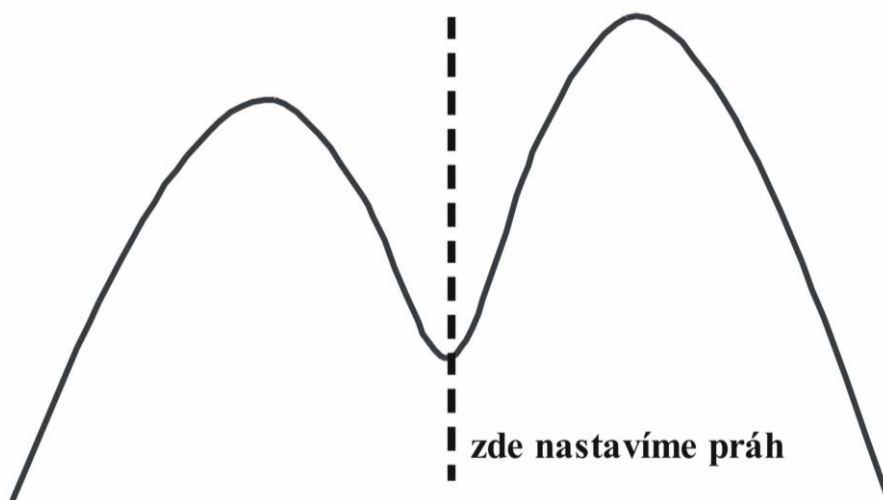


Obr. 19

### 3.1.1.1. Využití histogramu pro segmentaci



Obr. 20



## Obr. 21

### 3.1.1.2. Matice sousednosti (coocurrence matrix)

$$S = [s_{pq}]$$
$$s_{pq} = \sum g(i,j,p,q)$$
$$g(i,j,p,q) = \begin{cases} 0 & f(i,j) \neq p \\ 0 & f(i,j) = p \\ \wedge \nexists [k,l] : [k,l] \in O_8(i,j) : f(k,l) = q, & \text{kde } O_8(i,j) \text{ je} \\ & \text{osmiokolí} \\ f(i,j) = p & \\ \text{počet bodů } [k,l] \in O_8(i,j) : f(k,l) = q & \end{cases}$$

Vlastnosti matice sousednosti:

- prvek matice – vyjadřuje, kolikrát jas p sousedí s jasm q
- symetrická
- prvky na diagonále – jas sousedí sám se sebou – měřítko velikosti souvislých ploch
- součet prvků v daném řádku mimo diagonálního – měřítko hranovosti

**Použití:**

### 3.1.1.3. Metoda přebarvování

postup:

- na diagonále MS nalezneme nejmenší prvek S, pro nějž platí:

$$\sum_q s_{pq} > 0$$

$$H(p) > 0$$

- v jeho řádku největší prvek mimo diagonálu  $S_{pq}$ ,  $q \neq p$
- všechny body s jasm p přebarvíme na jas q
- opakujeme tak dlouho, až např. zůstanou pouze 2 barvy (segmentace)

- při posledním kroku pouze jedna barva – souvislá plocha

### 3.1.1.4. Rozplav

r - referenční jas

$f(i,j) = r$ , jestliže

$K \geq |f(i,j) - r| \quad \dots$  obousměrný rozplav

$K \geq |f(i,j) - r| \geq 0 \quad \dots$  jednosměrný rozplav

světlá → tmavá

$0 \geq |f(i,j) - r| \geq -K \quad \dots$  tmavá → světlá,

kde K je počet kroků

### 3.1.2. Bodové jasové transformace

#### 3.1.2.1. Jasové korekce

nový jas bodu je funkcí polohy a jasu

$g(i,j) = f(i,j) \cdot OPR(i,j)$

OPR – matice opravných koeficientů

použití : oprava systematických chyb snímacího řetězce

postup :

- Kalibrace – na snímacím zařízení nasnímáme obraz se známými hodnotami.

Z těchto známých správných hodnot a z naměřených hodnot vypočteme

$$OPR(i, j) = \frac{spr(i, j)}{nam(i, j)}$$

matici opravných koeficientů

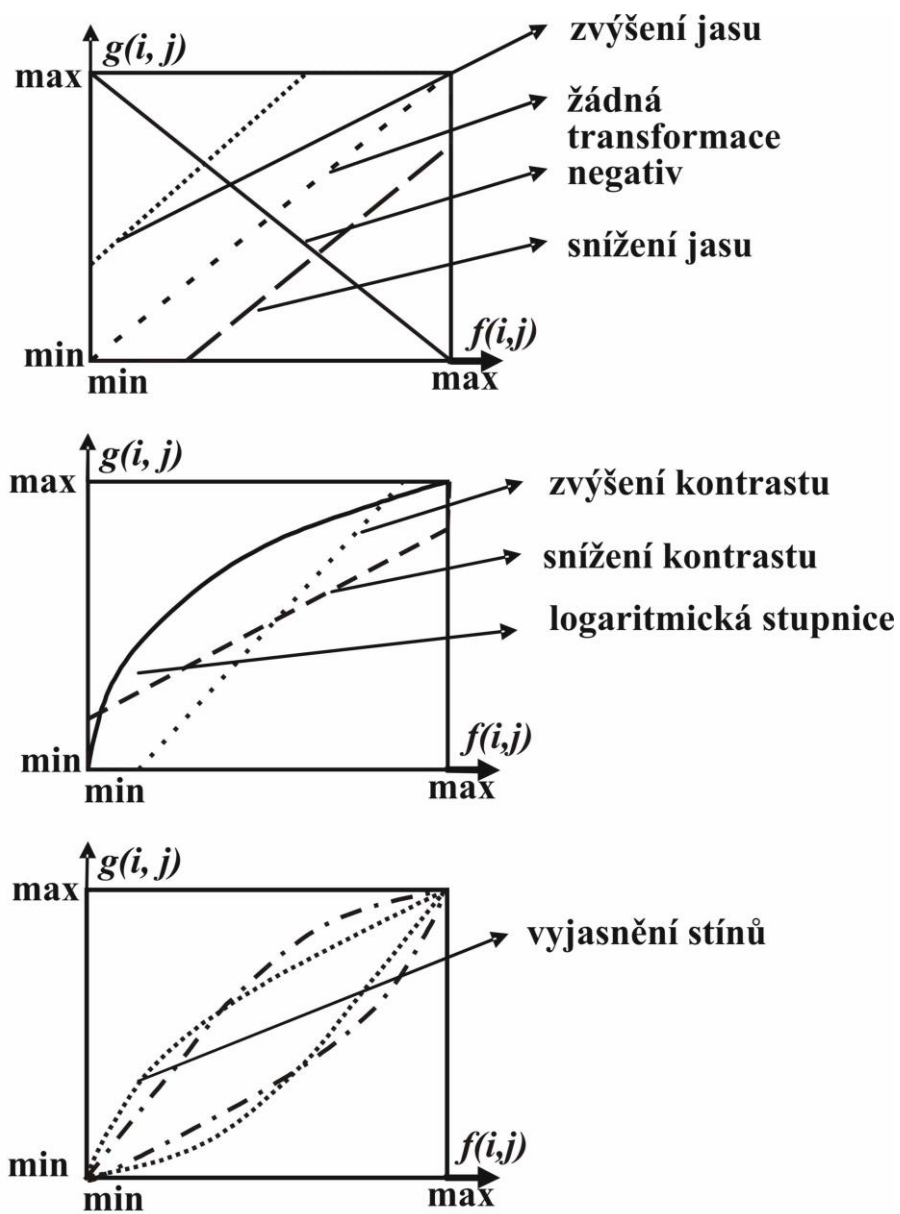
- každý další snímání obrázek násobíme takto získanou maticí

#### 3.1.2.2. Jasové transformace

funkce stejná pro všechny body obrazu

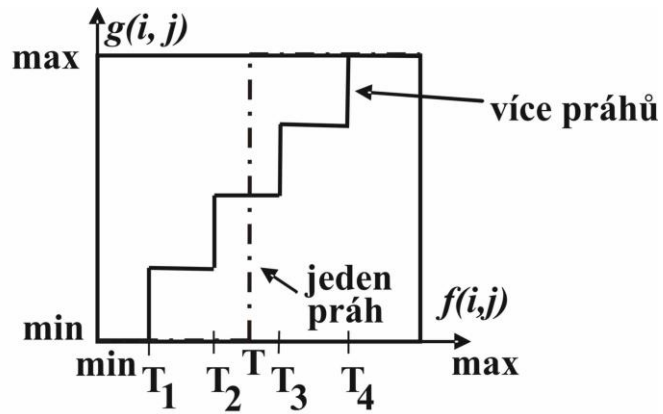
$g(i,j) = \text{FUNC}(f(i,j)) \quad \dots$  nezávisí na i,j

vyhledávací / převodní tabulka (LookUp Table - LUT)



Obr. 22

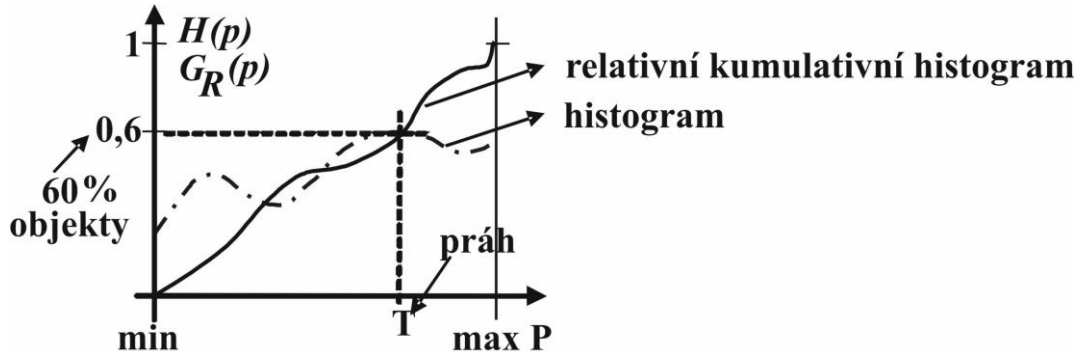




Obr. 23

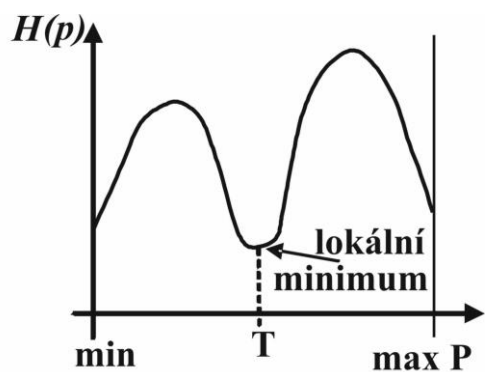
### 3.1.2.3. Prahování

- segmentace – rozdělení obrazu na oblasti, které souvisejí s reálnými objekty
- možné postupy volby prahu:
  - a) ručně
  - b) známe podíl zastoupení pozadí a objektů v obraze



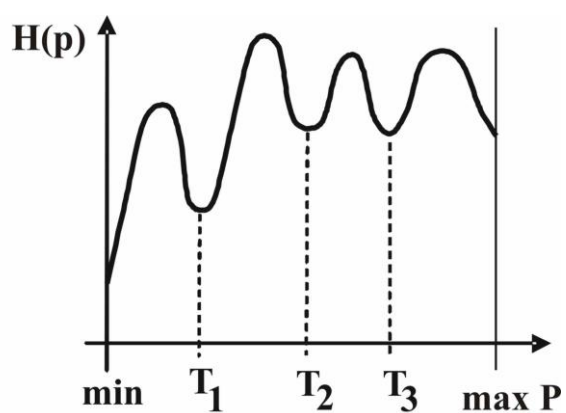
Obr. 24

- c) lokální minimum



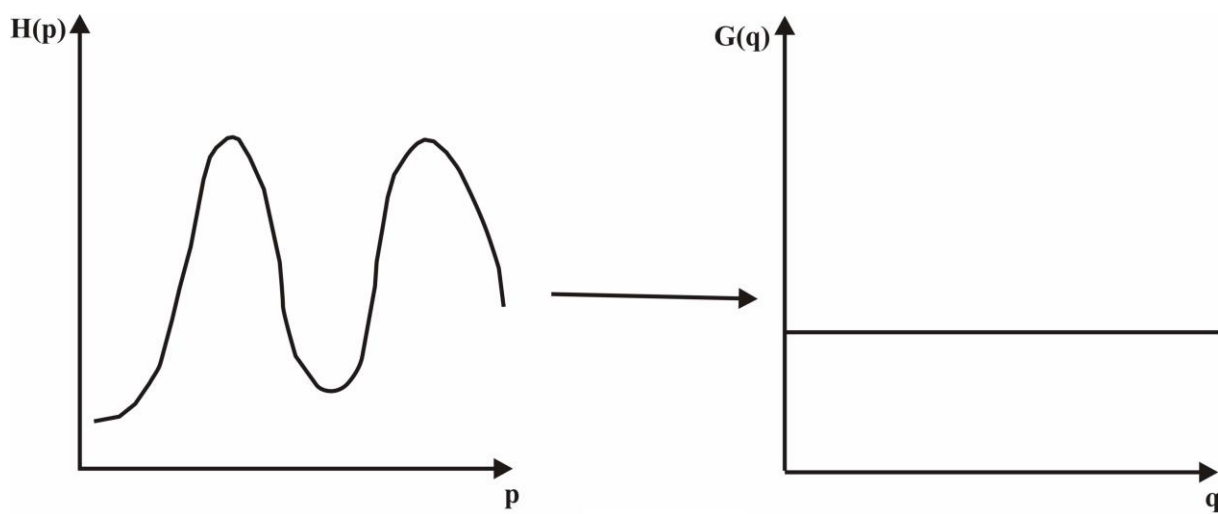
Obr. 25

d) multimodální histogram

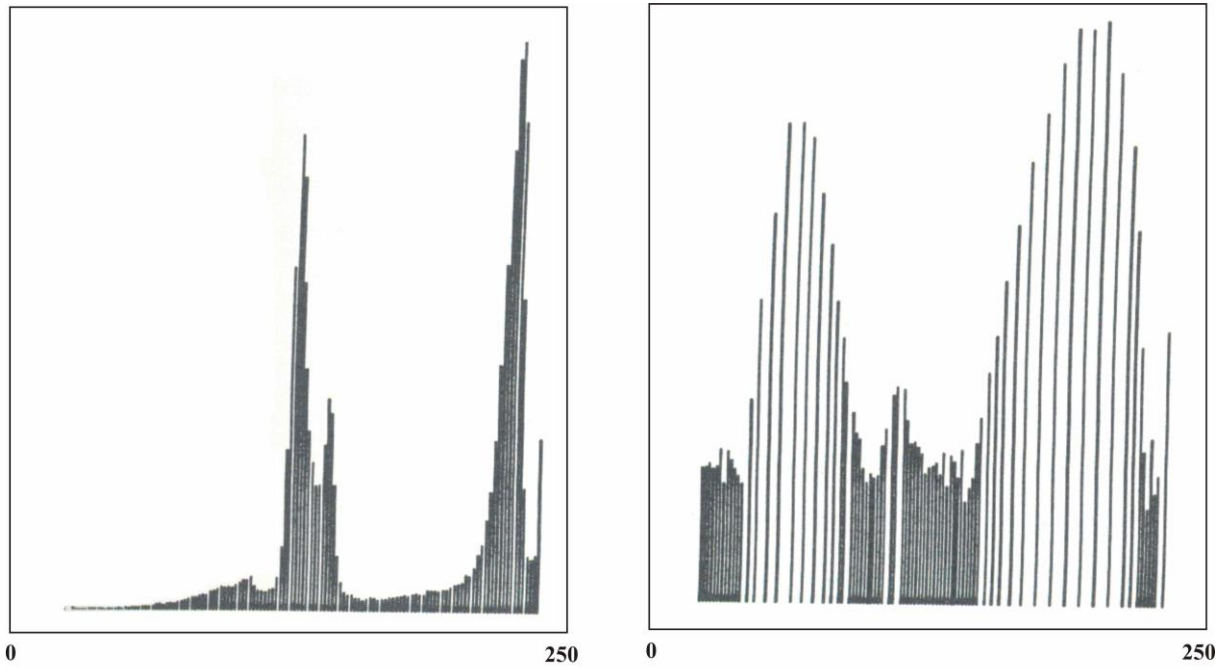


Obr. 26

### 3.1.2.4. Ekvalizace histogramu



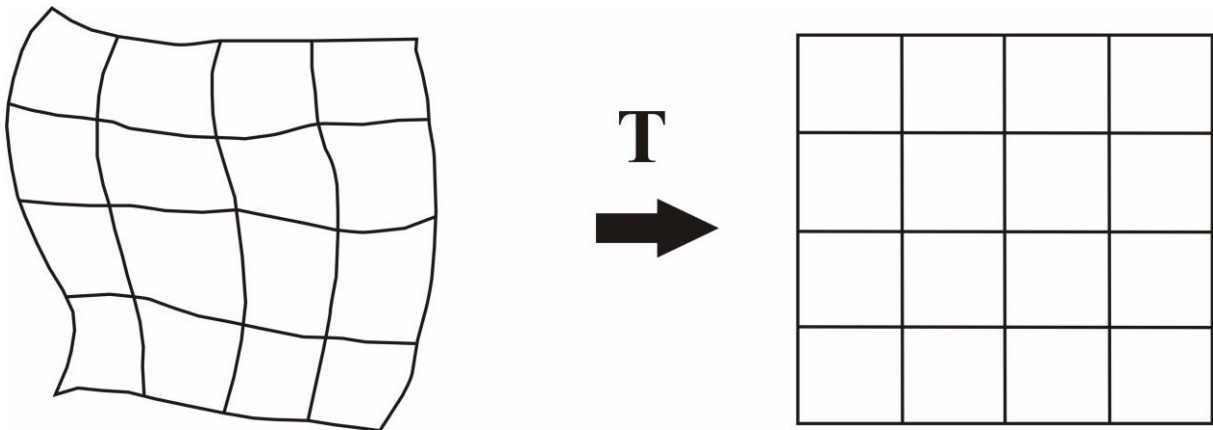
Obr. 27



Obr. 28

### 3.1.3. Geometrické transformace

$$T_G: \begin{aligned} x' &= u(x,y) \\ y' &= v(x,y) \end{aligned}$$



Obr. 29

- a) vztah znám - např. rotace, posun, zvětšení, ...
- b) vztah se hledá na základě původního a transformovaného obrazu

např. dálkový průzkum země – korespondence souřadnic na družicovém snímku a na mapě

