

# Animacja Komputerowa. Animacja oparta na interpolacji

Aleksander Denisiuk  
Polsko-Japońska Akademia Technik Komputerowych  
Wydział Informatyki w Gdańsku  
ul. Brzegi 55  
80-045 Gdańsk

denisjuk@pja.edu.pl

# Animacja oparta na interpolacji

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem  
<http://users.pja.edu.pl/~denisjuk/>

Klatki kluczowe

Klatki kluczowe  
Interpolacja  
krzywych

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

# Klatki kluczowe

Klatki kluczowe

Klatki kluczowe  
Interpolacja  
krzywych

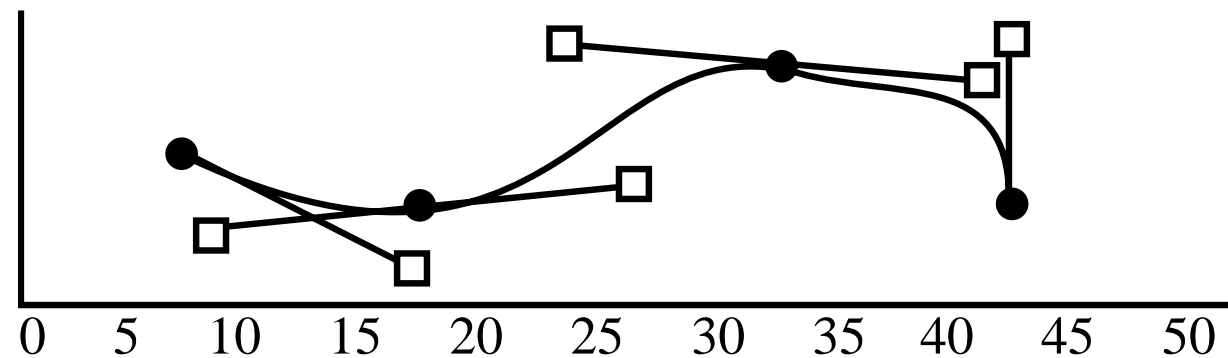
Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

## ■ Naśladowanie animacji tradycyjnej

- ustala się wartości wszystkich zmiennych (zmiennych artykulacji, avars)
- są interpolowane za pomocą wcześniej ustalonych procedur
- przykład



Klatki kluczowe

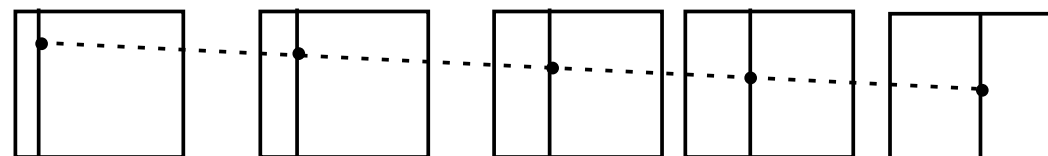
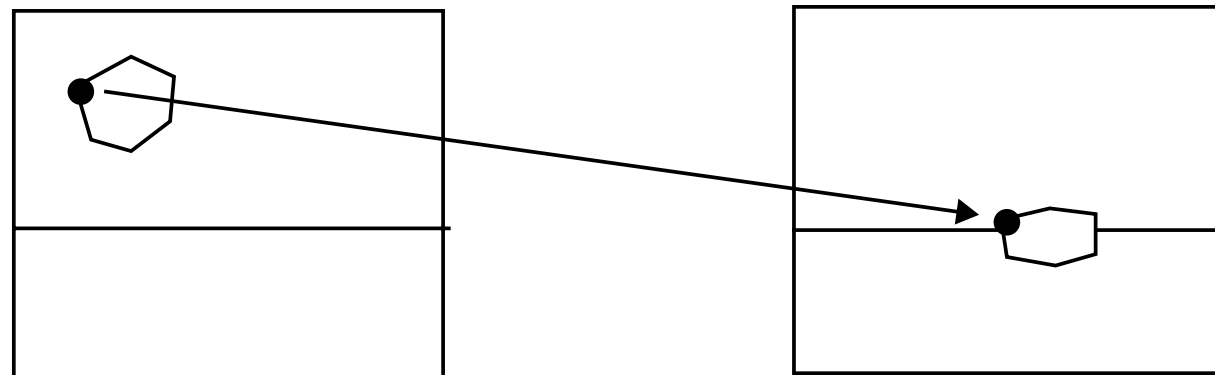
Klatki kluczowe  
Interpolacja  
krzywych

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Krzywe w każdej klatce kluczowej są określane przez taką samą ilość punktów
  - powiązanie między punktami
  - najprostsze rozwiązanie: interpolacja liniowa
  - interpolacja nieliniowa, rozpędzanie i spowolnianie



# Problem porządanego kształtu

Klatki kluczowe

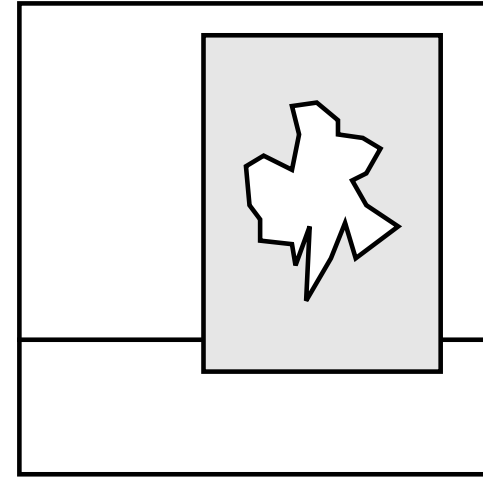
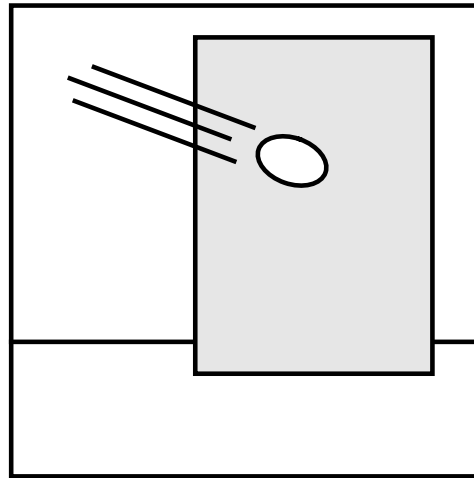
Klatki kluczowe  
Interpolacja  
krzywych

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Wynik interpolacji nie zawsze jest porządkany
  - mieć więcej kontroli nad kształtem krzywej



Klatki kluczowe

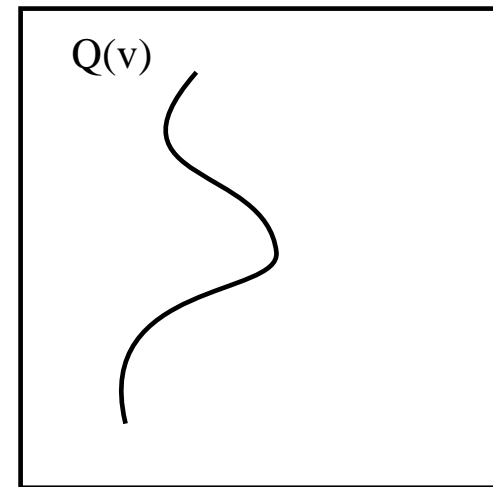
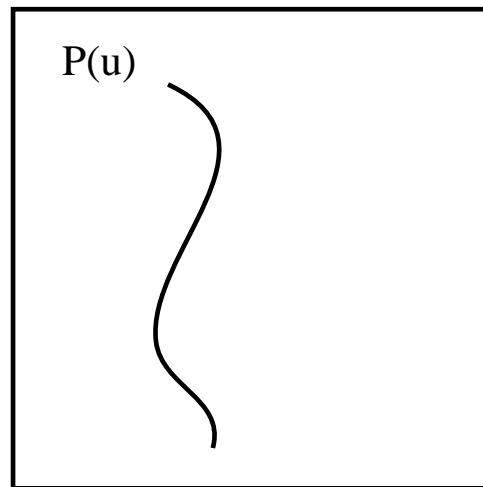
Klatki kluczowe  
Interpolacja  
krzywych

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Końce krzywej  $P(u)$  są odwzorowane na końce krzywej  $Q(u)$
- Odwzorowanie pozostałych punktów nie jest określone
  - dla krzywych Béziera można wymagać odwzorowania punktów kontrolnych
  - dla innych krzywych można wymagać interpolacji odpowiadających sobie punktów



# Ruchome więzy punktowe

Klatki kluczowe

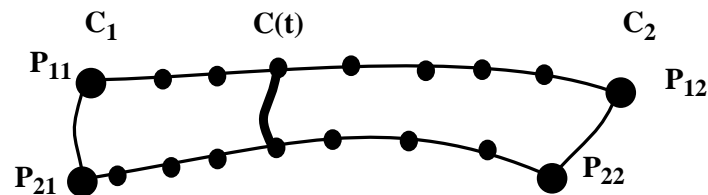
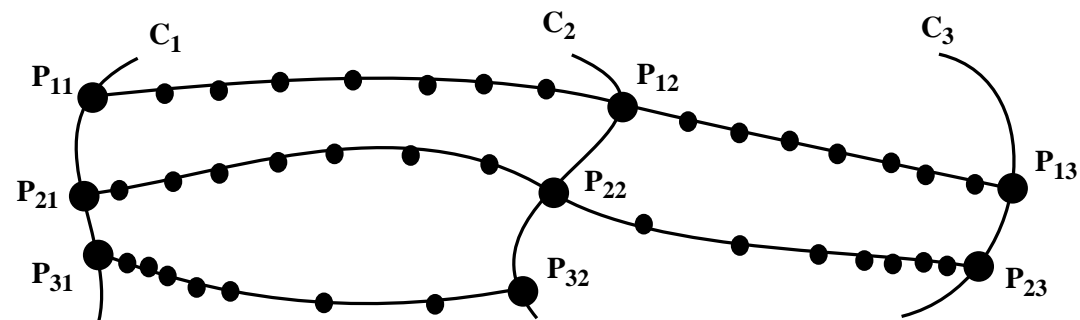
Klatki kluczowe  
Interpolacja  
krzywych

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Krzywe są określone w klatkach kluczowych
- Określa się dodatkowa informacją dla jednego lub większej liczby punktów dla dwóch lub większej liczby klatek kluczowych





Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

# Odształcanie obiektów

# Chwywanie i przesuwawanie wierzchołków

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

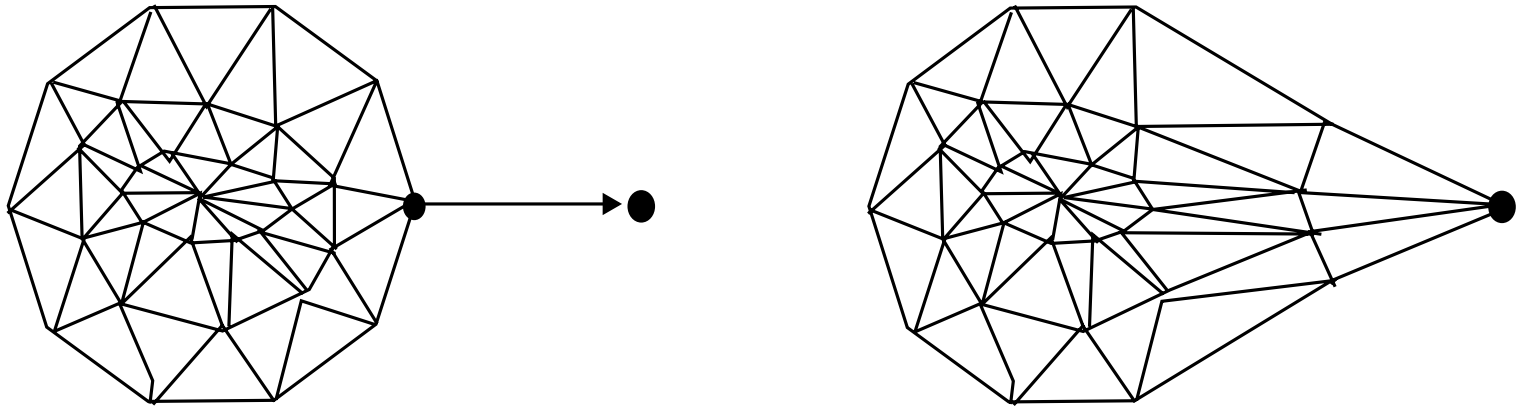
Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

- Przemieszczenie jednego lub grupy wierzchołków
  - przesunięcie ziarna
  - przesunięcie otoczenia
    - odległość (np długość ścieżki)



# Zanikające przesunięcie otoczenia

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

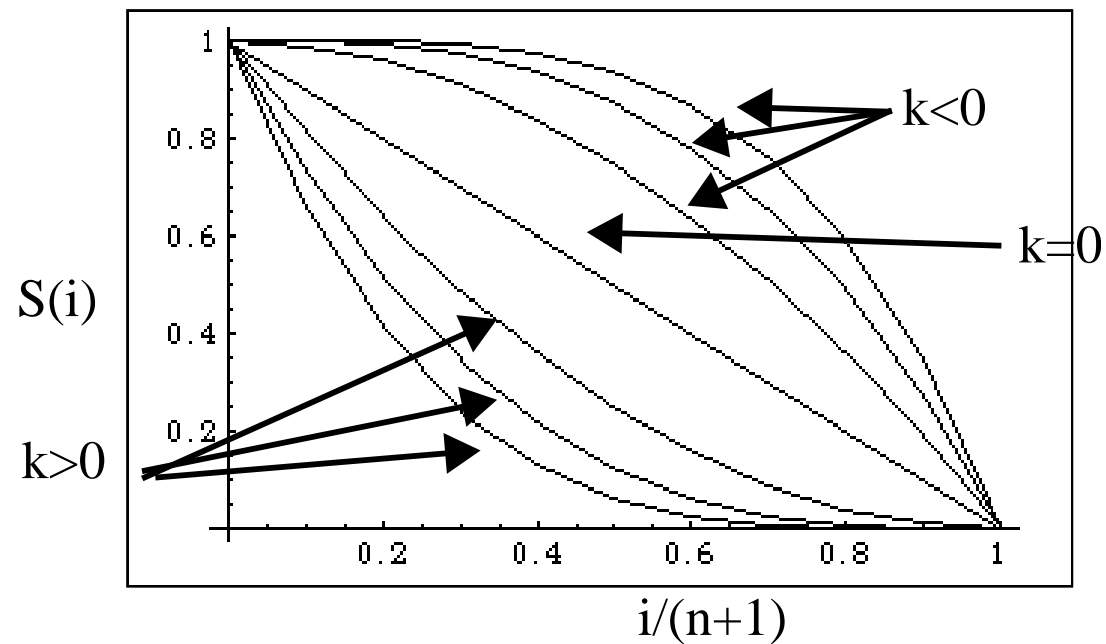
Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

$$\blacksquare S(i) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{i}{n+1}\right)^{k+1} & k \geq 0, \\ \left(1 - \frac{i}{n+1}\right)^{-k+1} & k < 0, \end{cases}$$



