

Dynamické obrazy

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Dvourozměrný pohyb.
3. Optický tok.
4. Lagrangeova metoda.
5. Relaxační algoritmus.
6. Lokalizace cílu.
7. Sledování cílu.

Dynamické obrazy

Karel Horák



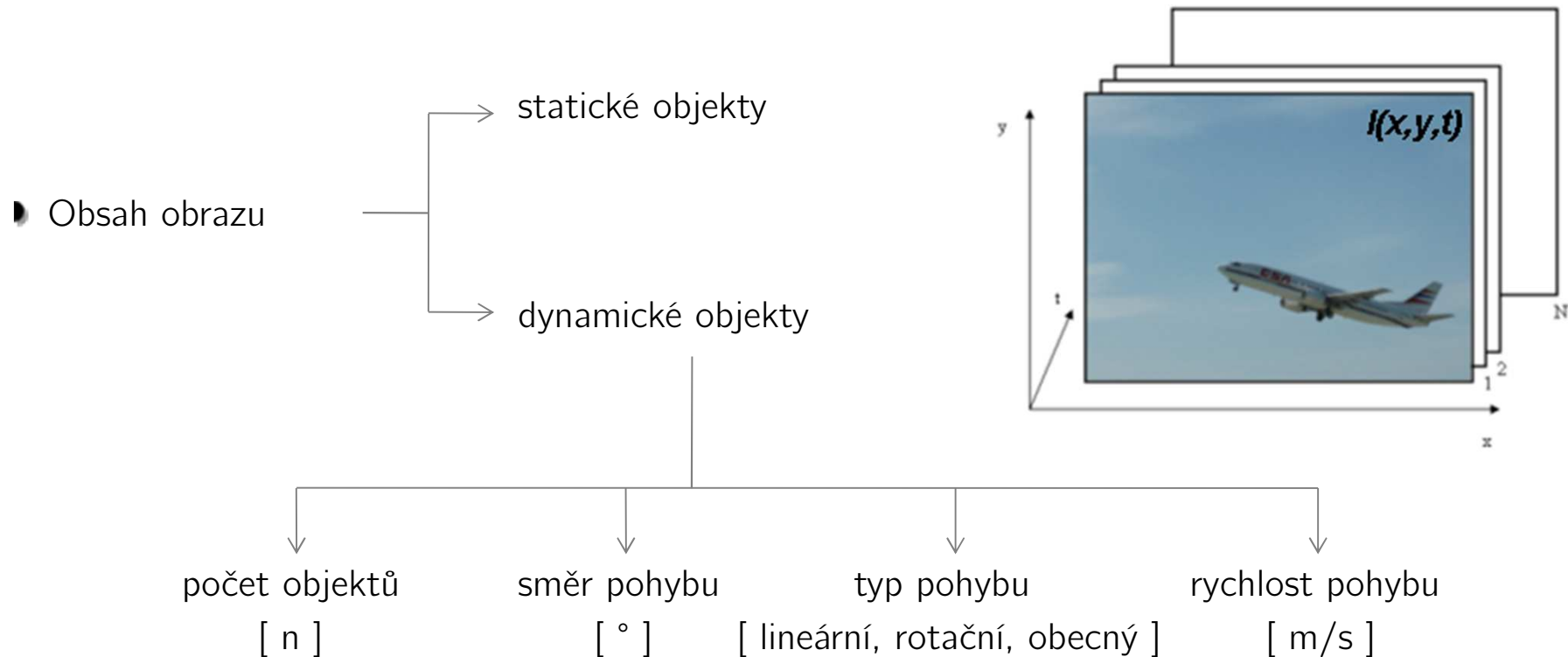
Rozvrh přednášky:

1. Úvod.

2. Dvourozměrný pohyb.
3. Optický tok.
4. Lagrangeova metoda.
5. Relaxační algoritmus.
6. Lokalizace cílu.
7. Sledování cílu.

Úvod – definice

- ▶ Vstupem analýzy pohybu je posloupnost obrazů $I = \{I_1(x,y), I_2(x,y), \dots, I_N(x,y)\}$ pořízených v po sobě jdoucích časových okamžicích.
- ▶ Intenzita dynamického obrazu I je funkcí času t a souřadnic x a y .



- ▶ Neexistuje žádná komplexní metoda analýzy pohybu aplikovatelná na libovolnou sekvenci snímků (všechny metody pracují pouze za deklarovaných omezujících podmínek).

Úvod – definice

- ▶ Motivace = simulovat biologické vidění (hw) a chápání (sw) dynamické scény.
- ▶ Aspekty = psychologické ... jak vnímají obraz živé organismy?
 jak jej modelují?
 jak jej interpretují?
 jak se projevují znalosti a vazby?
 = technické ... jak zpracovat obraz (IP)?
 jak rozpoznat strukturní elementy?

▶ Metody analýzy dynamické scény:

metoda	změna polohy bodu	časový rozestup	typ
▶ Optický tok	elementární (dx, dy)	dt	nezávislá
▶ Rychlostní pole	omezená $\langle d_1, d_2 \rangle$	Δt	závislá
▶ Korespondence bodů	libovolná v rámci obrazu	Δt	závislá

- ▶ pozn.: analýza pohybu je závislá resp. nezávislá pokud je resp. není pro její realizaci nutná explicitní segmentace objektů.

Dynamické obrazy

Karel Horák

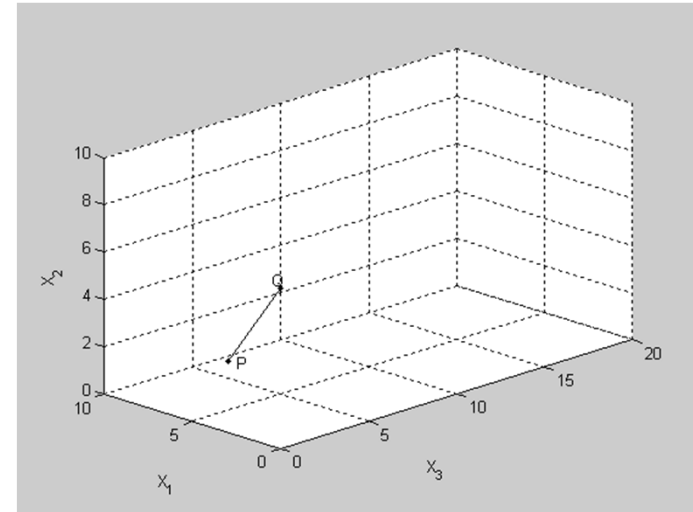


Rozvrh přednášky:

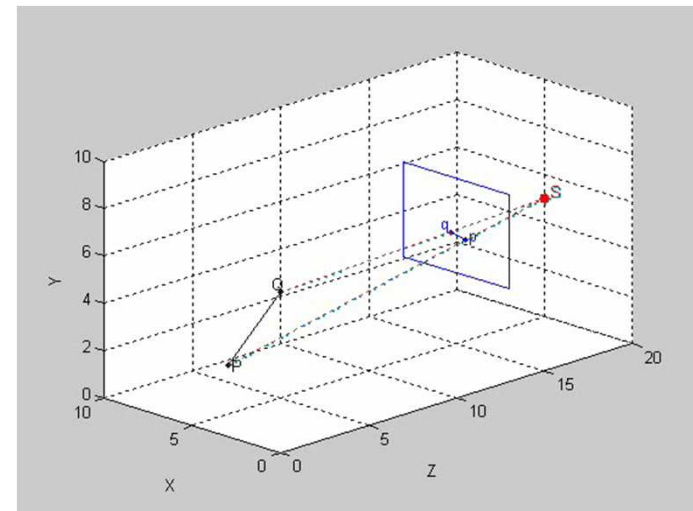
1. Úvod.
- 2. Dvourozměrný pohyb.**
3. Optický tok.
4. Lagrangeova metoda.
5. Relaxační algoritmus.
6. Lokalizace cílu.
7. Sledování cílu.

Dvourozměrný pohyb – definice

- Pohyb objektu (bodů) ve třech rozměrech:
 - 3D okamžitá rychlost bodu¹⁾, 3D posunutí bodu²⁾



- Projekce T pohybu do spojitě 2D obrazové roviny:
 - 2D okamžitá rychlost bodu³⁾, 2D posunutí bodu⁴⁾

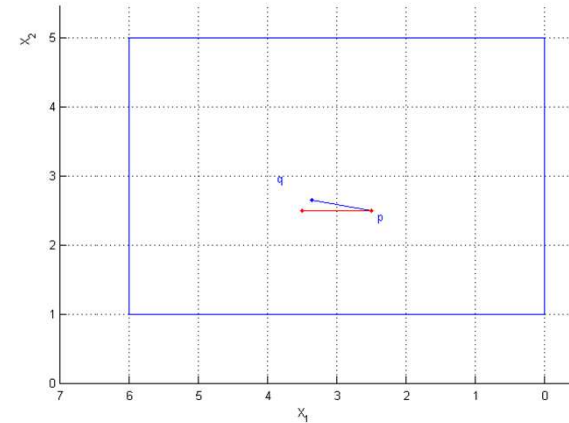
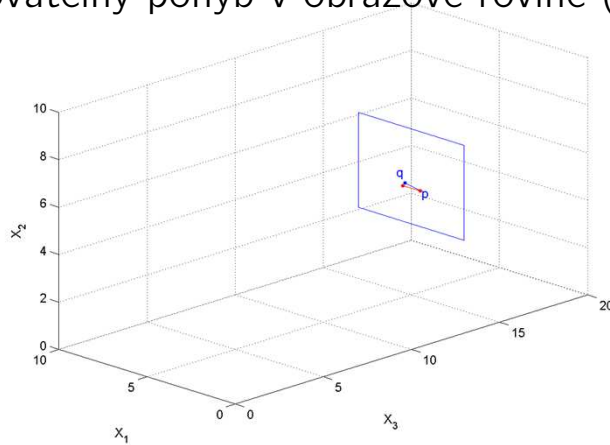


$$\begin{array}{l}
 1) \quad \vec{v}_{3D}(X_1, X_2, X_3, t) \\
 2) \quad \vec{d}_{3D}(X_1, X_2, X_3, t)
 \end{array}
 \xrightarrow{T}
 \begin{array}{l}
 3) \quad \vec{v}_c(\vec{r}, t, k \cdot \Delta t) \\
 4) \quad \vec{d}_c(\vec{r}, t, k \cdot \Delta t)
 \end{array}$$

$$(\vec{r}, t) \in \mathfrak{R}^3, \vec{r} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Dvourozměrný pohyb – definice

- Pozorovatelný pohyb v obrazové rovině (zdánlivý pohyb) = optický tok⁵⁾, rychlostní pole⁶⁾



$$\begin{aligned}
 &^5) \quad \vec{v}_{pxl}(\vec{r}, t, k \cdot \Delta t) = \vec{v}_c(\vec{r}, t, k \cdot \Delta t) \\
 &^6) \quad \vec{d}_{pxl}(\vec{r}, t, k \cdot \Delta t) = \vec{d}_c(\vec{r}, t, k \cdot \Delta t)
 \end{aligned}
 \quad (\vec{r}, t) \in \Lambda^3, \vec{r} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \Lambda^3 = \text{vzorkovací rastr}$$

- Vektory optického toku a rychlostního pole jsou asymptoticky identické za podmínky:

$$\Delta t = t' - t \rightarrow 0$$

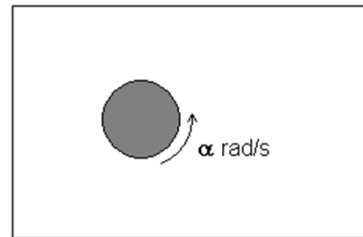
- Optický tok: $(v_1, v_2) = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right) (\vec{r}, t) \in \Lambda^3$

- Rychlostní pole: $(d_1, d_2) = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}, \frac{\Delta y}{\Delta t} \right) (\vec{r}, t) \in \Lambda^3$

Dvourozměrný pohyb – pozorovatelnost

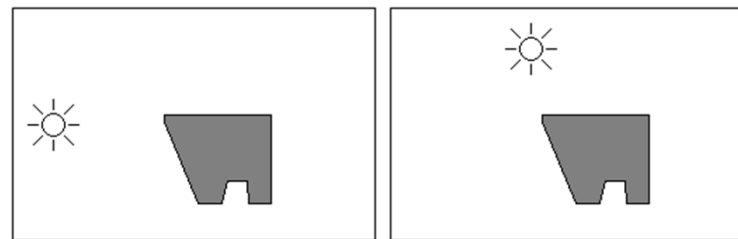
- Proč není dvourozměrný pohyb a optický tok (nebo rychlostní pole) totéž?
- Dva aspekty:
 1. prostorové gradienty v obrazu
 2. změna vnějšího osvětlení

ad 1) aby byl dvourozměrný pohyb pozorovatelný, musí objekt obsahovat jasové variace:



- není generován žádný optický tok, ačkoliv byl do obrazové roviny promítnut reálný rotační pohyb

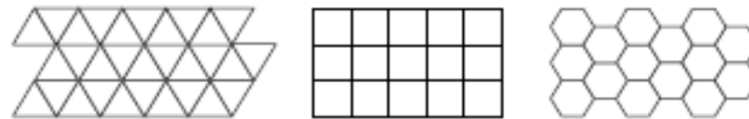
ad 2) změna osvětlení může vyvolat optický tok (např. stíny) bez přítomnosti skutečného pohybu:



