



# **Analýza obrazu obličeje v medicíně a forenzní antropologii**

Jan Kalina

Odd. medicínské informatiky  
Ústav informatiky AV ČR, v.v.i.

- ★ Úvod
- ★ Analýza obrazu obličeje
- ★ Optimalizace šablon
- ★ Robustní statistické metody v analýze obrazu
- ★ Forenzní antropologie

## Úvod. **Analýza obrazu obličeje**

Klasifikační analýza (strojové učení). Úlohy:

- Lokalizace obličeje (*face localization*).
- Detekce obličeje (*face detection*).
- Rozpoznávání obličeje (*face recognition*).

**Obličej = objekt intenzivního interdisciplinárního výzkumu.**

Příklady (specifických) úloh v **medicině**:

- Diagnostika genetických onemocnění (dysmorfické obličeje).
- Stomatologie.  
(Snímky temporomandibulárního kloubu, plánování a vyhodnocování léčby. Porovnávání snímků pravé a levé tváře, porovnání.)
- Plánování operací obličeje.
- Genetická dispozice pro velikost a tvar obličejových komponent.
- Rekonstrukce obličeje z DNA.
- Popis obličeje pomocí biometrických veličin.
- Rekonstrukce obličeje z biometrických veličin.

## Úvod. **Forenzní aplikace**

Analýza obrazu obličeje ve forenzní antropologii  
(virtual anthropology, computer forensics, forensic computer science):

- Identifikace oběti násilné trestné činnosti
  - ★ **Kraniofaciální superimpozice** (porovnání lebky a fotografie)
  - ★ **Rekonstrukce obličeje z lebky**
- Rekonstrukce obličeje podle popisu (pachatel popsán svědkem)
- Rekonstrukce obličeje z fotografie
- Modelování změn obličeje v čase
- Generování nových (fiktivních) obličejů

## Úvod. **Forenzní aplikace**

Identifikace oběti násilné trestné činnosti.  
(Úloha klasifikační analýzy.)



# Analýza obrazu obličeje v medicíně a forenzní antropologii

- ★ Úvod
  - ★ Analýza obrazu obličeje
  - ★ Optimalizace šablon
  - ★ Robustní statistické metody v analýze obrazu
  - ★ Forenzní antropologie
- 
- ♣ Böhringer S., Vollmar T., Tasse C., Würtz R.P., Gillessen-Kaesbach G., Horsthemke B., Wiczorek D. (2006): Syndrome identification based on 2D analysis software. *European Journal of Human Genetics* **14**, 1082–1089.
  - ♣ Bronstein A.M., Bronstein M.M., Kimmel R. (2005): Three-dimensional face recognition. *International Journal of Computer Vision* **64**, 5–30.
  - ♣ Lu X. (2003): Image analysis for face recognition. <http://www.cse.msu.edu/~lvxiaogu/publications>, unpublished.
  - ♣ Viola P., Jones M.J. (2004): Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision* **57**, 137–154.
  - ♣ Yang M.-H., Kriegman D.J., Ahuja N. (2002): Detecting faces in images: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **24**, No. 1, 34–58.

## Úvod. **Analýza obrazu obličeje v počítačovém vidění**



S jakými potížemi se musí analýza obrazu obličeje vyrovnat:

Otočení hlavy v prostoru, osvětlení, velikost obličeje, šum, výraz obličeje, zakrytí části obličeje, vlasy přes obličej, stárnutí, ...

Kritika: Speciální předpoklady. Problém s otočením hlavy v prostoru. Ruční příprava dat. Složitě metody mohou vést k lokálnímu optimu.

Redukce dimenze musí být ušita na míru pro klasifikaci!

## Obličej. **Typické postupy pro analýzy obrazu obličeje**

Rozpoznávání/lokalizace/detekce obličeje:

Příprava dat (odstranění šumu, manuální kroky - vyříznutí obličeje v trénovací databázi).

- **Metody nezaložené na modelu** (appearance-based, view-based).
  - ★ Analýza hlavních komponent (PCA). (Nekorelované komponenty.)
  - ★ Independent component analysis. (Nezávislé komponenty i pro nenormální data).
  - ★ Lineární diskriminační analýza.
  - ★ Locally linear embedding.
  - ★ ...
  
- **Metody založené na modelu** (model-based).

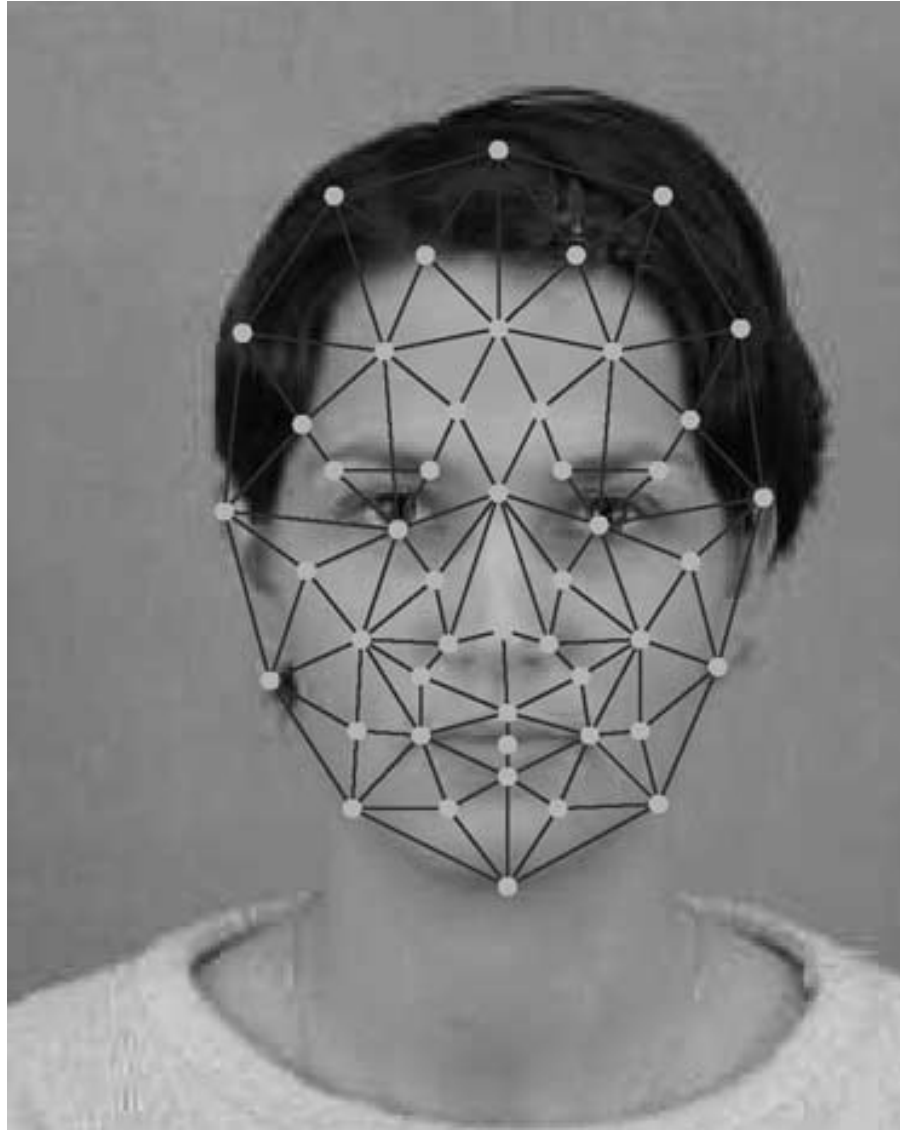
(Model, který dokáže popsat i variabilitu obličeje. Studuje se deformace obličeje. Korelační koeficient.)

  - ★ Elastic bunch graph matching.
  - ★ Active appearance model.
  - ★ Deformovatelné šablony.
  - ★ 3D morphable model.

(Bohatá databáze 3D modelů v trénovací databázi. Při identifikaci se nový obličej srovnává s obličejem z trénovací databáze, odhadují se parametry.)

Jindy: Redukce dimenze  $\implies$  extrakce příznaků  $\implies$  klasifikace.

Obličeje. **Elastic bunch graph matching**



Obličej je reprezentován grafem (uzly, hrany).

Waveletová transformace, šablona v prostoru waveletových koeficientů.



Obličeje. **Systemy pro podporu rozhodování**

Dysmorfické obličeje.



System pro podporu diagnostického rozhodování.

Pro 10 syndromů: úspěšnost klasifikace  $> 75\%$ .

## Obličeje. **Systemy pro podporu rozhodování**

System pro podporu klinického rozhodování:

- Asistivní technologie pro určení diagnózy, terapie, prognózy
- Úzká orientace vs. multidisciplinarita
- Klasifikační analýza
- Offline, online
- Electronický zdravotní záznam, integrační platforma
- Snadné použití
- Výhody vs. překážky pro rutinní používání

Vstupní data pro systém pro podporu rozhodování:

- Osobní a rodinná anamnéza
- Symptomy
- Klinická, laboratorní a genetická měření
- **Analýza obrazu** a signálu
- Znalosti (nemoci, léky)
- Lékařská doporučení
- Vědecké články

# Analýza obrazu obličeje v medicíně a forenzní antropologii

- ★ Úvod
- ★ Analýza obrazu obličeje
- ★ Optimalizace šablon
- ★ Robustní statistické metody v analýze obrazu
- ★ Forenzní antropologie

## Obličeje. **Popis dat**

Databáze černobílých obrazů: Ústav genetiky člověka, Universität Duisburg-Essen (projekty BO 1955/2-1 a WU 314/2-1, DFG).