# Odształcanie otaczającej przestrzeni

## Klatki kluczowe

### Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

Animowanie

### Interpolacja kształtów trójwymiarowych

### Morfing

- Swobodna deformacja obiektów
- Wprowadza się układ współrzędnych w otoczeniu obiektu
- Odształca się obiekt w lokalnych współrzędnych

# Odkształcanie dwuwymiarowej siatki

Klatki kluczowe

Odkształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

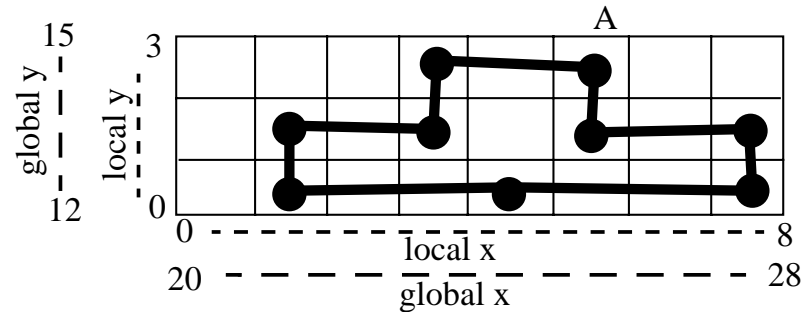
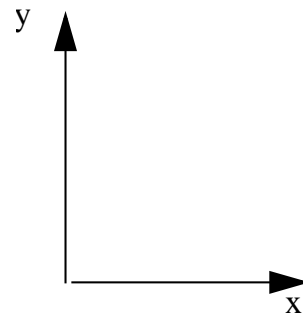
Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Lokalny układ współrzędnych jest związany z dwuwymiarową siatką
- Początkowo siatka jest ustalana równoległe do współrzędnych globalnych



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

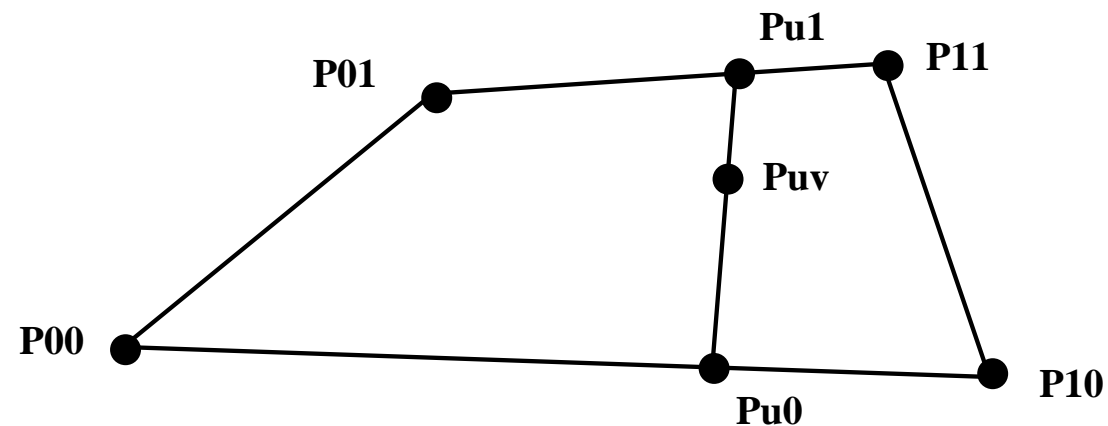
Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

- Użytkownik przesuwa wierzchołki siatki w przestrzeni
- Współrzędne wierzchołków oblicza się za pomocą interpolacji dwuliniowej



Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

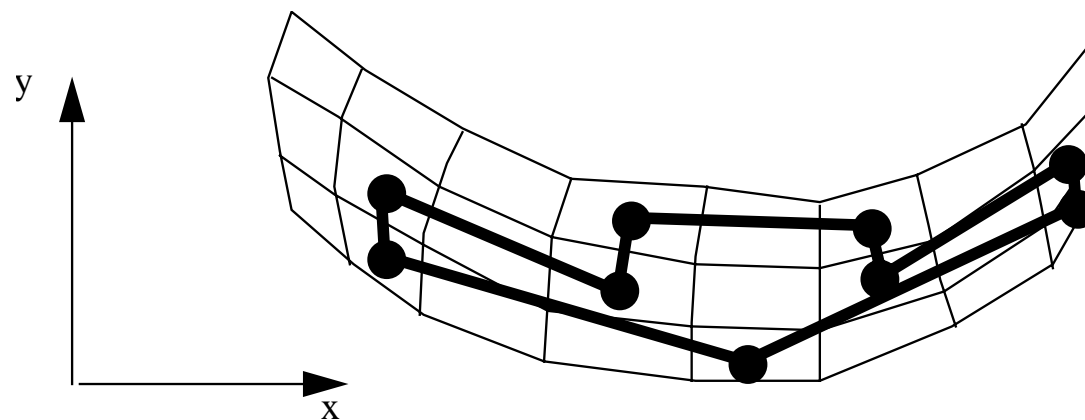
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

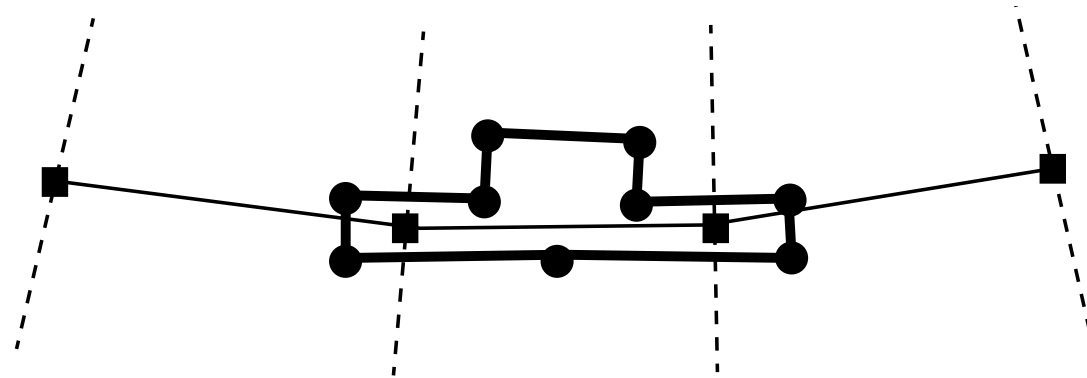
Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

- Dla obiektów powyginanych
- Łamana na obiekcie
- Proste graniczne
  - dwusieczne kątów
  - prostopadłe do końców





Klatki kluczowe

Odkształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

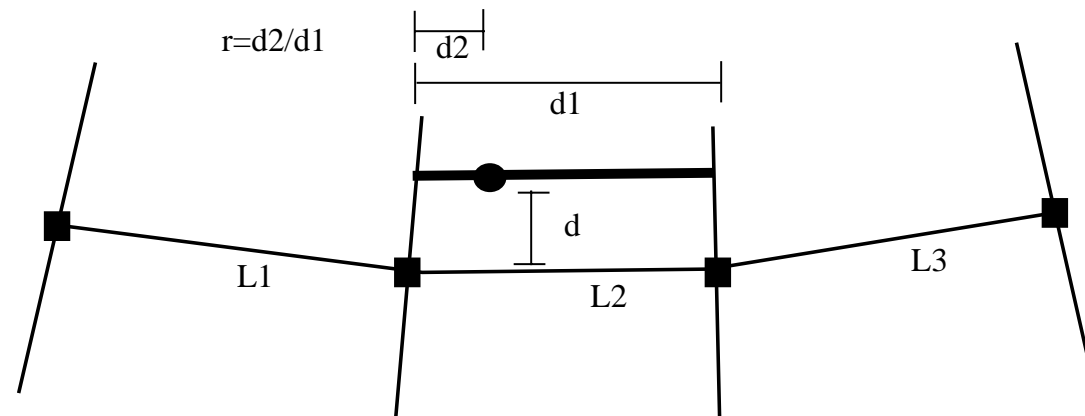
Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

- Dla wierzchołków zapamiętujemy
  - najbliższy odcinek
  - odległość wierzchołka i odcinka
  - położenie wierzchołka względem prostych granicznych



Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

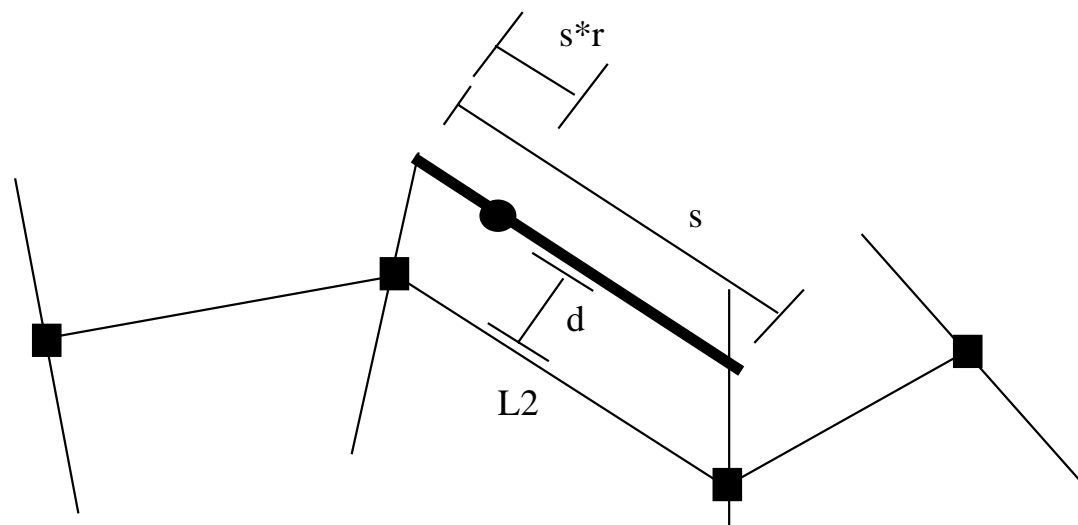
Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Nowe położenie wierzchołków określone są na podstawie zapamiętanych danych i odkształconej łamanej



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

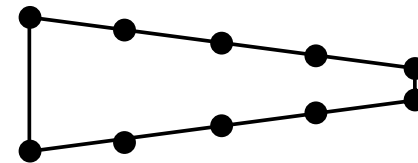
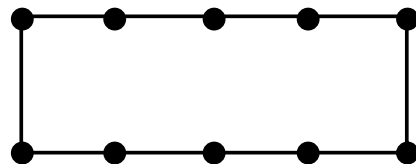
Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

- W przestrzeni stosujemy przekształcenie, określone przez macierz  $M(p)$ , która zależy od punktu  $p$ 
  - globalne zwężanie:

$$s(z) = \frac{\max z - z}{\max z - \min z},$$
$$\begin{cases} x' = s(z)x, \\ y' = s(z)y, \\ z' = z. \end{cases}$$



## Klatki kluczowe

### Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

Animowanie

### Interpolacja kształtów trójwymiarowych

### Morfing

- $k$  — współczynnik skrećenia

$$\begin{cases} x' = x \cos kz - y \sin kz, \\ y' = x \sin kz + y \cos kz, \\ z' = z. \end{cases}$$

## Klatki kluczowe

## Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

Animowanie

## Interpolacja kształtów trójwymiarowych

## Morfing

■  $(z_{\min}, z_{\max})$  — obszar zginania

■  $(x_0, z_{\min})$  — środek zginania

$$\square \theta = \begin{cases} 0 & \text{jeśli } z < z_{\min}, \\ z - z_{\min} & \text{jeśli } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}, \\ z_{\max} - z_{\min} & z > z_{\max}, \end{cases}$$

$$\square R = x_0 - x,$$

$$\square x' = \begin{cases} x & z < z_{\min}, \\ x_0 - R \cos \theta & z_{\min} \leq z \leq z_{\max}, \\ x_0 - R \cos(\theta + z - z_{\max}) + (z - z_{\max}) \sin \theta & z > z_{\max}, \end{cases}$$

$$\square y' = y$$

$$\square z' = \begin{cases} z & z < z_{\min}, \\ z_{\min} - R \cos \theta & z_{\min} \leq z \leq z_{\max}, \\ x_0 - R \sin(\theta + z - z_{\max}) + (z - z_{\max}) \cos \theta & z > z_{\max}. \end{cases}$$