Pozn.: používají se tzv. vlíčovací body

Dva kroky:

1. plošná transformace

a) polynom m- tého stupně

$$x' = \sum_{r=0}^m \sum_{k=0}^{m-r} a_{rk} x^r y^k$$

$$y' = \sum_{r=0}^m \sum_{k=0}^m b_{rk} x^r y^k$$

b) bilineární

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy$$

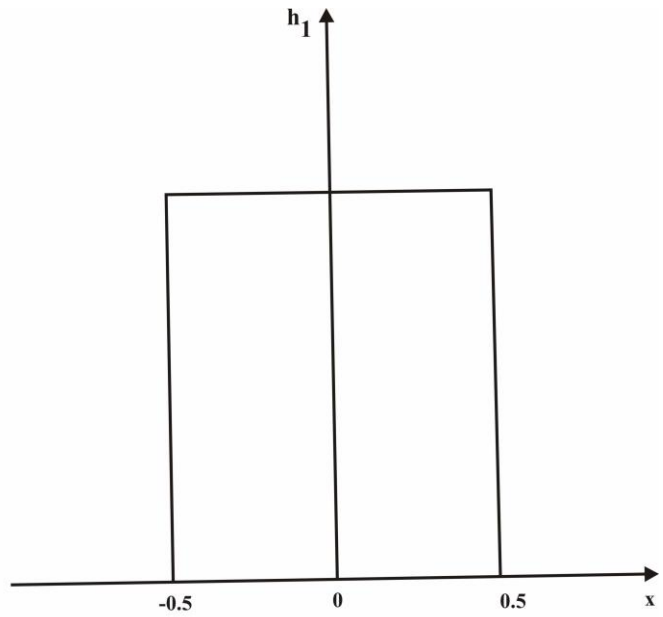
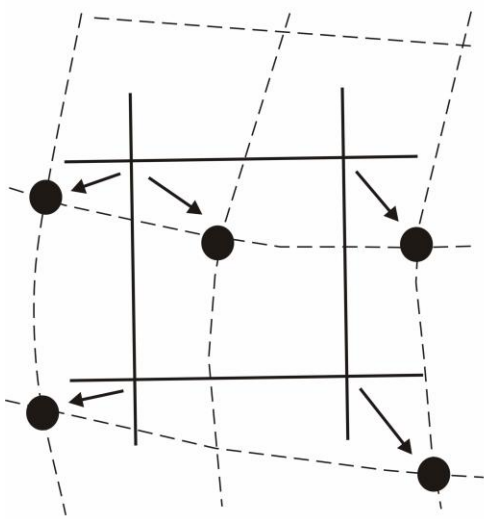
c) affinní – sem patří např. rotace, posun, zvětšení, zkosení atd.

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y$$

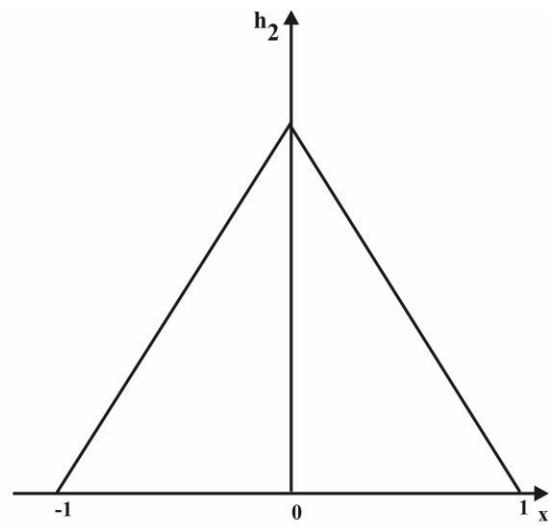
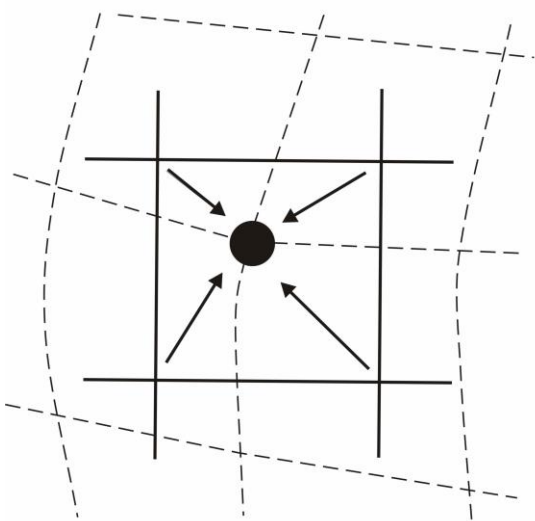
2. interpolace jasu – převzorkování / resampling

- nejblíže soused - většinou se postupuje tak, že se udělá inverzní transformace a odečte se nejblíže hodnota v původním obrazu



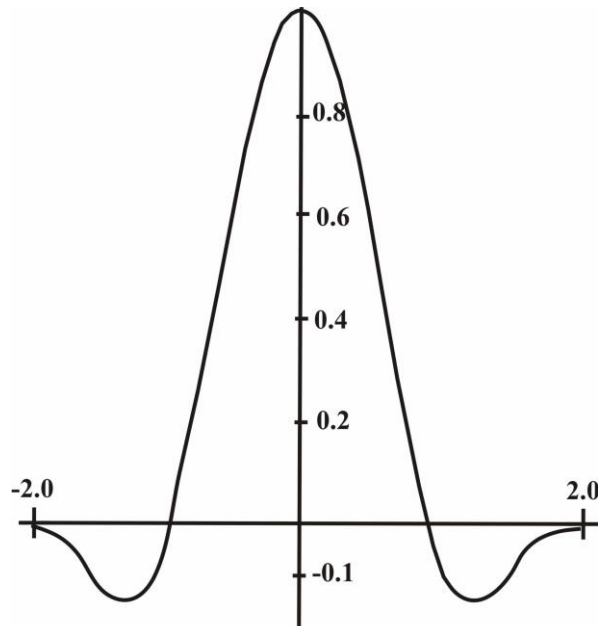
**Obr. 30**

- bilineární interpolace



**Obr. 31**

- bikubická interpolace



**Obr. 32**

Pozn.: Geometrické transformace jsou z principu ztrátové. V některých speciálních případech ( jako např.otočení o násobek  $90^\circ$  ) je informace zachována, obecně to však neplatí.

př.: otočení o lichý násobek  $45^\circ$

zmenšení na 50% - každý druhý bod v x i v y vynecháme – informaci nelze získat zpět

Využití:

- dálkový průzkum země
- desktop publishing

### 3.1.4. Diskrétní konvoluce

$$g(i,j) = \sum \sum f(i-m,j-n) \cdot h(m,n)$$

h - maska

Pozn.: někdy se setkáme s problémem, jak počítat konvoluci co nejrychleji (např. při požadavku na zpracování v reálném čase). Tento problém částečně řeší tzv. box – algorithm (Šlesinger)

### 3.1.5. Vyhlažování (filtrace)

- cíl: potlačení šumu
- aditivní šum v s  $\mu = 0$

myšlenka :

$$n \text{ bodů (okolí)} \quad f_i' = f_i + v_i$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i' = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_n}{n} + \underbrace{\frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}}_{\rightarrow 0}$$

- průměrování přes více snímků  
 $f_k$  – obrazová funkce k-tého snímku  
 n...řádově desítky ( 30 až 50 )

$$g(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_k(i, j)$$

- lokální průměrování - v daném okolí  
 nevýhoda : rozostří se hrany, ztratí se detaily  $\Rightarrow$  velikost masky by měla být menší, než je nejmenší detail v obraze, který chceme zachovat

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

a) rovnoměrná maska

$$h = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

b) zvýhodnění středového bodu

$$h = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

c) zvýhodnění středového bodu a bodů v hlavních směrech

$$h = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

d) znevýhodnění středového bodu

c) a d) mají navíc výhodu výpočetní rychlosti, neboť dělení 8 nebo 16 lze v počítači realizovat jako bitový posun o 3 popř. 4 bity a tedy velmi rychle

- výběrové kvantily – výsledkem filtrace je MEDIÁN jasu v daném okolí
  - řeší problém výskytu jedné nebo více vychýlených hodnot
  - je nelineární
  - porušuje tenké čáry a trhá rohy

př.:

$$f = \begin{bmatrix} 100 & 90 & 85 \\ 93 & 99 & 110 \\ 154 & 86 & 79 \end{bmatrix},$$

79 85 86 90 [93] 99 100 110 154  
seřadíme vzestupně, prostřední prvek je medián

- maximální zastoupení- výsledkem filtrace je jas, který se v daném okolí vyskytuje nejčastěji

př.:

$$f = \begin{bmatrix} 93 & 90 & 85 \\ 93 & 99 & 93 \\ 86 & 86 & 99 \end{bmatrix},$$

[93,93,93] [86,86] [99,99] 90 85  
seřadíme podle četnosti, vybereme nejčetnější prvek vzestupně

problém: více prvků se stejnou četností (2x3, 3x2 apod.)

### 3.1.6. Gradientní operátory

- též diferenciální operátory, hranové detektory
- detekce nespojitosti šedé úrovně v obraze
- lze využít pro segmentaci
- požadavky: velikost gradientu, směr gradientu

Gradient

- ve spojitém případě

$$|gradg| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\partial g}{\partial y} / \frac{\partial g}{\partial x}\right)$$



$$|\text{grad}g| = \sqrt{(\Delta_x g)^2 + (\Delta_y g)^2}$$

- v diskretním případě

$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{\Delta_y g}{\Delta_x g}\right)$$

$$\Delta_x g(i,j) = g(i,j) - g(i-1,j)$$

$$\Delta_y g(i,j) = g(i,j) - g(i,j-1)$$

3 typy gradientních operátorů

### 3.1.6.1. Aproximace derivací diferencemi (1. a 2.)

Gradientní operátory

- Roberts

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$g(i,j) = |f(i,j) - f(i+1,j+1)| + |f(i,j+1) - f(i+1,j)|$$

- Laplace

$$h = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

aproximace Laplaceova operátoru

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

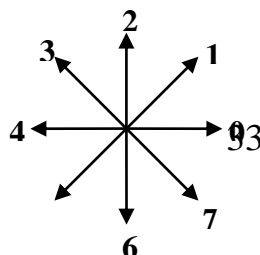
$$\Delta_x^2 f(i,j) = f(i,j+1) + f(i,j-1) - 2f(i,j)$$

$$\Delta_y^2 f(i,j) = f(i+1,j) + f(i-1,j) - 2f(i,j)$$

$$\nabla^2 f(i,j) = \Delta_x^2 f(i,j) + \Delta_y^2 f(i,j) = f(i,j+1) + f(i,j-1) + f(i+1,j) + f(i-1,j) - 4f(i,j)$$

- udává pouze velikost hrany, ale ne její směr. Chceme-li znát i směr hrany, použijeme směrově závislý gradientní operátor.

označíme směry :



Obr. 33

$$|\text{grad } g| = \max\{g^* h_k\} \quad k = 0..7$$

$$\varphi = k^* = \text{argmax}\{g^* h_k\} \quad \dots \quad \text{získáme směr hrany}$$

### 3.1.6.2. Srovnání s parametrickým modelem hran

#### ✧ *Prewitt*

$$h_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad h_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$h_4 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad h_5 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad h_6 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad h_7 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

#### ✧ *Sobel*

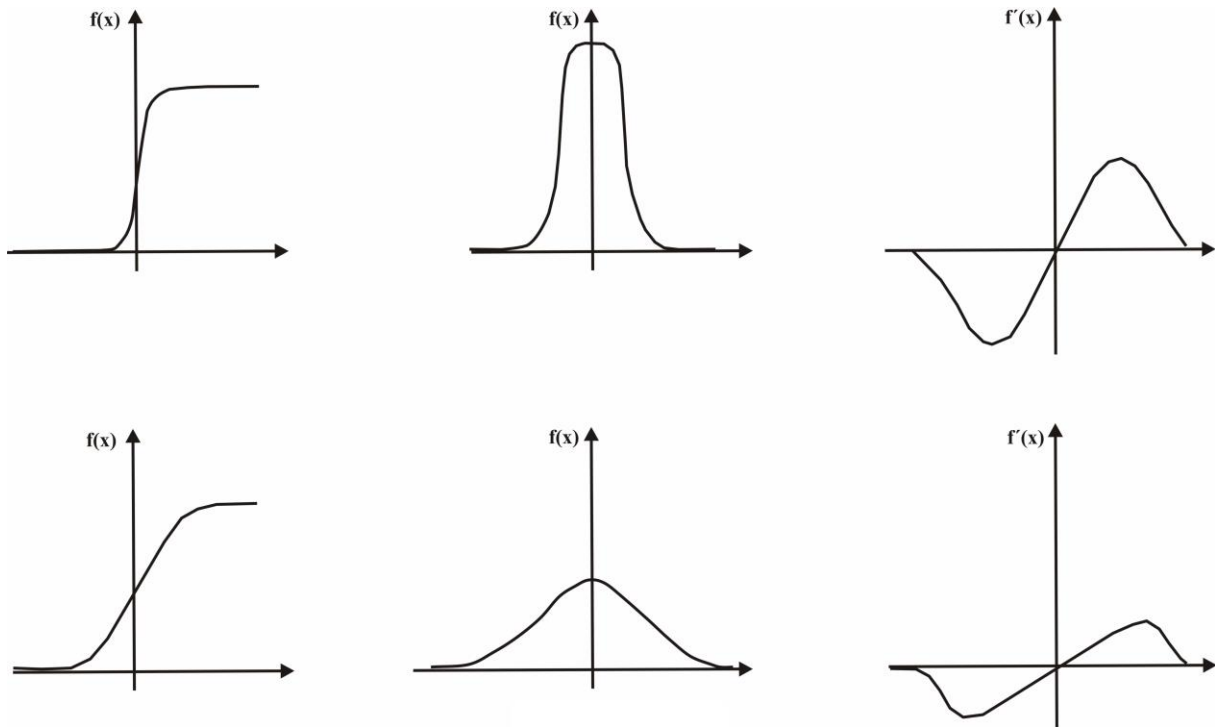
$$h_0 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad h_1 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad h_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$h_4 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad h_5 = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad h_6 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad h_7 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

✧ **Kirsch**

$$\begin{aligned}
 h_0 &= \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & -5 \end{bmatrix} & h_1 &= \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & -5 \\ 3 & -5 & -5 \end{bmatrix} & h_2 &= \begin{bmatrix} 3 & 3 & -5 \\ 3 & 0 & -5 \\ 3 & 3 & -5 \end{bmatrix} & h_3 &= \begin{bmatrix} 3 & -5 & -5 \\ 3 & 0 & -5 \\ 3 & 3 & 3 \end{bmatrix} \\
 h_4 &= \begin{bmatrix} -5 & -5 & -5 \\ 3 & 0 & 3 \\ 3 & 3 & 3 \end{bmatrix} & h_5 &= \begin{bmatrix} -5 & -5 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ 3 & 3 & 3 \end{bmatrix} & h_6 &= \begin{bmatrix} -5 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & 3 & 3 \end{bmatrix} & h_7 &= \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & 3 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

**3.1.6.3. Marrova teorie hranové detekce (průchody nulou 2. derivace obrazové funkce)**



**Obr. 34**

Masky pro detekci čáry

$$\begin{aligned}
 h_0 &= \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & h_1 &= \begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix} & h_2 &= \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} & h_3 &= \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Masky pro detekci bodu

$$h = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

### 3.1.7. Frekvenční analýza

#### 3.1.7.1. Fourierovy řady:

pro periodické signály  
periodický signál  $y(t)$  s periodou  $T$  lze vyjádřit jako součet sinů a kosinů frekvencí, jež jsou násobkem základní frekvence  $f=1/T$

$$y(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ A_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t\right) + B_n \sin\left(n \frac{2\pi}{T} t\right) \right]$$

#### 3.1.7.2. Fourierova transformace:

existuje vždy – je zobecněním Fourierových řad na nekonečný interval  
Fourierova transformace pro dvě proměnné (2D)

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot e^{(-2\pi i \cdot (xu + yv))} dx dy$$

$u, v \dots$  plošné frekvence

vztah Fourierovy transformace a konvoluce

Fourierova transformace konvoluce je součin a součinu je konvoluce

$$h(x, y) = f(x, y) * g(x, y) \Rightarrow H(u, v) = F(u, v) \cdot G(u, v)$$

$$H(u, v) = F(u, v) * G(u, v) \Rightarrow h(x, y) = f(x, y) \cdot g(x, y)$$

#### 3.1.7.3. Diskrétní Fourierova transformace (DFT):

Používá se k výpočtu Fourierovy transformace vzorkované (diskrétní) funkce v diskrétních frekvenčních bodech

$$F(u, v) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} f(n, m) \cdot e^{\left(-2\pi i \cdot \left(\frac{nu}{N} + \frac{mv}{M}\right)\right)}$$

DFT je výpočetně velmi náročná

#### 3.1.7.4. Rychlá Fourierova transformace (FFT):

Rychlý algoritmus výpočtu Fourierovy transformace

### 3.1.8. Restaurace obrazu

Technika předzpracování, která se snaží potlačit porušení obrazu na základě znalosti charakteru poruchy nebo jejího odhadu. Postupy obnovení se opírají o konvoluci realizovanou pro celý obraz. Většina metod pracuje ve frekvenční oblasti a využívá Fourierových spekter celého obrazu.

**Příčiny vad / degradací obrazů:**

- vady optické soustavy
- nelinearita opticko-elektrického čidla
- nelinearita nebo zrnitost filmového materiálu
- vzájemný pohyb snímače obrazu a předmětu
- nevhodné zaostření
- turbulence atmosféry (dálkový průzkum Země, astronomie)

**Obnovení** – odhad původního obrazu při znalosti jeho degradace

**Postupy:**

*deterministické:*

hodí se pro obrazy bez šumu; vypočítávají původní obraz pomocí transformace inverzní k degradační transformaci. Jednou z deterministických metod je inverzní filtrace.