Trénovací databáze: 124 obrazů. Validací databáze: 88 obrazů.

Standardizace: velikost obrazu  $192 \times 256$  pixelů, velikost obličeje, věk 18–35 roků, osvětlení, jednotné požadavky na účes, žádné náušnice či make-up, ...

Lokalizace obličeje:

- Manuální
- Automatická

## Šablony. **Metody pro lokalizaci úst a očí**

**Šablona** (typický tvar, model, standard).

- Žádná počáteční transformace obrazů.
- Metody vhodné i pro dysmorfické obličeje.
- Jasná interpretace.
- Různé (robustní) statistické míry podobnosti mezi dvěma obrazy.

Metody založené na šablonách:

- Pouze šablony (ústa; levé oko; pravé oko).
- Šablony & dodatečná informace.
  - ★ Např. současná lokalizace úst a obou očí.
  - ★ Invariantní k otočení obličeje.
  - ★ Snadná lokalizace dalších částí obličeje, např. nosních dírek.



Konstrukce šablon: symetrie, velikost. Žádné vhodné metody v referencích.

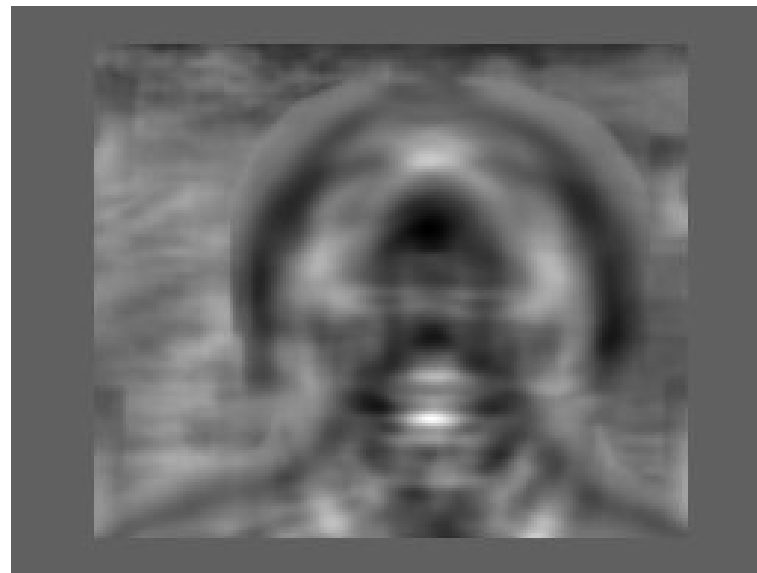
## Šablony. **Lokalizace úst**

Šablona s nejlepšími klasifikačními výsledky.



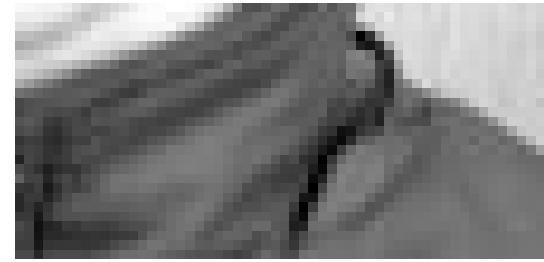
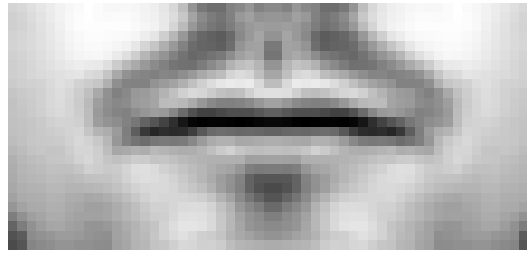
Ústa správně lokalizována v 91 % obrazů dané databáze (pro Pearsonův korelační koeficient).

Příklad:

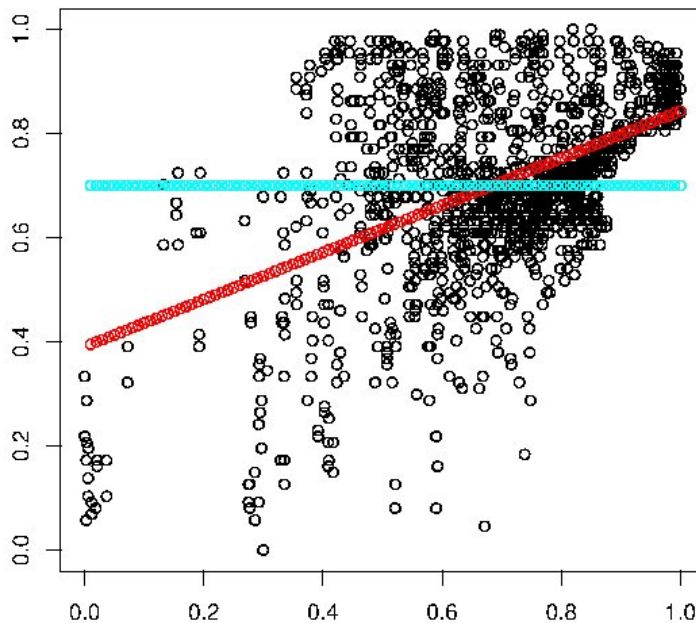


bílé oblasti  $\leftrightarrow$  velký korelační koeficient

# Šablony. Interpretace korelačního koeficientu



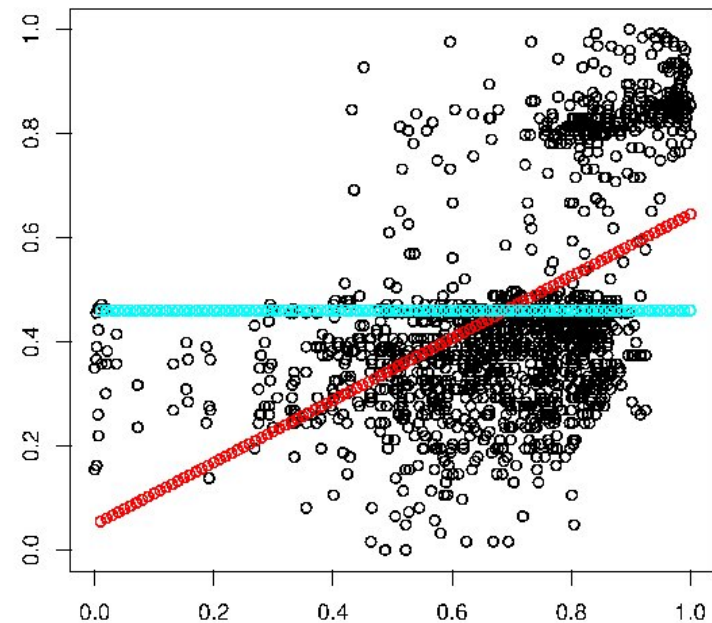
Ústa  $\sim$  šablona:



$$r(\text{šablona}, \text{ústa}) = 0,48$$

$$R^2 = (0,48)^2 = 0,23$$

Neústa  $\sim$  šablona:



$$r(\text{šablona}, \text{neústa}) = 0,52$$

$$R^2 = (0,52)^2 = 0,27$$

$r$  = Pearsonův korelační koeficient

$R^2$  = koeficient determinace v lineární regresi

Šablony. **Vážený korelační koeficient**

$r_W(\mathbf{x}, \mathbf{y}; \mathbf{w})$  = vážený korelační koeficient mezi  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{y}$  s vahami  $\mathbf{w}$ :

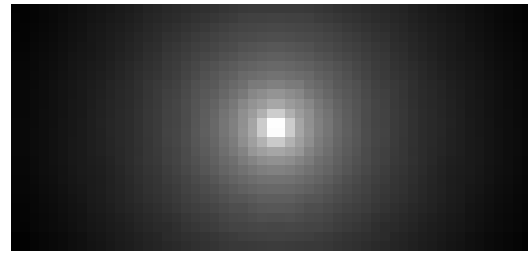
$$r_W(\mathbf{x}, \mathbf{y}; \mathbf{w}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{x}_W)(y_i - \bar{y}_W)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [w_i (x_i - \bar{x}_W)^2] \sum_{j=1}^n [w_j (y_j - \bar{y}_W)^2]}}$$

kde  $\bar{x}_W$  a  $\bar{y}_W$  jsou vážené průměry.