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

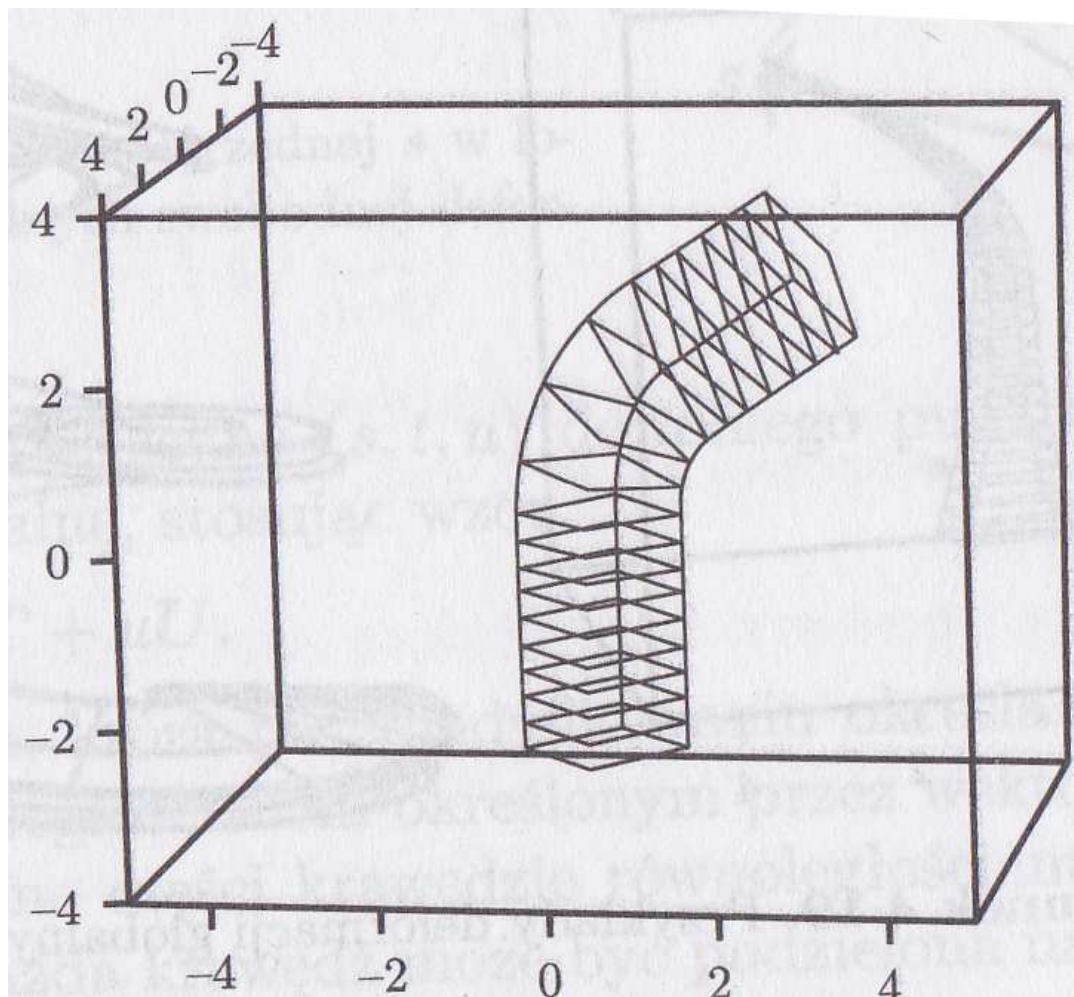
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing



Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

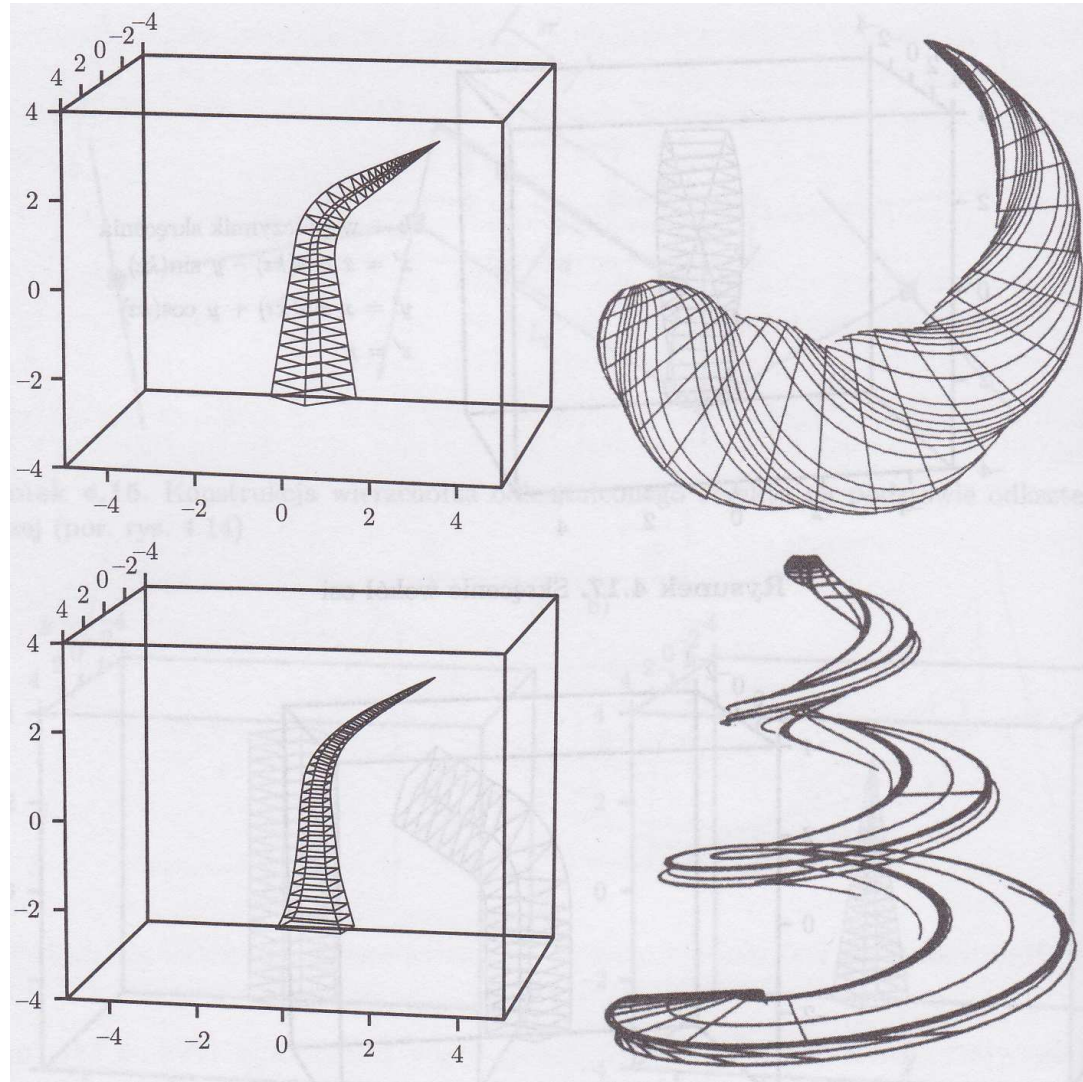
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

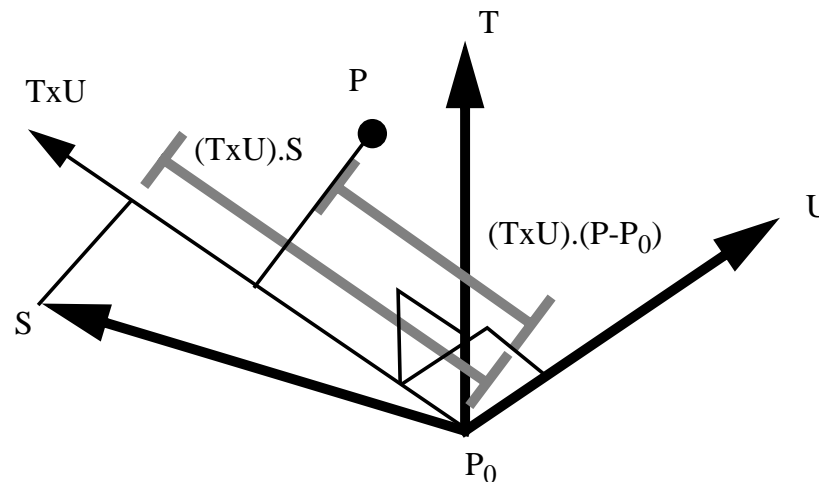
Morfing

- Wprowadzamy lokalny układ współrzędnych za pomocą środka  $P_0$  przez trzech wektorów, nie koniecznie prostopadłych:  $(S, T, U)$ .
- Lokalne współrzędne punktu  $P$  obliczane są za pomocą wzorów:

$$s = (T \times U) \cdot (P - P_0) / (T \times U) \cdot S$$

$$t = (U \times S) \cdot (P - P_0) / (U \times S) \cdot T$$

$$u = (S \times T) \cdot (P - P_0) / (S \times T) \cdot U$$





Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Współrzędne globalne  $P = P_0 + sS + tT + uU$
- Siatka początkowa związana jest z równoległościanem, określonym przez wektory  $S, T, U$ :

$$P_{i,k,j} = P_0 + \frac{i}{l}S + \frac{j}{m}T + \frac{k}{n}U$$

- Przesuwamy punkty kontrolne
- Obraz punktu  $P$  jest obliczany na podstawie współrzędnych  $(s, t, u)$  ze wzoru

$$P(s, t, u) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} s^i (1-s)^{l-i} \sum_{j=0}^m \binom{m}{j} s^j (1-s)^{m-j} \times \\ \times \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} s^k (1-s)^{n-k} P_{ijk}$$

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

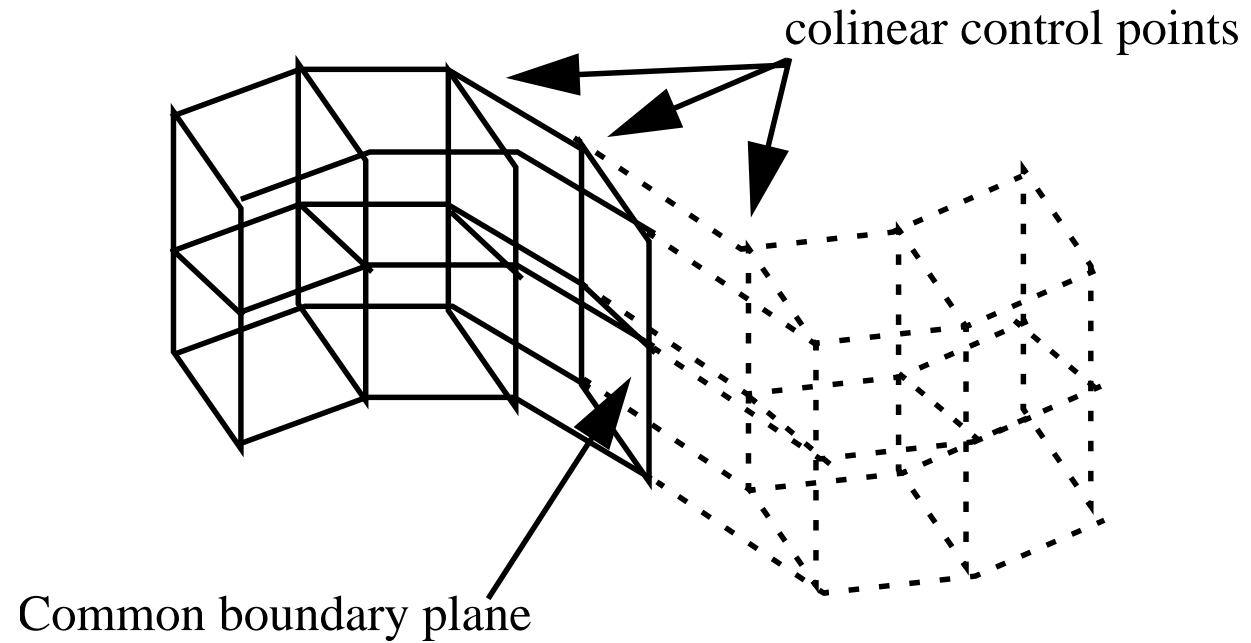
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing



# Siatka nie równoległoboczna

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

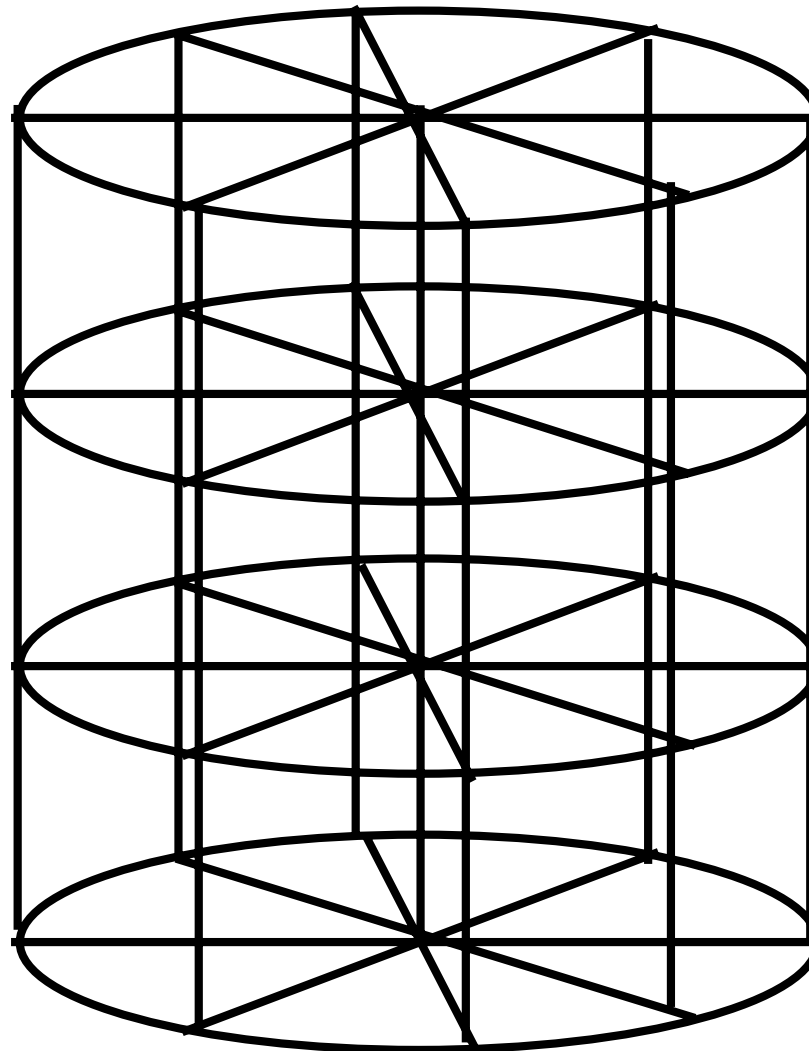
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