- je generován optický tok, ačkoliv ve scéně nedošlo k reálnému pohybu

Dvourozměrný pohyb – omezení

- ▶ Projekce T = transformace 3D \rightarrow 2D \Rightarrow redukce informací
- ▶ Diskretizace = transformace spojité obrazové projekce do vzorkovací mřížky (trigonální, čtvercová, hexagonální):

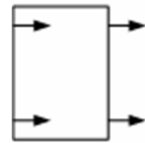


- ▶ Co chceme analyzovat? Spojitý prostorový pohyb
? \updownarrow ?
- ▶ Co analyzujeme? Diskrétní rovinný pohyb (tj. zdánlivý pohyb)
- ▶ Technické řešení: obecně neexistuje (projekce a diskretizace je nutnou součástí snímání)
- ▶ Obecné řešení: syntaktická interpretace 2D diskrétního pozorování

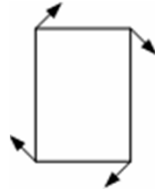
Dvourozměrný pohyb – omezení

- Libovolný pohyb objektu v obraze reprezentující libovolný pohyb objektu v prostoru lze složit z kombinace čtyř základních pohybů:

1. translace v konstantní vzdálenosti
2. rotace v konstantní vzdálenosti
3. rotace kolem osy kolmé na osu objektivu
4. translace do dálky



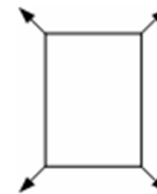
1.



2.



3.



4.

- Aplikací diferenciálních operátorů na rovnici optického toku lze tyto základní pohyby od sebe vzájemně odlišit.

Dynamické obrazy

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Dvourozměrný pohyb.
- 3. Optický tok.**
4. Lagrangeova metoda.
5. Relaxační algoritmus.
6. Lokalizace cílu.
7. Sledování cílu.

Optický tok – definice

- Předpokládejme obrazovou funkci $I(x,y,t)$, v níž došlo v elementárním čase dt k elementární změně (dx,dy) souřadnic obrazového bodu (x,y) :

$$I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

- Rozvojem relace do Taylorovy řady a při zanedbání členů vyšších řádů lze psát:

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt + \dots$$

- Pokud je intenzita bodu (x,y) v čase dt neměnná, pak platí:

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t)$$

↓

$$\frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt = 0$$

Optický tok – definice

- Formálně: dělením předchozí rovnice výrazem dt :

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0$$

- a zavedením substituce složek rychlosti v_1 ve směru osy x a rychlosti v_2 ve směru osy y :

$$v_1 = \frac{dx}{dt} \quad v_2 = \frac{dy}{dt}$$

- lze obdržet rovnici optického toku:

$$-\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial I}{\partial x} v_1 + \frac{\partial I}{\partial y} v_2$$

- Neformálně: levá strana rovnice optického toku říká, jak se mění obrazová data v čase, zatímco pravá strana jak se tatáž data změní se změnou polohy. Rovnítko ve vztahu reprezentuje intuitivní fakt, že časová změna obrazu je za předpokladu konstantního osvětlení rovna jeho prostorovému posunutí (pokud nedochází ke změně struktury objektů apod.).

- Z uvedeného vyplývá:

- každému obrazovému elementu $\mathbf{x} = [x \ y]$ odpovídá vektor rychlosti $\mathbf{v}(\mathbf{x}, t) = [v_1 \ v_2]$
- hodnota vektoru rychlosti optického toku je určena lokálními jasovými vlastnostmi obrazu

Optický tok – výpočet

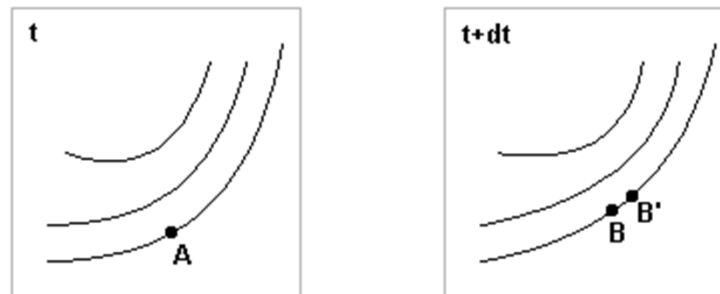
- Parciální derivace lze určit přímo z průběhu obrazové funkce $I(x,y,t)$:

$$\frac{\partial I}{\partial t} \quad \frac{\partial I}{\partial x} \quad \frac{\partial I}{\partial y}$$

- K určení složek v_1 a v_2 vektoru rychlosti (dvě neznámé) máme k dispozici pouze jednu rovnici optického toku \Rightarrow nemožnost exaktního výpočtu:

$$-\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial I}{\partial x} v_1 + \frac{\partial I}{\partial y} v_2$$

- Geometrická interpretace problému: předpokládáme neměnnou jasovou hodnotu obrazového bodu A, jehož poloha se v čase mění a to libovolně po kontuře ekvidistantních jasových hodnot:



- Problém: přesunula se část reprezentovaná obrazovým bodem A na místo B nebo B' ? \Rightarrow nekonečně mnoho řešení v případě spojitého signálu, u diskrétního obrazu více nejednoznačných řešení.

Optický tok – výpočet

- ▶ Pro výpočet v_1 a v_2 je třeba získat další informaci:
- ▶ Z definice optického toku vyplývá, že pohyb pozorovaný u sousedících obrazových bodů (vyjma bodů v blízkosti hran objektů) je velmi podobný \Rightarrow změna optického toku je pomalá a reprezentovaná hladce se měnící funkcí.
- ▶ Kritériem hladkosti funkce optického toku může být integrál S :

$$S = \iint_I \left(\frac{\partial v_1}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_1}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_2}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_2}{\partial y} \right)^2 dx dy$$

- ▶ Kritérium C správnosti výpočtu složek vektoru rychlosti v_1 a v_2 vychází přímo z rovnice optického toku (v ideálním případě je součet členů v závorce nulový):

$$C = \iint_I \left(\frac{\partial I}{\partial x} v_1 + \frac{\partial I}{\partial y} v_2 + \frac{\partial I}{\partial t} \right)^2 dx dy$$

