

Inżynieria Mechatroniczna

Wizja komputerowa Przetwarzanie wideo

Krzysztof Holak
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

1

Harmonogram

- Wykład 1 : Wstęp
- Wykład 2: Segmentacja obrazu
- Wykład 3: Cechy obrazu
- **Wykład 4: Przetwarzanie wideo**
 - Przetwarzanie wideo
 - Śledzenie obiektów
 - Przepływ optyczny – Algorytm Lukas-Kanade

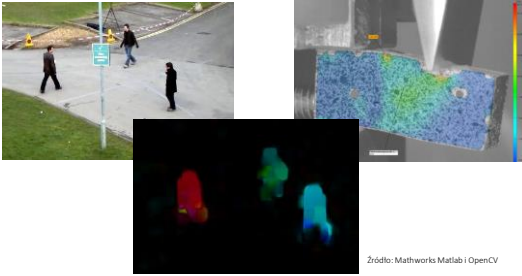
2

Podstawy

- Wideo zawiera informacje o ruchu na scenie
- Skuteczniejsza analiza obrazów (np. rozpoznawanie gestów)
- Wykrywanie i **śledzenie** obiektów
- Trójwymiarowa struktura otoczenia może być uzyskana z ruchu (**rekonstrukcja 3D struktury i ruchu**)
- Ciągłe przetwarzanie obrazu (np . techniki monitorowania zdarzeń)

3

Podstawy



4

Śledzenie obiektów na obrazie binarnym

- Bardzo prosty algorytm
- Wykrywanie obiektów na każdej klatce (progowanie , etykietowanie , funkcje regionprops)
- Znalezienie środków ciężkości obiektu
- Połączenie środków ciężkości ze wszystkich klatek – uzyskanie trajektorii ruchu
- Postprocessing – wyznaczenie prędkości i przyspieszenia, analiza kształtu trajektorii, analiza zbliżeń trajektorii itp.

5

Śledzenie obiektów na obrazie binarnym

- Przykład (pokazany w programie Matlab)



6

Korelacja jako tracker obiektów

- Dopasowanie wzorca na każdej klatce sekwencji video
 - Wzorec pobierany zawsze z pierwszej klatki
 - Lub wzorec z klatki $(i-1)$ użyty do znalezienia wzorca na klatce i
- Odporna na zmianę jasności wzorca
- Nieodporna na obroty i skalowanie wzorca

7

Korelacja jako tracker obiektów

- Przykłady (pokazane w programie Matlab)



8

Korelacja jako tracker obiektów

- Zastosowanie do analizy obiektów (pokazane w programie Matlab)

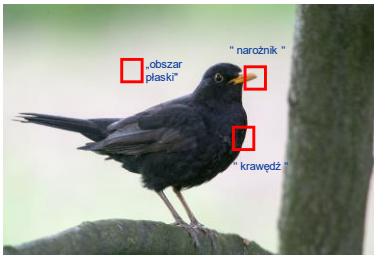
9

Śledzenie przy pomocy lokalnych cech

- Przypomnienie z poprzedniego wykładu:
Lokalne cechy opisują sąsiedztwo punktów charakterystycznych
Możemy zbudować reprezentację obiektów z lokalnych cech
- Lokalne cechy można śledzić niezależnie na sekwencji wideo
- Można śledzić obiekty deformujące się, zmieniające wielkość na klatkach wideo itp.

10

Narożniki



11

Detektor cech Harrisa - przypomnienie

Zmiana jasności cechy przy przemieszczaniu d $[dx \ dy]$

$$E(dx, dy) \approx [dx \ dy] M \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}$$

Macierz M jest to tzw. **tensor strukturalny**

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

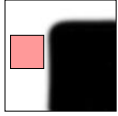
Elementy macierzy to: wartości obliczone z **gradientu obrazu** (pochodne w kierunkach x i y, np. uzyskane maski Sobela), a $w(x,y)$ to **maska Gaussa**

12

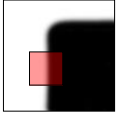
Detektor cech Harrisa - przypomnienie

$$M = R \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} R^T$$

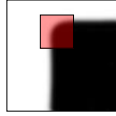
Wartości **własne** M pokazują zmianę jasności w dwóch ortogonalnych kierunkach w oknie wokół cechy



„plaski obszar”:
 λ_1 i λ_2 są małe,
 $\lambda_1 \sim \lambda_2$;



„krawędź”:
 $\lambda_1 \gg \lambda_2$
lub $\lambda_2 \gg \lambda_1$



„narożnik”:
 λ_1 i λ_2 są duże,
 $\lambda_1 \sim \lambda_2$;

13

Detektor cech Harrisa - przypomnienie

Dlaczego?