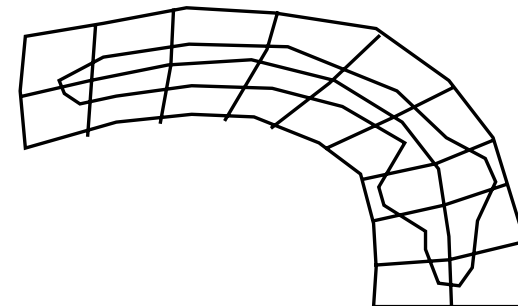
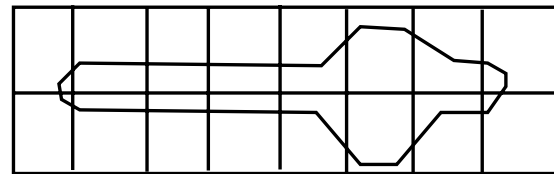
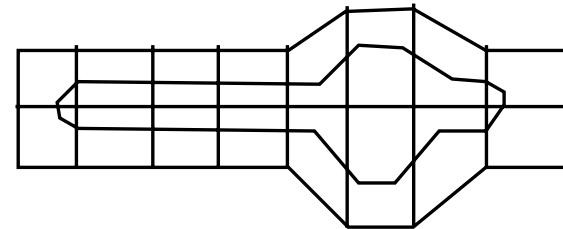
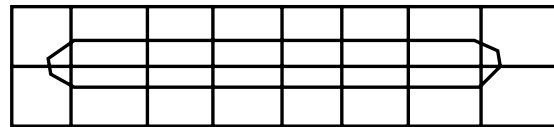
Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

- Wybrzuszenie
- Zginanie



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

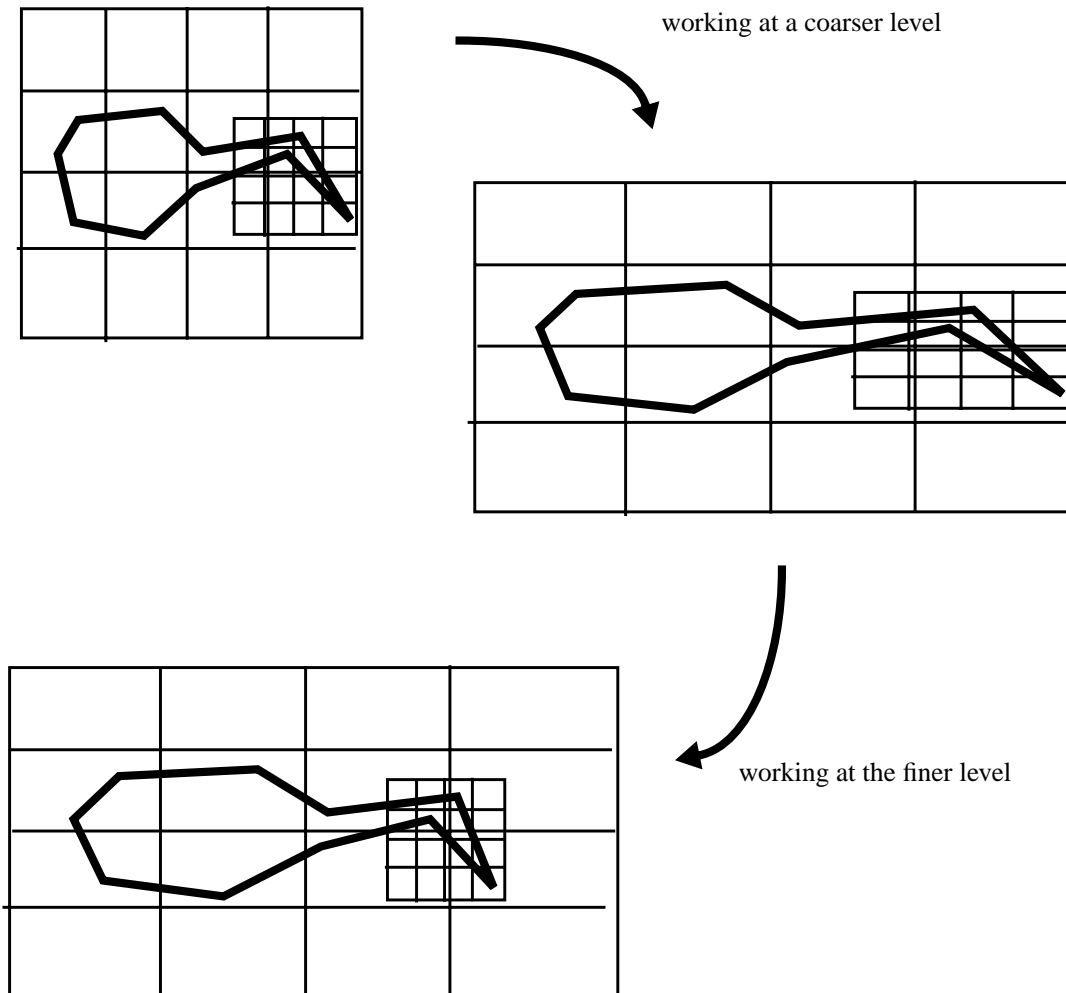
Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

- Jeżeli szczegółowej deformacji podlega mały fragment obiektu, tworzy się hierarchia



# Animowanie deformacji swobodnej

## Klatki kluczowe

## Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

Swobodne

Animowanie

## Interpolacja kształtów trójwymiarowych

## Morfing

- Interpolacja liniowa wierzchołków obiektu
- Deformacja obszaru, przez który przemiesza się obiekt
- Animowanie punktów kontrolnych deformacji

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

Globalne

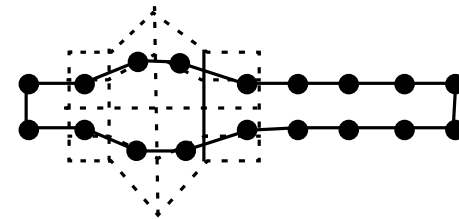
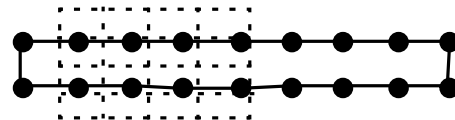
Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

- Siatka początkowa
- Siatka końcowa (zdeformowana kopia siatki początkowej)
- Przywiązanie narzędzia do obiektu (obiekt AFFD, Animated Free-Form Deformation)



Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

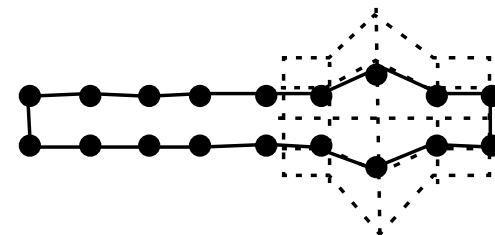
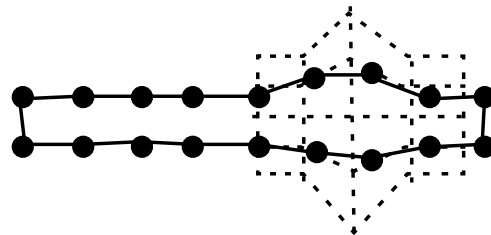
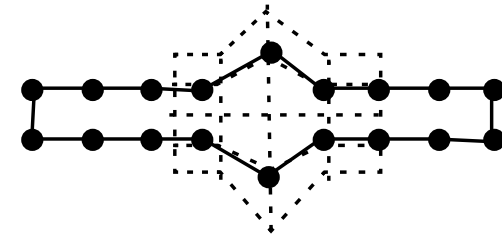
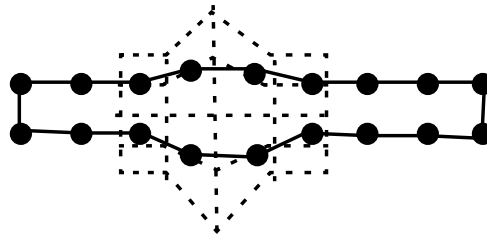
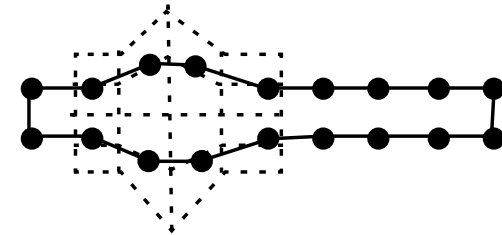
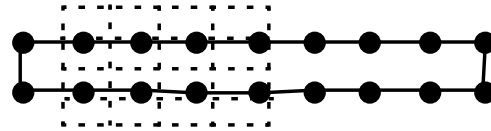
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing





Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

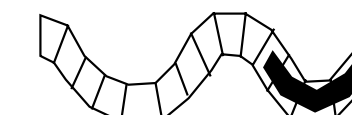
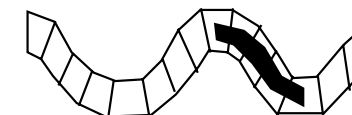
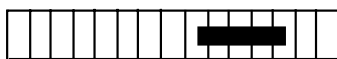
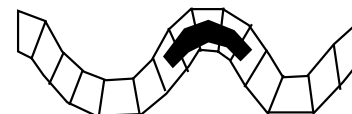
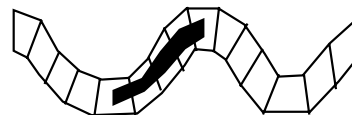
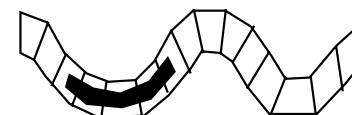
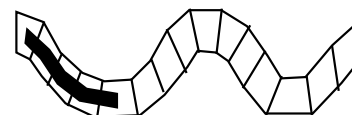
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing



# Animowanie punktów kontrolnych

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

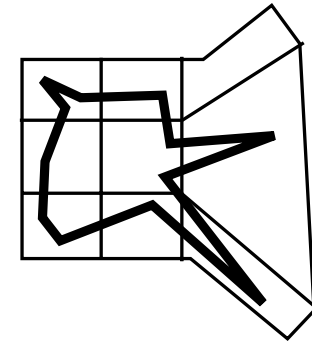
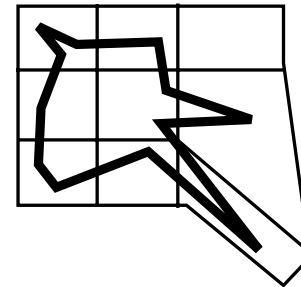
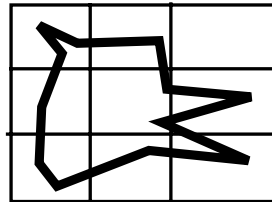
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing



# Animacja na kościach

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Wierzchołki

Przestrzeń

2D siatka

Łamana

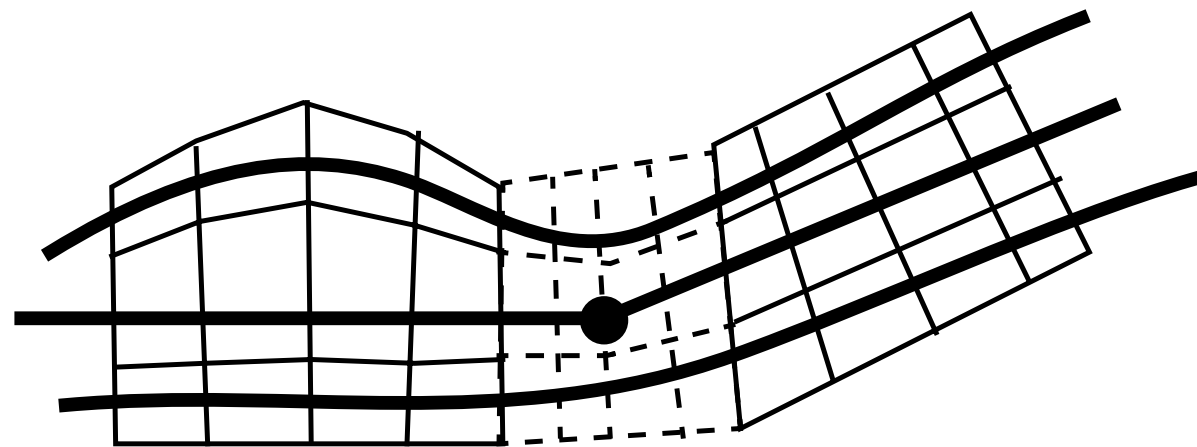
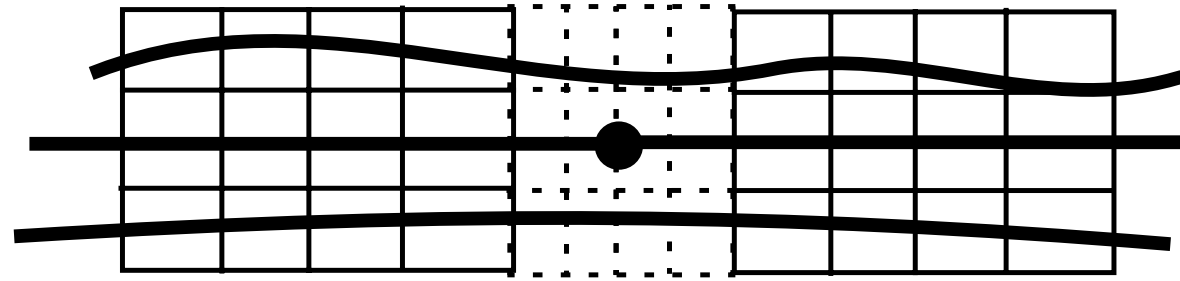
Globalne

Swobodne

Animowanie

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing



Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna  
topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie  
na sferę

Rekurencyjne  
dzielenie siatek

Morfing

# Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

- Techniki powierzchniowe i przestrzenne
- Obiekt — przedmiot o trójwymiarowej powierzchni
- Kształt — zbiór punktów powierzchni
- Model — jednoznaczne opisanie kształtu przedmiotu
- Topologia — właściwości niezmiennicze względem homeomorfizmów
  - liczba otworów (genus)
  - liczba spójnych części
- Obiekty homeomorficzne (równoważne topologicznie)
- Topologia — sposób połączenia wierzchołków
- Dwa problemy animacji kształtów:
  - odpowiedniość
  - interpolacja