Optický tok – výpočet

- Spojením dvou uvedených kritérií jako omezujících podmínek Lagrangeovým multiplikátorem lze obdržet vztah:

$$(v_1, v_2) = \arg \min_{v_1, v_2} \|C + \lambda \cdot S\|$$

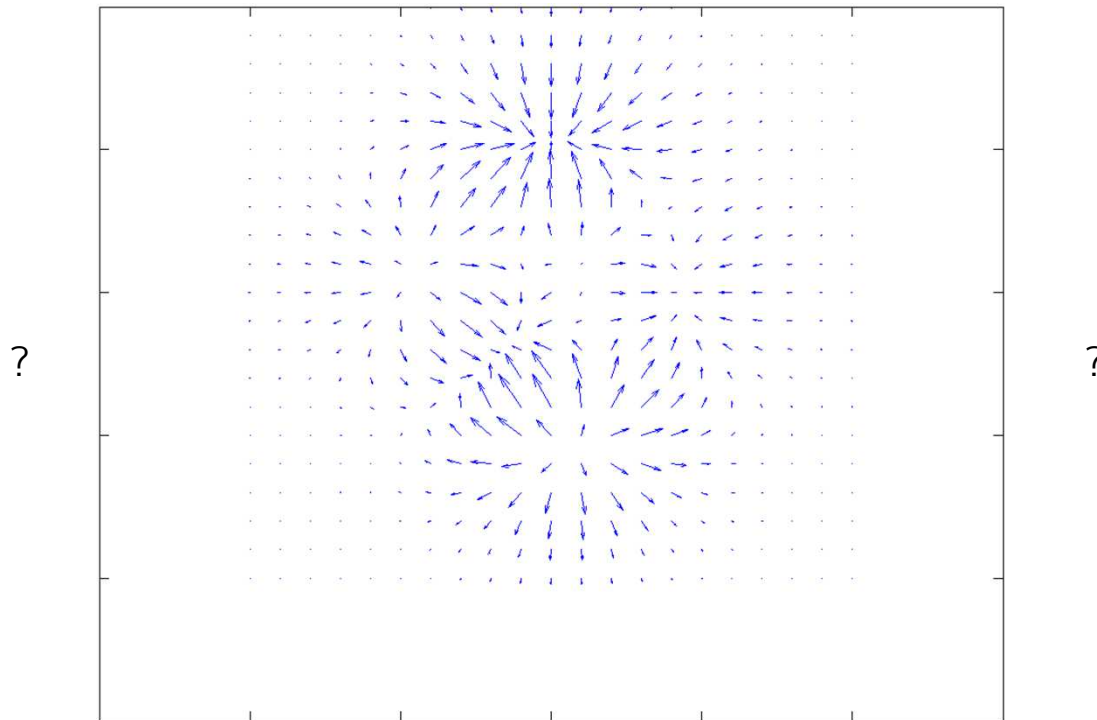
- řešitelný pomocí Lagrangeovy metody neurčitých koeficientů.
- Řešením je taková dvojice složek vektoru rychlosti v_1 a v_2 , která minimalizuje chybovou funkci složenou z kritérií C a S :

$$C + \lambda \cdot S = \iint_I \left(\frac{\partial I}{\partial x} v_1 + \frac{\partial I}{\partial y} v_2 + \frac{\partial I}{\partial t} \right)^2 dx dy + \lambda \cdot \iint_I \left(\frac{\partial v_1}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_1}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_2}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_2}{\partial y} \right)^2 dx dy$$

- člen C představuje odchylku řešení od definičního vztahu optického toku
- člen S představuje odchylku od dokonale hladkého průběhu funkce optického toku (Lagrangeův koeficient λ představuje váhu požadavku na hladkost průběhu).

Optický tok – interpretace

- ▶ Vstupní posloupnost $I(x,y,t)$: obraz $I_1(x,y) \leftrightarrow t_1 \dots$ obraz $I_2(x,y) \leftrightarrow t_2 \dots$ $\dim[I_i(x,y)] = [X_s Y_s]$
- ▶ Výsledek výpočtu = pole optického toku $\Phi \dots$ $\dim[\Phi] = \dim[X_s Y_s v_1 v_2]$
- ▶ Výsledek analýzy pohybu = interpretace pole optického toku



Dynamické obrazy

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Dvourozměrný pohyb.
3. Optický tok.
- 4. Lagrangeova metoda.**
5. Relaxační algoritmus.
6. Lokalizace cílu.
7. Sledování cílu.

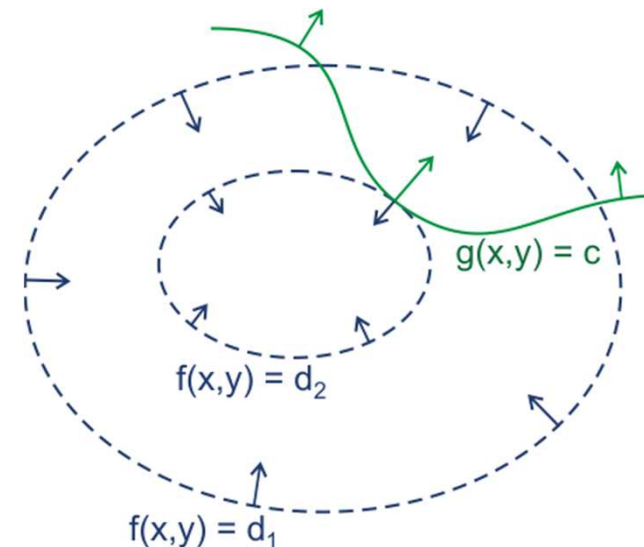
Lagrangeova metoda neurčitých koeficientů – definice

- Formálně: optimalizační metoda výpočtu vázaného extrému funkce n proměnných vzhledem ke k vazebním podmínkám.
- Neformálně: redukuje hledání stacionárních bodů funkce n proměnných s k vazebními podmínkami na hledání stacionárních bodů funkce $n+k$ proměnných bez vazebních podmínek.

- Předpokládejme dvourozměrný případ podle obrázku:

- Funkce dvou proměnných: $z = f(x, y)$ $d_1 < d_2$

- Vazební podmínka: $g(x, y) = c$



- Lagrangeova funkce: $F(x, y, \lambda) = f(x, y) + \lambda \cdot [g(x, y) - c]$

- Ve výpočtu se pro každou jednu vazební podmínku objevuje jedna nová neznámá skalární proměnná λ , která se nazývá Lagrangeův multiplikátor.

Lagrangeova metoda neurčitých koeficientů – řešení

- Formální řešení: výpočet stacionárních bodů z rovnice:

$$\nabla_{x,y,\lambda} F(x, y, \lambda) = 0$$

(! vypočtené stacionární body \neq globální extrémy funkce $F(x,y,\lambda)$)

- v níž $F(x,y,\lambda)$ je Lagrangeova funkce a ∇ operátor parciálních derivací:

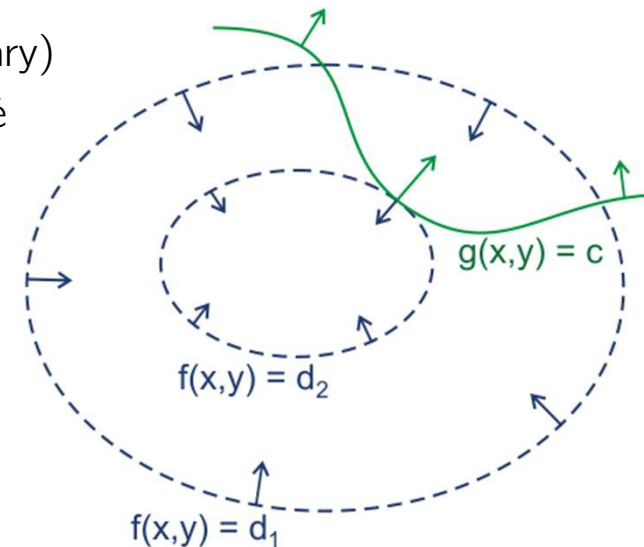
$$\nabla_{x,y,\lambda} = \left(\frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial \lambda} \right)$$

