

Zbigniew Suszyński

Robert Świta

Krzysztof Stole

Wydział Elektroniki i Informatyki

Zakład Systemów Multimedialnych i Sztucznej Inteligencji

Politechnika Koszalińska

Zastosowanie warpingu wektorowego przy odtwarzaniu portretu pamięciowego

Słowa kluczowe: warping, portret pamięciowy

1. Wstęp

Portret pamięciowy jest jedną z najstarszych metod badawczych stosowanych w kryminalistyce, mimo to w dalszym ciągu stworzenie takiego, który w dużym stopniu odzwierciedla rzeczywisty wygląd poszukiwanej osoby sprawia dużą trudność. Jest to spowodowane faktem, iż na odwzorowanie wyglądu twarzy ma wpływ wiele aspektów, takich jak czas obserwacji, upływ czasu od chwili spostrzeżenia do momentu opisywania sprawcy, współpraca przesłuchującego, środki pomocnicze służące do odtwarzania i wykonania rysopisu. Do stworzenia portretu pamięciowego coraz częściej wykorzystywane są metody komputerowe. Charakteryzują się one prostotą obsługi, brakiem konieczności obecności przeszkolonego grafika, oraz w przypadku programów opartych o algorytmy sztucznej inteligencji, zbliżeniem procesu tworzenia portretu do rozpoznawania, a nie reprodukcji [1,2].

Portret pamięciowy tworzony metodą komputerową powstaje wskutek połączenia obrazów przedstawiających elementy twarzy (oczy, nos, usta, uszy, brwi, włosy, wąsy, brodę) [3]. Zarówno tradycyjne systemy komputerowe, jak i programy wykorzystujące algorytmy sztucznej inteligencji do stworzenia graficznego wizerunku osoby wykorzystują bazę plików graficznych, które odwzorowują wygląd twarzy. Aby stworzyć portret pamięciowy metodą komputerową, poza odpowiednim doбором części twarzy tworzących wizerunek człowieka, kluczowym zadaniem jest ich prawidłowe połączenie ze sobą. Jest to bardzo istotny aspekt, ponieważ nieprawidłowe dopasowanie wzorców twarzy może doprowadzić do nienaturalnego wyglądu stworzonego portretu pamięciowego. Szczególnie problematyczne jest dopasowanie wzorców przedstawiających włosy oraz brodę.

Kształt owali twarzy jest na tyle zróżnicowany, że zastosowanie klasycznych transformacji afinicznych, takich jak skalowanie, obrót, pochylenie czy przesunięcie, uniemożliwia dokładne dopasowanie opisywanych wzorców. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie operacji warpingu.

2. Warping obrazu

Warping jest techniką deformowania obrazu. Efekt przekształcenia można zobrazować jako matematyczny odpowiednik nadruku na elastycznej powierzchni, którą można rozciągać i ścisnąć w różnych miejscach. Jest on uzyskiwany dzięki nierównomiernym zniekształceniom siatki obrazu. Warping jest operacją składową morfingu, któremu towarzyszyć może zmiana kolorów pikseli. Jeden z najbardziej popularnych algorytmów warpingu został przedstawiony przez Beier'a i Neely'ego w 1992 roku [4]. Aby przekształcić obraz konieczne jest wyznaczenie punktów charakterystycznych na obrazie źródłowym oraz ich odpowiedników na obrazie docelowym. Na podstawie wyznaczonych punktów charakterystycznych tworzone są wektory, które określają sposób deformacji obrazu. Istnieją dwa sposoby tworzenia nowego obrazu za pomocą warpingu [5].

Podczas odwzorowania prostego, dla każdego piksela obrazu źródłowego obliczana jest pozycja na obrazie docelowym, na którą kopiowana jest jego wartość. W wyniku działania tej operacji w obrazie docelowym nie wszystkie piksele są wyznaczone i w obrazie powstają „dziury”. Wady tej pozbawione jest odwzorowanie odwrotne. Z tego względu zostało ono również zastosowane w niniejszej pracy. Polega ono na wyznaczaniu każdego piksela obrazu docelowego poprzez określenie jego odpowiednika na obrazie źródłowym [6].

Pozycja piksela na obrazie źródłowym obliczana jest na podstawie zdefiniowanych wektorów.