Ogólnie macierz 2×2 przedstawia **transformację** wektora 2-elementowego

- Zmiany jego **kierunku i skali**

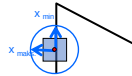
Są dane dwa kierunki w przestrzeni które nie są obracane – **wektory własne**

Skalowanie w tych kierunkach dane jest przez **wartości własne**

Wartości własne definiują zmianę jasności w kierunku na którym jest ona najmniejsza i w kierunku na których jest największa

$$Mx_{max} = \lambda_{max}x_{max}$$

$$Mx_{min} = \lambda_{min}x_{min}$$



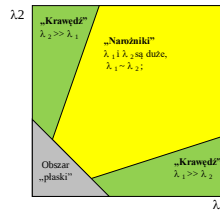
14

Detektor cech Harrisa - przypomnienie

Harris podał prostą miarę odpowiedzi detektora narożników – sprawdzającą dwie wartości własne jednocześnie

$$R = \det(M) - \alpha \text{trace}(M)^2 = \lambda_1 \lambda_2 - \alpha (\lambda_1 + \lambda_2)^2$$

α - stała empiryczna (0,04 do 0,06)



15

Śledzenie cech lokalnych - wyzwania

Wyzwania dla trackerów cech lokalnych

- Wybór najlepszych cech do śledzenia
- Efektywne śledzenie we wszystkich klatkach
- Cechy mogą ulegać zmianie w czasie
- Dryf: małe błędy kumulują się w czasie
- Cech mogą pojawiać się i znikać
- Dwa podejścia – **śledzenie rzadkie** (zbiór cech) i **śledzenie gęste** (w zasadzie wszystkie piksele, gęsty przepływ optyczny)

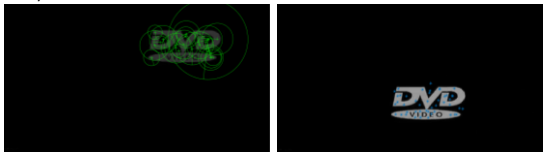
16

Śledzenie cech lokalnych

Wykryj „cechy dobre do śledzenia” (np. za pomocą detektora narożników Harrisa detektor)

I śledź te cechy przez całą sekwencję wideo

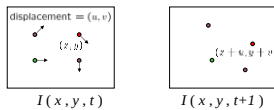
Przykład – w Matlabie



17

Przepływ optyczny

Wyznaczyć przemieszczenie cech na podstawie dwóch kolejnych klatek sekwencji



Metoda Lukas –Kanade, założenia

Stałość jasności – funkcja jasności nie ulega zmianie w czasie ruchu

Mały ruch – tylko niewielkie przemieszczenia

Lokalnie ruch jest taki sam – sąsiednie piksele poruszają się w ten sam sposób

18

Przepływ optyczny

Wyznacz przemieszczenie cech na podstawie dwóch kolejnych klatek sekwencji

Stosujemy **równanie niezmienności jasności**

$$I(x, y, t) = I(x + u, y + v, t + 1)$$

Mały ruch – możemy użyć rozwinięcia w szereg Taylora w punkcie (x, y, t)

$$I(x + u, y + v, t + 1) \approx I(x, y, t) + I_x \cdot u + I_y \cdot v + I_t$$

Wstawiamy do równania niezmienności jasności

$$I_x \cdot u + I_y \cdot v + I_t \approx 0$$

19

Przepływ optyczny

Przepływ optyczny: równanie dla pojedynczego piksela

$$I_x u + I_y v + I_t = 0$$

Prędkość optyczna
Gradient obrazu Gradient czasowy

20

Przepływ optyczny

Jak wyznaczyć wielkości w równaniu? $I_x u + I_y v + I_t = 0$

$$I_x = \frac{\partial I}{\partial x} \quad I_y = \frac{\partial I}{\partial y}$$

pochodna przestrzenna

Filtr górnoprzepustowy
Maski filtru Sobela,
Prewitt ...

$$I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$$

pochodna czasowa

Pochodna czasowa
Różnica klatek

$$u = \frac{dx}{dt} \quad v = \frac{dy}{dt} \quad \text{Nieznane wielkości do policzenia}$$