- V uvedeném dvourozměrném příkladu se pak řeší tři rovnice o třech neznámých:

$$\frac{\partial [f(x, y) + \lambda \cdot g(x, y)]}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial [f(x, y) + \lambda \cdot g(x, y)]}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial [f(x, y) + \lambda \cdot g(x, y)]}{\partial \lambda} = g(x, y) = 0$$

- Neformálně: předpokládejme pohyb podél zelené kontury (izočáry) funkce $g(x,y)=c$, při němž postupně protínáme „vrstevnice“ modré kontury funkce $f(x,y)=d_i$. Jakmile se s pohybem po křivce $g(x,y)$ přestane měnit hodnota $f(x,y)$ znamená to, že obě křivky se dotýkají tangenciálně, jejich normály jsou rovnoběžné a je nalezen stacionární bod (lokální extrém) vyhovující podmínkám:

$$\nabla_{x,y} f(x, y) = \lambda \cdot \nabla_{x,y} g(x, y) \quad g(x, y) = c$$



Dynamické obrazy

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Dvourozměrný pohyb.
3. Optický tok.
4. Lagrangeova metoda.
- 5. Relaxační algoritmus.**
6. Lokalizace cílu.
7. Sledování cílu.

Relaxační algoritmus – definice

- Relaxační algoritmus výpočtu optického toku – řešení soustavy parciálních diferenciálních rovnic:

$$(v_1, v_2) = \arg \min_{v_1, v_2} \|C + \lambda \cdot S\|$$

- vede ke vztahům pro složky v_1 a v_2 vektoru rychlosti:

$$v_1 = v_{1m} - \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial x} \cdot \frac{P}{D}$$

$$v_2 = v_{2m} - \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial y} \cdot \frac{P}{D}$$

- v_{1m} a v_{2m} značí dosavadní průměrné hodnoty složek rychlosti (algoritmus je iterační)
- koefficienty P a D:

$$P = \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial x} \cdot v_{1m} + \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial y} \cdot v_{2m} + \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t}$$

$$D = \lambda^2 + \left(\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial y} \right)^2$$

Relaxační algoritmus – postup

► Složky vektoru rychlosti, čili optický tok je vypočítán rekurzivním relaxačním algoritmem založeným na Gauss-Seidelově iterační metodě (odhad vektoru rychlosti v kroku k je určen z hodnot vektoru rychlosti v kroku $k-1$):

► Postup algoritmu:

1. určení inicializačních hodnot pole vektorů rychlosti $\mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$.

2. výpočet vektoru rychlosti (v_1^k, v_2^k) pro každý pixel obrazu:

$$v_1^k(x, y) = v_{1m}^{k-1}(x, y) - \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial x} \cdot \frac{P}{D}$$

$$v_2^k(x, y) = v_{2m}^{k-1}(x, y) - \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial y} \cdot \frac{P}{D}$$

3. opakování kroku 2 dokud nejsou zpracovány všechny obrazy snímané posloupnosti $k=1, 2, \dots, n$.

Dynamické obrazy

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Dvourozměrný pohyb.
3. Optický tok.
4. Lagrangeova metoda.
5. Relaxační algoritmus.
- 6. Lokalizace cílu.**
7. Sledování cílu.

Lokalizace cílu – definice

- Vyhledávání známého obrazového vzoru (šablony) ve snímcích sekvence – příklad:



- Obraz = obrazová data $f(x,y)$... 240x300 pxl →

- Šablona = obrazová data $t(x,y)$... 11x11 pxl (sub-obraz z $f(x,y)$) →



- Vyhledávání = měření podobnosti šablony $t(x,y)$ a části obrazu $f(x,y)$ pro všechna přípustná posunutí (x',y') šablony po obrazu.

- Metody:
 1. SSD = suma čtverců odchylek
 2. SSD_N = SSD s korekcí intenzity
 3. CC = korelace obrazu a šablony
 4. NCC = normalizovaná CC
 5. MNCC = modifikovaná normalizovaná CC

Lokalizace cílu – suma čtverců odchylek

- SSD pro posunutí (x', y') je dána vztahem:

$$SSD(x', y') = \sum_{\substack{x, y \in T \\ x+x', y+y' \in F}} (f(x+x', y+y') - t(x, y))^2$$

- Lokalizace šablony v mapě SSD:

$$(x', y') = \arg \min_{(i, j)} \|SSD(i, j)\|$$



$f(x,y)$



$t(x,y)$



$SSD(x,y)$



šablona v $f(x,y)$

- SSD není invariantní vůči otočení ani změně jasu.

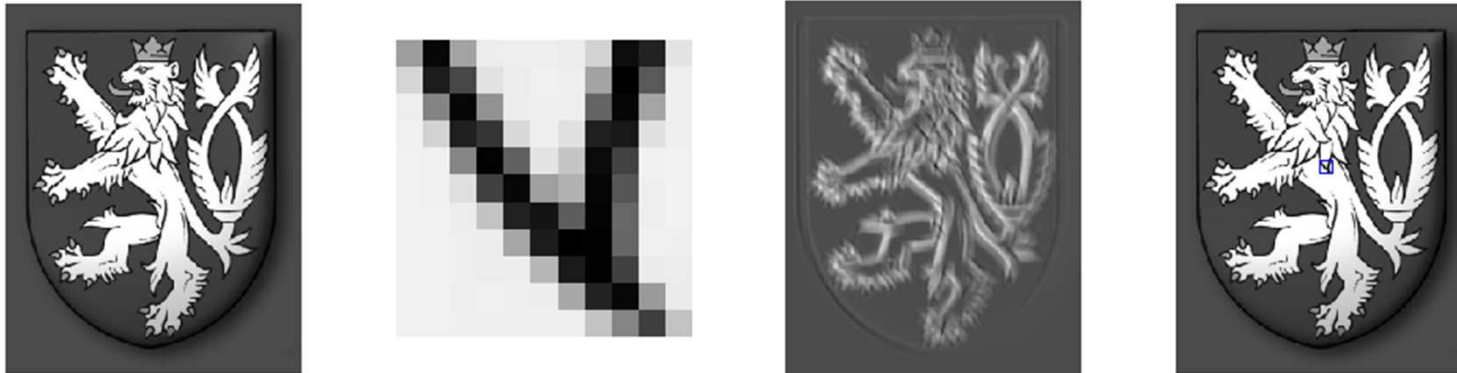
Lokalizace cílu – suma čtverců odchylek s korekcí intenzity

- SSD_N pro posunutí (x', y') je dána vztahem:

$$SSD_N(x', y') = \sum_{\substack{x, y \in T \\ x+x', y+y' \in F}} \left((f(x+x', y+y') - \bar{f}(x', y')) - (t(x, y) - \bar{t}) \right)^2$$

- Korekce změny intenzity je provedena odečtením průměrné (referenční) hodnoty regionu:

- $\bar{f}(x', y')$... průměrná hodnota je závislá na posunutí (x', y') \Rightarrow počítá se pro každou pozici (x', y').
- \bar{t} ... průměrná hodnota není závislá na posunutí (x', y') \Rightarrow počítá se pouze jednou.