# Obiekty o tej samej topologii (2)

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna  
topologia

Gwiaździste

Przekroje

Przekształcenie  
na sferę

Rekurencyjne  
dzielenie siatek

Morfing

- Takie same wierzchołki, krawędzie i ściany
  - na przykład, swobodna deformacja
- Interpolacja odpowiednich wierzchołków

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna  
topologia

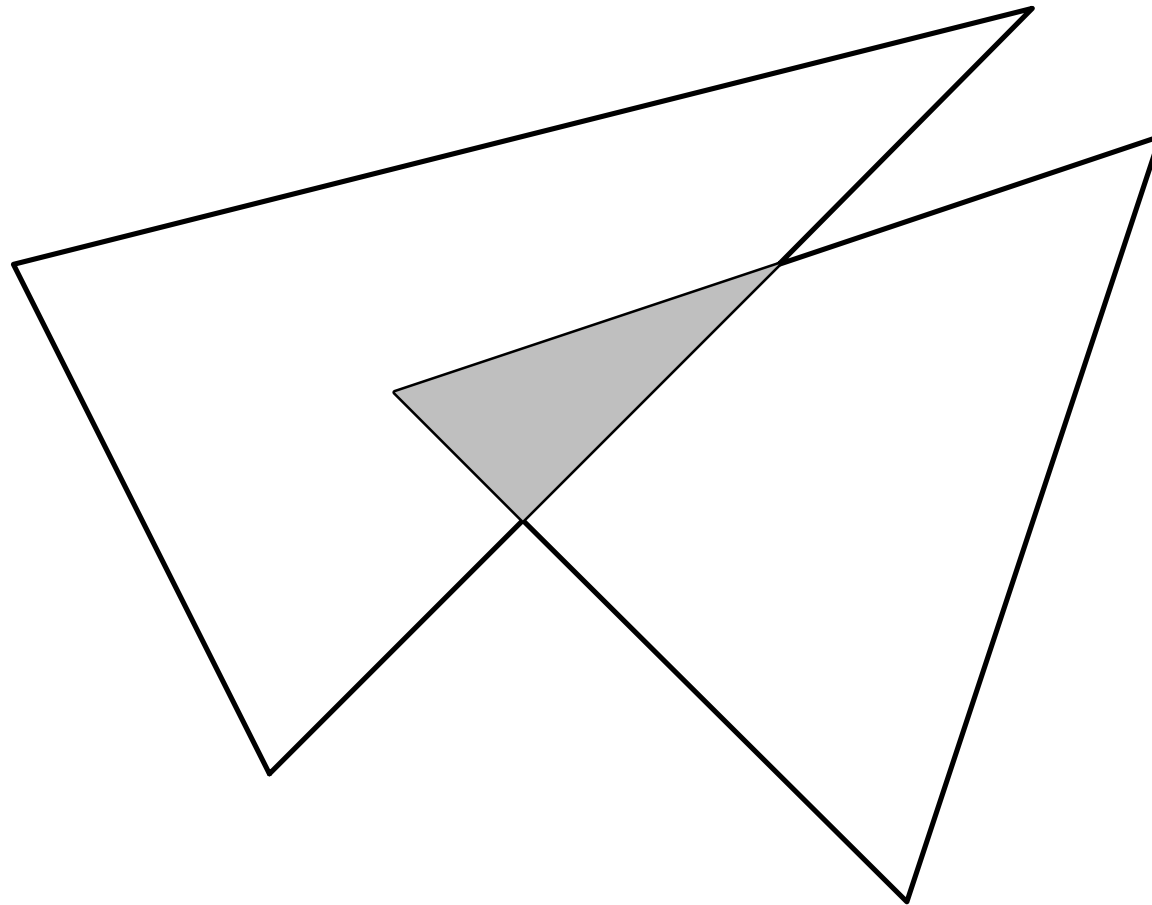
Gwiaździste

Przekroje

Przekształcenie  
na sferę

Rekurencyjne  
dzielenie siatek

Morfing



Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna  
topologia

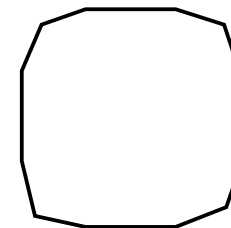
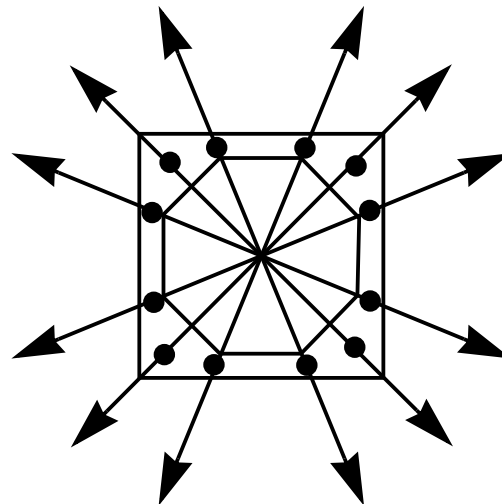
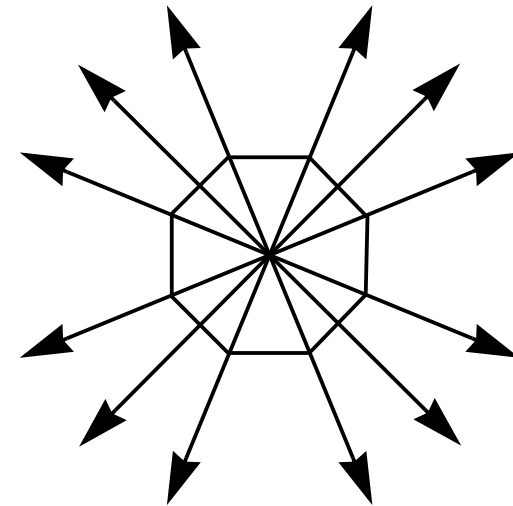
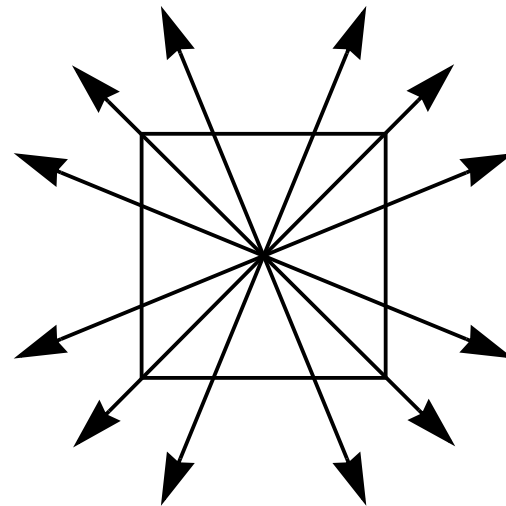
Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie  
na sferę

Rekurencyjne  
dzielenie siatek

Morfing





Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiazdziste

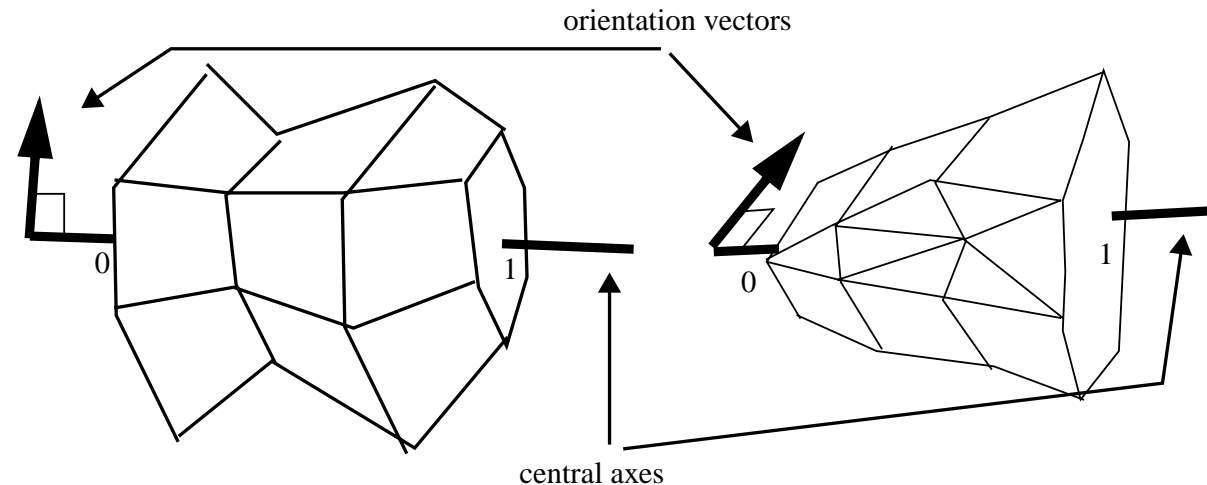
Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

- Dla każdego obiektu określa się oś
  - przekroje płaszczyznami, prostopadłymi do osi, są wielobokami gwiazdzistymi
- Osie się parametryzuje na odcinku  $[0, 1]$
- Określa się wektory położenia kątowych, prostopadłe do osi



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiazdziste

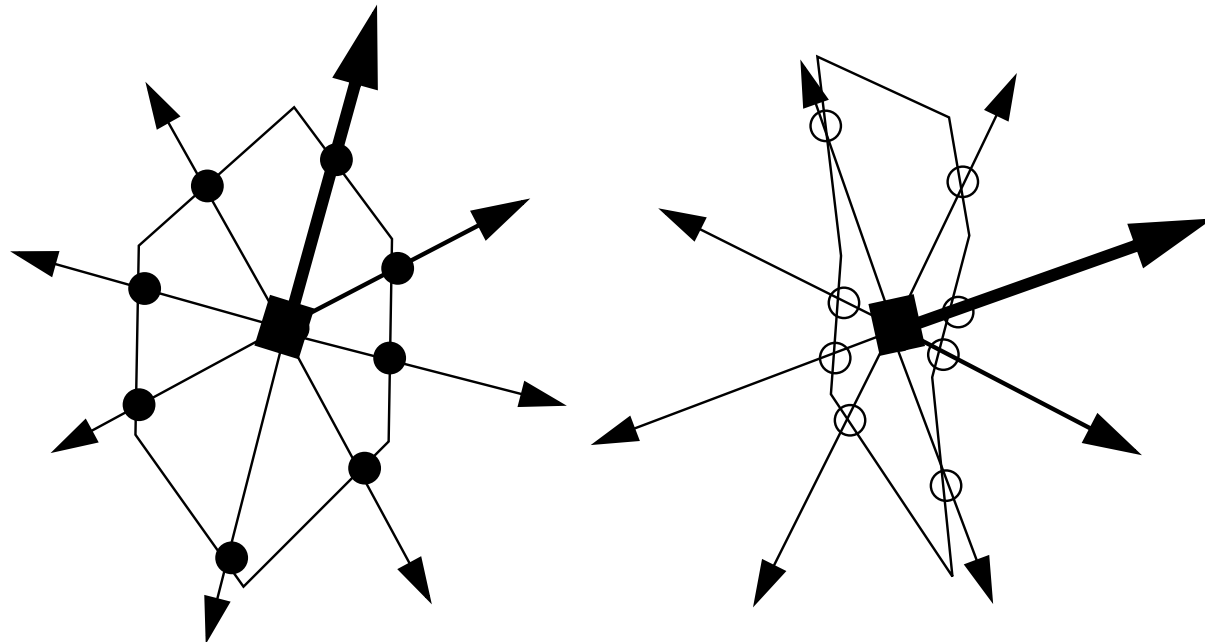
Przekroje

Przekształcenie na sferę

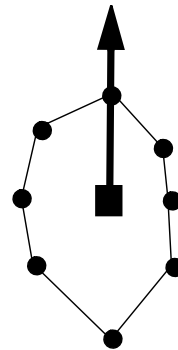
Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

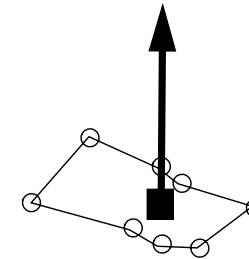
- Parametr osi i współrzędna biegunowa określają parametryzację powierzchni
- Powierzchnia jest odtwarzana na podstawie przekrojów



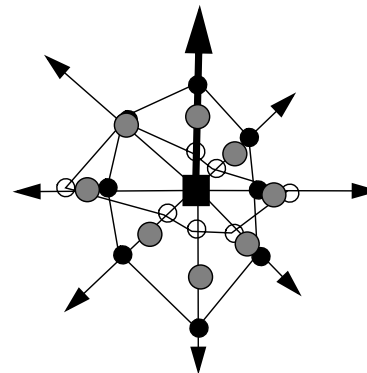
## ■ Interpolacja między odpowiednimi punktami



a) slice from Object 1 showing reconstructed polygon.