Šablona:



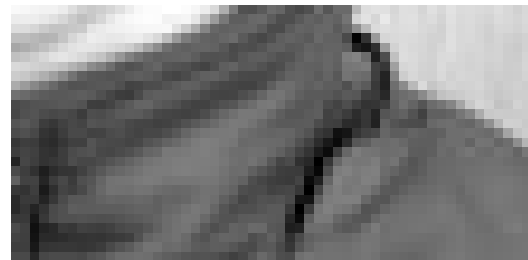
Radiální váhy:



Ústa:



Neústa:



	Váhy	
	Shodné	Radiální
$r_W(\text{šablona, ústa}; \mathbf{w})$	0,48	0,66
$r_W(\text{šablona, neústa}; \mathbf{w})$	0,52	0,38



## Šablony. Motivace

**Cíl:** Modifikovat váhy, zachovat šablonu.

**Separace** mezi konkrétními ústy a konkrétními neústy:

$$\frac{r_W^F(\text{šablona, ústa; } \mathbf{w})}{r_W^F(\text{šablona, neústa; } \mathbf{w})}$$

Fisherova transformace  $r_W(\mathbf{x}, \mathbf{y}; \mathbf{w})$  zdůrazní extrémní hodnoty:

$$r_W^F(\mathbf{x}, \mathbf{y}; \mathbf{w}) = \frac{1}{2} \log \frac{1 + r_W(\mathbf{x}, \mathbf{y}; \mathbf{w})}{1 - r_W(\mathbf{x}, \mathbf{y}; \mathbf{w})}$$

## Šablony. **Optimalizační kritérium**

Přístup minimaxu (uvažuje se separace mezi každými ústy a neústy, v každém obraze).

Maximum přes váhy

Minimum přes obrazy

Minimum přes neústa

Maximum přes pozice úst (drobné posunutí)

$$\frac{r_W^F(\text{šablona, ústa; } \boldsymbol{w})}{r_W^F(\text{šablona, neústa; } \boldsymbol{w})}$$

Optimalizační algoritmy (mohou však skončit jen v lokálním extrému):

- Lineární aproximace
- Genetická optimalizace (“hrubý aproximativní algoritmus”; obecně: dědičnost, mutace, selekce, křížení)

## Šablony. **Lineární aproximace**

Pro konkrétní ústa, neústa a šablonu označme pomocí  $f(w_1, \dots, w_n)$  separaci mezi ústy a neústy. Zde  $n = 26 \times 56 = 1456$ . Taylorův rozvoj 1. řádu:

$$f(w_1 + \delta_1, \dots, w_n + \delta_n) \approx f(w_1, \dots, w_n) + \sum_{i=1}^n \delta_i \frac{\partial f(w_1, \dots, w_n)}{\partial w_i}$$

pro malé hodnoty  $\delta_1, \dots, \delta_n$ .

Optimalizační úloha: lineární problém

$$\max_{\delta_1, \dots, \delta_n \in \mathbb{R}} \sum_{i=1}^n \delta_i \frac{\partial f(w_1, \dots, w_n)}{\partial w_i}$$

za podmínek

- $0 \leq w_i + \delta_i$  (event.  $\leq c$  for a certain  $c$ ),  $i = 1, \dots, n$
- $\sum_{i=1}^n \delta_i = 0$
- podmínka na symetrii vah
- event.  $\sum_{i=1}^n \delta_i \frac{\partial f(w_1, \dots, w_n)}{\partial w_i} = \sum_{i=1}^n \delta_i \frac{\partial f^*(w_1, \dots, w_n)}{\partial w_i}$

pro jiný nejhorší případ se separací  $f^*(w_1, \dots, w_n)$

## Šablony. **Lineární aproximace**

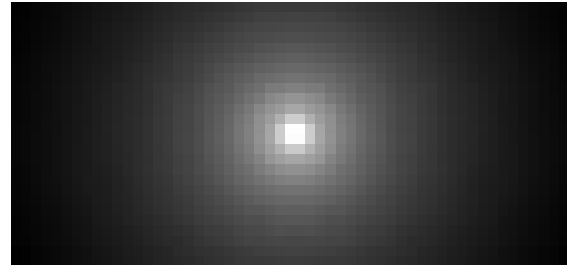
- Začni se symetrickou šablonou a symetrickými počátečními vahami.
- Najdi nejhorší případ přes všechny obrazy.
- Vyřeš lineární problém (lineární programování). Řešením je návrh nových vah.
- Opakuj, dokud se zlepšuje optimalizační kritérium spočítané přes všechny obrazy.

## Šablony. **Výsledky lineární aproximace**

Šablona ( $26 \times 56$  pixels):

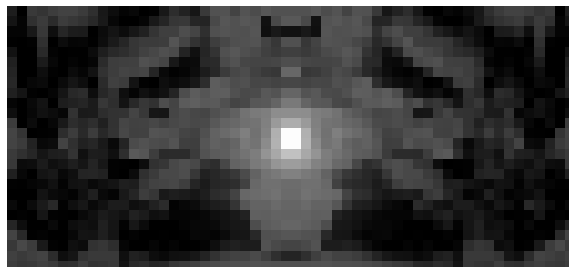


Počáteční váhy:

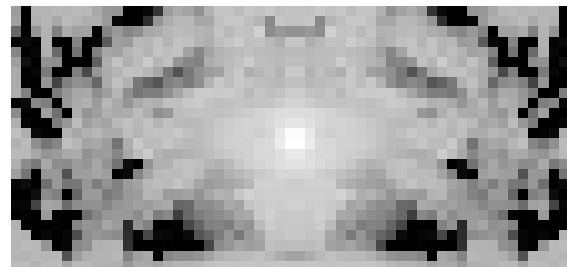


Výsledek přes 124 obrazů (bílé pixely  $\leftrightarrow$  velké váhy).

Výsledné váhy:



Jejich logaritmus:



Separace v nejhorším případě s různými vahami:

Radiální:	1,13
Optimální (lin. aprox.):	<b>1,68</b>

Výpočetní složitost. Programování v C++.

## Šablony. **Genetická optimalizace**

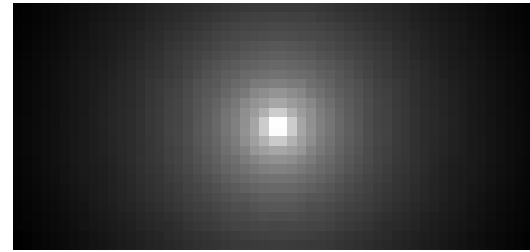
- Začni se symetrickou šablonou a symetrickými počátečními vahami.
- Náhodně zvol 1 pixel.
- Zvětši (resp. zmenši) váhu v tomto pixelu a v jeho protějšku v osově symetrii.
- Uprav ostatní váhy, aby stále platilo  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .
- Opakuj, dokud se zlepšuje optimalizační kritérium přes všechny obrazy.

# Šablony. **Výsledky genetické optimalizace**

Šablona:



Počáteční váhy:

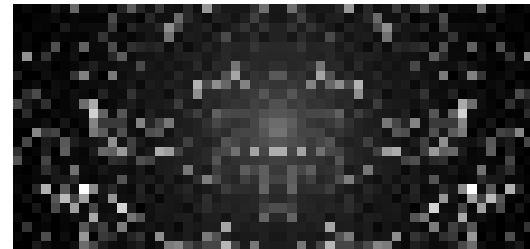


Výsledky přes 124 obrazů; bílé pixely  $\leftrightarrow$  velké váhy:

Výsledné váhy:



Jejich logaritmus:



Separace v nejhorším případě s různými vahami:

Radiální:	1,13
Optimální (lin. aprox.):	1,68
Optimální (genetická opt.):	<b>1,96</b>

8 pixelů s největšími vahami obsahují 50 % informace.

## Šablony. Genetická optimalizace s regularizací

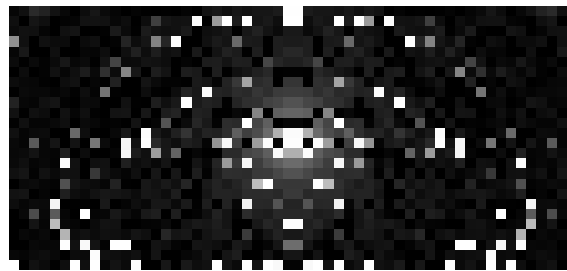
Váhy  $w_1, w_2, \dots, w_n$ ;  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Podmínky (na regularizaci):

$$0 \leq w_i \leq c, \quad i = 1, \dots, n \text{ s konstantou } c$$

Zde  $n = 1456$ ,  $c = 0,005$

{ Shodné váhy:  $w_i = 0,0007$ ;  $i = 1, \dots, n$ . }



Separace v nejhorším případě s různými vahami:

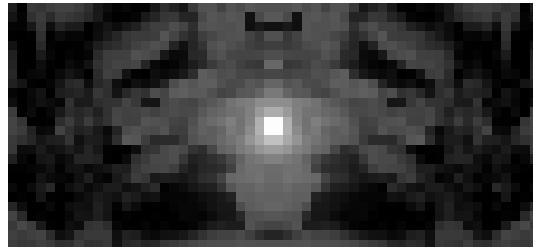
Radiální:	1,13
Optimální (lin. aprox.):	1,68
Optimální (genetická opt.):	1,96
Optimální (regularizovaná genetická opt.) :	<b>1,52</b>



**Radiální váhy: 1,13**

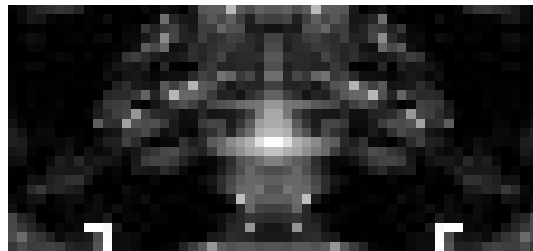
Lineární aproximace:

1,68



Regularizovaná genetická optimalizace:

1,73



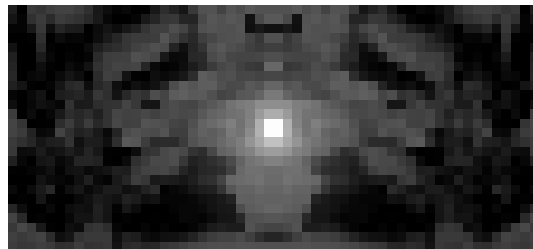
Šablony. **Dvoukroková metoda**

**Radiální váhy:** 1,13

**Shodné váhy:** 0,78

Lineární aproximace:

1,68

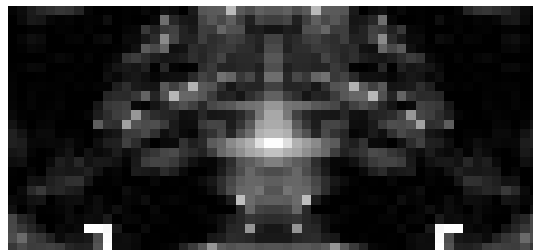


1,67

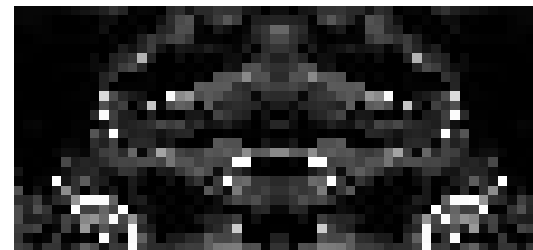


Regularizovaná genetická optimalizace:

1,73



1,94



Další numerická studie:  $r_W^F(\text{template, mouth}; \mathbf{w}) - r_W^F(\text{template, non-mouth}; \mathbf{w})$

Optimální váhy. **Výsledky přes různé databáze**

**Trénovací** databáze  
124 obrazů

**Validační** databáze  
88 obrazů

Shodné váhy: 0,78

Shodné váhy: 0,55

Lineární aproximace:

1,67

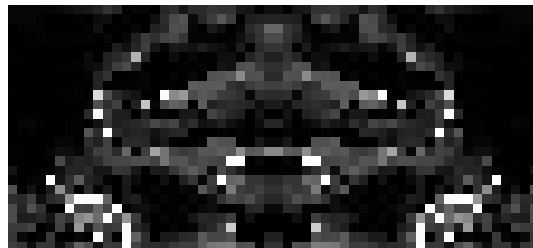


1,60



Regularizovaná genetická optimalizace:

1,94



1,70



Šablony. **Optimalizace šablony i vah**

Počáteční šablona:



Optimální šablona:



Optimální šablona:



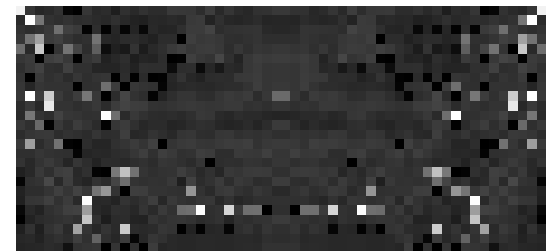
Počáteční váhy:



Počáteční váhy:



Optimální váhy:



0,78

Nejhorší separace:

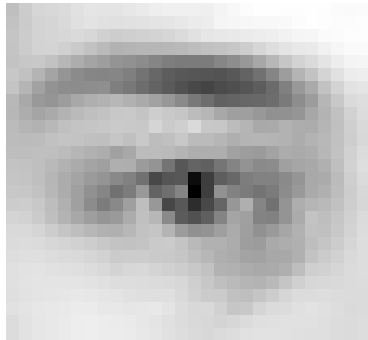
2,12

2,29

Optimalizace vyžaduje symetrii a regularizační podmínky.

Šablony. **Lokalizace očí**

Počáteční  
šablona:



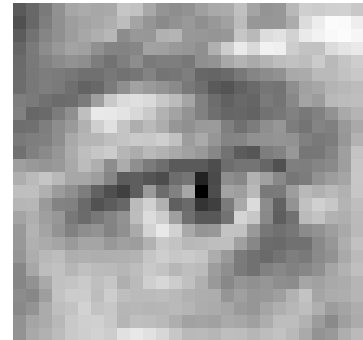
Nejhorší separace

Počáteční  
váhy:



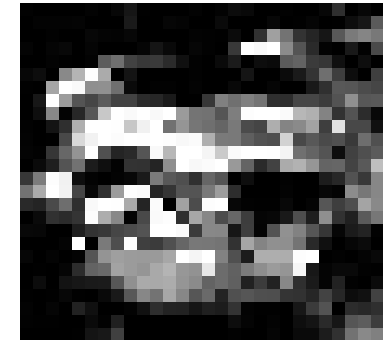
0,40

Optimální  
šablona:



1,27

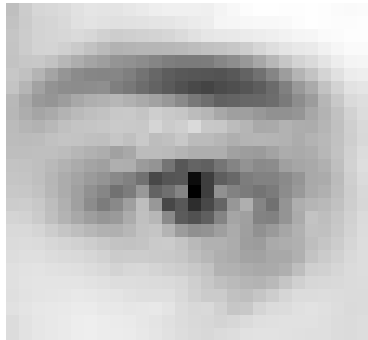
Optimální  
váhy:



1,31

Optimal template. **Locating eyes**

Počáteční  
šablona:



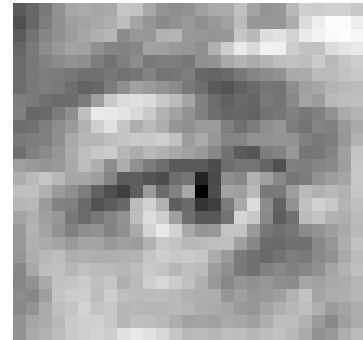
Worst separation

Počáteční  
váhy:



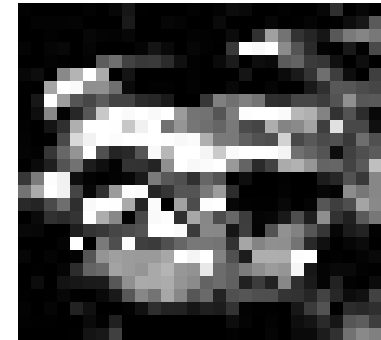
0,40

Optimální  
šablona:

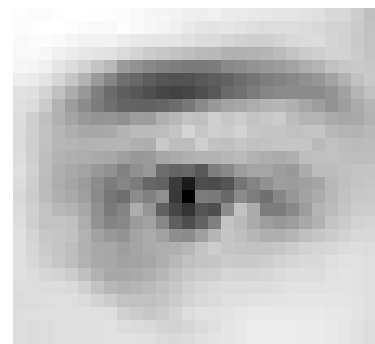


1,27

Optimální  
váhy:



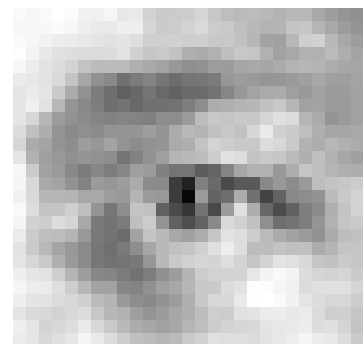
1,31



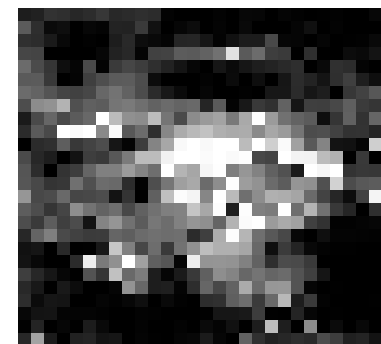
Worst separation



0,94



1,28



1,33

Optimální šablony pro oči.

# Analýza obrazu obličeje v medicíně a forenzní antropologii

- ★ Úvod
  - ★ Analýza obrazu obličeje
  - ★ Optimalizace šablon
  - ★ Robustní statistické metody v analýze obrazu
  - ★ Forenzní antropologie
- 
- ♣ Čížek P. (2011): Semiparametrically weighted robust estimation of regression models. *Computational Statistics & Data Analysis* **55** (1), 774–788.
  - ♣ Kalina J. (2012): Facial symmetry in robust anthropometrics. *Journal of Forensic Sciences*. Accepted, in print.
  - ♣ Víšek J.Á. (2001): Regression with high breakdown point. In Antoch J., Dohnal G. (Eds.): *ROBUST 2000, Proceedings of the 11-th summer school JČMF*, JČMF and Czech Statistical Society, Prague, 324–356.

Robustní metody. **Robustní statistika**

Robustní statistika. Motivace: citlivost klasických metod, kontaminované normální rozdělení.

### **Robustní obdoba klasických statistických metod:**

- Klasifikační analýza
- Hlavní komponenty
- Lineární regrese
- Korelační koeficient
- Testy hypotéz

### **Lokální robustnost:**

- Influenční funkce.
- Robustní analýza obrazu: M-odhad pro míru podobnosti mezi dvěma obrazy (Chen *et al.*, 2003; Arya *et al.*, 2007).