*stochastické:*

odhadují originální obraz z obrazu zatíženého šumem. Pro obnovení se hledá nejlepší filtr pomocí metod stochastických modelů. Kritériem optimality je některá míra odlišnosti původního obrazu a obrazu, který byl odhadnut metodou obnovení.

**Modely degradace obrazu**

$g$  – dostupný degradovaný obraz

$f$  – originální obraz (obvykle nedostupný)

$$g(i, j) = S \left( \iint_{a,b \in O} f(a, b) \cdot h(a, b; i, j) da db \right) + v(i, j)$$

kde:

$S$  – nějaká lineární funkce, často  $S = 1$

$v$  - aditivní šum

Po Fourierově transformaci:

$$G(u, v) = F(u, v) \cdot H(u, v) + N(u, v)$$

**Metoda inverzní filtrace**

$$F(u, v) = G(u, v) \cdot H^{-1}(u, v) - N(u, v) \cdot H^{-1}(u, v)$$

kde:

$H$  – má často prvky  $h_{ij} \rightarrow 0$

$NH^{-1}$ - může být  $\gg F$  lepší řešení – Wienerův filtr

## Wienerův filtr

### Degradační model

$$g(i, j) = \iint_{-\infty}^{\infty} h(i-a, j-b) \cdot f(a, b) da db + v(i, j)$$

kde:

$v$  – šum; není znám, pouze jeho statistické parametry

$\Rightarrow$  potřebujeme odhadovat  $\rightarrow \hat{f}(i, j)$

$$F(u, v) = H_w(u, v) \cdot G(u, v)$$

$$H_w(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \frac{S_{vv}(u, v)}{S_{ff}(u, v)}}$$

kde  $H^*$  je komplexně sdružené spektrum

$S_{vv}$  je spektrální hustota šumu

$S_{ff}$  je spektrální hustota nedegradované funkce

pro  $S_{vv}(u, v) = 0$  (deterministický případ)  $\rightarrow$  inverzní filtr

## Jednoduché degradace

### 1. vzájemný pohyb kamery a objektu

(konečný čas expozice)

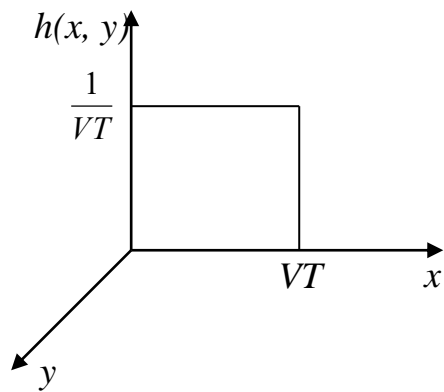
objekt  $f(x, y)$  se pohybuje rovnoměrně ve směru  $x$  rychlostí  $V$ ; doba expozice

$T$ , pozorovaný obraz  $g(x, y)$ :

$$g(x, y) = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T f(x - Vt, y) dt = \left/ \begin{array}{l} \text{substituc} \\ \alpha \triangleq Vt \\ \alpha_0 \triangleq VT \end{array} \right/ = \frac{1}{\alpha_0} \cdot \int_0^{\alpha_0} f(x - \alpha, y) dx =$$

$$= \frac{1}{\alpha_0} \cdot \iint_{-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{x}{\alpha_0} - \frac{1}{2}\right) \cdot \delta(\beta) \cdot u(x - \alpha, y - \beta) dx d\beta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{h(x, y) = \frac{1}{\alpha_0} \cdot \text{rect}\left(\frac{x}{\alpha_0} - \frac{1}{2}\right) \cdot \delta(y)}}$$



$$H(u, v) = \frac{\sin(\pi VT u)}{\pi V u}$$

## 2. špatné zaostření

$$H(u, v) = \frac{J_1(ar)}{ar}$$

$a$  – vzdálenost od správného zaostření

$J_1$  – Besselova funkce prvního řádu

$$r^2 = u^2 + v^2$$

## 3.2. Segmentace

**VSTUP:** INTENZITNÍ OBRAZ

**VÝSTUP:** OBRAZ ROZČLENĚNÝ NA ČÁSTI, KTERÉ MAJÍ SOUVISLOST S OBJEKTY REÁLNÉHO SVĚTA

### *Kompletní segmentace*

- ♦ vytvořené oblasti jednoznačně korespondující s objekty ve vstupním obraze
- ♦ obecně nezbytná spolupráce s vyšší úrovní zpracování, využití znalostí o řešeném problému
- ♦ v případě, kdy je obraz tvořen kontrastními objekty na pozadí konstantního jasu – dobré výsledky kompletní segmentace i na nižší úrovni zpracování
- ♦ **Příklad:** text, krevní buňky, počítání šroubků

### *Částečná segmentace*

- ♦ vytvořené oblasti jsou homogenní vzhledem k určitým zvoleným vlastnostem (jas, barva, textura, apod.)
- ♦ oblasti se obecně mohou překrývat
- ♦ je třeba aplikovat další postupy na vyšší úrovni zpracování
- ♦ **Příklad:** scéna s polem a lesem při pohledu z okna – po segmentaci neodpovídá objektu jedna oblast

### \* *Pro segmentaci se využívá znalost o řešeném problému*

- čím více, tím lépe

- *možnosti:*

- ♦ předpokládaný tvar
- ♦ předpokládaná pozice, orientace
- ♦ znám počáteční a koncový bod hranice
- ♦ vztah oblasti k ostatním oblastem s požadovanými vlastnostmi

- *příklady:*

- hledání lodí na moři
- typické vlastnosti železničních tratí, dálnic (např. maximální zakřivení, ap.)
- řeky se neprotínají

### \* *Segmentační techniky*



- prahování
- určování / hledání hranic mezi oblastmi
- vytváření oblasti
- srovnávání se vzorem
- texturní segmentace

### 3.2.1. Prahování

- ⊕ nejjednodušší a nejstarší metoda segmentace
- ⊕ nejčastěji používaná
- ⊕ nenáročná hardwarová realizace
- ⊕ nejrychlejší metoda, lze provádět v reálném čase
- ⊖ volba prahu – úloha, kterou lze obecně jen velmi obtížně provádět automaticky
- ⊖ lze použít pouze na určitou třídu obrazů (objekty a pozadí jsou jasově snadno rozlišitelné)

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } f(i, j) \geq T \\ 0 & \text{pro } f(i, j) < T \end{cases}$$

T – práh ( *threshold* ) – předem určená konstanta

#### Určení prahu

- ♦ *interaktivně* – manuálně obsluhou
- ♦ *automaticky*
- ♦ někdy nelze použít jednu hodnotu prahu na celý obraz (vliv např. nerovnoměrného osvětlení)

#### Modifikace

$$♦ \quad g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } f(i, j) \in D \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

D – množina jasů odpovídajících pozadí

**Př.:** snímky krevních buněk – cytoplazma se jeví v určitém intervalu jasů, pozadí je světlejší, jádro je tmavší

- ♦ *prahování více prahy*

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } f(i, j) \in D_1 \\ 2 & \text{pro } f(i, j) \in D_2 \\ \vdots & \\ n & \text{pro } f(i, j) \in D_n \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

$$D_i \cap D_j = 0 \quad i \neq j$$

♦ *poloprahování*

$$g(i, j) = \begin{cases} f(i, j) & \text{pro } f(i, j) \in D \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

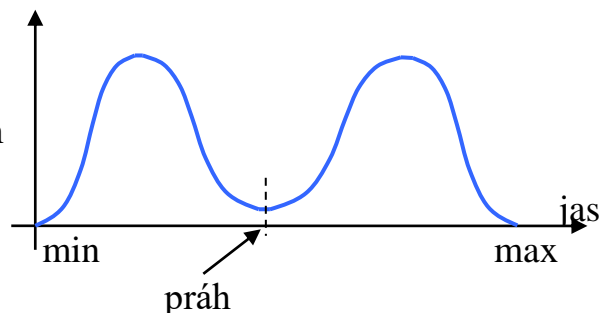
- odstraníme pozadí, v objektech však zachováme rozložení jasů
- používá se při vizuálním hodnocení výsledků člověkem

$f(i, j)$  nemusí být pouze jasová funkce (např. hodnota gradientu, lokální texturní vlastnosti, ap.)

### 3.2.1.1. Metody určování prahu

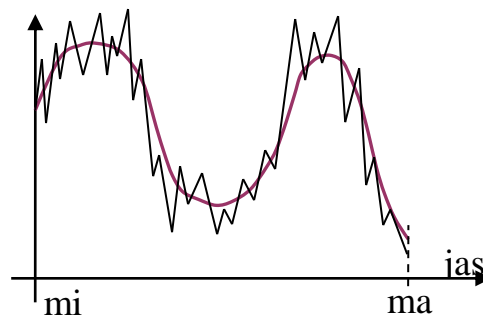
♦ *Histogram*

ideální bimodální histogram



Hledáme lokální minimum mezi dvěma největšími dostatečně vzdálenými lokálními maximy. Často nelze rozhodnout jednoznačně o významu lokálních maxim a minim

(vyhlazování histogramu)



♦ *Procentní prahování*

Máme apriorní znalost o tom, kolik procent plochy obrazu pokrývají objekty (např. průměrné pokrytí plochy stránky textem se pohybuje kolem 5 %). Práh potom nastavíme tak, aby právě tolik procent obrazových bodů mělo barvu objektů, zbytek barvu pozadí.

### 3.2.2. Segmentace na základě detekce hran

**Hrany** – místa obrazu, kde dochází k určité nespojitosti, většinou v jasů, ale také v barvě, textuře, apod.

*Obraz hran* vznikne aplikací některého *hranového operátoru*.

V dalším zpracování spojujeme hrany do řetězců, které lépe odpovídají průběhu hranic.

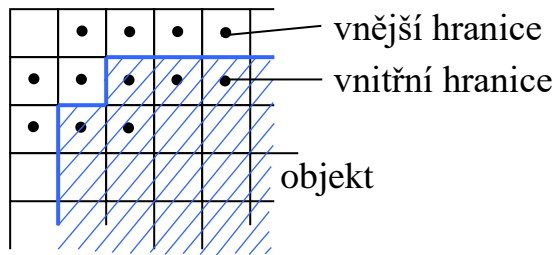
- \* Pokud *je* k dispozici nějaká *apriorní informace*, jsou hrany a jejich vztahy k ostatním částem určeny tak, aby splňovaly podmínky dané touto apriorní informací.
- \* Pokud *není apriorní informace* k dispozici, musí segmentační metoda brát v úvahu lokální vlastnosti obrazu spolu s obecnými znalostmi specifickými pro určitou aplikační oblast.

#### ***Prahování obrazu hran***

- ♦ obvykle jen velmi málo míst v obraze má nulovou hodnotu velikosti hrany. Důvodem je přítomnost šumu
- ♦ metoda prahování obrazu hran potlačí nevýrazné hrany malé velikosti a zachová pouze významné hrany (význam slov „malé“, „významné“ souvisí s velikostí prahu)
- ♦ hodnotu prahu lze určovat např. metodami procentního prahování
- ♦ někdy se aplikuje následné zpracování výsledku – např. vypuštění hran kratších než jistá hodnota

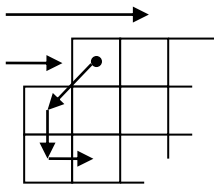
#### ***Sledování hranice***

- ♦ používá se v případě, kdy není znám tvar hranice, ale kdy byly určeny oblasti
- ♦ cílem může být určení vnitřní nebo vnější hranice



### **Postup:**

- procházíme obraz po řádcích, dokud nenalezneme obrazový element, náležící nové oblasti
- pak procházíme body, které jsou částí hranice proti směru hodinových ručiček



### **Určení hranice s využitím znalosti její polohy**

předpokládáme informaci o předpokládané nebo pravděpodobné poloze a tvaru hranice, získanou např. díky znalostem vyšší úrovně nebo jako výsledek segmentačních metod aplikovaných na obraz nižšího rozlišení

Jednou z možností je určovat polohu hranice jako polohu významných hranových buněk, které se nacházejí v blízkosti předpokládaného umístění hranice a které mají směr blízký předpokládanému směru hranice v daném místě. Podaří-li se najít dostatečný počet obrazových bodů, vyhovujících těmto podmínkám, je těmito body proložena vhodná aproximační křivka – *zpřesněná hranice*.

Jiná možnost nastane, pokud známe koncové body hranice a předpokládáme malý šum a malé zakřivení hranice. Možný přístup je postupné dělení spojnic již detekovaných sousedních elementů hranice a hledání dalšího hraničního elementu na normále vedené středem této spojnice. Hranový element, který je nejbližší spojnicí dosud detekovaných bodů a má nadprahovou velikost hrany, je považován za nový element hranice a iterační proces se opakuje.

### **3.2.3. Segmentace narůstáním oblastí ( region growing )**

Lze uplatnit v obrazech se šumem, kde se obtížně hledají hranice

Významnou vlastností **HOMOGENITA**

Rozdělení obrazu do maximálních souvislých oblastí tak, aby tyto oblasti byly z určitého hlediska homogenní.

### ***Kritérium homogenity***

- ♦ založeno na jasových vlastnostech, komplexnějších způsobech popisu nebo dokonce na vytvářeném modelu segmentovaného obrazu
- ♦ většinou pro oblasti požadujeme splnění těchto podmínek:

$$(1) H(R_i) = TRUE \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, I$$

$$(2) H(R_i \cup R_j) = FALSE \quad \text{pro } i, j = 1, 2, \dots, I \quad i \neq j \quad R_i \text{ sousedí s } R_j$$

Kde:

$I$  .... počet oblastí

$R_i$  .... jednotlivé oblasti

$H(R_i)$  .... dvouhodnotové vyjádření kritéria homogenity

→ oblasti musí být (1) homogenní a (2) maximální

### ***Spojování oblastí***

Nejpřirozenější metoda spojování oblastí vychází z počátečního rozložení, kdy každý obrazový element představuje samostatnou oblast, čímž při splnění (1) nesplní (2). Dále spojujeme vždy dvě sousední oblasti, pokud oblast vzniklá spojením těchto dvou oblastí bude vyhovovat kritériu homogenity.

Výsledek spojování závisí na pořadí, v jakém jsou oblasti předkládány k spojování.

Nejjednodušší metody vycházejí z počáteční segmentace obrazu na oblasti 2x2, 4x4 nebo 8x8.

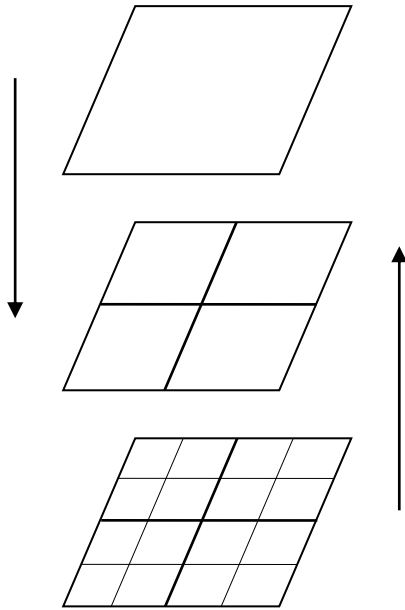
Popis většinou založen na statistických jasových vlastnostech (histogram jasu v oblasti).

Popis oblasti je srovnáván pomocí statistických testů s popisem sousední oblasti. Při shodě dojde se spojení obou oblastí a vznikne nová oblast. V okamžiku, kdy nelze spojit žádné dvě oblasti, proces končí.

### ***Štěpení a spojování (split and merge)***

Může zachovat dobré vlastnosti obou uvedených přístupů.

Využívá pyramidální reprezentaci obrazu. Oblasti jsou čtvercové a odpovídají elementu dané úrovně pyramidální datové struktury.



Na počátku určíme nějaké počáteční rozložení obrazu.

Platí-li pro oblast  $R$   $i$ -té úrovně pyramidální struktury  $H(R) = FALSE$  (oblast není homogenní), rozdělíme  $R$  na 4 oblasti  $(i + 1)$ .úrovně.

Existují-li sousední oblasti  $R_i$  a  $R_j$  takové, že  $H(R_i \cup R_j) = TRUE$ , spojíme  $R_i$  a  $R_j$  do jedné oblasti.

Nelze-li žádnou oblast spojit ani rozdělit, algoritmus končí.

### 3.2.4. Segmentace srovnáváním se vzorem ( template matching )

- ♦ úloha má za úkol nalézt známé objekty (vzory) v obraze. Objekty (vzory) mají většinou charakter obrazu.
- ♦ další možnosti kromě hledání objektů – srovnávání dvou snímků z různých míst (*stereoskopie*), určování relativního pohybu objektů
- ♦ pokud by obraz byl bez šumu, úloha by byla velmi snadná, protože bychom v obraze našli přesnou kopii hledaného vzoru
- ♦ jako míru souhlasu většinou používáme vzájemnou korelaci:

$$C_1(u, v) = \frac{1}{\max_{(i, j) \in V} |f(i+u, j+v) - h(i, j)|}$$

$$C_2(u, v) = \frac{1}{\sum_{(i, j) \in V} |f(i+u, j+v) - h(i, j)|}$$

$$C_3(u, v) = \frac{1}{\sum_{(i, j) \in V} |f(i+u, j+v) - h(i, j)|^2}$$

Testujeme souhlas obrazu  $f$  se vzorem  $h$  umístěným v poloze  $(u, v)$ . Pro každou polohu vzoru  $h$  v obraze  $f$  určíme hodnotu míry souhlasu vzoru s danou částí obrazu

- ♦ lokální maxima, která jsou větší než určený práh, reprezentují polohu v obraze
- ♦ problémy nastanou, pokud se vzor v obraze vyskytuje natočený, s jinou velikostí nebo s geometrickým zkreslením. V takovém případě bychom museli testovat míru souhlasu pro všechna možná natočení, velikosti, geometrická zkreslení ap. Tento problém lze částečně řešit v případě, kdy je hledaný vzor složen z několika částí spojených pružnými spojkami. Pak testujeme nejprve jednotlivé (menší) části a pak teprve hledáme pružná spojení
- ♦ metodu lze urychlit zrychleným prováděním testů v hrubším rozlišení a v místě lokálního maxima pak přesným doměřením polohy  $(u, v)^*$ , pro kterou nastává největší hodnota míry souhlasu vzoru s částí obrazu.