- SSD_N není invariantní vůči otočení a je invariantní na změnu jasu (pouze na změny průměrné hladiny osvětlení v rámci regionu o velikosti šablony).

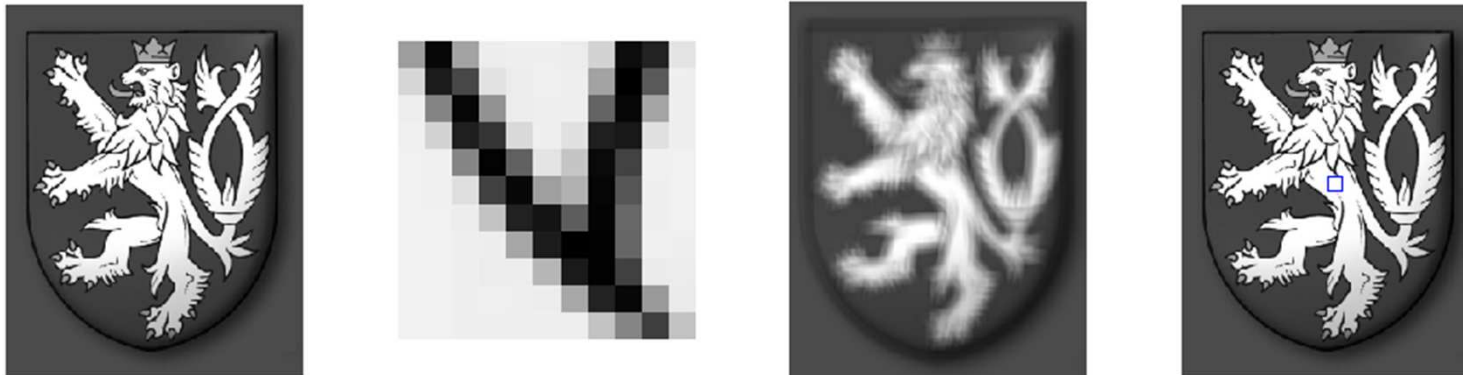
Lokalizace cílu – vzájemná korelace

- CC pro posunutí (x', y') je dána vztahem:

$$CC(x', y') = \sum_{\substack{x, y \in T \\ x+x', y+y' \in F}} (f(x+x', y+y') \cdot t(x, y))$$

- Formálně je korelace totožný proces jako konvoluční filtrace transponovanou maskou $t(x, y)$.
- Lokalizace šablony v mapě CC:

$$(x', y') = \arg \max_{(i, j)} \|CC(i, j)\|$$



- Pokud je $t(x, y) > 0$ a $f(x+x', y+y') \gg 0 \Rightarrow CC(x', y')$ vykazuje vysoké hodnoty bez ohledu na podobnost t a $f \Rightarrow$ potřeba NCC (v mapě CC se vyskytuje více pozic splňující podmínku $\arg \max$).
- CC není invariantní vůči otočení ani změně jasu
- pozn.: pro šablony větších rozměrů je vhodné použít výpočet korelace pomocí FFT.

Lokalizace cílu – normalizovaná korelace

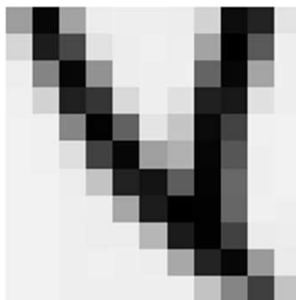
- NCC pro posunutí (x', y') je dána vztahem:

$$NCC(x', y') = \frac{1}{N_1} \cdot \sum_{\substack{x, y \in T \\ x+x', y+y' \in F}} ((f(x+x', y+y') - \bar{f}(x, y)) \cdot (t(x, y) - \bar{t}(x, y)))$$

- Normalizační koeficient N_1 :

$$N_1 = \sqrt{D_f(x', y') \cdot D_t} \quad \text{kde} \quad D_t = \sum_{x, y \in T} (t(x, y) - \bar{t})^2 \quad \dots \text{počítáno pouze jednou}$$

$$D_f(x', y') = \sum_{x+x', y+y' \in F} (f(x+x', y+y') - \bar{f}(x', y'))^2 \quad \dots \text{počítáno pro každou pozici}$$



- NCC není invariantní vůči otočení a je invariantní na změnu jasu danou libovolnou lineární kombinací $\alpha \cdot f(x, y) + \beta$.

Lokalizace cílu – modifikovaná normalizovaná korelace

- MNCC pro posunutí (x', y') je dána vztahem:

$$MNCC(x', y') = \frac{1}{N_2} \cdot \sum_{\substack{x, y \in T \\ x+x', y+y' \in F}} \left((f(x+x', y+y') - \bar{f}(x, y)) \cdot (t(x, y) - \bar{t}(x, y)) \right)$$

- Rozdíl MNCC oproti NCC je v normalizačním koeficientu N_2 :

$$N_2 = D_f(x', y') + D_t \quad \text{kde} \quad D_f(x', y'), D_t = \dots \text{stejně jako u NCC}$$



- Výhoda MNCC: je ošetřena numerická nestabilita – pokud $D_f(x, y) \rightarrow 0$ (tj. obraz $f(x', y')$ je plochý a neobsahuje jasové variace) dochází u NCC k dělení nulou.
- MNCC není invariantní vůči otočení a je invariantní na změnu jasu danou libovolnou lineární kombinací $\alpha \cdot f(x, y) + \beta$.

Lokalizace cílu – porovnání výstupů metod

▶ SSD: lokalizace minima: →



▶ SSD_N : lokalizace minima: →



▶ CC: lokalizace maxima: →



▶ NCC: lokalizace maxima: →



▶ MNCC: lokalizace maxima: →

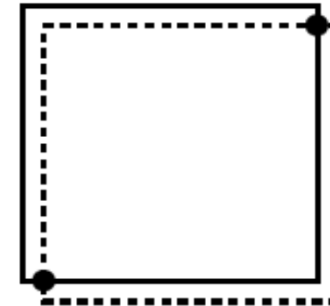


Lokalizace cílu – kontura vs. region

- U ideálního objektu: posunutí šablony ⇒ zásadní snížení korelace kontur
⇒ zanedbatelné snížení korelace regionů



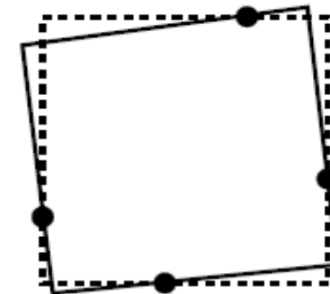
- Korelace kontur je ostrá = přesnost!
- Korelace regionů je neostrá = spolehlivost!