### **Globální robustnost:**

- Bod selhání (breakdown point).



Ústa:



Šablona:



Neústa:



$$r(\text{ústa}, \text{šablona}) = 0,48$$

$$r(\text{neústa}, \text{šablona}) = 0,52$$

20 % pixelů odříznuto:



20 % pixelů odříznuto:



$$r_{LTS}(\text{ústa}, \text{šablona}) = 0,78$$

$$r_{LTS}(\text{neústa}, \text{šablona}) = 0,24$$

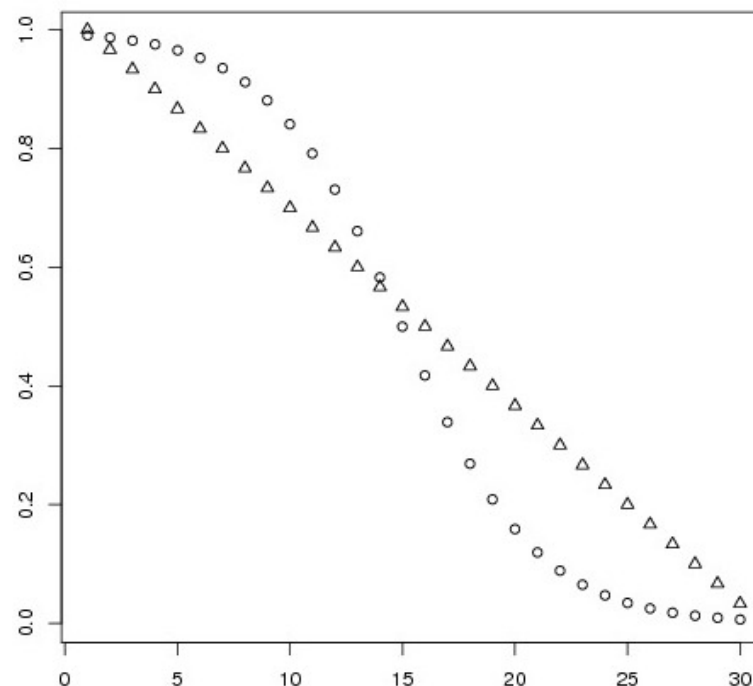
Definice  $r_{LTS}$ .

**Bod selhání.** Míra globální robustnosti statistického odhadu. Minimální podíl pozorování, jejichž změna může vychýlit odhad do nekonečna. U složitých procedur se zjišťuje jen empiricky.

**Interpretace.** Pozor, nejde o “podíl špatných dat”. Při analýze obrazu může jít o zajímavá data. Smyslem robustních metod není detekce odlehlých hodnot ani odstranění šumu.

Příklad: regresní odhad metodou nejmenších vážených čtverců (least weighted squares, LWS).

Uvažujme nerostoucí váhy:



Robustní metody. **Nejmenší vážené čtverce**

Šablona  $X_1, X_2, \dots, X_n$

Obraz  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$

Váhy  $w_1, w_2, \dots, w_n$  (nezáporné)

Lineární regresní model

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Rezidua pro libovolný odhad  $\mathbf{b} = (b_0, b_1)^T \in \mathbb{R}^2$ :

$$u_i(\mathbf{b}) = Y_i - b_0 - b_1 X_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Uspořádaná čtvercová rezidua:  $u_{(1)}^2(\mathbf{b}) \leq u_{(2)}^2(\mathbf{b}) \leq \dots \leq u_{(n)}^2(\mathbf{b})$ .

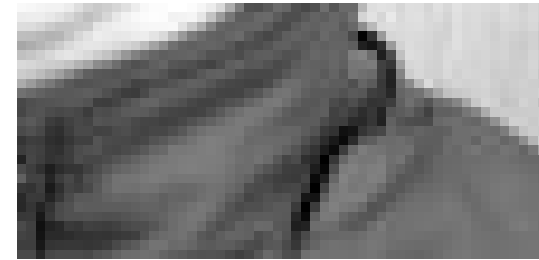
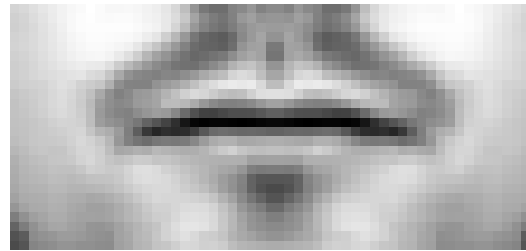
Odhad metodou nejmenších vážených čtverců (**LWS**):

$$\arg \min \sum_{i=1}^n w_i u_{(i)}^2(\mathbf{b}) \quad \text{přes všechna } \mathbf{b} = (b_0, b_1)^T \in \mathbb{R}^2$$

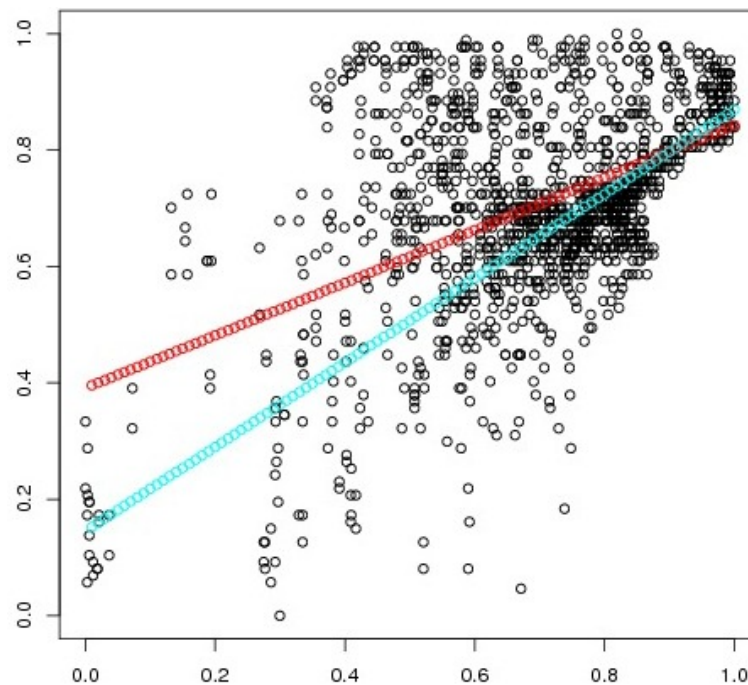
Odhad metodou nejmenších useknutých čtverců (least trimmed squares, **LTS**) pro pevné  $h \leq n$ :

$$\arg \min \sum_{i=1}^h u_{(i)}^2(\mathbf{b}) \quad \text{přes všechna } \mathbf{b} = (b_0, b_1)^T \in \mathbb{R}^2$$

# Robustní metody. Korelační koeficient založený na LTS

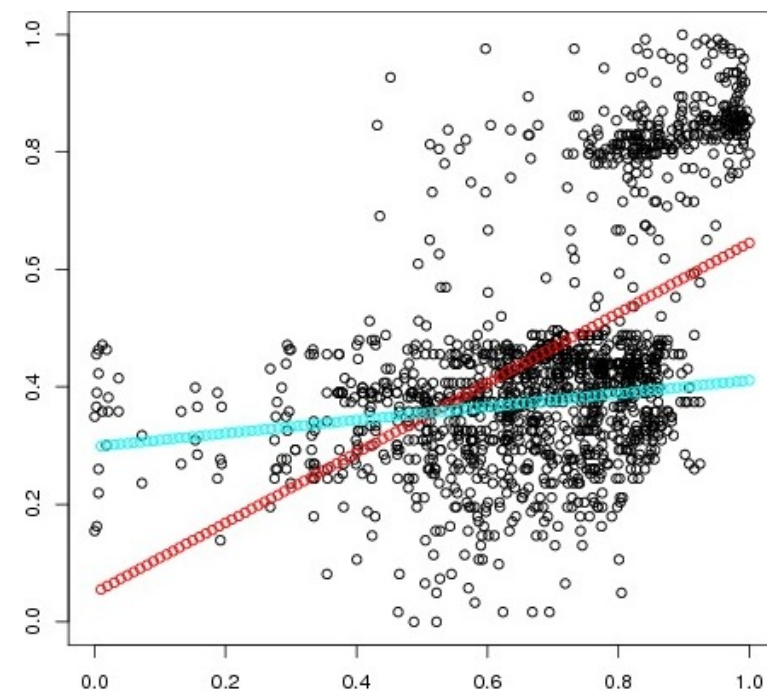


Ústa ~ šablona:



$$r(\text{šablona, ústa}) = 0,48$$

Neústa ~ šablona:



$$r(\text{šablona, neústa}) = 0,52$$

Robustní korelační koeficient (LTS, odříznutí 20 % pixelů):

$$r_{LTS}(\text{šablona, ústa}) = 0,78$$

$$r_{LTS}(\text{šablona, neústa}) = 0,24$$

Robustní statistika. **Korelační koeficient založený na LWS**

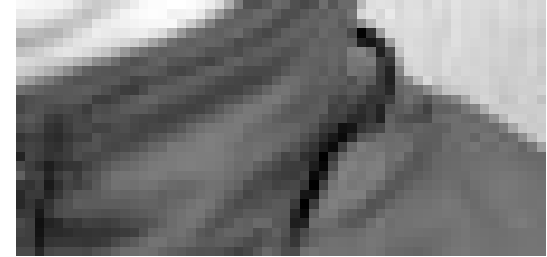
Ústa:



Šablona:



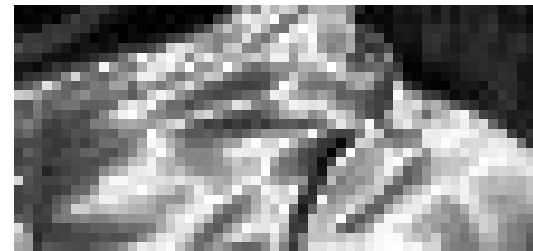
Neústa:



$$r(\text{ústa}, \text{šablona}) = 0,48$$

$$r_W(\text{neústa}, \text{šablona}) = 0,52$$

Váhy získané metodou nejmenších vážených čtverců (s lineárně klesajícími vahami):



$$r_W(\text{ústa}, \text{šablona}) = 0,72$$

$$r_W(\text{neústa}, \text{neústa}) = 0,47$$



Robustní korelační koeficient založený na LWS. Robustnost vůči šumu.