### 3.3. Popis objektů

Cílem popisu je určit:

- ♦ číselný vektor příznaků
- ♦ nečíselný syntaktický popis

charakterizující tvarové i jiné vlastnosti popisovaného objektu. Takový popis objektu/oblasti je potom předkládán klasifikátoru k rozpoznání.

Tvarové vlastnosti jsou ve většině případů určovány jen dvourozměrně.

#### *Problematika definice tvaru*

Dosud se o tvaru hovořilo nejčastěji slovně (kulatý, podlouhlý, s ostrými rohy) nebo pomocí obrázků. S nástupem počítačů vyvstala potřeba popsat i složité tvary tak, aby s nimi mohla výpočetní technika pracovat.

Přes existenci řady prakticky použitelných metod popisu tvaru nebyla dosud vytvořena obecná metodologie, dosavadní přístupy mají své klady i zápory.

### ***Rozdělení:***

charakter vstupní reprezentace:

- ♦ oblast
- ♦ hranice

zachování informace:

- ♦ lze rekonstruovat tvar objektu
- ♦ nelze

metody:

- ♦ matematické
- ♦ heuristické

způsob reprezentace vede k popisu

- ♦ příznakovému
- ♦ syntaktickému

### **3.3.1. Identifikace oblastí**

- ♦ je nutným předpokladem k popisu
- ♦ možnost jednoznačné odvolávky / ukazatele na každou oblast obrazu

#### ***Obvyklá metoda:***

každou oblast opatříme neopakujícím se přirozeným číslem – pozadí má číslo 0, oblastem jsou přiřazena čísla od 1, takže největší identifikační číslo oblasti udává počet oblastí v obraze; tato identifikace bývá nazývána *barvením*

#### ***3.3.1.1. Jiná možnost barvení oblastí:***

Použijeme menší počet identifikačních čísel; pouze zajistíme, aby žádné dvě **sousední** oblasti neměly **stejně** identifikační číslo; teoreticky stačí čtyři barvy / čísla pro takové obarvení; pro identifikaci oblastí je pak třeba mít pro každou oblast uloženou informaci o poloze některého jejího bodu.

#### ***3.3.1.2. Barvení je sekvenční proces***

##### *první průchod*

procházíme obraz po řádcích a každému nenulovému obrazovému elementu přiřadíme hodnotu podle hodnoty všech jeho již obarvených sousedů



- jsou-li všechny nulové, přiřadíme bodu dosud nepřidělenou barvu
- pokud je jeden nenulový, nebo je více nenulových, ale se stejnou barvou, přiřadíme bodu tuto jeho/jejich barvu
- pokud je více nenulových s různou barvou, přiřadíme bodu jednu z těchto barev a zaznamenejme barvy do tzv. *tabulky ekvivalence barev* (došlo k tzv. *kolizi barev*)

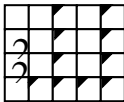
- ♦ maska pro 4-okolí



- ♦ maska pro 8-okolí



- ♦ kolize barev (4-okolí)



**Pozn.:** ke kolizi barev dochází v praxi velmi často –

- u objektů tvaru:

*druhý průchod*

projdeme znovu celý obraz po řádcích a přebarvíme obrazové body kolizních barev podle *tabulky ekvivalence barev* → každé oblasti odpovídá označení jedinou, v jiné oblasti se nevyskytující barvou

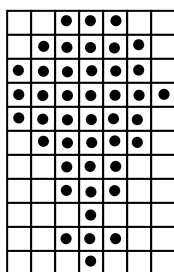
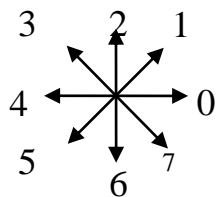
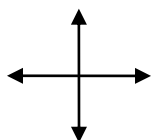
Chceme-li barvením zároveň zjistit počet objektů, musí být při přebarvování přidělovány barvy z množiny přirozených čísel vzestupně tak, aby žádné nebylo vynecháno.

### 3.3.2. Popis tvaru na základě hranice oblastí

#### 3.3.2.1. Freemanovy řetězové kódy

Hranice je určena počátečním bodem a posloupností symbolů odpovídajících úsečkám jednotkové délky.

*Přiřazení symbolů jednotlivým směrům*



5566776757131212132344

Má-li být popis uzavřených hranic použit pro porovnání, musí být nezávislý na volbě počátečního bodu popisu. Jednou z užívaných metod je určit počáteční bod popisu tak, aby řetěz interpretovaný jako číslo v osmičkové (čtyřkové) soustavě bylo nejmenší číslo ze všech možných řetězů reprezentujících hranici.

1212132344556677675713

Otočení o  $k$  – násobek  $45^\circ$  ( $90^\circ$ ) – přičtení  $k$  ke každému symbolu řetězu *modulo* 8 (4)

Má-li být popis nezávislý na natočení, lze použít derivaci (1. *diferenci modulo* 8 (4)), což je posloupnost čísel, která ukazují změny směru hranice.

0101071622261717271101

diferenční nezávislý na volbě počátečního bodu

0101010716222617172711

*Freemanův řetězový kód* lze použít také k popisu skeletu.

Tento popis je vhodný pro syntaktické (strukturální) metody rozpoznávání.

### 3.3.2.2. Jednoduché geometrické popisy hranice

*Délka* – základní vlastností hranice

nejjednodušší případ – založen na reprezentaci *Freemanovým kódem*, sudé posuvy (horizontální a vertikální) jsou ohodnoceny délkou 1, liché (diagonální) délkou  $\sqrt{2}$

délka uzavřené hranice – *obvod oblasti*

**Pozn.:** délka bude větší v 4-okolí, protože diagonální posuvy jsou ohodnoceny 2

### ***Přímost hranice***

Poměr mezi celkovým počtem buněk hranice a počtem buněk, ve kterých hranice mění směr.

### **3.3.2.3. Popis hranice posloupností segmentů**

#### ***polygonální popis***

Jednou z variant je popis *posloupností segmentů* daných vlastností. Je-li znám typ každého segmentu, je hranice popsána řetězem typů segmentů – vhodné pro syntaktické rozpoznávání.

Polygonální popis aproximuje oblast *mnohouhelníkem*, oblast je reprezentována jeho vrcholy. Segmenty jsou v tomto případě úseky, které lze nahradit úsečkou (lze použít aproximace s různou přesností).

#### ***Postup nahrazování přímkovými úseky***

- k segmentu jsou postupně přidávány body (úseky) hranice, dokud segment neztratí přímkový charakter. V tomto případě je založen nový segment.
- opačný přístup – ***rekurzivní štěpení***. Vycházíme z koncových bodů a dělíme hranici na menší úseky tak dlouho, až všechny segmenty mají přímkový charakter (vyjádřený kritériem)

Popis úseky *konstantního zakřivení*. K přímkovým úsekům přibudou úseky, které lze nahradit polynomiální aproximací druhého řádu – části kružnic, elips atd. Výsledný popis je opět řetěz *primitiv* (typ úseků) vhodný pro syntaktické rozpoznávání

### **3.3.3. Reprezentace a popis tvaru vycházející z oblasti obrazu**

#### ***Jednoduché, heuristikami motivované postupy:***

*velikost, pravoúhlost, podlouhlost, apod.*

Tyto charakteristiky jsou jednoduché a dávají dobré výsledky pro jednoduché tvary, pro složitější tvary však selhávají a je třeba volit postupy, které složité oblasti nejprve rozdělí na jednodušší části, které lze pospat samostatně. Objekt složený z takových částí lze popsat např. *rovinným grafem*, jehož uzly odpovídají částem vzniklým dekompozicí objektu. Dvě možné cesty – *kostra* nebo *dekompozice* (např. pomocí získávání konvexních podoblastí) → vytvoření grafu s uzly vázanými nějakou relací sousednosti.

#### ***Výhody reprezentace oblastí grafem***

- ♦ nezávislost na poloze a natočení, přitom obě vlastnosti mohou být do popisu grafem zahrnuty
- ♦ necitlivost vůči konkrétnímu provedení daného tvaru

- ♦ nezávislost na velikosti (pokud nedochází ke kolizi s rozlišením obrazu)
- ♦ člověku blízká tvarová reprezentace, ze které lze snadno určit významné prvky popisu
- ♦ vhodná pro syntaktické rozpoznávání

Z uvedených vlastností plyne i složitost získávání tvarového popisu. Chceme-li se přiblížit skutečnému počítačovému vidění, jiné cesty pravděpodobně není.

### 3.3.3.1. Jednoduché skalární popisy oblastí

Většinou vedou k příznakovému popisu oblastí v jednoduchých úlohách, ale může jich být využito i ve složitějších úlohách např. pro popis jednotlivých dekomponovaných částí objektu.

#### **Velikost**

- ♦ nejjednodušší a zcela přirozená vlastnost
- ♦ dána počtem obrazových elementů, obsažených v oblasti
- ♦ při znalosti velikosti obrazového bodu, lze zjistit i skutečnou velikost oblasti (velikost bodu nemusí být stejná pro všechny body obrazu – např. družicový snímek)

*Výpočet velikosti v obarveném obraze:*

$$\text{velikost} = \sum_i \sum_j g(i, j, p)$$

$$g(i, j, p) = \begin{cases} 1 & \text{pro } f(i, j) = p \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

$p$  – barva (identifikační číslo)

#### **Eulerovo číslo**

$$E = S - N$$

$S$  – počet souvislých částí oblasti

$N$  – počet děr

#### **Projekce, výška, šířka**

*horizontální projekce:*

$$p_H(i) = \sum_j g(i, j, p)$$

vertikální projekce:

$$p_v(j) = \sum_i g(i, j, p)$$

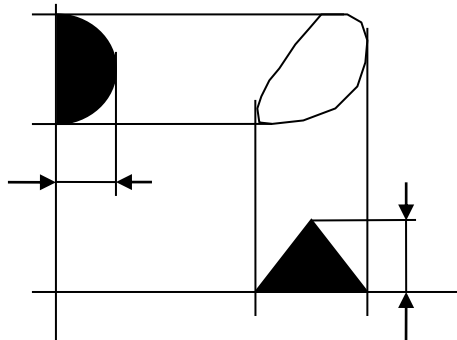
$p$  – číslo oblasti

výška:  $v = \max_j p_v(j)$

šířka:  $\check{s} = \max_i p_H(i)$

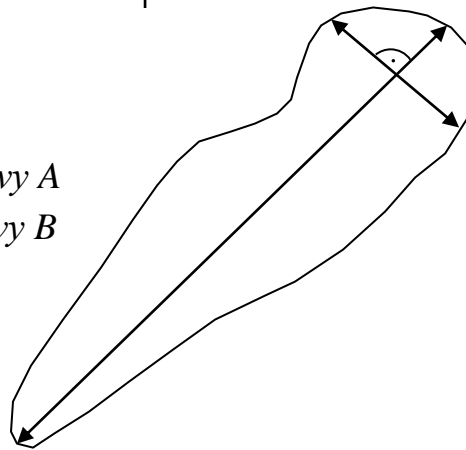
**Feretovy průměty** – pro určitý úhel pohledu.

Nejprve se provede rotace objektu o daný úhel a pak se spočítá horizontální projekce.



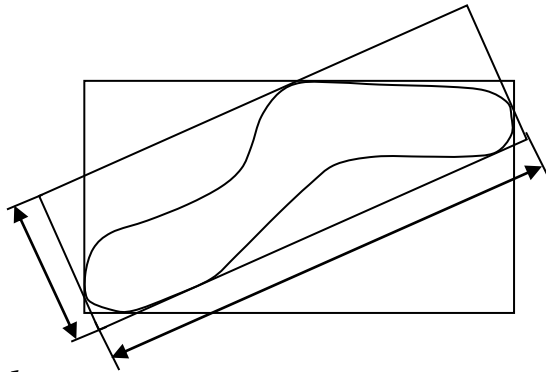
**Výstřednost**

poměr délek *nejdelší tětivy A*  
a *nejdelší k ní kolmé tětivy B*



**Podlouhlost**

poměr mezi délkou a šířkou pravoúhelníku opsaného oblasti, který má nejmenší plochu ze všech pravoúhelníků, které lze oblastí opsat



### ***Pravoúhlost***

$F_k$  – poměr mezi velikostí oblasti a plochou opsaného pravoúhelníka ve směru (natočení)  $k$

$k$  měníme diskrétně, postačí měnit v rozmezí  $0^\circ$ -  $90^\circ$

$$\text{pravoúhlost} = \max_k F_k$$

$$\text{pravoúhlost} \in (0,1)$$

pravoúhlost = 1 - *dokonale pravoúhlá oblast*

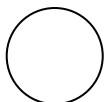
### ***Směr***

- ♦ má smysl jen pro podlouhlé oblasti
- ♦ směr delší strany opsaného obdélníku použitého pro výpočet podlouhlosti / pravoúhlosti

### ***Nekompaktnost***

$$\text{nekompaktnost} = \frac{(\text{délka hranice oblasti})^2}{\text{velikost}}$$

nejkompaktnější v Euklidově prostoru – *kruh*



### 3.3.3.2. Momentový popis

Interpretujeme normalizovanou jasovou funkci obrazu jako hustotu pravděpodobnosti dvojrozměrné náhodné veličiny.

Vlastnosti této veličiny lze vyjádřit pomocí statistických vlastností – *momentů*

Lze použít pro binární i šedotónové obrazy

#### **Obecný moment**

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q \cdot f(x, y) dx dy$$

v digitálních obrazech:

$$m_{pq} = \sum_i \sum_j i^p j^q \cdot f(i, j)$$

není invariantní vůči změně velikosti, natočení, posunutí, ani šedotónovým transformacím

#### **Centrální moment**

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - x_t)^p \cdot (y - y_t)^q \cdot f(x, y) dx dy$$

v digitálních obrazech:

$$\mu_{pq} = \sum_i \sum_j (i - i_t)^p \cdot (j - j_t)^q \cdot f(i, j)$$

$$x_t = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad y_t = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

$$i_t = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad j_t = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

je invariantní vůči posunu

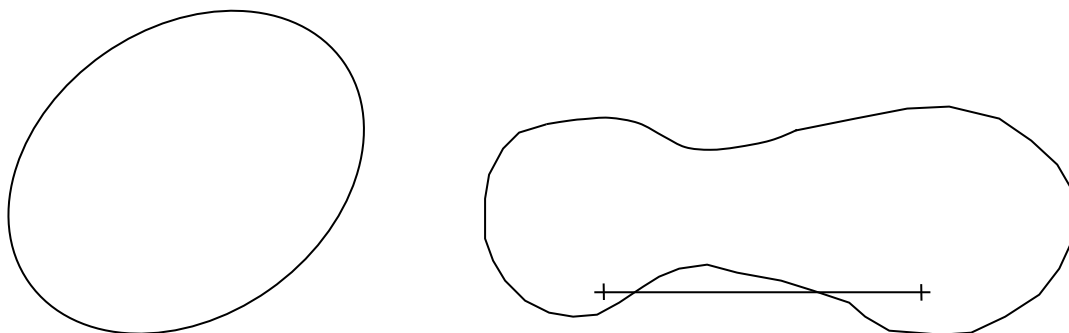
#### **Normovaný centrální moment**

$$g_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^\gamma} \quad \gamma = \text{celá část} \left( \frac{p+q}{2} \right) + 1$$

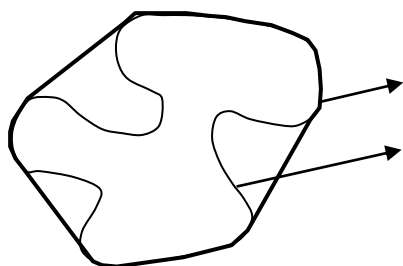
je navíc invariantní vůči změně měřítka

### 3.3.3.3. Konvexní obal

Oblast  $R$  je *konvexní* právě tehdy, když pro každé dva body  $x_1, x_2 \in R$  platí, že všechny body úsečky  $x_1 x_2$  také patří do  $R$ .

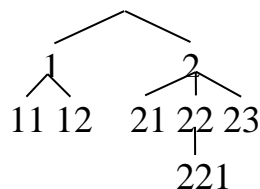
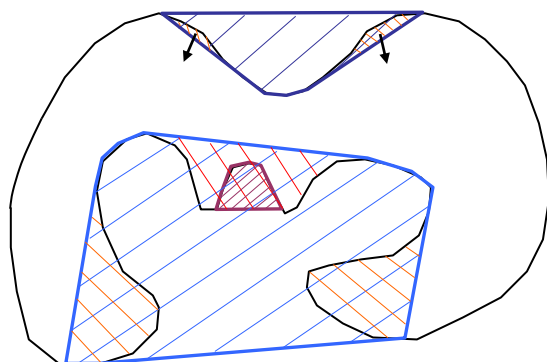


*Konvexní obal – nejmenší konvexní oblast  $H$  taková, že  $R \subset H$*



Jiný způsob popisu tvarových vlastností – *strom konkávnosti oblastí*

vytváříme konvexní obal oblastí, konvexní obal konkávní části, obal konkávních částí těchto částí, atd.

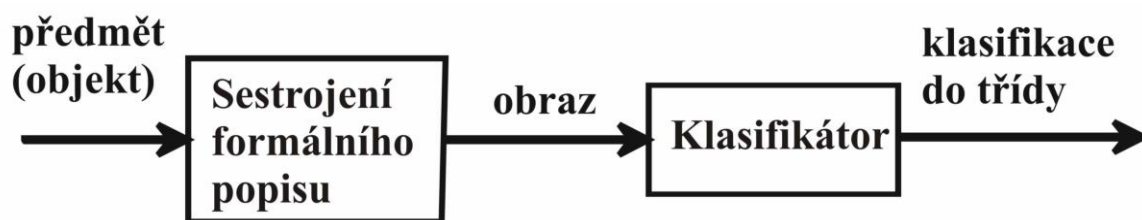


### 3.4. Klasifikace

Rozpoznávání (klasifikace, angl. Pattern recognition) – zařazování předmětů do tříd

Klasifikátor nerozeznává objekty, nýbrž jejich obrazy.