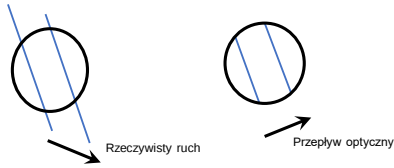
przepływ optyczny

21

Przepływ optyczny

W formie macierzowej mamy $\nabla I \cdot [u \ v]^T + I_t = 0$

Problem: dwie niewiadome (u,v) i jedno równanie – możemy znajdować tylko składową prostą do krawędzi (**problem otworu – aperture problem**)



22

Przepływ optyczny

Aby rozwiązać ten problem – stosujemy **spójność ruchu** sąsiednich pikseli
N pikseli w otoczeniu danego piksela porusza się w ten sam sposób – możemy zbudować N równań

N=25 w przykładzie (5x5)

$$I_x(p_1)u + I_y(p_1)v = -I_t(p_1)$$

$$I_x(p_2)u + I_y(p_2)v = -I_t(p_2)$$

$$\vdots$$

$$I_x(p_{25})u + I_y(p_{25})v = -I_t(p_{25})$$

W formie macierzowej $A\hat{x} = b$

23

Przepływ optyczny

Rozwiązanie równania podane w formie

$$A^T A \hat{x} = A^T b$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{p \in P} I_x I_x & \sum_{p \in P} I_x I_y \\ \sum_{p \in P} I_y I_x & \sum_{p \in P} I_y I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum_{p \in P} I_x I_t \\ \sum_{p \in P} I_y I_t \end{bmatrix}$$

$$A^T A = \begin{bmatrix} \sum_{p \in P} I_x I_x & \sum_{p \in P} I_x I_y \\ \sum_{p \in P} I_y I_x & \sum_{p \in P} I_y I_y \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Ta sama macierz co w detektorze} \\ \text{Harrisa} \end{array}$$

24

Przepływ optyczny

Jakie powinny być własności tej macierzy?

$$A^T A = \begin{bmatrix} \sum_{p \in P} I_x I_x & \sum_{p \in P} I_x I_y \\ \sum_{p \in P} I_y I_x & \sum_{p \in P} I_y I_y \end{bmatrix}$$

- Odwracalna
- Nie powinna być „mała”, dwie **wartości własne** nie mogą być małe
- Dobrze uwarunkowana, jedna wartość własna nie **powinna być** dużo większe od drugiej
- Dokładnie takie same właściwości jak dla **wykrywanie narożników**

25

Lukas-Kanade - problemy

Gładkość pola przepływu **nie jest** zachowana

Dobry do śledzenia ciała sztywne głównie przemieszczenia – samochody, samoloty, obiekty na scenie itp.

Nie nadaje się do śledzenia ruchu ciał takich jak – nieulegające deformacji, obrotowych, że zmianą wielkości itp.

Rozwiązanie: narzucić gładkość przepływu optycznego

Metody rachunku wariacyjnego – np. **optyczny przepływ Horn - Schunck**

Dla każdego piksela, chcemy:

$$\min_{\mathbf{u}, \mathbf{v}} \sum_{i,j} \left\{ E_s(i,j) + \lambda E_d(i,j) \right\}$$

26

Przepływ optyczny Horn-Schunck

Dla każdego piksel chcemy

$$\min_{\mathbf{u}, \mathbf{v}} \sum_{i,j} \left\{ E_s(i,j) + \lambda E_d(i,j) \right\}$$

$E_s(i,j)$ → Gładkość przepływu (mały gradient pola przepływu)
 $E_d(i,j)$ → Warunek niezmienności jasności
 $I_x \cdot u + I_y \cdot v + I_z \approx 0$

Problem optymalizacyjny rozwiązywany metodami rachunku wariacyjnego
Daje gęste i gładkie pole przepływu optycznego

27

Przepływ optyczny przykłady

Przykłady w programie Matlab



28

Przepływ optyczny przykłady

Przykłady w programie Matlab



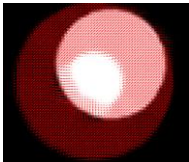
29

Przepływ optyczny do śledzenia zwartych obiektów

Obliczamy gęsty przepływ optyczny (w każdym pikselu) w każdej klatce – otrzymujemy pole wektorowe prędkości

Progujemy wielkość pola wektorowego – odrzucamy te piksele, dla których długość wektora prędkości < wartość progowa

Wyznaczamy środek ciężkości – śledzimy w ten sposób dla wszystkich klatek



30

Dziękuję za uwagę