- U zkresleného objektu: posunutí šablony ⇒ korelace kontur je nízká (minutí cílu)
⇒ korelace regionů je vysoká (detekce cílu)



- Korelace kontur je nestabilní = nespolehlivost!
- Korelace regionů je stabilní = nepřesnost!



- Problém: nespolehlivá přesnost vs. spolehlivá nepřesnost

- pozn.: korelace kontur = rychlejší, korelace regionů = pomalejší

Dynamické obrazy

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

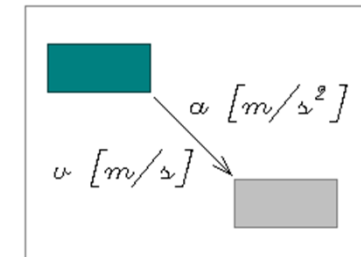
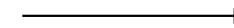
1. Úvod.
2. Dvourozměrný pohyb.
3. Optický tok.
4. Lagrangeova metoda.
5. Relaxační algoritmus.
6. Lokalizace cílu.
- 7. Sledování cílu.**

Sledování cílu – úloha

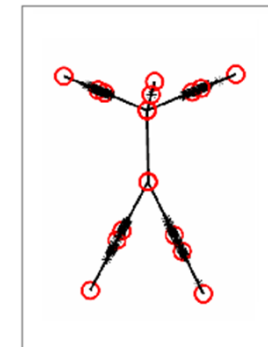
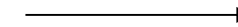
- ▶ Hlavní cíl = sledování pohybujících se objektů + predikce další trajektorie.
- ▶ Předpoklady = schopnost anticipace (předjímání) pohybu na základě apriorních znalostí (anticipativní model pracuje nad zpracováním obrazu obdobně jako strukturní rozpoznávání).
- ▶ Příklad:
- ▶ Funkce = dohledový bezpečnostní systém disponuje systémem predikujícím trajektorii budoucího pohybu vetřelce zaznamenaného kamerou.
- ▶ Apriorní znalosti = tvar hlavy: rozpoznatelnost od ostatních předmětů (ruce, obrazy na stěně, knihy, nábytek...).
- ▶ Apriorní znalosti = způsob pohybu: plynulý pohyb s převládající horizontální složkou (paralelní k podlaze), lze jej odlišit např. od kyvadlového pohybu neklidu hodin nebo rychlého pohybu domácího zvířete.
- ▶ Předpoklady = modely a omezující podmínky jsou programovány na základě statistické pravděpodobnosti, protože pojmy jako např. tvar hlavy nebo rychlost a směr pohybu vetřelce nelze a-priori přesně definovat.

Sledování cílu – modely cílů

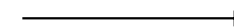
- ▶ Jednoduché dynamické modely prvního a druhého řádu:



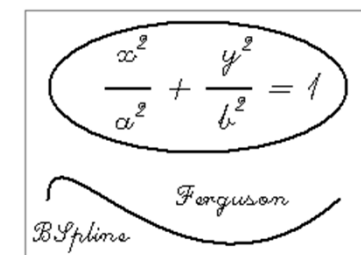
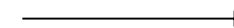
- ▶ Kinematické modely (např. model lidského těla = tyčový kinematický model s vazebními podmínkami v kloubech):



- ▶ Šablony = obrazy, geometrické modely, vícenásobné šablony:



- ▶ Křivky = analytická reprezentace, B-spline kontury:



Sledování cílu – vývoj teorie

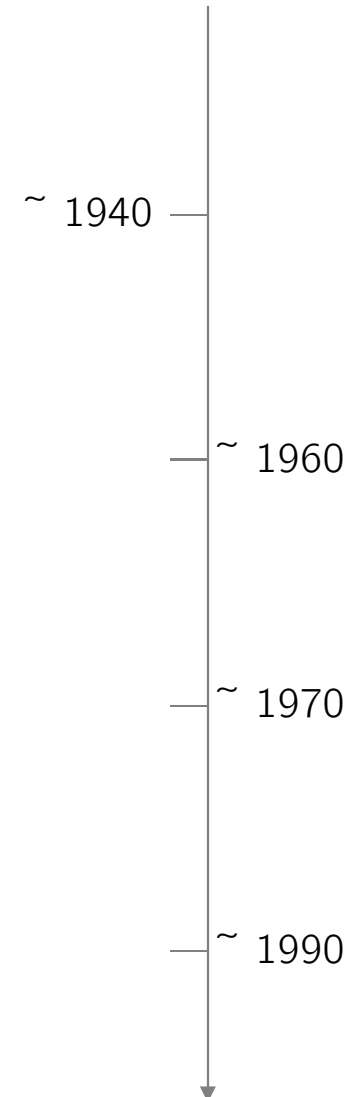
► Metody založené na analýze stochastických signálů:

► Wienerova filtrace – lineární dynamické systémy,
vstup/výstupní popis, Gaussovo rozložení,
lineární odhad optima ve smyslu kritéria nejmenších čtverců.

► Kalmánova filtrace – stavový popis, ostatní jako Wiener.

► Rozšířená Kalmánova filtrace – nelineární dynamické systémy,
ostatní jako Kalmánova filtrace.

► Kondenzační algoritmus – zvládá i multimodální rozložení.