Obr. 35

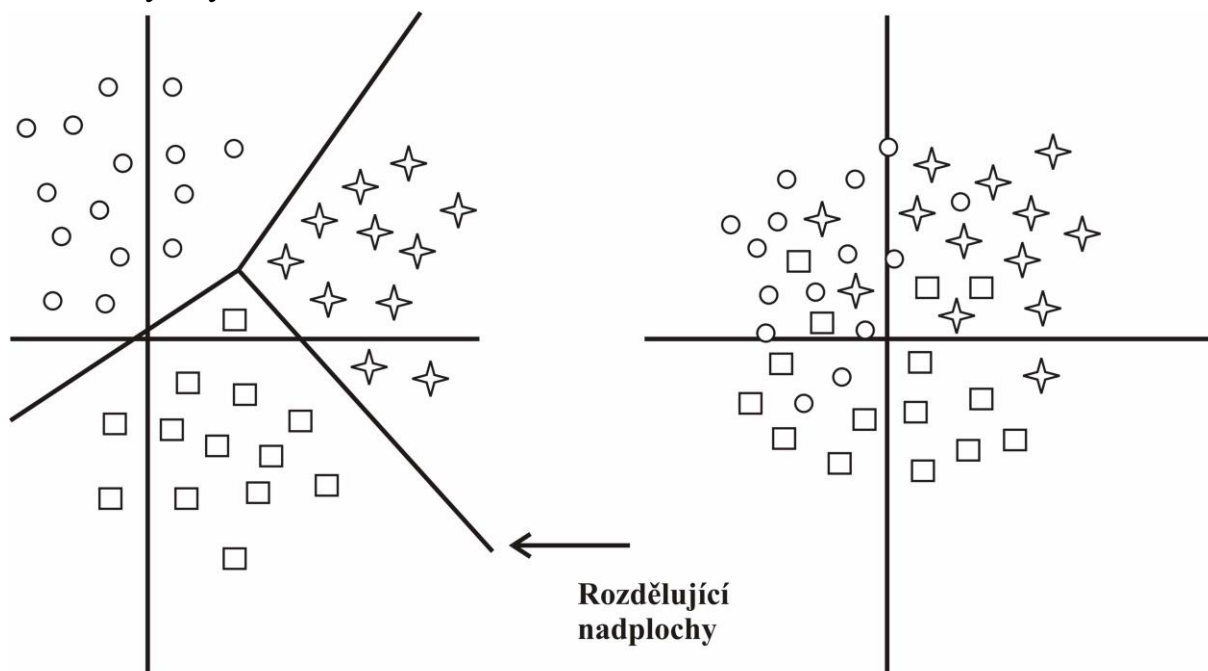
### 3.4.1. Příznakové rozpoznávání

Obrazy jsou charakterizovány vektorem, jehož souřadnice tvoří hodnoty jednotlivých příznaků.

Množina všech možných obrazů vytváří  $n$ -rozměrný obrazový prostor.

Při vhodném výběru příznaků je podobnost předmětů v každé třídě vyjádřena geometrickou blízkostí jejich obrazů.

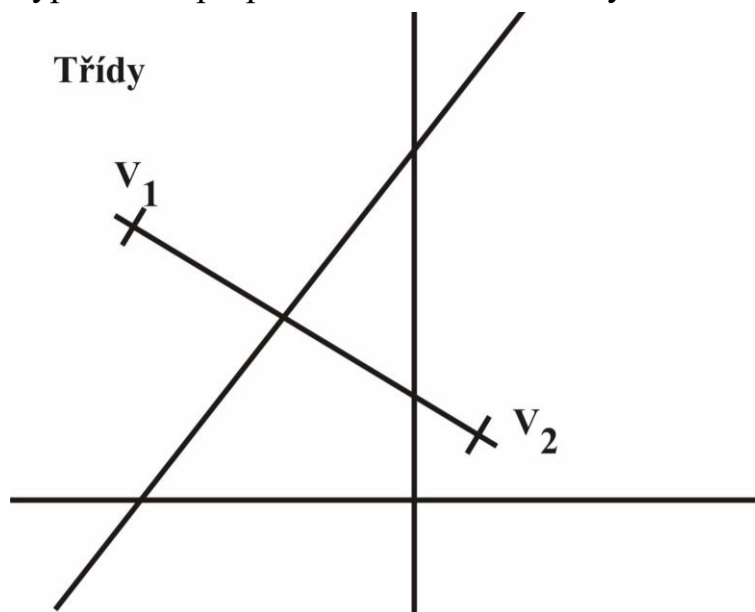
Pokud lze obrazy jednotlivých tříd (různých) od sebe oddělit rozdělující nadplochou (mluvíme o separabilních množinách obrazů), je úloha klasifikace relativně jednoduchá a lze očekávat bezchybnou klasifikaci. Ve valné většině případů však množiny obrazů nejsou stoprocentně separabilní a část předmětů bude vždy chybně klasifikována.



Obr. 36

## Klasifikátor

- Metoda nejbližšího souseda ( NN )
  - pro každou třídu je dána množina vzorových obrazů
  - při klasifikaci porovnáme neznámý obraz se všemi vzorovými obrazy všech tříd a zařadíme ho do stejné třídy, do jaké patří jemu nejbližší vzorový obraz.
  - nevýhoda: neřeší problém vychýlených vzorových obrazů, částečná náprava – metoda k nejbližších sousedů
- Metoda minimální vzdálenosti
  - každá třída je reprezentována jedním vzorovým obrazem, který lze vypočítat např. průměrem všech vzorových obrazů dané třídy.



Obr. 37

## Učení s učitelem

Základem je trénovací množina vzorových obrazů, kdy u každého je uvedeno zařazení do správné třídy

Na základě této trénovací množiny je pak určena reprezentace tříd, např. pro metodu minimální vzdálenosti jsou vypočteny centroidy (průměry) vzorových obrazů pro jednotlivé třídy.

## Učení bez učitele (shluková analýza)

U trénovací množiny není udána informace o příslušnosti obrazů k třídám. Snahou je rozdělit obrazy do k tříd tak, aby byla minimalizována hodnota kritéria optimality (globální minimum nelze z výpočetních důvodů nalézt, snažíme se alespoň o přijatelné lokální minimum).

Metody lze rozdělit na:

- hierarchické – vytvářejí shlukovací strom
- aglomerativní – vycházíme od jednotlivých obrazů a postupně spojujeme menší shluky do větších
- divizní – vycházíme od celé trénovací množiny jako jednoho shluku a postupně dělíme větší shluky na menší
- nehierarchické – různé iterační metody – např. MacQueenův algoritmus

### **3.4.2. Strukturální (syntaktické) metody**

Syntaktický popis je vhodný tam, kde potřebujeme zachytit strukturu objektů nebo kde pro jejich složitost chceme využít strukturu pro rozpoznávání.

Syntaktický popis objektu je hierarchická struktura jeho elementárních vlastností. Jeho elementární vlastnosti se nazývají primitiva.

Obraz je většinou reprezentován řetězcem primitiv. Množina všech primitiv bývá nazývána abecedou. Množina všech řetězců, pomocí nichž lze charakterizovat obrazy jedné třídy, se nazývá jazyk popisu. Jazyk je generován nějakou gramatikou. Gramatika je soubor pravidel, pomocí nichž lze ze symbolů abecedy vytvářet řetězce, charakterizující možné tvary objektů.

#### **• Učení**

Na základě znalosti úlohy, zkušenosti, případně trénovací množiny je třeba zkonstruovat gramatiku generující řetězce, reprezentující možné tvary objektu. Tato úloha je převážně prováděna ručně. Úloha automatické inference (odvozování) gramatik je jen velmi obtížně řešitelná.

#### **• Rozpoznávání**

Příslušnost neznámého obrazu do dané třídy testujeme procesem tzv. syntaktické analýzy. Při ní se snažíme pomocí gramatiky charakterizující danou třídu vygenerovat neznámý řetězec.

### 3.5. Studium dynamických jevů

Vstupem je posloupnost obrazů snímaných po sobě v následujících časových okamžicích → velký nárůst objemu dat.

#### *Tři hlavní typy úloh*

- *detekce pohybu* – např. automatický hlídač, detekující jakýkoliv pohyb ve snímaném prostoru (např. ostraha)
- *nalezení umístění pohybujících se objektů*, případně popis a rozpoznávání těchto objektů, složitější úlohou je pak sledování trajektorie objektu
- určování 3D vlastností objektů s využitím jejich 2D projekcí získaných v různých časových okamžicích pohybu

#### *Analýza pohybu může probíhat*

- bez ohledu na polohu pohybujících se objektů – v tomto případě se nejprve hledají významné body obrazu a pak se hledá jejich korespondence v sekvenci obrazů
- v závislosti na detekci objektů využíváme těchto předpokladů
  - *předpoklad maximální rychlosti*  
vzdálenost, ve které můžeme hledat bod pohybujícího se objektu v následujícím obrazu je  $v \cdot dt$ , kde  $v$  je rychlost pohybu a  $dt$  je časový interval mezi po sobě jdoucími obrazy
  - *předpoklad malého zrychlení*  
vzhledem k nenulové hmotnosti je změna rychlosti za čas  $dt$  malá
  - *předpoklad společného pohybu a pevné shody*  
tuhá tělesa mají na následujících snímcích stabilní konfiguraci bodů, které se pohybují stejným směrem

#### 3.5.1. Rozdílové metody analýzy pohybu

##### *Rozdílový obraz*

- binární obraz  $d$

$$d(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{pro } |f_1(i, j) - f_2(i, j)| < e \\ 1 & \text{jinak} \end{cases}$$

*Příčiny, které způsobují hodnotu 1 v rozdílovém obrazu:*

- ♦  $f_1(i, j)$  byl prvkem pozadí a  $f_2(i, j)$  prvkem pohybujícího se objektu (nebo naopak)
- ♦  $f_1(i, j)$  byl prvkem pohybujícího se objektu a  $f_2(i, j)$  prvkem jiného pohybujícího se objektu
- ♦  $f_1(i, j)$  i  $f_2(i, j)$  byly prvkem téhož pohybujícího se objektu, ale v místech s různým jasnem
- ♦ vlivem přítomnosti šumu se budou vyskytovat nesprávně detekované body s hodnotou 1

***Akumulativní rozdílový obraz***

$$d_{akum}(i, j) = \sum_{l=1}^L a_l \cdot |f_1(i, j) - f_l(i, j)|$$

$f_1$  – tzv. referenční obraz

$f_l$  – posloupnost  $L$  obrazů

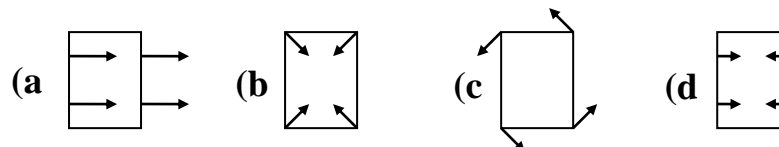
$a_l$  – váhové koeficienty, označují významnost jednotlivých obrazů posloupnosti

***Referenční obraz*** – obraz zpracovávané scény, který obsahuje pouze stacionární objekty. Pokud je pohyb na scéně nepřetržitý, lze získat referenční obraz tak, že nahradíme oblasti odpovídající pohybujícím se objektům odpovídajícími oblastmi z jiných snímků. Druhou možností je určit referenční obraz interaktivně.

### 3.5.2. Optický tok

- ♦ zachycuje všechny změny obrazu za čas  $dt$
- ♦ každému bodu obrazu odpovídá dvojrozměrný vektor rychlosti, který vypovídá o směru a velikosti rychlosti pohybu v daném místě obrazu
- ♦ výpočet optického toku je nutným předpokladem zpracování vyšší úrovně, které umožňuje pracovat se statickým i pohyblivým umístěním pozorovatele a určit parametry pohybu, relativní vzdálenosti předmětů v obraze apod.

- ♦ druhy pohybu, které se v dynamických obrazech vyskytují, lze popsat kombinací čtyř základních pohybů – translační pohyb v rovině kolmé na osu pohledu (a), translace do dálky (b), rotace kolem osy pohled (c) a rotace kolmá na osu pohledu (d) – při analýze pohybu z optického toku lze tyto základní pohyby od sebe odlišit aplikací poměrně jednoduchých operátorů



### 3.5.3. Analýza pohybu na základě detekce významných bodů

Základem je vyřešit problém *vzájemné korespondence* sobě odpovídajících částí objektů v různých okamžicích pohybu. Z toho lze snadno vytvořit obraz *rychlostního pole*.

V prvním kroku je třeba nalézt významné body – takové, které jsou co nejméně podobné svému okolí – vrcholy, hranice objektů apod.

Následujícím úkolem je nalézt pomocí postupů srovnání korespondenci významných bodů v po sobě jdoucích obrazech a postupně tak vytvořit rychlostní pole

#### 3.5.3.1. Detekce významných bodů

*Moravcův operátor*

$$g(i, j) = \frac{1}{8} \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} |f(i, j) - f(i+k, j+l)|$$

- dává dobré výsledky na hranách a v rozích

#### 3.5.3.2. *Vzájemná korespondence*

Proces hledání začíná určením všech potenciálních korespondencí mezi dvojicemi významných bodů dvou po sobě jdoucích obrazů. Každá dvojice korespondujících bodů je ohodnocena jistou pravděpodobností udávající věrohodnost jejich korespondence. Tyto pravděpodobnosti jsou iterativně zpřesňovány na základě principu společného pohybu. Iterační proces skončíme tehdy, když pro každý významný bod z jednoho obrazu existuje právě jeden odpovídající významný bod z následujícího obrazu. Dále bereme v úvahu předpoklad maximální rychlosti. Do nalezení korespondence je také důležitá konzistence dvojic bodů, tzn. minimální rozdíl rychlosti pohybu těchto bodů.

## 3.6. 3D Zpracování

### *Rekonstrukce*

- nalezení geometrických a fyzikálních parametrů objektů ve 3D scéně tak, aby bylo možno rekonstruovat jejich 3D tvar

### *Rozpoznávání*

- nalezení a klasifikace objektů ve scéně, často také určení polohy, popř. orientace

V praktických úlohách se často snažíme vyhnout 3D vidění, převést úlohu na 2D. Důvodem jsou požadavky na robustnost, nízkou cenu a velkou efektivitu využití systémů počítačového vidění.

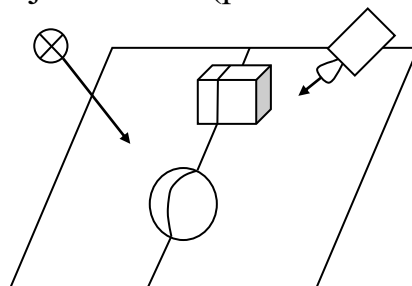
### *Vstupy*

- ♦ *intenzitní obraz*
- ♦ *stereovidění* – 2 intenzitní obrazy  
(problém korespondence – nalezení bodů v levém a pravém obraze, které si odpovídají)

- ♦ *hloubková mapa*

lze ji získat např. pomocí *hloubkoměrů* –

- *různé principy*:
  - podobný princip jako *radary a sonary* – měří fázový posun mezi vyslaným a přijatým signálem
  - *princip proužkového osvětlení* – scéna osvětlena úzkým proužkem světla, snímána z jiného úhlu (problém stínů)



- *princip Moiré proužků* – scéna je osvětlena přes pravidelnou mřížku z rovnoběžných proužků. Podle jejich šířky lze určovat sklon povrch.
- *Princip proměnného zaostření objektivu* – po detekci maximální ostrosti je vzdálenost odečtena z nastavení zaostření objektivu

### 3.6.1. Teorie 3D vidění

#### 4 úrovně reprezentace 3D scény:

- intenzitní obraz
- prvotní náčrtek
- 2½ dimenzionální náčrtek
- plná 3D reprezentace

**Prvotní náčrtek** obsahuje informace o velikostech a směrech významných jasových změn v obraze a o jejich vzájemném geometrickém uspořádání. Předpokládáme, že takto získané čáry a skvrny zachovávají informaci potřebnou pro pozdější 3D reprezentaci.

**2½ rozměrný náčrtek** – pro jeho získání se používá informace obsažená v prvotním náčrtku. Používají se různé techniky, souhrnně nazývané „*tvar z X*“ – dále je třeba mít mechanismus pro sdružování výsledků jednotlivých modulů

- ♦ *Tvar ze stereovidění*

- tvar získáváme na základě dvou obrazů téže scény z různých úhlů pohledu
  - problém korespondence

- ♦ *Tvar z pohybu*

- tvar získáváme z posloupnosti obrazů
  - pohybovat se může kamera nebo objekty nebo obojí
  - předpokládáme pomalý pohyb – relativně malá změna mezi obrazy – usnadňuje úlohu korespondence
  - založeno na výpočtu optického toku

- ♦ *Tvar z jasu*

- vycházíme ze závislosti jasu na odrazivosti povrchu, jeho 3D orientaci, poloze světelných zdrojů a poloze pozorovatele

- ♦ *Tvar z textury*

- Texturu si lze představit jako vzor na povrchu objektu, který vykazuje jistou pravidelnost. Změny v textuře po perspektivním zobrazení jsou způsobeny tvarem objektu, resp. změnou sklonu jeho povrchu vzhledem k úhlu pohledu. Toho lze využít pro zjištění tvaru.

#### **Plná 3D reprezentace objektu**

má se opírat o geometrické vlastnosti, které lze v obraze nalézt a které jsou vyjádřené vzhledem k souřadnému systému, vycházejícímu z tvaru objektu

*Základní geometrické vlastnosti:*



- střed (nejčastěji těžiště)
- celková velikost
- zobecněná osa symetrie, existuje-li

Zatím nevyřešeným krokem Marrovy teorie je přechod od 2½ D náčrtku k plné 3D reprezentaci. Naopak postupy „tvar z X“ dosáhly značné technické dokonalosti a používají se v praktických aplikacích.