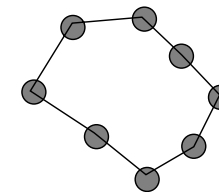


b) slice from Object 2 showing reconstructed polygon



c) Superimposed slices showing interpolated points

- - point from object 1
- - point from object 2
- - interpolated point



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiaździste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

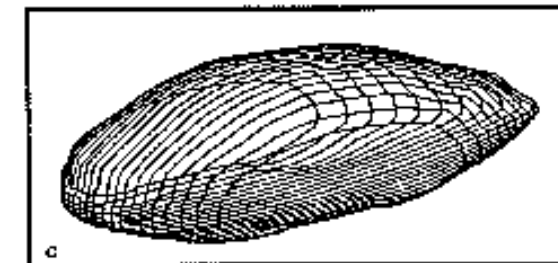
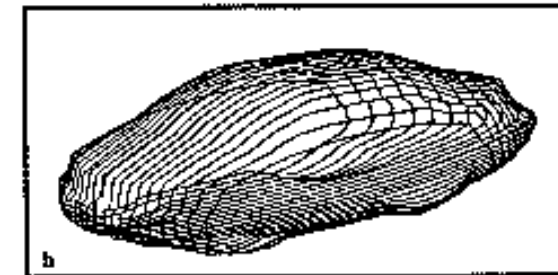
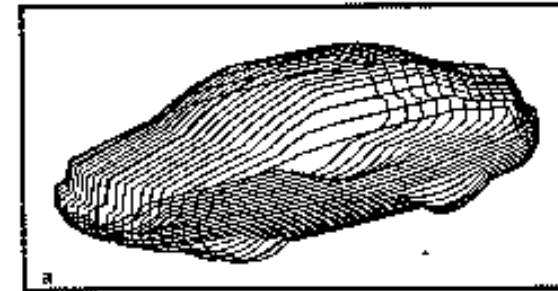
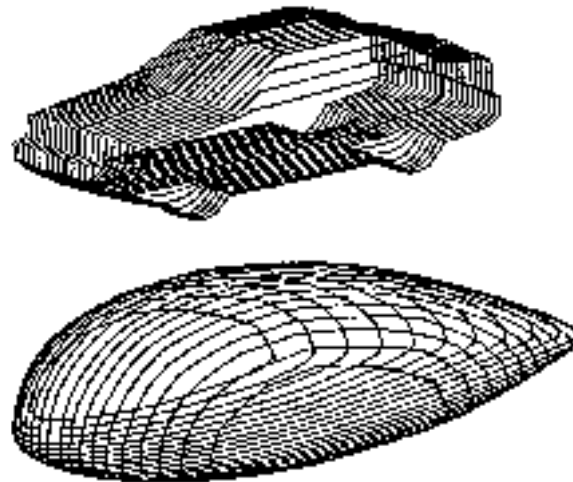
Gwiaździste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing



- Uogólnienie: łamane osie

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna  
topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie  
na sferę

Rekurencyjne  
dzielenie siatek

Morfing

- Obiekty o genusie 0 mogą nie być ani gwiazdzistymi, ani mieć przekrojów osiowych
- Odwzoruje się na powierzchnię (np sferę jednostkową)
- Określa się wspólne wierzchołki
- Powstają nowe modele obiektów, które mają tę samą topologię
- Interpolacja między dpowiadającymi sobie wierzchołkami

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

- Rzut ze środka sfery
  - tylko dla gwiazdzistych
- Rzut wierzchołków kluczowych
  - najniższy, najwyższy, etc
  - podane przez użytkownika
    - doprowadzić pozostałe wierzchołki do sfery

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

- Oba obiekty odwzorowane są na sferę
- Nowa topologia na sferze zawiera:
  - oba zbiory wierzchołków oraz punkty przecięcia krawędzi
  - fragmenty krawędzie oryginalnych
- Jest odwzorowywana na z powrotem na obiekty

# Obliczanie punktów przecięcia krawędzi

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiazdziste

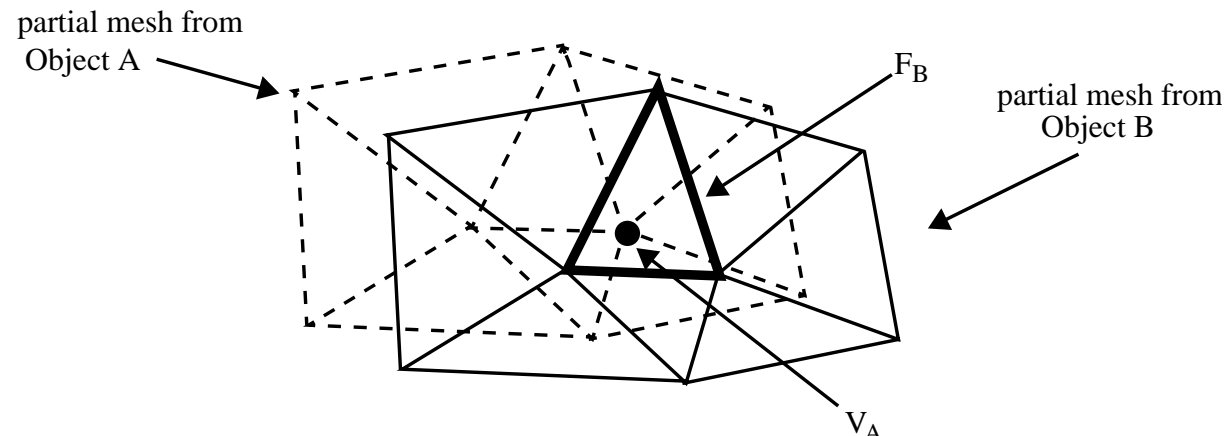
Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

- Przekięcie kaźdej krawędzi z kaźdą
  - zbyt czasochłonne
  - błędu zaokręglenia, niepoprawne uporządkowanie
- Inny algorytm
  - założenia: wszystkie ściany są trójkątami, nie ma wierzchołków na krawędziach
  - zaczynamy od wierzchołka  $V_A$
  - znajdujemy ścianę  $F_B$ , na której leży  $V_A$





# Obliczanie punktów przecięcia krawędzi

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

- Krawędzie wychodzące z  $V_A$  dołączane są do listy roboczej
- Krawędzie śiany  $F_B$  dołączane są do kandydatów na przecięcie
- Wybiera się krawędź  $E_A$  z listy roboczej
- Brak przecięć z krawędziami z listy kandydatów
  - przejście do fazy uporządkowania przecięć
- Znaleziono przecięcie  $I$ 
  - $I$  dodaje się do listy przecięć obu krawędzi
  - nowa ściana staje się bieżącą
  - zapamiętuje się ściany obiektu  $A$ , których wspólną krawędzią jest  $E_A$
- Koniec iteracji: pusta lista robocza

# Obliczanie punktów przecięcia krawędzi

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

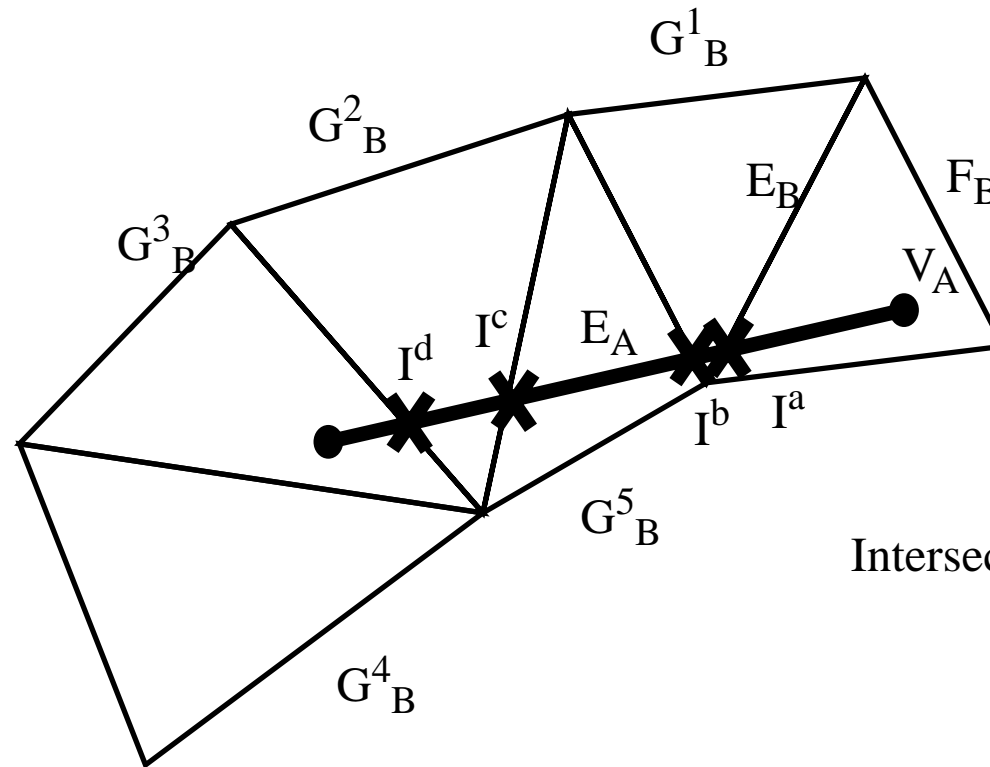
Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing



Intersection list of  $V_A$ :  $I^a, I^b, I^c, I^d$

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna  
topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie  
na sferę

Rekurencyjne  
dzielenie siatek

Morfing

- Dla krawędzi  $E_A$  kolejność wierzchołków jest uporządkowana
- Dla krawędzi  $E_B$  wykorzystana jest informacja o ścianach obiektu  $A$ .
  - można pozbyć się wpływu błędów zaokrąglenia

# Odwzorowanie nowej topologii na obiekty

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna  
topologia

Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie  
na sferę

Rekurencyjne  
dzielenie siatek

Morfing

- Nowe wierzchołki na krawędziach na sferze odwzorować na krawędzie na powierzchni obiektu
  - można użyć parametryzacji
- Wierzchołki obiektu  $A$  na sferze odwzorować na ściany obiektu  $B$  i na odwrót
  - można użyć współrzędnych barycentrycznych

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

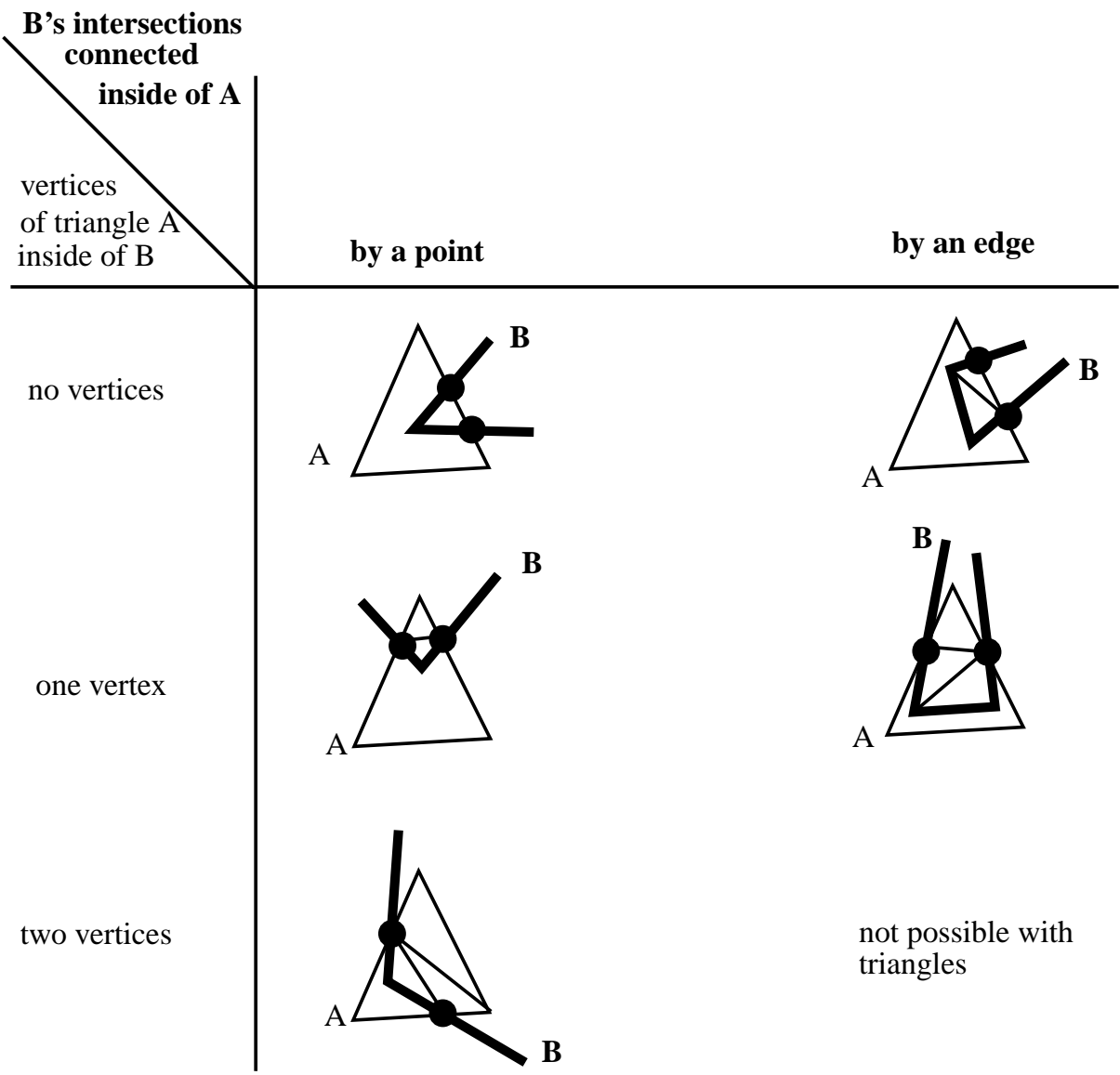
Gwiazdziste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