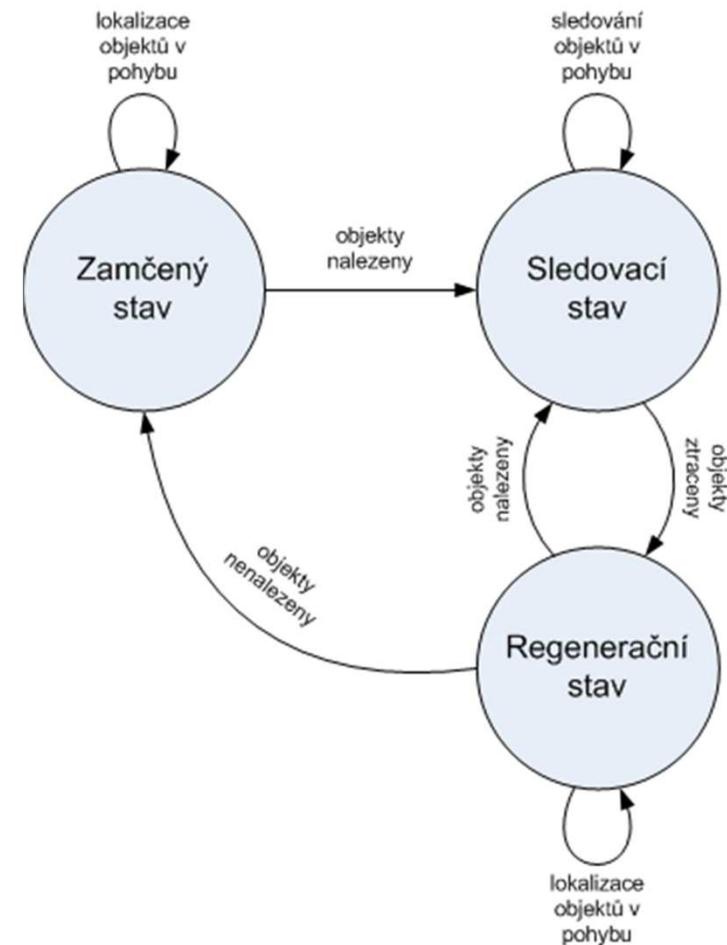
Sledování cílu – dogmata

1. Statické pozadí: pozadí scény je neměnné, přestože jeden nebo více objektů v popředí koná pohyb.
2. Změna velikosti cílu: pohybem od a ke kameře se mění velikost cílu \Rightarrow do algoritmu vyhledávání cílu musí být začleněn normovací mechanismus.
3. Dočasná ztráta cílu: při ztrátě cílu např. překrytím jiným objektem musí algoritmus autonomně vyhodnotit jeho nejpravděpodobnější dynamickou pozici.
4. Model cílu: musí být sestaven z takových vlastností objektu, které nejsou závislé na jeho poloze, vzdálenosti, světelných podmínkách atd.
5. Automatická detekce cílu: schopnost systému detekovat nový pohybující se cíl.
6. Reálný čas: algoritmus výpočetně jednoduchý použitelný v reálném čase.
7. Trajektorie cílu: cíl může/nemusí sledovat definovanou trajektorii, ostré změny.
8. Rychlost cílu: nulová až ostrá změna rychlosti cílu, obecně může být nulová (konstantní), kladná (zrychluje) nebo záporná (zpomaluje).

Sledování cílu – model systému

► Systém sledování cílu je třístavový sekvenční stroj:

1. Zamčený stav = tento stav je inicializační, vyhledávají se pohyblivé objekty v celém obrazu a jsou extrahovány příslušné obrazové oblasti.
2. Sledovací stav = vyžaduje výpočetně nenáročné algoritmy, na základě výsledků ze zamčeného stavu je predikována následující pozice objektů v jeho okolí a je uložena do historie trajektorie. Pokud systém není schopen stanovit předpokládanou pozici objektu např. vlivem zakrytí objektu v obrazu jiným objektem, je systém převeden do regeneračního stavu.
3. Regenerační stav = pokud je objekt dočasně nebo výjimečně i trvale ztracen ve sledovacím stavu, pokusí se systém v regeneračním stavu z kompletního snímku ze znalosti historie trajektorie obnovit jeho pozici. Pokud se tak nestane do expiračního času, je systém převeden do zamčeného stavu a musí proběhnout nová inicializace.



Sledování cílu – stíny

- ▶ Viditelnost objektu \Rightarrow osvětlení objektu \Rightarrow stíny objektu.
- ▶ Úspěšné rozpoznání objektu a interpretace dynamické scény zpravidla vyžaduje eliminaci stínů (algoritmus eliminace stínů je silně závislý na konkrétní aplikaci).
- ▶ Předpoklad: stín objektu bezprostředně v některém místě sousedí s objektem tj. pohybující se objekt je nutně segmentován i se svým stínem \Rightarrow v případě prolnutí stínů dvou objektů dochází k falešnému spojení.
- ▶ Stíny: vlastní stín = část objektu vrhá stín na jinou svoji část \Rightarrow chybná segmentace objektu.
vržený stín = část objektu vrhá stín na libovolnou cizí plochu.
- ▶ Charakteristické vlastnosti:
 1. HSV prostor = více odpovídá lidskému vnímání barev, snazší odlišitelnost stínů ve složkách.
 2. Intenzita = stín redukuje intenzitu osvětlení pozadí scény tj. výrazně snižuje složku V.
 3. Saturace = stín redukuje saturaci bodů, na něž je vržen (rozdíl hodnoty složky S bodů pozadí scény a hodnoty složky S bodů stínu je vždy pozitivní).

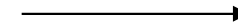
Sledování cílu – příklady

▶ Příklad 1 – obličej:

▶ apriorní znalosti:

- geometrie hlavy
- rychlé pohyby dítěte

▶ použití: obecné vyhledávání objektů nehomogenních kontur

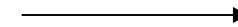


▶ Příklad 2 – kamufláž:

▶ apriorní znalosti:

- pravděpodobnostní rozložení polohy objektu v obraze
- vazební podmínky kyvadlového pohybu listu ve větru

▶ použití: jako náhrada klíčovací metody v televizní technice (uvnitř kontury separovaného listu je lokálně zvýšen jas).

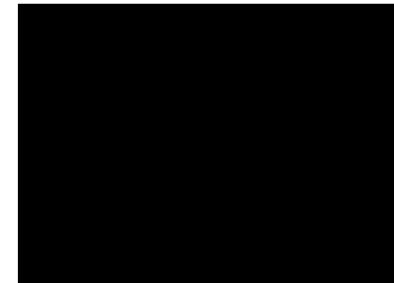
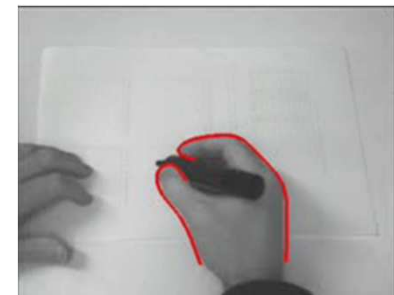
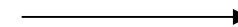


▶ Příklad 3 – interakce:

▶ apriorní znalosti:

- rychlost pohybu ruky, tvar detekované křivky
- v případě barevného obrazu barva kůže

▶ použití: ovládání počítače pomocí pohybů ruky a jednoduchých gest (na videu: červená=objekt v pohybu, zelená=stíny, modrá=objekt v klidu).



Sledování cílu – příklad

- ▶ Příklad 4 – animace:
- ▶ apriorní znalosti:
 - použít make-up pro zvýraznění mimických rysů
 - model vazeb významných bodů v obličeji
- ▶ použití: mapování deformací tváře na grafickou reprezentaci



- ▶ Příklad 5 – chodec:
- ▶ apriorní znalosti:
 - kinematický model lidského těla
 - vazební podmínky
- ▶ použití: analýza biometrických údajů v medicíně, sportu, identifikačních systémech apod. (systémy rozpoznávání pracující s optickými značkami a elektronickými snímači na figurantovi jsou vytlačovány bezkontaktním snímáním).