### 3.6.2. Modely 3D objektů

*Lze rozdělit na:*

*deskriptivní* – plně popisují tvar objektu, definována odrazivost a osvětlení, z takového modelu lze vytvořit syntetický intenzitní obraz i syntetickou hloubkovou mapu pro libovolné místo pozorování

*diskriminační* – slouží k odlišení objektů několika tříd

*Používané typy reprezentace:*

♦ *drátový model*

graf, jehož vrcholy odpovídají 3D bodům (často vrcholům objektu), hrany odpovídají hranicím (nespojitém normál k povrchu). Nehodí se pro popis objektů s křivočarými povrchy.

♦ *CSG (constructive solid geometry) model*

používá jako základ množinu jednoduchých 3D objektů, jako hranoly, kužely, válce, koule, krychle, kvádry ap. a kombinuje je v určité pozici, zvětšení a orientaci pomocí jednoduchých množinových operací, jako průnik, sjednocení, rozdíl, ap. Model je reprezentován stromem; listy odpovídají jednotlivým elementárním tělesům, vyšší uzly představují množinové operace. Toto vyjádření je výpočetně velmi náročné.

♦ *Povrchový model*

reprezentuje povrch objektu pomocí

- množiny povrchů tělesa
- množiny křivek v 3D prostoru, které jsou průsečíky povrchů tělesa
- grafu, který vyjadřuje sousednost jednotlivých ploch na povrchu objektu

*povrchy lze vyjádřit v různém tvaru:*

♦ *implicitní*

$$S = \{(x, y, z) : f(x, y, z) = 0\}$$

♦ *parametrický*

$$S = \{(x, y, z) : x = f_1(u, v), y = f_2(u, v), z = f_3(u, v), (u, v) \in D \subset \mathbb{R}^2\}$$

- ♦ *povrch jako graf funkce*

$$S = \{(x, y, z) : z = f(x, y), (x, y) \in D \subset \mathbb{R}^2\}$$

- ♦ *Mnohostěnový model*

Pro aproximaci křivočarých povrchů se používá náhrada mnohostěnem, jehož stěny jsou trojúhelníky.

Tam, kde mnohostěnový model nestačí, používá se model složený z kvadratických ploch (částí paraboloidu, elipsoidu, hyperboloidu, ap.) nebo *spline*.

- ♦ *Objemový model*

dělí objekty na malé elementy objemu (*voxel - volume element* podobně jako *pixel*)

- ♦ *Zobecněné válce*

reprezentace, které se používá pro popis objektů s výraznými symetriemi.

Zobecněný válec je definován pomocí:

- křivky v 3D prostoru, zvané *páteř*
- plochy průřezu objektu v každém bodě páteře.

Páteř nemusí být obsažena v průřezu. Průřez lze reprezentovat parametricky, kde parametr je posun podél páteře.

Obvykle se předpokládá, že každý průřez je kolmý na páteř.

- ♦ *GEON (z angl. geometrical ions)*

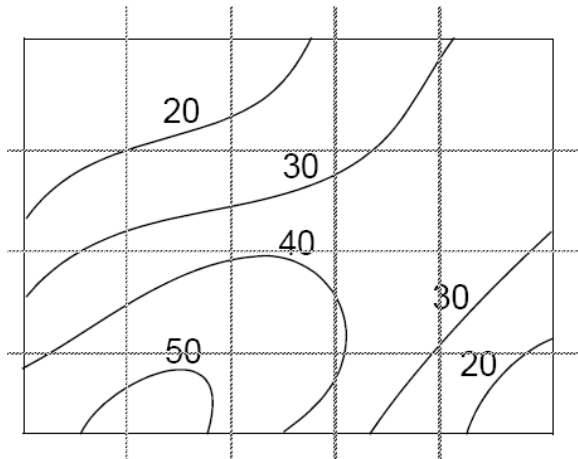
Zdůrazňuje kvalitativní charakter reprezentace objektů. 3D objekty jsou složeny z několika sousedících GEONů. Navrženo 36 základních GEONů, kde každý je charakterizován čtveřicí kvalitativních vlastností:

- *hranice* – rovná / křivá
- *symetrie* – středová / osová / žádná
- *změna velikosti* – stálá / zvětšující se / zvětšující i zmenšující se
- *osa* – přímá / křivá

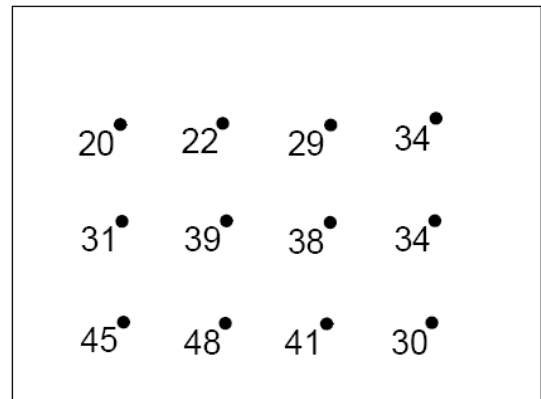
Pokud je třeba rozeznat kvalitativně podobné objekty, lišící se např. jen velikostí, je třeba přidat i kvantitativní příznaky.

- ♦ *DMT (digitální model terénu) nebo angl. DEM (digital elevation model)*

Digitální model terénu je obrazová funkce, která neobsahuje hodnoty jasů nebo odrazivosti elektromagnetického záření v určitém spektrálním pásmu, ale nadmořskou výšku povrchu v daném bodě.



*Topographic image with grid overlay*



*DEM or regularly spaced terrain data points (Z values)*

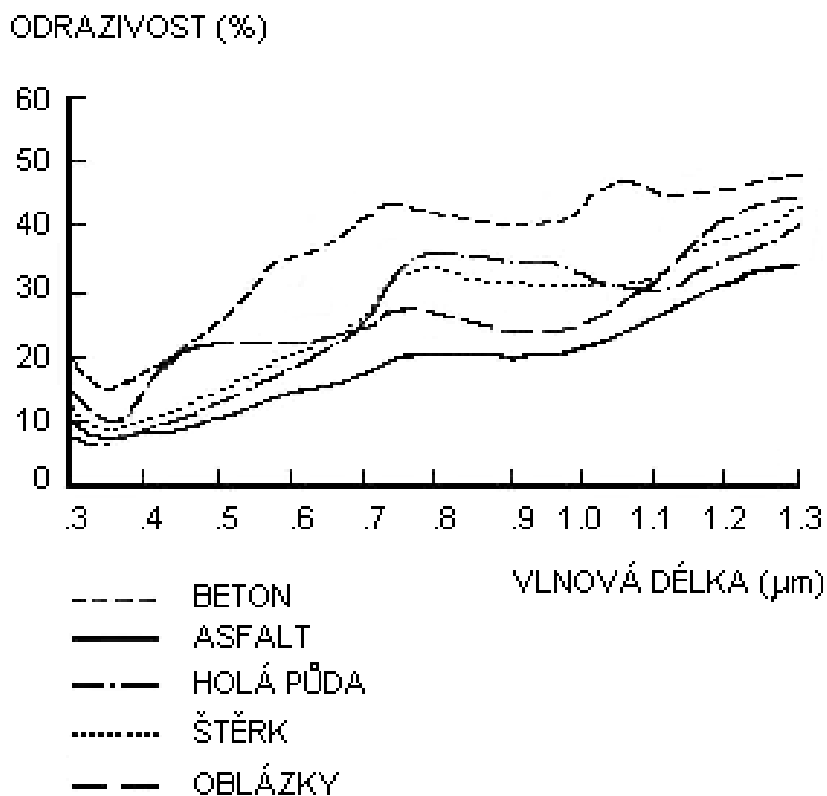
### **3.7. Modelování s obrazovými daty**

### **3.8. Integrace obrazových dat a jejich vstup do GIS**

## 4. Zářivé vlastnosti krajinných objektů

- Intenzita odraženého i emitovaného záření je závislá na elektromagnetických vlastnostech látky. Tyto vlastnosti jsou závislé na **druhu** látky nebo objektu, jeho aktuálním fyzikálním **stavu** a stavu jeho okolí.
- Příslušnost objektu k nějakému druhu můžeme vyjádřit tzv. **druhovými parametry**, které mají kvalitativní povahu (např. louka, dům, silnice, rybník). Stav daného objektu pak udávají tzv. **stavové parametry**, které mají spíše kvantitativní povahu (např. vlhkost, příměs, stáří, výška, hustota). Zářivé vlastnosti objektu pak lze popsat tzv. **spektrální charakteristikou**, vyjadřující závislost množství odraženého, popř. emitovaného záření na vlnové délce.
- Z hlediska spektrálních vlastností lze látky rozdělit na čtyři základní skupiny:
  - pevný povrch bez vegetace
  - vegetační povrch
  - voda
  - plynné látky

### 4.1. Povrch bez vegetace



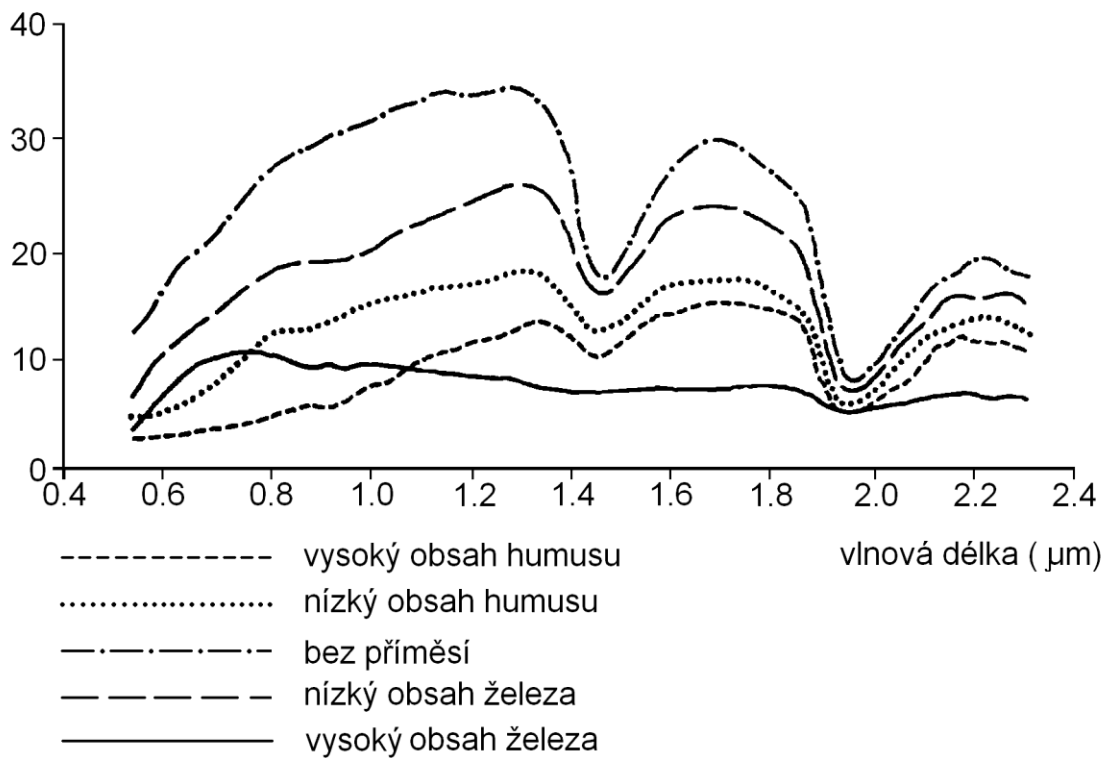
Obr. 7

#### 4.1.1. Půdy

- Postupné zvyšování odrazivosti půd s rostoucí vlnovou délkou v oboru viditelného a blízkého infračerveného záření nevykazuje žádné výraznější narušení jeho monotónnosti až k absorpčním pásům vody. K hlavním parametrům ovlivňujícím spektrální projev půdního povrchu patří:
  - vlhkost
  - obsah humusu
  - mineralogické složení
  - mechanické vlastnosti půdy
  - struktura povrchu půdy
  - stupeň erozních procesů

## Vliv obsahu příměsí

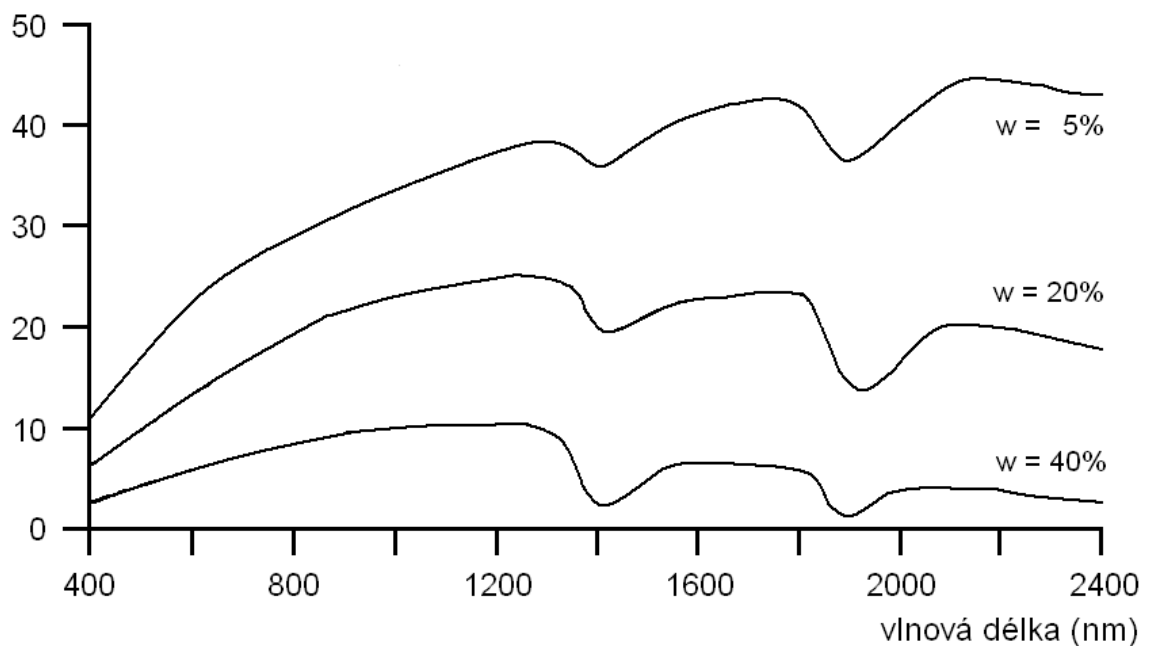
obousměrný faktor  
odrazivosti (%)



**Obr. 8**

## Vliv obsahu vody

odrazivost (%)



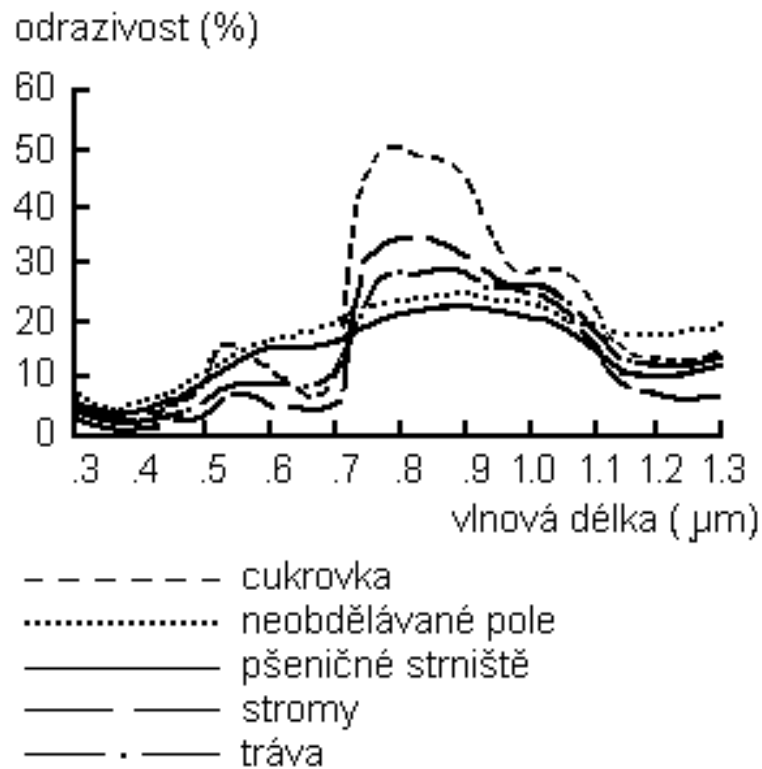
**Obr. 9**

#### 4.1.2. Minerály a horniny

- Spektrální charakteristiky hornin se zatím využívají pouze okrajově. Více se používá dat dálkového průzkumu ke zjišťování geologických struktur podle jejich tvarů, které jsou pro výskyt určitých horninových útvarů charakteristické.
- Konkrétní průběh spektrální odrazivosti je určen chemickým složením horniny. Kromě spektrálního projevu je pro horniny charakteristická také jejich rozdílná tepelná kapacita, kterou je možné zjišťovat rozdílem naměřené zářivé teploty mezi denní a noční hodnotou.