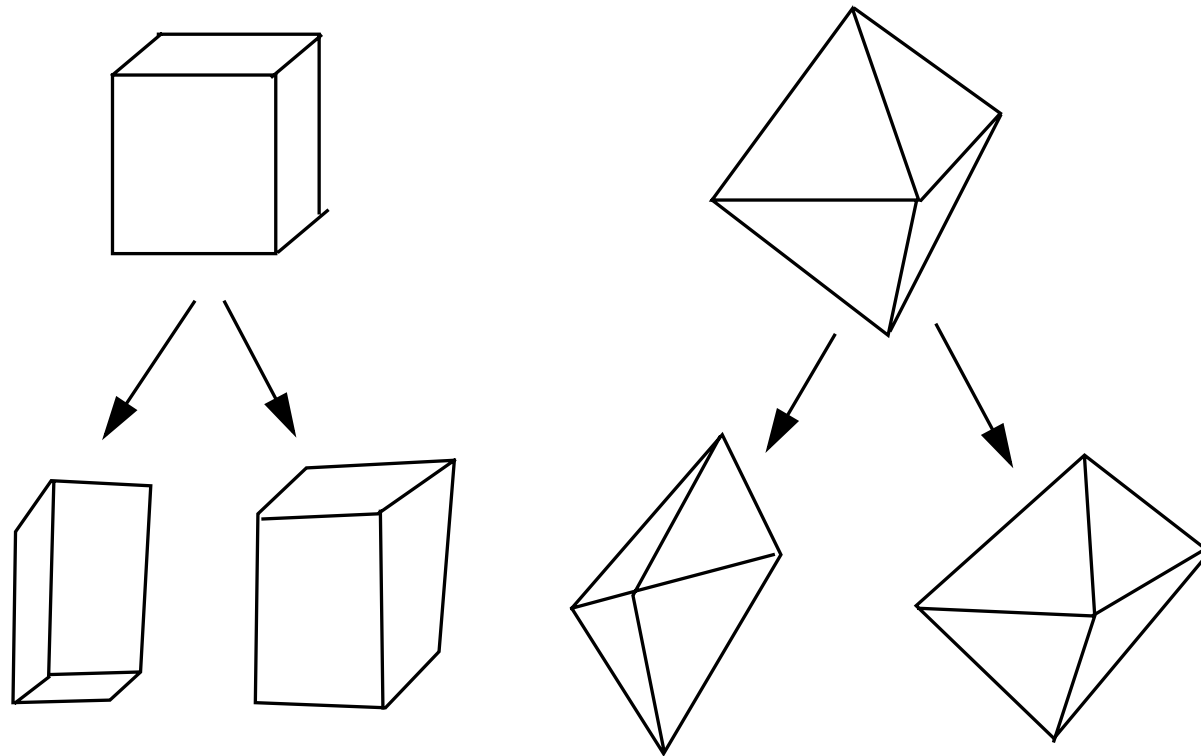
Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing



# Rekurencyjne dzielenie siatek

- Nowa wspólna topologia określa się poprzez sprowadzenie siatek do dwuwymiarowych siatek wielokątów oraz skojarzenie wierzchołków na brzegach



Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

Gwiaździste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing

# Skojarzenie wierzchołków na brzegach

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Terminologia

Identyczna topologia

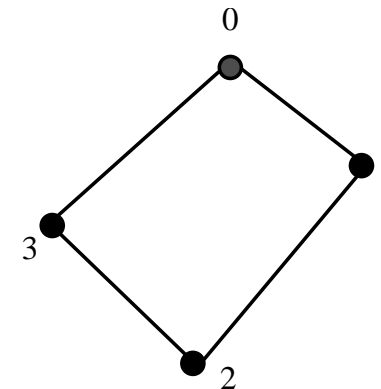
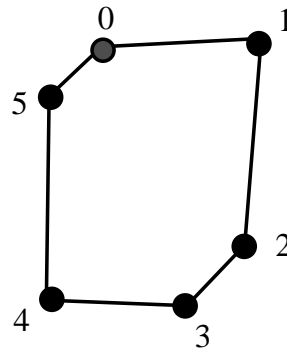
Gwiaździste

Przekroje

Przekształcenie na sferę

Rekurencyjne dzielenie siatek

Morfing



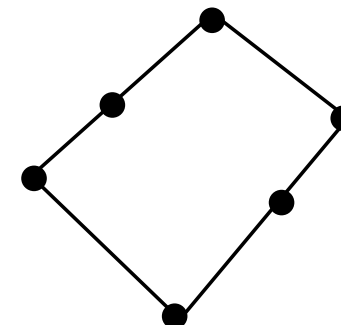
● - first vertex of boundary

normalized distances

0	0.00
1	0.15
2	0.20
3	0.25
4	0.40
5	0.70

normalized distances

0	0.00
1	0.30
2	0.55
3	0.70



boundary after adding additional vertices

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

Morfing  
Siatka  
współrzędnych  
Wyróżnione  
linie

# Morfing



Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

Morfing

Siatka  
współrzędnych

Wyróżnione  
linie

- Przekształcenie jednego obrazu w inny
- Wyznaczona odpowiedność elementów obrazów
  - używana przy sterowaniu przekształceniem
- Dwa podejścia
  - wyznacza się siatki współrzędnych nałożone na każdy z obrazów
  - określa się pary linii wyróżnionych

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

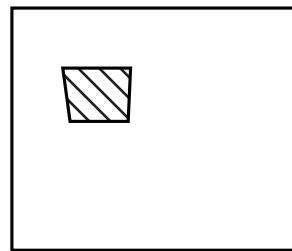
Morfing

Morfing

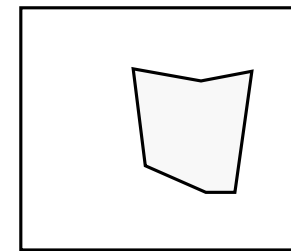
Siatka współrzędnych

Wyróżnione linie

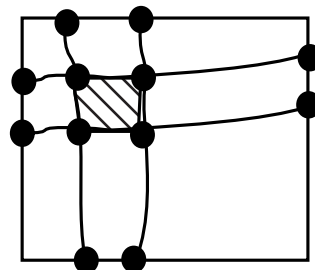
- Określa się tyle samo punktów przecięcia na brzegach obu obszarów
- Powinny pokryć całe obszary
- Siatki generuje się przy użyciu odpowiedniej metody interpolacji
  - na przykład, splajny Catmulla-Roma



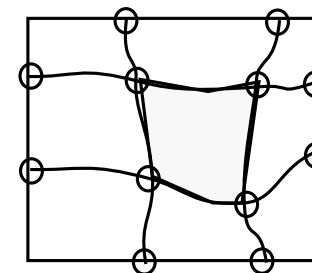
a) Image A



b) Image B



c) Image A with grid points and curves defined



d) Image B with grid points and curves defined

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

Morfing

Siatka  
współrzędnych

Wyróżnione  
linie

- Dla pewnego  $t \in (0, 1)$  określa się siatka pośrednia
  - można użyć interpolacji liniowej
  - bądź wyższego stopnia
- Piksele obu obrazów są zmieniane w sposób, określony przez siatkę, aby otrzymać wersję wygiętą wersję obrazów
  - Procedura dwuetapowa

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

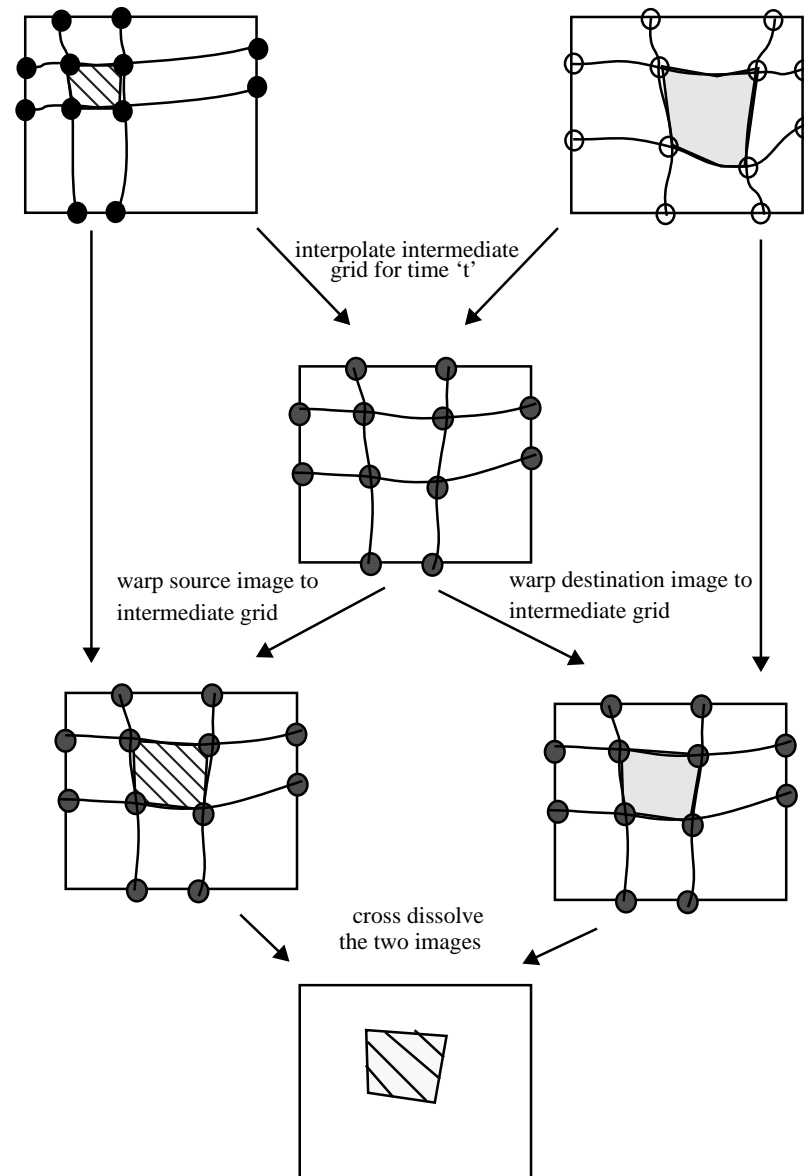
Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

Morfing

Siatka współrzędnych

Wyróżnione linie



# Procedura dwuetapowa — siatka pomocnicza

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

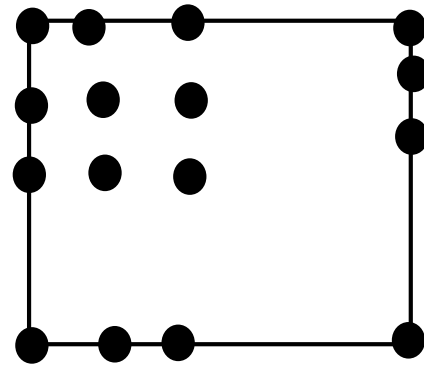
Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

Morfing

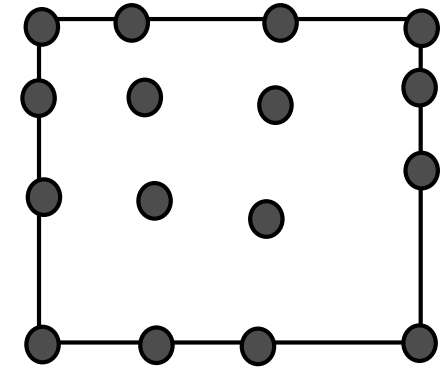
Siatka współrzędnych

Wyróżnione linie



a) Source image grid

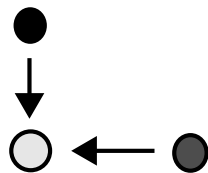
use x-coordinates of these points



b) Intermediate grid

use y-coordinates of these points

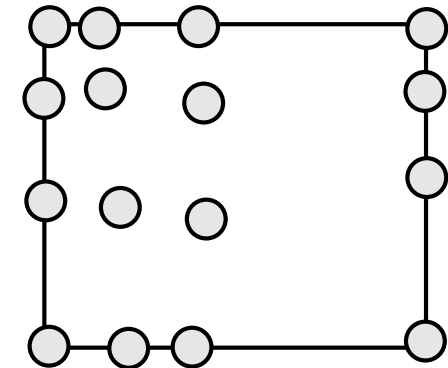
source image grid point



auxiliary grid point

intermediate grid point

c) detail showing relationship of source image grid point, intermediate grid point and auxiliary grid point



d) auxiliary grid

# Procedura dwuetapowa — I

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

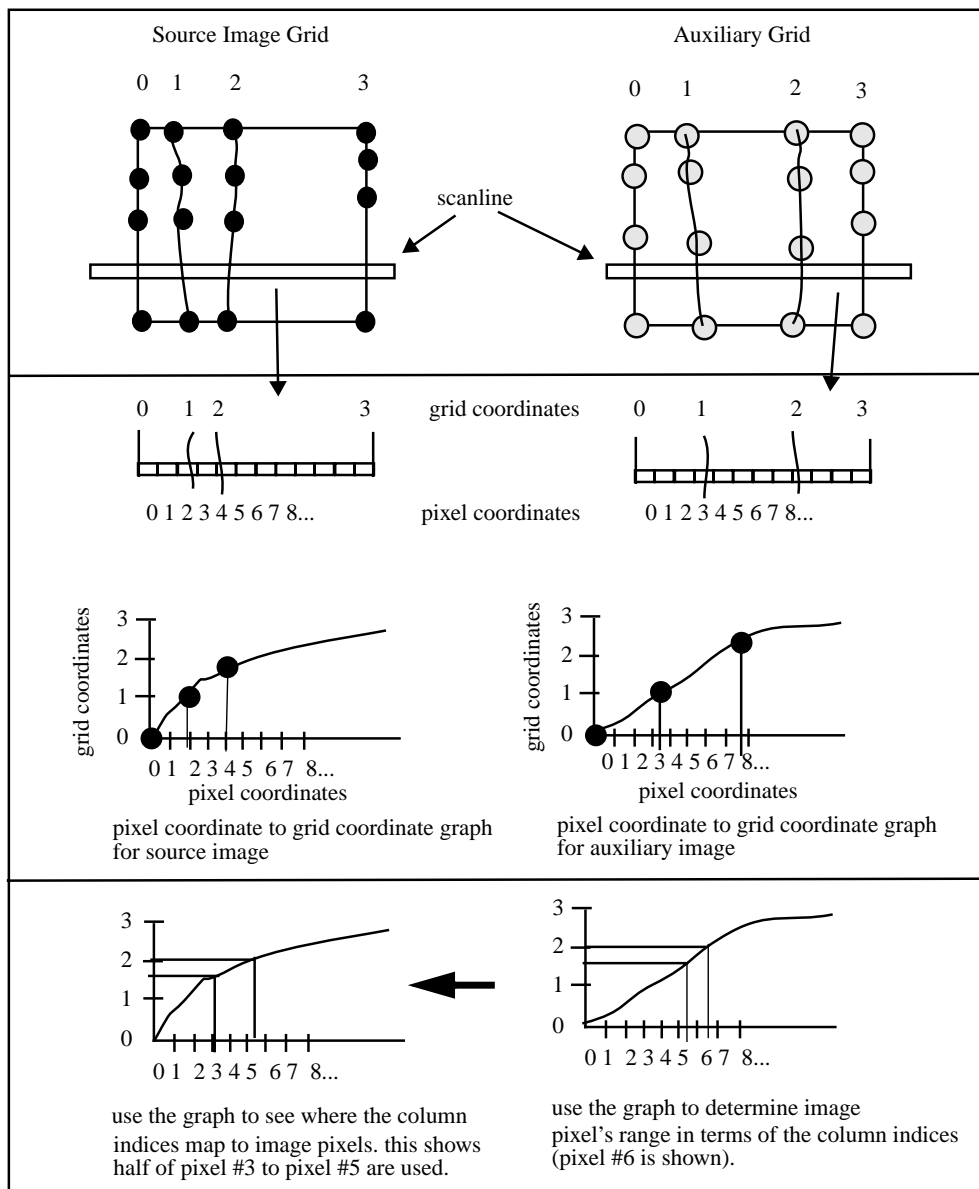
Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