Korelační koeficient	Šířka obdélníků				
	70	60	50	40	30
$r$	0.98	0.96	0.95	0.91	0.85
Spearmanův kor. koef.	1.00	0.99	0.96	0.86	0.72
$r_{LWS}$ , lin. váhy	0.99	0.98	0.99	0.94	0.89
$r_M$ (M-odhad, Huber)	0.96	0.96	0.94	0.91	0.86

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Výpočet LWS odhadu  $(\beta_0, \beta_1)^T$ , resp. robustního korelačního koeficientu  $r_{LWS}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ :

- (i) Inicializuj hodnotu ztrátové funkce. Náhodně vyber dvě pozorování a najdi regresní přímku skrze ně. Tak je získán počáteční odhad  $(\beta_0, \beta_1)^T$ .
- (ii) Spočítej rezidua pro všechna pozorování. Přiřaď váhy všem pozorováním na základě uspořádaných čtvercových reziduí. Vypočti ztrátovou funkci pro tyto váhy a rezidua.
- (iii) Pokud se ztráta zlepšila oproti své předchozí hodnotě, přejdi ke kroku (iv). Jinak pokračuj krokem (v).
- (iv) Ulož hodnoty vah do paměti. Najdi (klasický) vážený regresní odhad  $(\beta_0, \beta_1)^T$  s těmito vahami. Zopakuj kroky (ii) a (iii).
- (v) Opakuj kroky (i) až (iv) opakovaně (10 000-krát). Výsledkem jsou takové váhy, které minimalizují ztrátu přes všechna opakování kroků (i) až (iv).
- (vi) Korelační koeficient  $r_{LWS}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  je vážený korelační koeficient s nalezenými optimálními vahami.

# Analýza obrazu obličeje v medicíně a forenzní antropologii

- ★ Úvod
  - ★ Analýza obrazu obličeje
  - ★ Optimalizace šablon
  - ★ Robustní statistické metody v analýze obrazu
  - ★ Forenzní antropologie
- 
- ♣ Bronstein A.M., Bronstein M.M., Kimmel R. (2005): Three-dimensional face recognition. *International Journal of Computer Vision* **64** (1), 5–30.
  - ♣ Hancock P.J.B. (2000): Evolving faces from principal components. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* **32** (2), 327–333.
  - ♣ Weber G.W., Bookstein F.L. (2011): *Virtual anthropology. A guide to a new interdisciplinary field*. Springer, New York. 423 str.
  - ♣ Yuille A.L., Hallinan P.W., Cohen D.S. (1992): Feature extraction from faces using deformable templates. *International Journal of Computer Vision* **8** (2), 99–111.



*Computer-assistive systems.* Systémy pro podporu rozhodování.

Metody typicky vyžadují manuální kroky (např. při přípravě dat)! Spolehlivost na úkor rychlosti.

Kritika: citlivost vůči šumu či předpokladům. Překonané metody (mediánový filtr; Damas, 2011). Obvyklé 2D postupy jsou slabé či citlivé pro 3D obrazy.

**Přehled různých metod** (pro různé úlohy):

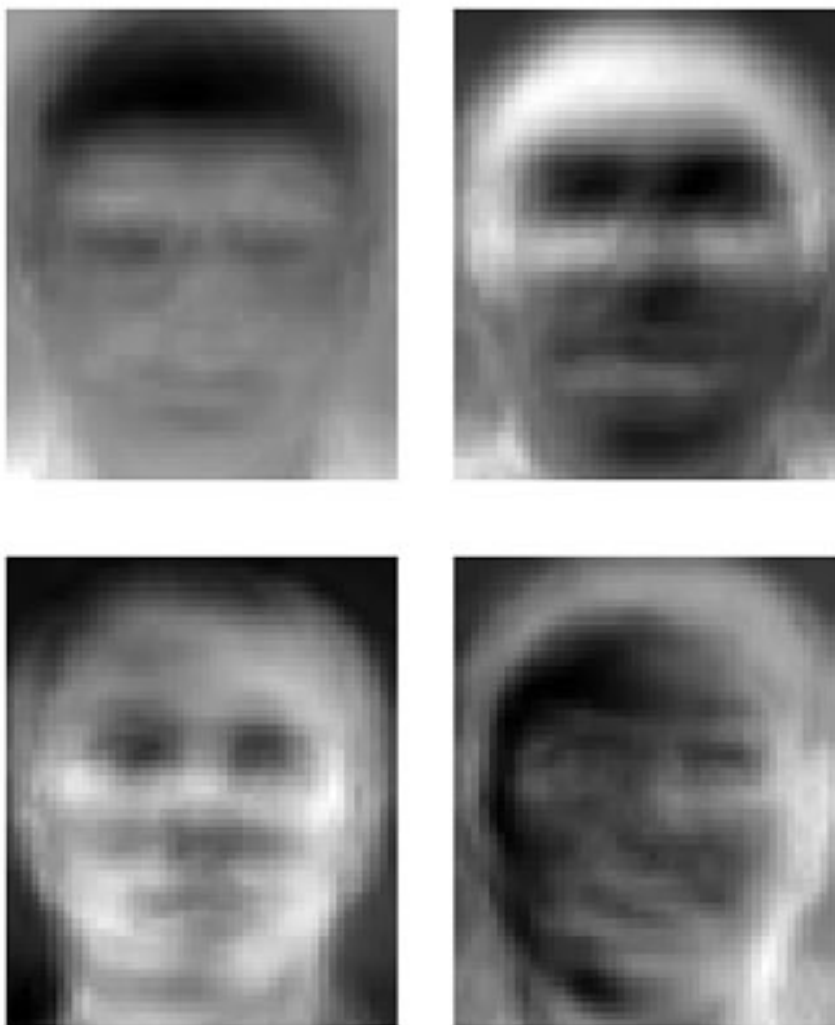
- **Tradiční statistické metody.**

- ★ Francis Galton, Karl Pearson, Ronald Fisher, C.R. Rao.
- ★ Mnohorozměrná statistika byla založena pro antropologii (zejména kranioometrii).
- ★ Galton: Srovnání délky paže a délky dolní končetiny (“ko-relace”).
- ★ Galton: Srovnání výšky chlapců a výšky otců (“regrese”).
- ★ Galton: Zakladatel praktické daktyloskopie.
- ★ Pearson: Katedra aplikované statistiky (zahrnovala laboratoře pro biometrii, antropometrii, eugeniku).
- ★ Pearson: Antropologický výzkum s cílem dokázat evoluční teorii a nerovnost mezi rasami.
- ★ Pearson: pojem biometrie (dnes civilní i forenzní aplikace).

Forenzní antropologie. **Metoda hlavních komponent: Eigenfaces**

Quintiliano a Rosa (2006):

Rozpoznávání obličeje na základě **eigenfaces** (vlastní vektory varianční matice spočtené z obličejů, resp. úst, očí, ...). Identifikace pachatele ve videozáznamu z místa činu.



Forenzní antropologie. **Metoda hlavních komponent: Eigenshapes**



- Šablony

- ★ **Sestavení lebky z fragmentů** (Wei *et al.*, 2011).

Každý fragment je přiřazen určité části šablony (= modelová lebka), korelační koeficient. Modelování chybějících fragmentů, využití symetrie.

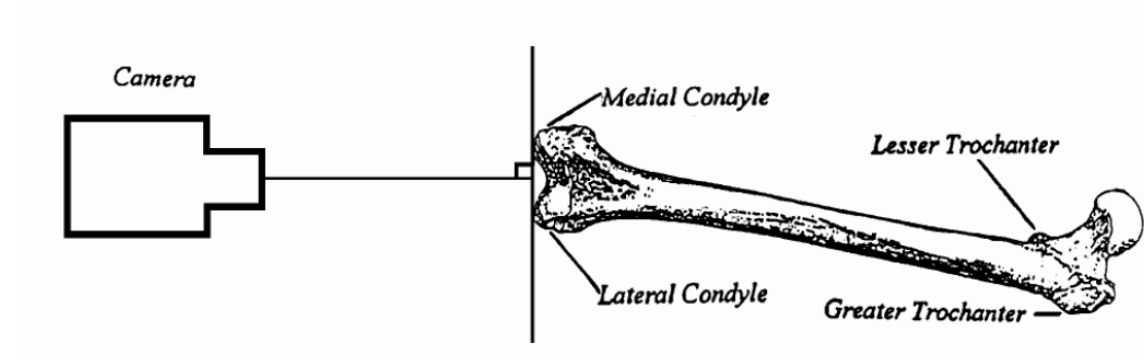
- ★ **Program pro transformace obličeje** (Vanezis *et al.*, 2003).