#### 4.2. Vegetační povrch

- Obvyklými formami vegetace jsou travní rostliny, zemědělské kultury a listnaté a jehličnaté stromy. Spektrální projev porostu určitého druhu je výslednicí odrazivých a emisních vlastností jednotlivých částí rostliny. Dominující jsou však příspěvky od listů.
- Spektrální křivku vegetace lze rozdělit na tři hlavní oblasti odpovídající třem faktorům, které ovlivňují spektrální odrazivost :
  - oblast pigmentační absorpce (0,4 – 0,7  $\mu\text{m}$ )
  - oblast vysoké odrazivosti daná buněčnou strukturou (0,7 – 1,3  $\mu\text{m}$ )
  - oblast vodní absorpce (1,3 – ...  $\mu\text{m}$ )



•  
**Obr. 10**

- 
- Vegetační index (VI)  $VI = R_{bič} - R_{č}$ ,
- kde  $R_{bič}$  – odrazivost v blízkém infračerveném pásmu
- $R_{č}$  - odrazivost v pásmu červené barvy
- Normovaný vegetační index (NVI)

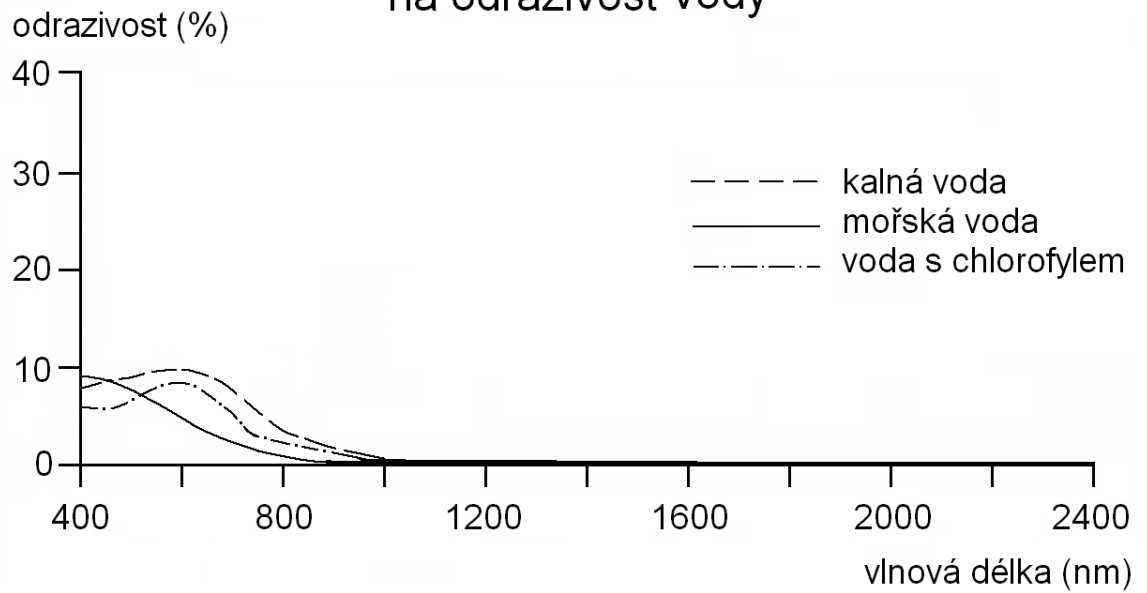
- $$NVI = \frac{R_{bič} - R_{č}}{R_{bič} + R_{č}}$$

### 4.3. Voda

- Voda má maximální odrazivost na vlnové délce 0,48 μm a trvale klesá s vlnovou délkou až do oblasti tepelného infračerveného záření.



## Vliv chlorofylu a suspenze na odrazivost vody



**Obr. 11**

- Na rozdíl od tekoucí vody má sníh i led ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra vysokou odrazivost. Stejně vysokou odrazivost mají také horní vrstvy oblaků, jež jsou tvořeny ledovými krystalky.

## 5. Systém pořizování dat distančními metodami

- 
- Nejčastější měřenou veličinou je intenzita odraženého nebo emitovaného elektromagnetického záření. Existují dva základní způsoby jak tuto veličinu měřit – *konvenční a nekonvenční*.
- 

### 5.1. Konvenční metody

- 
- jsou založeny na principu *fotografie*, tj. na citlivosti některých halogenidů stříbra na světlo. Halogenid stříbra je doplněn o další speciální chemické sloučeniny, např. barviva a je rozptýlen v koloidním roztoku želatiny. Tento roztok je nanesen na vhodnou podložku a je vytvrzen. Po osvětlení materiálu dochází k chemické reakci, kdy energie nesená fotony rozloží nestabilní halogenidy na stříbro a halony úměrně dopadlé energii. Tím vzniká latentní obraz. Po zpracování ve vývojce a ustalovači jsou chemické procesy ukončeny. Velikost naměřené zářivé energie je vyjádřena stupněm zčernání resp. barevností zpracovaného filmu.
- fotografie vzniká najednou, tzv. centrální projekcí
- existuje v analogové podobě
- poměrně úzký interval vlnových délek (0,3 – 0,9  $\mu\text{m}$ ) – oblast viditelného a části infračerveného (blízkého) záření
- základní vlastnosti filmového materiálu
  - - *citlivost* (relativní stupnice DIN/ASA)
  - - *rozlišovací schopnost* – daná: a) velikostí zrna
    - b) konstrukcí objektivu
- obecně platí, že čím citlivější materiál, tím je větší velikost zrna a tedy nižší rozlišovací schopnost
-

## 5.2. Nekonvenční metody

- - 1) *televizní systémy*
  - 2) *systémy rozkladových snímacích zařízení*
  - 3) *digitální fotografie*
- 
- liší se od konvenčních metod v následujících bodech:
  - a) odlišná technika vytváření obrazu
    - - ne v jednom okamžiku, ale postupně – po jednotlivých pixelech kromě 3)
  - b) velké spektrální rozlišení (0,3 – 14  $\mu\text{m}$ )
  - c) omezené prostorové rozlišení
  - d) letecká fotografie umožňuje zachytit detail nerozeznatelný pouhým okem, zatímco rozlišení družicových záznamů se pohybuje většinou od jednoho do stovek metrů
  - e) v případě multispektrálního snímání vzniká většinou každý snímek jiným optickým systémem → problém slícování jednotlivých spektrálních výtažků
  - f) snadnější kalibrace než u fotografie, protože záznamy jsou v digitální podobě
  - g) registrace obrazových záznamů v digitální podobě umožňuje automatizovat některé kroky jejich zpracování a kombinaci s jinými digitálními daty v GIS
- 

### 5.2.1. Televizní systémy

- přechodný způsob snímání mezi klasickou fotografií a snímacími rozkladovými zařízeními
- obraz promítán optikou na stínítko (stínítka) katodové trubice (televizní kamery)
- přenos na zem pomocí televizního signálu nebo uložení na magnetické médium
- na příjmu se obrazový záznam buď fotografoval ze stínítka obrazovky nebo se z magnetického média zobrazoval pomocí výpočetní techniky

- **Použito:**  
TIROS – první meteorologická družice  
LANDSAT 1,2 – 3 kamery (2 – viditelná, 1 – blízké IČ)  
3 – 2 kamery (viditelná oblast)  
METEOR – sovětské družice

Prostorové rozlišení

LANDSAT 1,2 ~ 80 m

3 ~ 24 m

### 5.2.2. Snímací rozkladová zařízení (skenery)

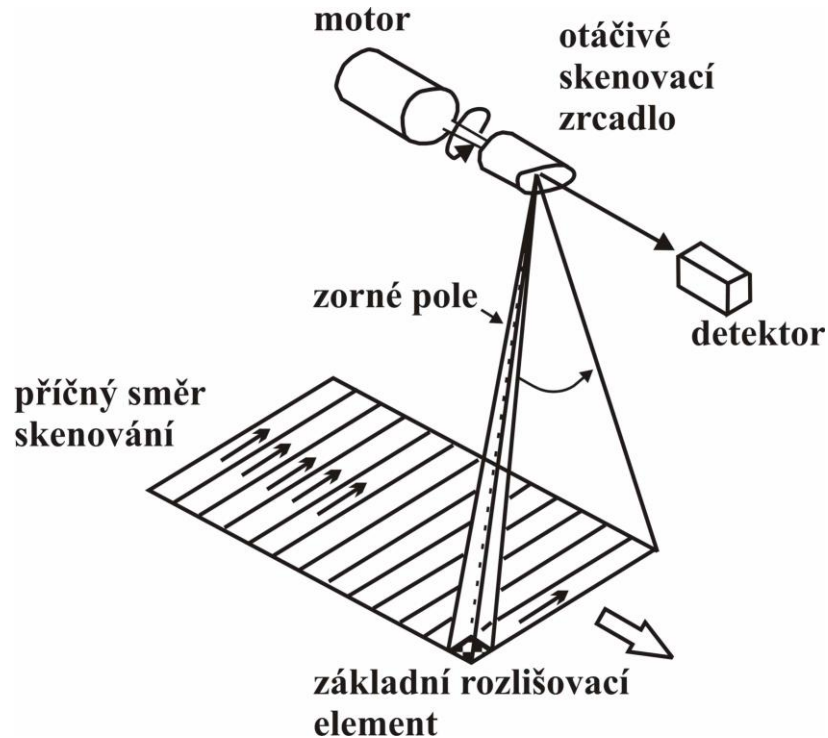
- *mechanooptický skener*
- *elektrooptický skener*

Základem je v obou případech *radiometr* – přístroj na měření množství odraženého nebo emitovaného elektromagnetického záření. Radiometr měří radiaci z určité elementární plochy zemského povrchu v určitém intervalu spektra.

#### 5.2.2.1. Mechanooptický skener

- založen na principu příčného skenování
- pouze 1 čidlo (pro každé spektrální pásmo)
- pohyb snímané oblasti kolmo na směr letu realizován rotujícím zrcadlem
- pohyb ve směru letu dán pohybem nosiče (družice)
- **Použito:**  
LANDSAT MSS a TM
  - *Dva druhy detektorů radiometrů*
  - - tepelné (energie → teplota čidla)
  - - fotonové (zaznamenávají intenzitu dopadajících fotonů na povrch polovodiče)
  - Analogový signál je převáděn na digitální – výsledkem je digitální obrazový záznam, který má podobu matice, složené z jednotlivých obrazových bodů – pixelů (*pixel* = picture element)

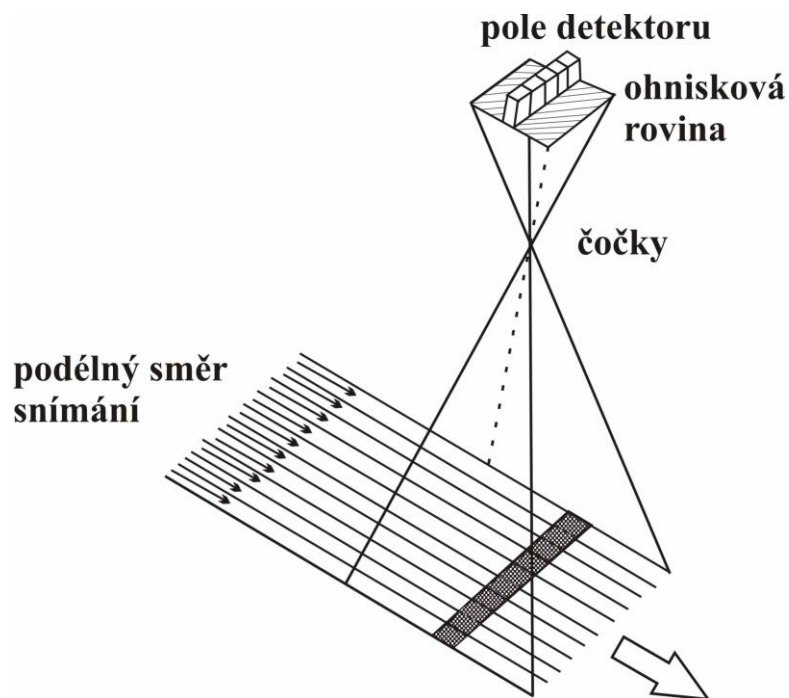
- *Dynamický rozsah* – počet úrovní zaznamenávaného signálu. Je dán počtem bitů A/D převodníku. Např. pro 8-bitový převodník je počet úrovní 256. Dynamický rozsah definuje tzv. radiometrickou rozlišovací schopnost.



Obr. 12

#### 5.2.2.2. Elektrooptický skener

- vytváří obraz podélným snímáním
- jako čidlo se používá řádkový CCD prvek
- počet jednotlivých detektorů v CCD může být až desítky tisíc
- nemá mechanickou část (rotující zrcadlo) – je tedy spolehlivější
- nutno kalibrovat velké množství detektorů
- menší spektrální rozlišovací schopnost
- 
- **Použití:**
  - SPOT (HRV)
  - IRS
  - MOMS



Obr. 13

### 5.2.3. Digitální fotografie

- stejný princip jako u elektrooptických skenerů, ale je použit maticový CCD prvek
- celý obraz je tedy snímán najednou jako u konvenčních metod

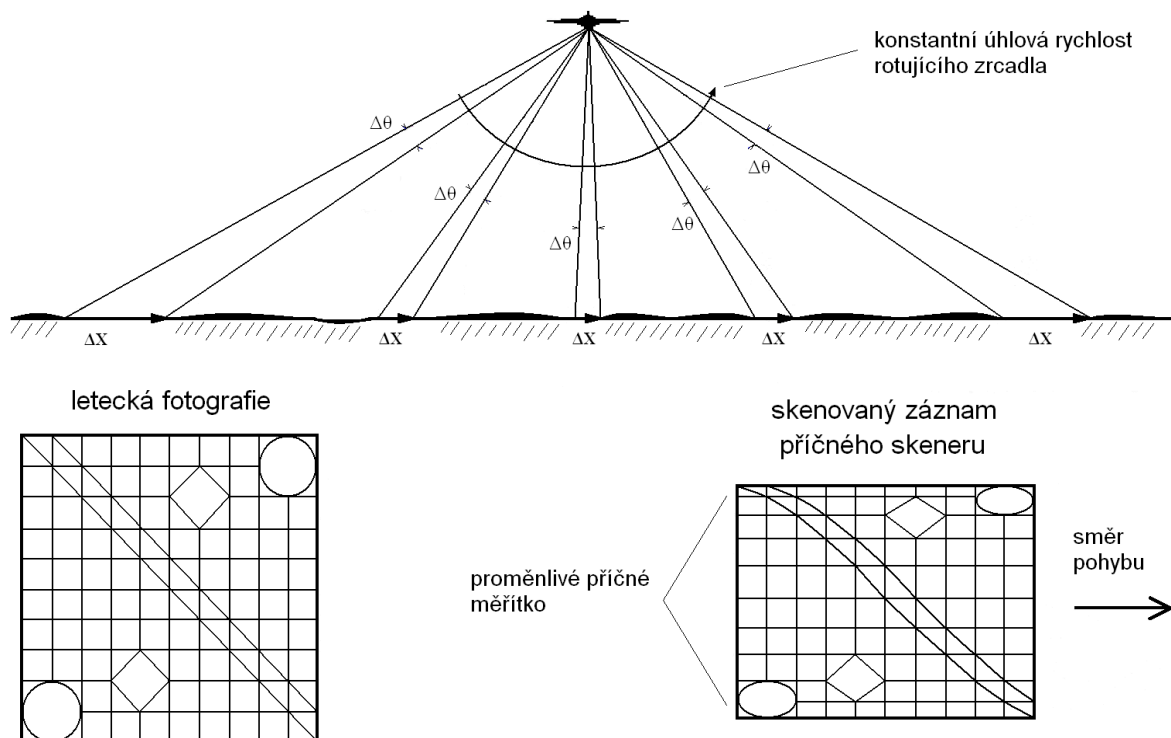
### 5.2.4. Zobrazující a nezobrazující zařízení

- Nekonvenčními metodami nemusí vznikat pouze obrazové záznamy území. Vedle zobrazujících zařízení (skenerů) existují i nezobrazující radiometry, jejichž výsledkem jsou změny intenzity reflektovaného nebo emitovaného záření podél určitého profilu (linie).
- Kromě pasivních zařízení se v současné době používají i aktivní. Tímto způsobem lze získat specifické informace jako například měření směru větru pomocí tzv. rozptyloměrů (skaterometrů) nebo výšková měření pomocí tzv. výškoměrů (altimetrů).

### 5.2.5. Geometrické vlastnosti skenovaného obrazového záznamu

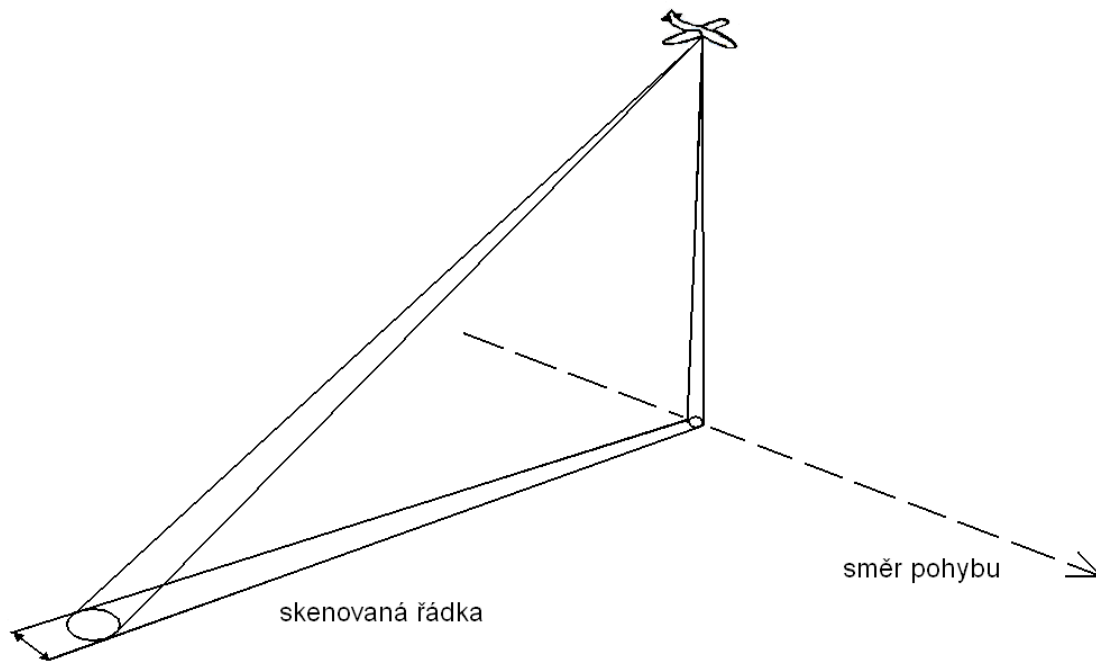
- Základní specifika, kterými se vyznačuje geometrie skenovaného obrazového záznamu vzniklého příčným skenováním, jsou následující
  - tangenciální změny měřítka
  - kolísání velikosti obrazového prvku
  - relativní změny v poloze objektů v důsledku jejich různé výšky