Morfing

Siatka współrzędnych

Wyróżnione linie



# Procedura dwuetapowa — II

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

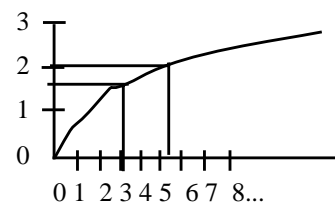
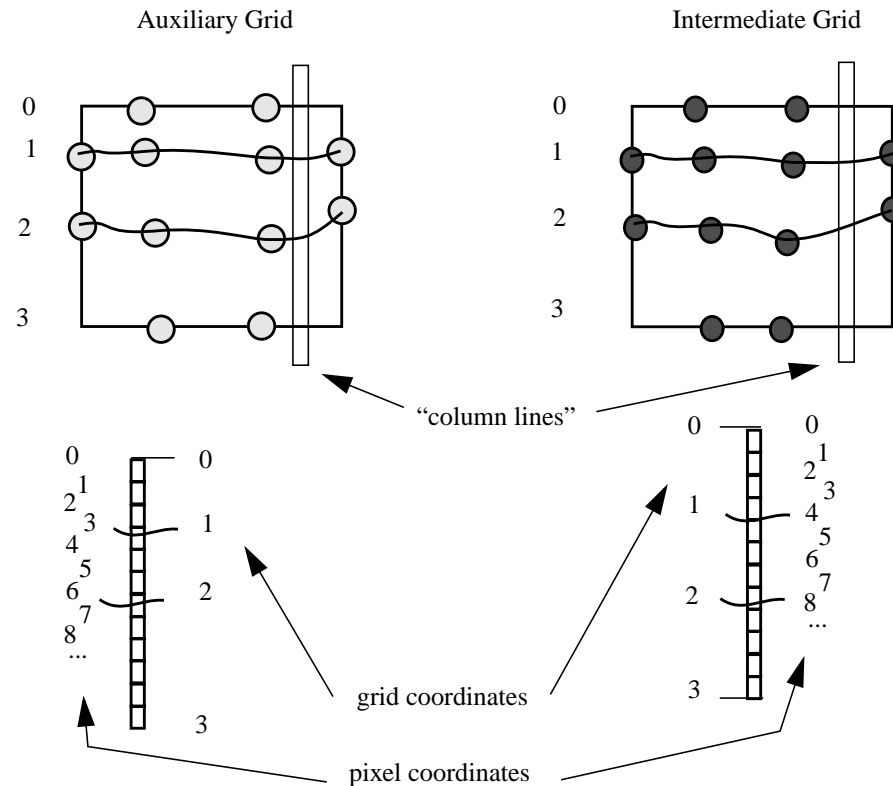
Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

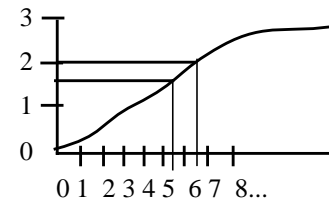
Morfing

Siatka współrzędnych

Wyróżnione linie



Use row index coordinates to determine the pixel coordinates in auxiliary image.



For a given pixel in the intermediate image, determine the coordinates in terms of row indices.

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

Morfing

Siatka  
współrzędnych

Wyróżnione  
linie

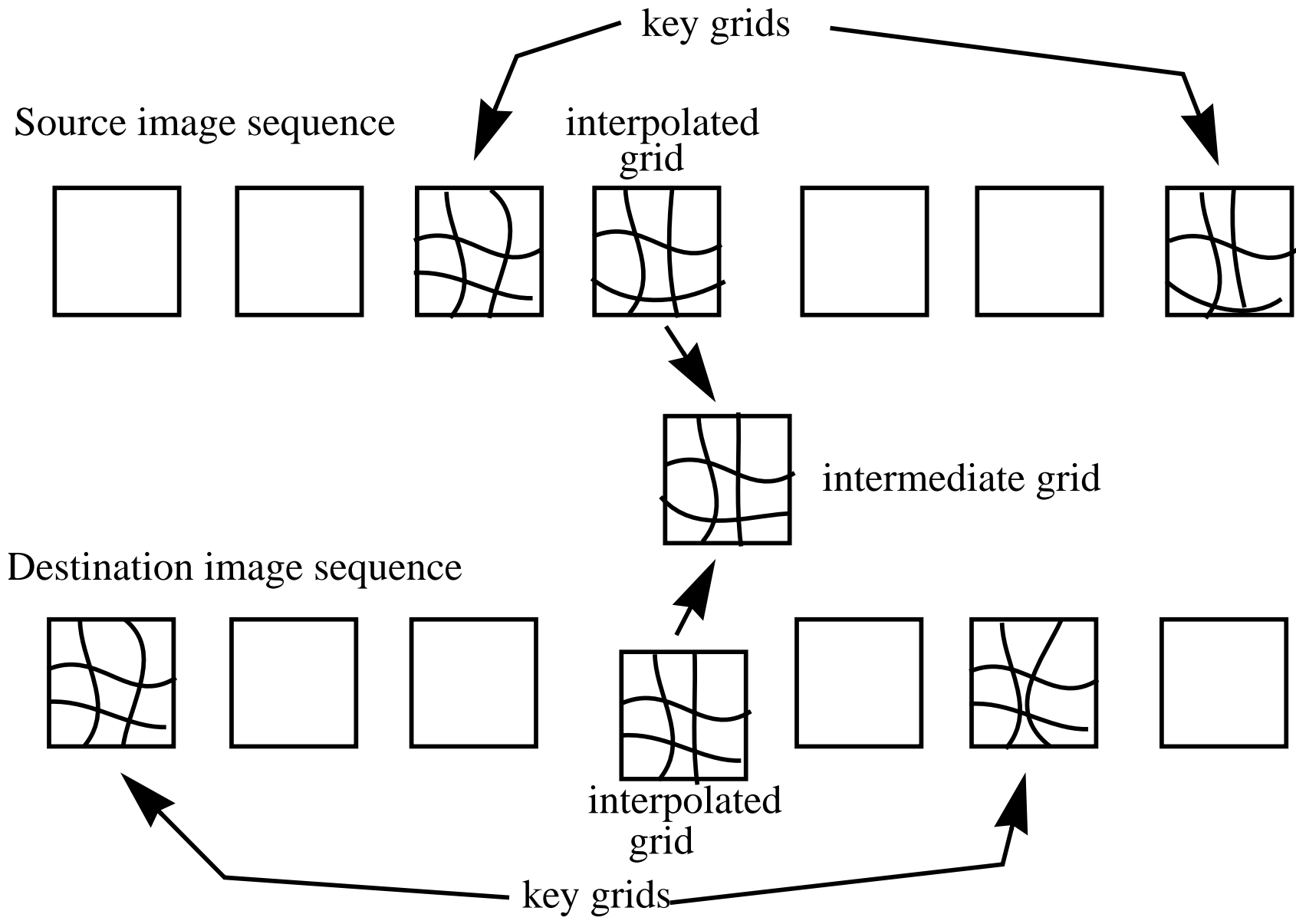
$$C = \alpha C_1 + (1 - \alpha) C_2$$

- $\alpha$  może linowo zależeć od numeru klatki
- lepsze wyniki wizualne można osiągnąć przy nieliniowej zależności  $\alpha$



# Morfing sekwencji animowanych

- Klatki kluczowe
- Odształcanie obiektów
- Interpolacja kształtów trójwymiarowych
- Morfing
- Morfing
- Siatka współrzędnych
- Wyróżnione linie



# Morfing za pomocą linii wyróżnionych

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

Morfing

Morfing

Siatka współrzędnych

Wyróżnione linie

- Na obrazach określa się linie, skazujące szczegóły, które sobie odpowiadają
- Linie te są interpolowane, aby uzyskać linii pośrednich
- Każdy piksel ma przypisaną wagę, która określa wpływ linii wyróżnionych
- Kolor średni jest przyjmowany za odkształcony kolor źródłowy
- Analogicznie dla odkształconego koloru docelowego
- Kolor pośredni otrzymany jest jako interpolacja odkształconych kolorów

# Jedna para linii wyróżnionych

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

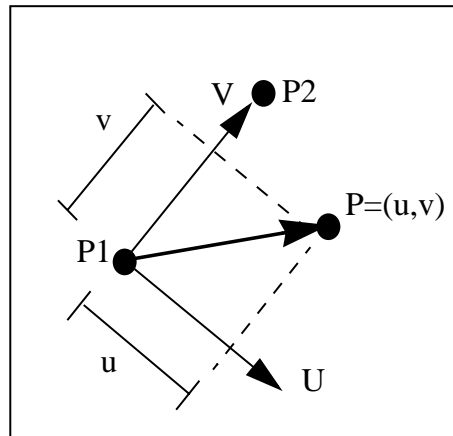
Morfing

Morfing

Siatka współrzędnych

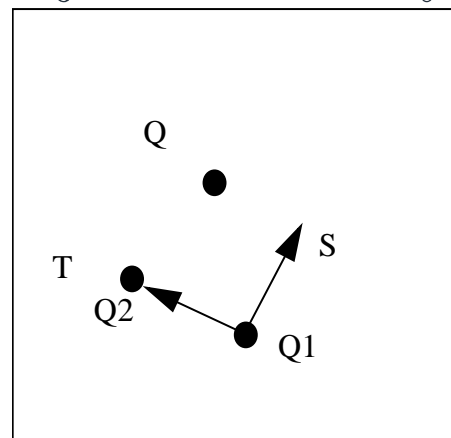
Wyróżnione linie

- Wprowadza się lokalne współrzędne  $(u, v)$  na obrazie pośrednim oraz  $(s, t)$  na obrazie źródłowym



$$v = (P - P1) \cdot \frac{(P2 - P1)}{|P2 - P1|^2}$$
$$u = \left| (P - P1) \times \frac{(P2 - P1)}{|P2 - P1|^2} \right|$$

- Piksel  $P$  jest odwzorowywany na obraz źródłowy



$$T = Q2 - Q1$$
$$S = (T_y, -T_x)$$
$$Q = Q1 + u \cdot S + v \cdot T$$

Klatki kluczowe

Odształcanie obiektów

Interpolacja kształtów trójwymiarowych

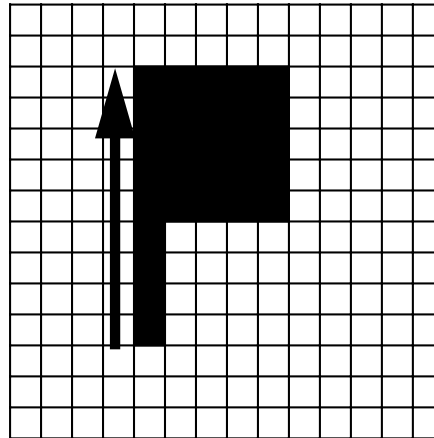
Morfing

Morfing

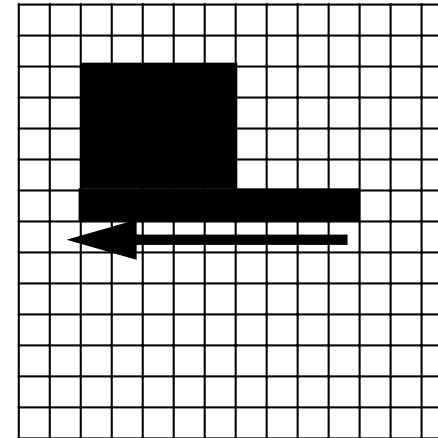
Siatka współrzędnych

Wyróżnione linie

Source image and feature line

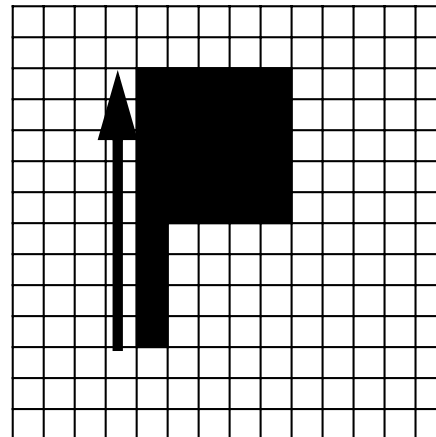


Intermediate feature line and resulting image

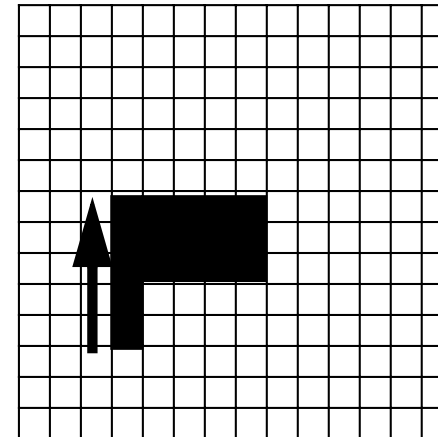


**a) First example**

Source image and feature line



Intermediate feature line and resulting image



**b) Second example**

Klatki kluczowe

Odształcanie  
obiektów

Interpolacja  
kształtów  
trójwymiarowych

Morfing

Morfing

Siatka  
współrzędnych

Wyróżnione  
linie

- Wagi:  $w = \left( \frac{|Q_1 - Q_2|^p}{a + d} \right)^b$ , gdzie
  - $Q_1$  i  $Q_2$  określają linie wyróżnione w obrazie źródłowym
  - $d$  jest odległością piksela od tej linii
  - $a$ ,  $p$ ,  $b$  są określone przez użytkownika i mają wpływ na ogólny charakter przekształcenia
- Można obciąć wagę na pewnej odległości