Studium interetnických obličejů. Srovnání obličejových znaků u europoidní a negroidní rasy. 3D model obličeje negroidního muže. Rekonstrukce do europoidní podoby. (Šablona = průměrný obličej europoidního muže. Deformace do podoby šablony.)

- Deformovatelné šablony.

## Klasifikace archeologických nálezů stehenních kostí (Downie a Silverman, 2001).

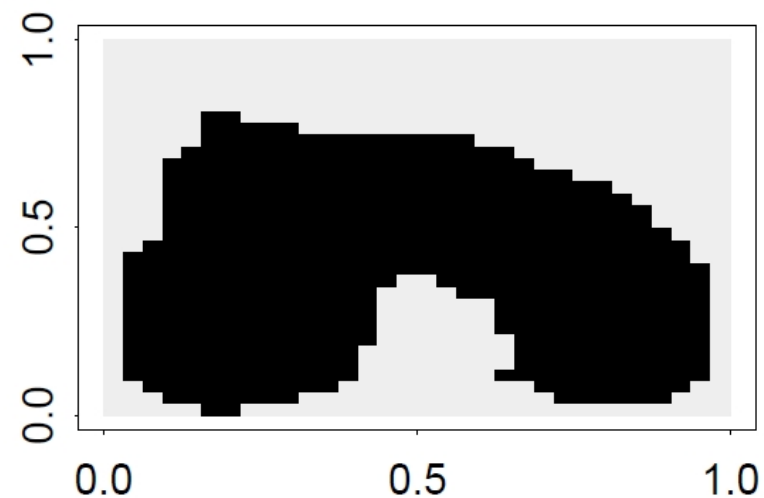
Deformovatelné šablony. Klasifikace: neporušená kost; hladká kost (osteoarthritis); poškozená kost (zlomená).



Template



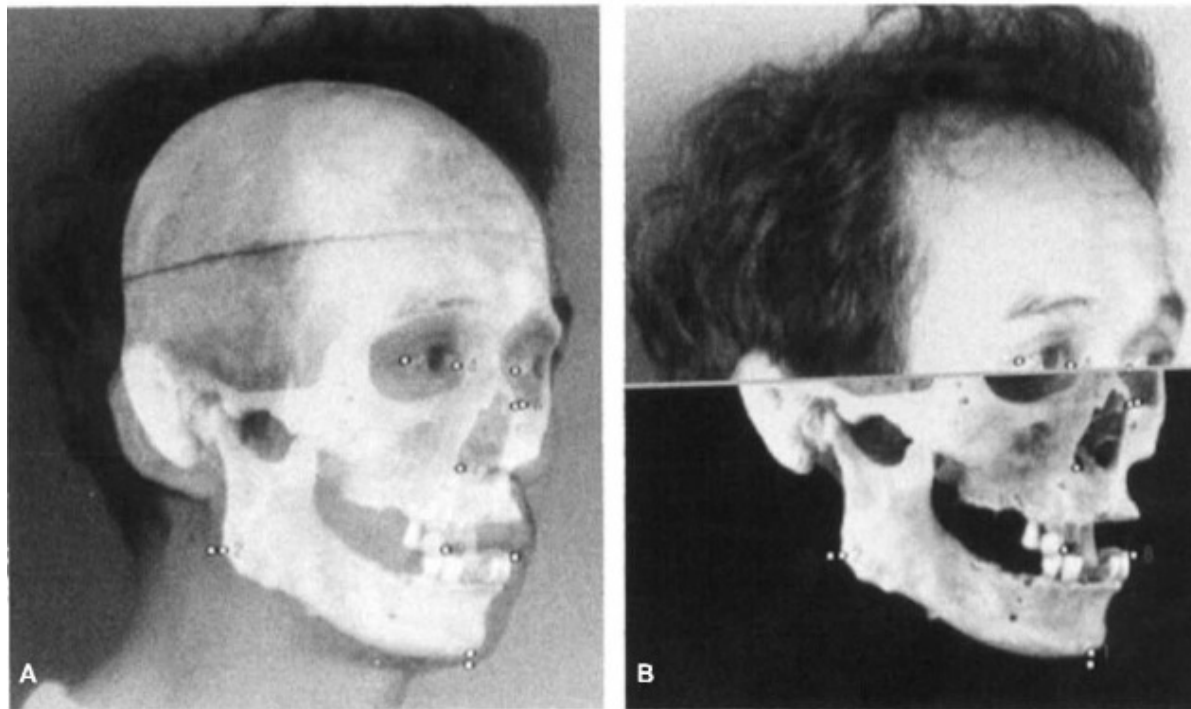
Image



Cíl: identifikace člověka.

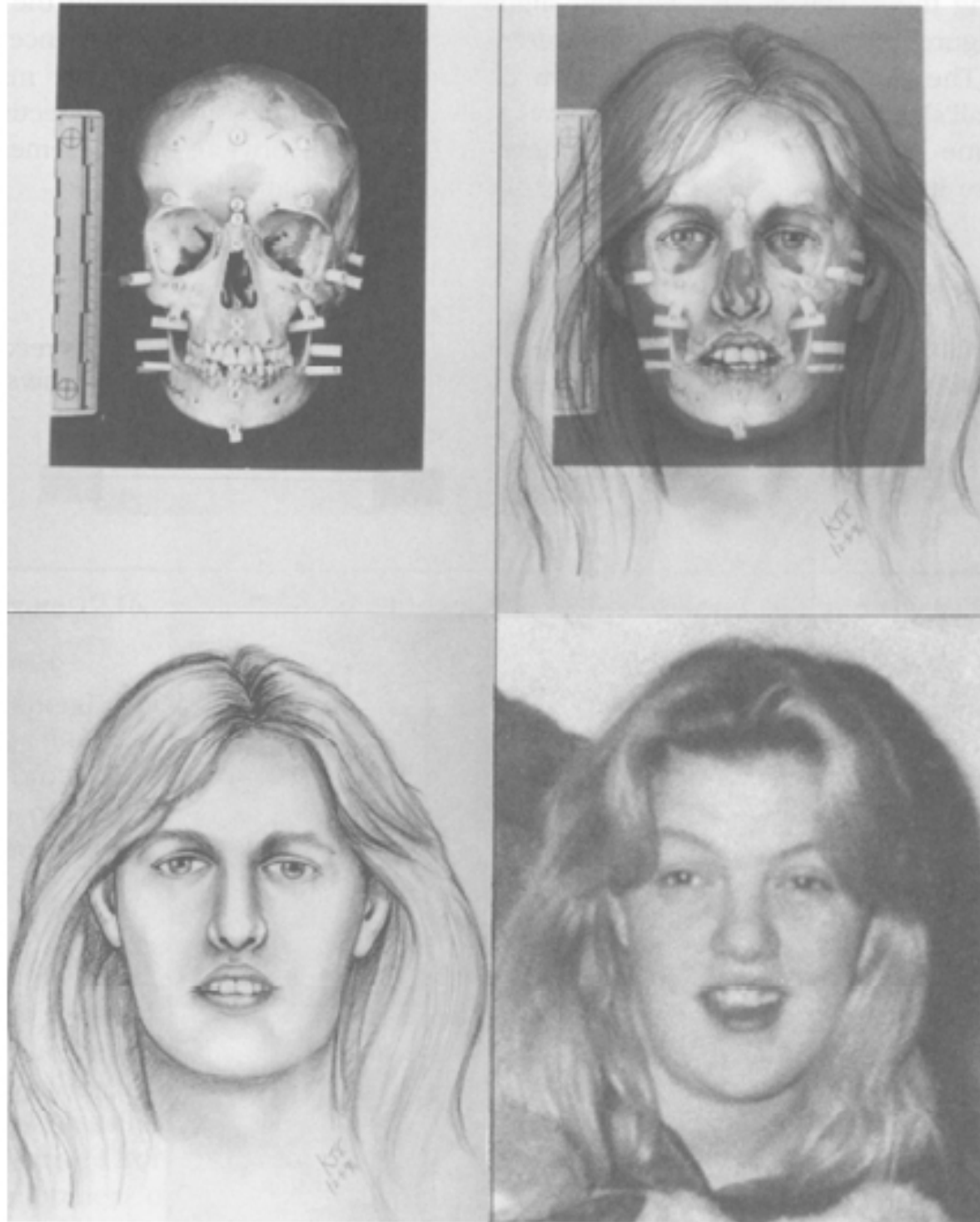
- Morfometrie. (Tradiční morfometrie. Studium tvaru.)
  - ★ Vzdálenosti, úhly a plochy (tj. měření antropometrických veličin).
  - ★ Abstraktní obor (algebra, statistika).
  - ★ Klasifikace selhává (kvůli korelaci jednotlivých měr).
  