#### 5.2.5.1. Tangenciální změny měřítka



Obr. 14

### 5.2.5.2. Kolísání velikosti obrazového prvku

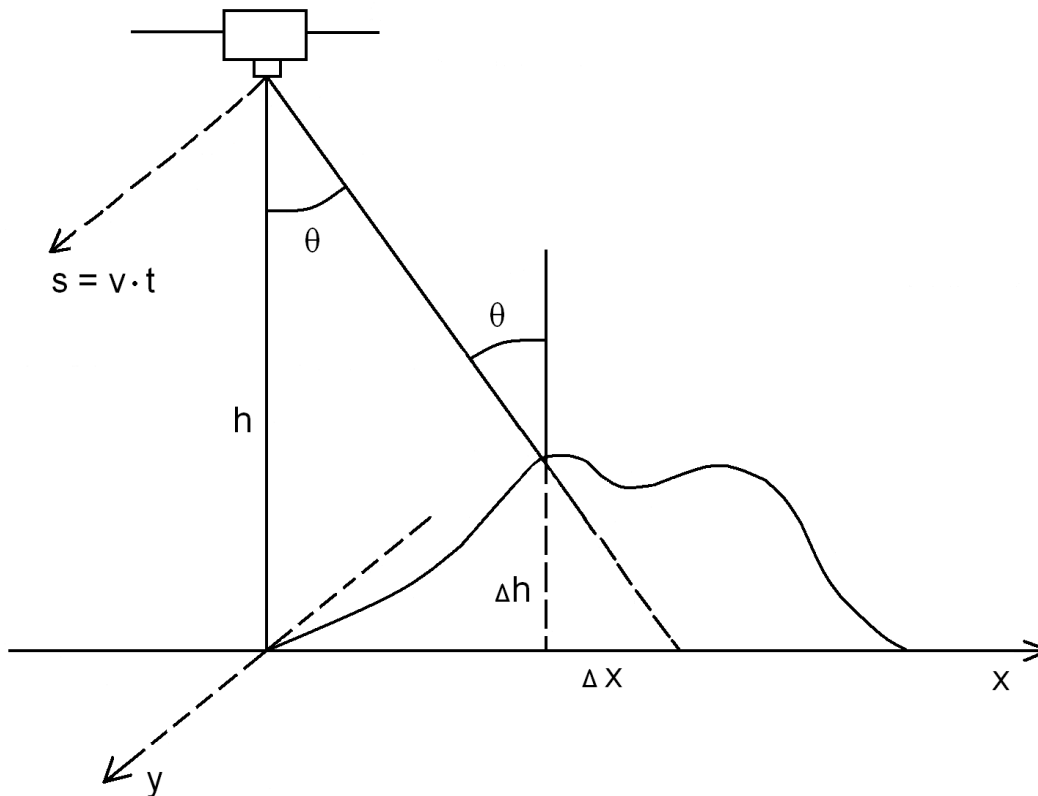


**Obr. 15**

- Se zvyšující se vzdáleností od středu snímané scény roste velikost plochy, která je v zorném poli radiometru a tím klesá prostorová rozlišovací schopnost.



### 5.2.5.3. Poziční chyby v poloze objektů v důsledku jejich rozdílné výšky



Obr. 16

### 5.3. Dálkový průzkum v tepelné části spektra

- 
- Část spektra elektromagnetického záření navazující na záření infračervené ve vlnových délkách přibližně od  $3\mu\text{m}$  je označována jako tepelná (termální). Ve srovnání s kratšími vlnovými délkami (optická část spektra) se termální záření liší svými vlastnostmi, do jisté míry také způsobem snímání a vytváření obrazového záznamu a především také aplikacemi a způsobem využití těchto dat. V těchto delších vlnových délkách již převažuje vlastní vyzařování objektů nad odraženým slunečním zářením a umožňuje získat především informace o tzv. radiační teplotě objektů.
- Termální skener pracuje na stejném principu jako mechanooptický skener. Vlivem atmosféry je možné získávat informace především ve dvou intervalech vlnových délek :  $3 - 5\mu\text{m}$  a  $8 - 14\mu\text{m}$ . Měřicími prvky

termálního skeneru jsou fotonové detektory. Pro větší sensitivitu je detektor ochlazován na teplotu  $-200^{\circ}\text{C}$ .

### 5.3.1. Princip tepelného měření

- 
- Běžným způsobem je teplota objektů měřena dotykem s čidlem měřícího zařízení. Tímto způsobem je měřena tzv. kinetická teplota. Tato teplota je interním projevem energie molekul. Objekty však vyzařují také energii, která je vnějším projevem energie tělesa. Tato energie potom vyjadřuje tzv. radiální (jasovou) teplotu tělesa.
- Reálné objekty se nechovají jako absolutně černé těleso a vyzařují pouze část záření, které by emitovalo absolutně černé těleso o stejné teplotě. Tato míra vyzařovací schopnosti se nazývá emisivita.

Druh povrchu	teplota[ $^{\circ}\text{C}$ ]	emisivita
sníh	-10	0,85
písek, les	20	0,9
beton, půda (suchá)	20	0,92
vlhká půda	20	0,95
voda (destilovaná)	20	0,96
led	-10	0,96

- Vyzařované záření ovlivňuje atmosféra. I uvnitř atmosférických oken se může teplota zvyšovat nebo snižovat v rozsahu několika stupňů. Pro přesné měření teploty je tedy nejprve nutné provést atmosférické korekce.
- Obecné termální obrazové záznamy registrují dva druhy teplotních charakteristik :
  - jevy či procesy **bodové**, charakterizované výrazně odlišnou teplotou od okolních povrchů (např. lokalizace termálních pramenů)
  - jevy či procesy **plošné** charakterizují změny teplotních poměrů v ploše (např. lesní požáry)

- Teplotní chování objektů je ovlivňováno řadou dalších vlastností. Patří sem :
  - propustnost pro záření, tedy schopnost vést teplo, tedy **vodivost** (např. horniny vedou teplo pomalu, kovy naopak vedou teplo rychle)
  - schopnost uchovávat teplo, tedy tepelná kapacita rychlost s jakou tělesa mění svoji teplotu, tedy tepelná setrvačnost

#### 5.4. Dálkový průzkum země v mikrovlnné části spektra

- 
- Mikrovlnnou částí spektra rozumíme interval vlnových délek 1mm až 1m. Snímání v těchto intervalech má následující charakteristické rysy :
  - 
  - mikrovlnné záření je schopné se šířit atmosférou za jakýchkoli podmínek. V závislosti na vlnové délce mikrovlny procházejí skrz déšť, oblaka, sněžení i dým. Mohou procházet i do určité hloubky, podávají tedy informace nejen z povrchu, ale i z určité hloubky.
  - odrazové vlastnosti materiálů na povrchu jsou v oblasti mikrovlnného záření odlišné od těchto vlastností v optické části spektra. Odrazové vlastnosti jsou formovány především drsností a vodním obsahem. Odrazové vlastnosti povrchů ovlivňují také jejich dielektrické vlastnosti.
- Dva druhy snímání :
  - **pasivní metody** – mikrovlnný radiometr
  - **aktivní metody** – radar (radio detecting and ranging), (původně zkonstruován jako zařízení pro zjišťování přítomnosti objektů a jejich ploch)
-

## 5.5. Aktivní metody

- dva druhy radarů – zobrazující a nezobrazující radary
  - 
  - **Příklady nezobrazujících radarů**
    - Dopplerův radar
- Běžným typem **nezobrazujícího radaru** je tzv. Dopplerův radar. Je založen na Dopplerově efektu posunu frekvencí ve vysílaném a přijímaném signálu, který je právě nositelem informace o rychlosti pohybu objektu. Používá se např. při zjišťování rychlosti vozidel.
  - 
  - PPI radar
- Používán v radarové meteorologii, při řízení dopravy, pro navigační účely. Skládá se z kruhové obrazovky, po níž se kontinuálně odráží radarový paprsek, který zaznamenává echo z rotující antény z území o poloměru až několik set km
  - 
  - **Příklady zobrazujících radarů**
    - radar s reálnou aperturou ( Real Aperture radar ), je možné používat pouze na letadlových nosičích, proto bývá označován také SLAR (Side Looking Airborne Radar )
    - radar se syntetickou aperturou ( SAR – synthetic aperture radar ), který je využíván především na družicích
- Oba systémy pořizují obrazový záznam po jedné nebo obou stranách letu – proto se označují také jako boční radar.

### 5.5.1. Radarový signál základních druhů povrchů

- vegetace
  - Interakce radarového signálu s vegetací, která je obvykle tvořena mocnější vrstvou různých částí rostlin, je značně složitá. Je-li vlnová

délka radarového signálu přibližně rovná průměrné velikosti jednotlivých částí rostlin, je zpětný odraz radarového signálu velice intenzivní, zvláště je-li vegetace hustá. Pro zjišťování vegetace jsou výhodné krátké vlnové délky kolem 2 až 6 cm. Obdělávaná pole a lesní komplexy se na radarových snímcích mohou v různých vlnových délkách jevit značně odlišně.

- 
- voda a led
  - Hladké vodní plochy způsobují zrcadlový odraz signálu, jehož výsledkem je nulová odezva. Nerovná vodní plocha odráží různé množství radarového signálu.
  -
- půda
  - Protože dielektrická konstanta vody je asi desetkrát vyšší než dielektrická konstanta pro suchou půdu, lze radarem zjistit přítomnost vody v horní několikacentimetrové vrstvě půdy. Půdní vlhkost zvláště v delších vlnových délkách zabraňuje pronikat radarovému signálu do větších hloubek.

### 5.5.2. Přehled radarových systémů

1982	projekt Convair SAR580
1986	AGRISAR ... nosič – letadlo
1978	první družice pro oceánografické účely – SEASAT
1981	SIR – A ( Shuttle Imaging Radar )
1984	SIR – B ( Shuttle Imaging Radar ) ... nosič – raketoplán
1987	Kosmos 1870
1991	ALMAZ-1 ... první komerční družice nesoucí SAR
1991	ERS-1, ERS2 (1984) – ESA – evropská kosmická agentura
1992	Japonská družice JERS
1995	kanadská RADARSAT

### **5.5.3. Další techniky získávání geografické informace prostřednictvím radaru:**

#### ***5.5.3.1. Interferometr***

- Interferometrie je metoda přesných výškových měření na základě rozdílů ve fázi dvou radarových signálů získaných z odlišné pozice. Zpracováním takto vzniklých dvou snímků lze získat tzv. interferogram. Z něho lze zjistit relativní výškové rozdíly jednotlivých prvků obrazu. Tyto lze poté převést na nadmořské výšky terénu a sestavit tak digitální model terénu. Tento způsob získávání DMT je oproti fotogrammetrickým postupům velmi rychlý, levný a poměrně velmi přesný. Přesnost ve vertikálním směru se pohybuje řádově v jednotkách metrů.

#### ***5.5.3.2. Diferenční interferometrie***

- Založena na rozdílu dvou interferogramů. Tímto způsobem lze zjišťovat řádově centimetrové výškové rozdíly, ke kterým došlo v čase mezi pořízením obou interferogramů.

#### ***5.5.3.3. Altimetr (výškoměr)***

- - je zařízení využívající toho, že radarová měření jsou ve své podstatě také měření vzdáleností

#### ***5.5.3.4. Rozptyloměr***

- - lze jím měřit např. rychlost a směr větru na hladině oceánu, ale i řadu velmi specifických veličin na povrchu souše – např. půdní vlhkost apod.

## **5.6. Obrazová spektrometrie**

- Využívá se tzv. *hyperspektrálního skeneru*, jehož princip je stejný jako u klasických rozkladových snímacích zařízení, ale pořizuje velké množství (až několik stovek) obrazových záznamů daného území ve velmi úzkých, na sebe navazujících pásmech v oblasti viditelné, blízké a střední infračervené části **spektra**.
- Zatímco např. v případě sedmého pásma skeneru LANDSAT TM získáme pouze 1 charakteristiku pro interval spektra o šířce 0,27  $\mu\text{m}$ , v případě hyperspektrálního skeneru získáme charakteristiku pro interval o šířce 0,01  $\mu\text{m}$  a postihneme tak mnohem větší detaily.

- **Příklady**

#### AIS (Airborne Imaging Spectrometer)

128 pásem  
 šířka pásma 9,3 nm  
 rozsah  $\lambda$  1,2 – 2,4  
 výška letu 4200 m  
 prostorové rozlišení 8 m

#### AVIRIS (Airborne Visible – Infrared Imaging Spectrometer)

224 pásem  
 šířka pásma 9,6 nm  
 rozsah  $\lambda$  0,4 – 2,45  $\mu\text{m}$   
 výška letu 20 km  
 šířka snímaného území 10 km  
 prostorové rozlišení 20 m

#### CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager)

228 pásem  
 šířka pásma 1,8 nm  
 rozsah  $\lambda$  0,4 – 0,9  $\mu\text{m}$   
 doplněn GPS

## 6. Družicové systémy

### 6.1. Typy družicových drah

- Družice používané pro DPZ obíhají Zemi po eliptických drahách v různých výškách. Podle polohy dráhy k rovině rovníku se rozeznávají tři základní typy drah:

#### 6.1.1. rovníková (geostacionární) oběžná dráha

- družice obíhá kolem Země v rovině rovníku a většinou navíc v takové vzdálenosti, ve které je doba oběhu družice rovna době jedné rotace Země kolem vlastní osy (výška družice asi 36 000 km). Proto je tato dráha označována jako geostacionární.
- Nevýhody: malé prostorové rozlišení
- Výhody: možnost častého snímání
- snímá stále stejnou část zemského povrchu
- Použití především v meteorologii

#### 6.1.2. šikmá oběžná dráha

- oběžná dráha družice svírá s rovinou rovníku úhel 30 až 65 stupňů
- družice obíhají po nižších oběžných drahách (stovky km)
- po těchto drahách obíhají většinou družice s lidskou posádkou
- nelze snímat území ve vyšších zeměpisných šířkách

#### 6.1.3. subpolární oběžná dráha

- družice se pohybuje přibližně ve směru poledníků
- s rovinou rovníku svírá úhel 80 až 90 stupňů
- výška družic 700 – 1000 km
- doba oběhu přibližně 2 hodiny



- **Podle zaměření lze družicové systémy rozdělit na:**
- *družice meteorologické*
  - na polárních drahách (NOAA)
  - na geostacionárních drahách (METEOSAT)
- *družice pro výzkum přírodních zdrojů*  
(LANDSAT, SPOT, IRS)

## 6.2. Přehled družicových systémů

### 6.2.1. Geostacionární meteorologické družice

am. GOES 8	...	75°z.d.
am. GOES 9	...	135°z.d.
jap. GMS5 – Himavari	...	140°v.d.
evr. METEOSAT	...	0°
rus. ELEKTRO (GOMS)...		76°v.d.
ind. INSAT		
čín. FENGYUN – 2	...	105°v.d.

#### METEOSAT – 3 pásma

1. viditelné	0,5 – 0,9 μm	2,5 km
2. pásmo vodních par	5,7 – 7,1 μm	5 km
3. IČ termální pásmo	10,5 – 12,5 μm	5 km

- družice válcového tvaru - Ø 2,1m, výška 3,2m, váha 320 kg

### 6.2.2. NOAA

- multispektrální radiometr AVHRR
- šířka snímaného pásma 2400 km
- 5 spektrální pásem

1. viditelné	0,55 - 0,68 μm	1,1 km
2. blízké IČ	0,725 – 1,1 μm	1,1 km

- |             |                           |        |
|-------------|---------------------------|--------|
| 3. termální | 3,55 – 3,92 $\mu\text{m}$ | 1,1 km |
| 4. termální | 10,5 – 11,5 $\mu\text{m}$ | 1,1 km |
| 5. termální | 11,0 – 12,5 $\mu\text{m}$ | 1,1 km |
- subpolární dráha - výška 833km, 14 oběhů za den, doba oběhu 102 min.

### 6.2.3. LANDSAT

MSS ( multi spectral scanner ) – LANDSAT 5,1-3

TM ( thematic mapper ) – LANDSAT 5

ETM ( enhanced TM ) – LANDSAT 6

ETM+ ( enhanced TM ) – LANDSAT 7

MSS - 4 pásma

1. zelená barva	0,5 – 0,6 $\mu\text{m}$	}	80 m
2. červená	0,6 – 0,7 $\mu\text{m}$		
3. blízké IČ	0,7 – 0,8 $\mu\text{m}$		
4. blízké IČ	0,8 – 1,1 $\mu\text{m}$		

TM – 7 pásem

1. modrá	0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$	}	30 m
2. zelená	0,52 – 0,6 $\mu\text{m}$		
3. červená	0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$		
4. blízké IČ	0,76 – 0,9 $\mu\text{m}$		
5. stř. IČ	1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$		
6. termální	10,4 – 12,5 $\mu\text{m}$		120 m
7. stř. IČ	2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$		30 m

### 6.2.4. SPOT

SPOT 1	1986
SPOT 2	1990
SPOT 3	1993
SPOT 4	1997



### **6.2.10. IKONOS**

- MS	4 pásma	4 m
- PAN	1 pásma	1 m

### **6.2.11. EARTHWATCH**

- PAN	0,8 m
-------	-------

### **6.2.12. QuickBird**

- PAN	0,61 m
-------	--------

## 7. Seznam literatury

- [1] KOLÁŘ, J. – HALOUNOVÁ, L. – PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země 10*. 1. vydání. Praha ČVUT, 1997.
- [2] DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. 1. vydání. Brno MU, 1998.
- [3] PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země: operační systémy*. 1. vydání. Praha ČVUT, 1998.
- [4] PAVELKA, K. *Zpracování obrazových záznamů DPZ*. 1. vydání. Praha ČVUT, 1999.
- [5] ERDAS: *Field Guide*. 5. vydání. USA Atlanta Georgia, 1999.
- [6] Dr. Nicholas M. Short, Sr.: [Remote sensing tutorial](http://rst.gsfc.nasa.gov/) (NASA).  
<http://rst.gsfc.nasa.gov/>
- [7] Boyle, R. – Hlaváč, V. – Šonka, M. *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. 2. vydání. USA Kalifornia: Brooks/Cole Publishing Company, 1999.