- Geometrická morfometrie. (Založena na význačných bodech, *landmarks*.)
  - ★ Bookstein (1997) roztřídil význačné body:
    1. Juxtapozice tkání (postavení vedle sebe, anatomická pozice)
    2. Body s maximální křivostí
    3. Geometricky zkonstruované body (průniky, body s největší vzdáleností)
  - ★ Eliášová a Krsek (2007): matematický popis deformace fotografií lebky.

- Kraniofaciální superimpozice
  - ★ Tradiční
  - ★ Fotografická



- Rekonstrukce obličeje
  - ★ 2D (z fotografie lebky)
  - ★ 3D manuální
  - ★ 3D počítačová

Forenzní antropologie. **2D rekonstrukce obličeje**

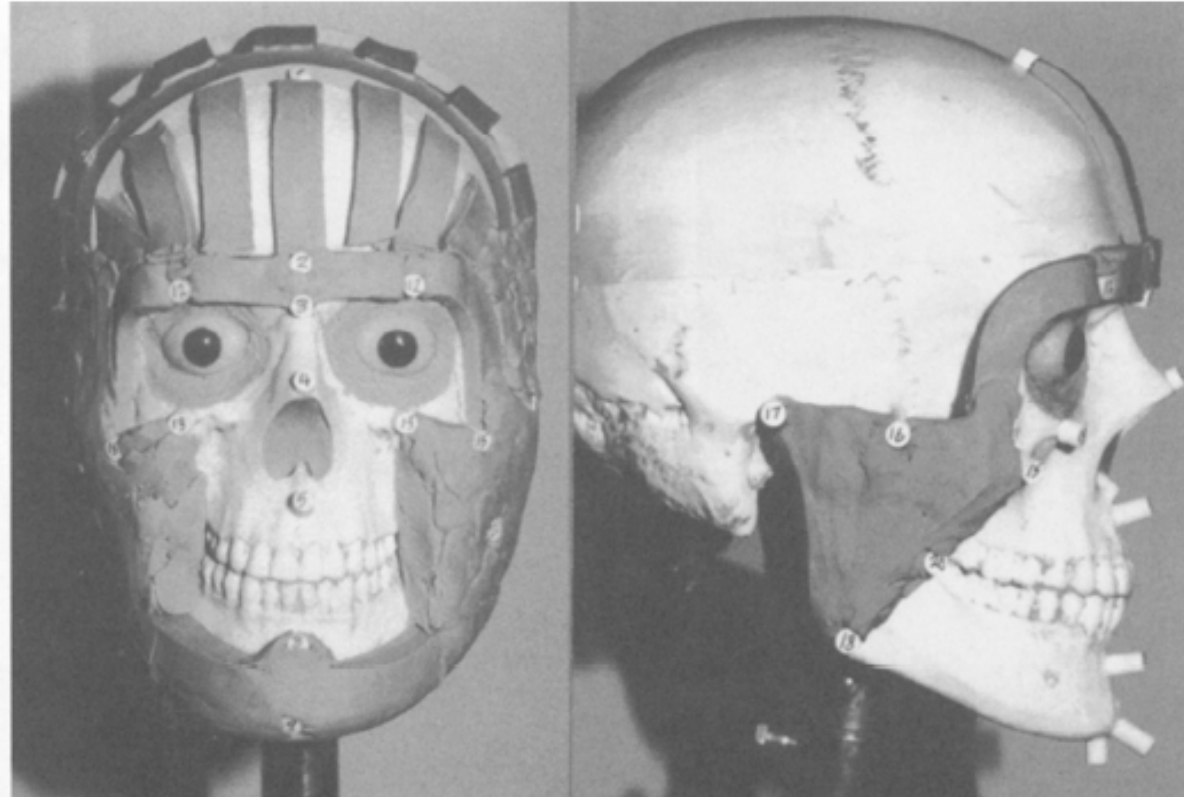


Konstantní tloušťka měkké tkáně v některých místech.

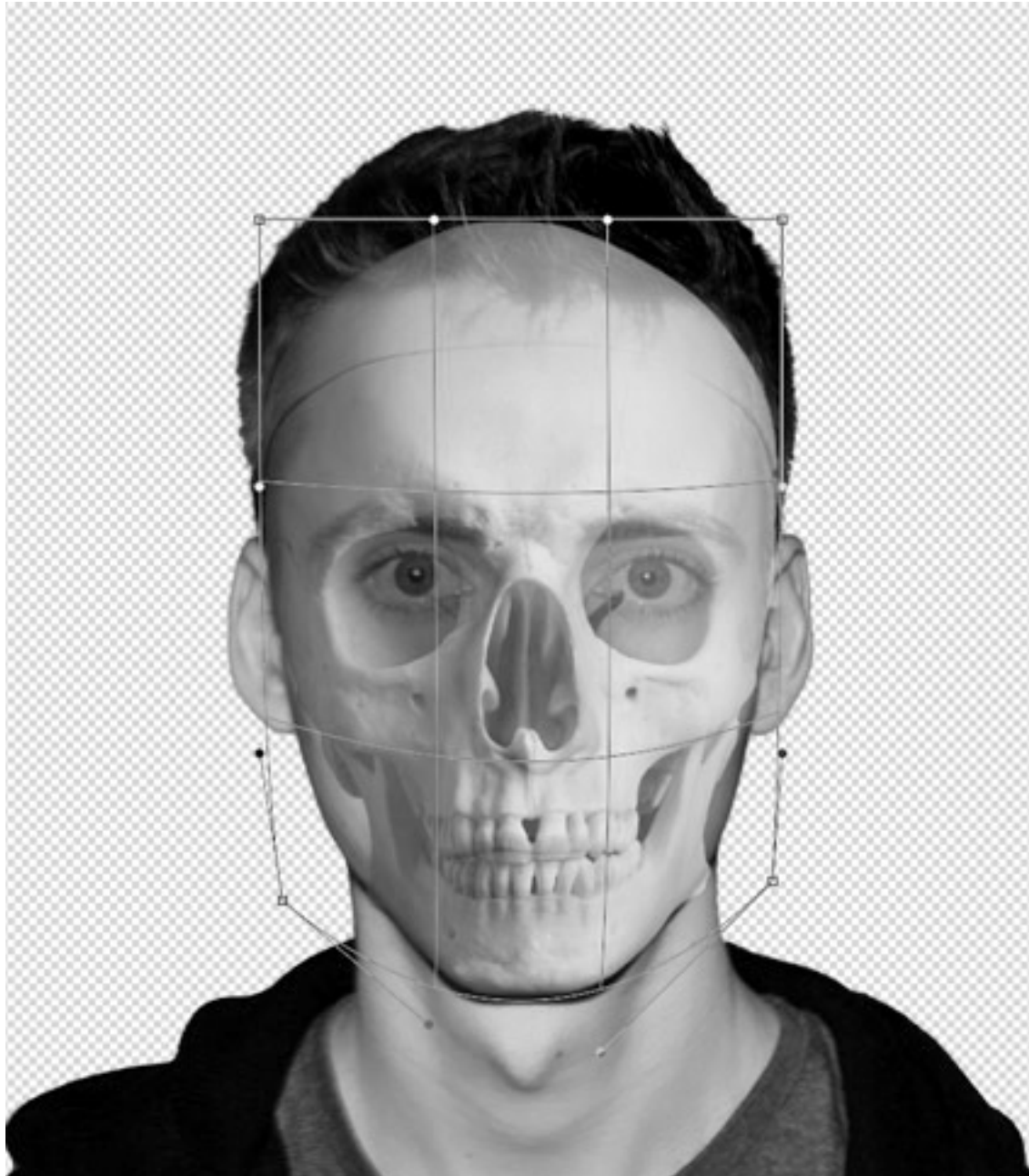


Forenzní antropologie. **Manuální 3D rekonstrukce obličeje**

Manuální:



**Template warping** - obličejová šablona se zdeformuje, aby její význačné body odpovídaly příslušným bodům na lebce. Podobnost mezi obličejovou šablonou a lebkou = míra deformace. Příklad:



Forenzní antropologie. **Počítačová 3D rekonstrukce obličeje**

Template warping - příklad:



(a) Surface



(c) Osama Bin Laden



(b) Texture



(d) George Bush

## Forenzní antropologie. **Počítačová 3D rekonstrukce obličeje**

3D rekonstrukce obličeje = rekonstrukce obličeje z lebky.

Obličejová šablona. (Typický obličej, odpovídající věk, pohlaví, původ, stavba těla. Ovlivní tvar očí, nosu, rtů.)

Manuální lokalizace význačných bodů.

**Template warping** - obličejová šablona se zdeformuje, aby její význačné body odpovídaly příslušným bodům na lebce. Podobnost mezi obličejovou šablonou a lebkou = míra deformace.

Procrustova analýza - deformace šablony; metoda nejmenších čtverců, euklidovská vzdálenost.

Neprovádí se rekonstrukce vlasů.

Porovnání různých šablon (použije se šablona s nejlepší superimpozicí).

Potenciální výhody vs. potíže v praxi.

# Analýza obrazu obličeje v medicíně a forenzní antropologii

- ★ Úvod
- ★ Analýza obrazu obličeje
- ★ Optimalizace šablon
- ★ Robustní statistické metody v analýze obrazu
- ★ Forenzní antropologie

⇒ DĚKUJI ZA POZORNOST ⇐