Schemat działania algorytmu można podzielić na następujące kroki:

- Na podstawie charakterystycznych punktów P' i Q' na obrazie źródłowym oraz odpowiadających im punktom P i Q na obrazie docelowym tworzone są pary odpowiadających sobie wektorów.
- Ustalane jest położenie punktu X' na obrazie źródłowym, odpowiadające punktowi X na obrazie docelowym, zależne od wszystkich par wektorów PQ i $P'Q'$

Wartość piksela X w obrazie docelowym określana jest przez wyznaczenie odpowiadającego mu położenia X' na obrazie źródłowym, które jest średnią ważoną z położen X'_i określonych wpływem i -tej pary wektorów PQ i $P'Q'$. Różnica położen między punktem X a punktami X'_i jest odzwierciedleniem różnic pomiędzy odpowiadającymi sobie parami wektorów. Znając i -tą parę wektorów PQ i $P'Q'$

można założyć, że zmiana położenia pikseli wzdłuż wektora PQ w obrazie docelowym powoduje zmianę położenia w obrazie źródłowym wzdłuż wektora $P'Q'$ proporcjonalnie do współczynnika stosunku długości wektorów. Warto zauważyć, że zmiana położenia w kierunku prostopadłym do wektora PQ w obrazie docelowym jest niezależna i nie zmienia położenia piksela na obrazie źródłowym względem wektora $P'Q'$.

Jeżeli rozłożymy wektor P_iX na wektor P_iQ_i oraz wektor ortogonalny $P_iQ_i^\perp$ i odpowiednio wektor $P_i'X_i'$ na wektor $P_i'Q_i'$ oraz wektor ortogonalny $P_i'Q_i'^\perp$, wówczas:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_iX} &= u_i \frac{\overrightarrow{P_iQ_i}}{|P_iQ_i|} + v_i \frac{\overrightarrow{P_iQ_i}^\perp}{|P_iQ_i|} \\ \overrightarrow{P_i'X_i'} &= u_i' \frac{\overrightarrow{P_i'Q_i'}}{|P_i'Q_i'|} + v_i' \frac{\overrightarrow{P_i'Q_i'}^\perp}{|P_i'Q_i'|} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie

$$\begin{aligned} v_i' &= v_i \\ \frac{u_i'}{|P_i'Q_i'|} &= \frac{u_i}{|P_iQ_i|} \end{aligned}$$

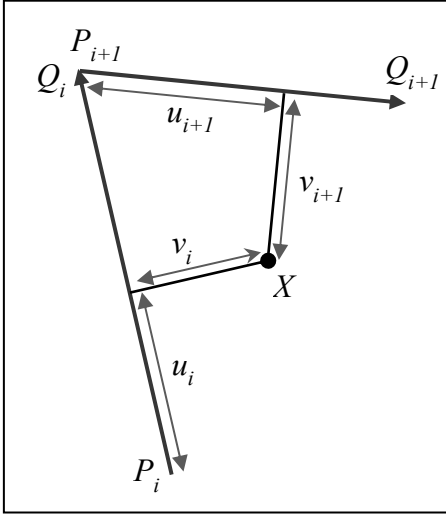
Na podstawie równania (1) można wyznaczyć pozycję X_i' na obrazie źródłowym, odpowiadającą pozycji X piksela na obrazie docelowym, która uwzględni wpływ i-tej pary wektorów P_iQ_i i $P_i'Q_i'$:

$$X_i' = P_i' + \frac{u_i}{|P_iQ_i|} \overrightarrow{P_i'Q_i'} + \frac{v_i}{|P_i'Q_i'|} \overrightarrow{P_i'Q_i'}^\perp \quad (2)$$

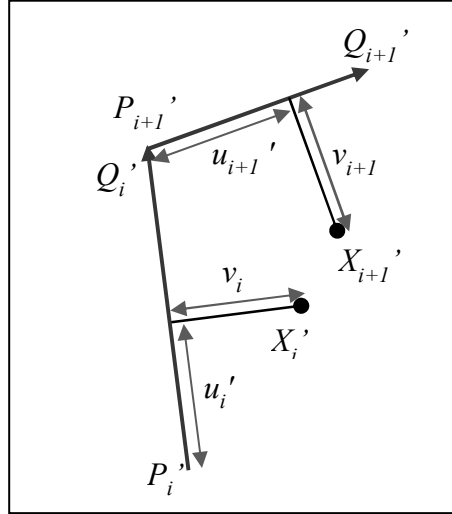
Parametry u_i oraz v_i można łatwo wyznaczyć na podstawie iloczynów skalarnych wektora P_iX z wektorami P_iQ_i i $P_iQ_i^\perp$:

$$\begin{aligned} u_i &= |P_iX| \cos(P_iX, P_iQ_i) = \frac{P_iX^T P_iQ_i}{|P_iQ_i|} = \frac{P_iX \cdot x P_iQ_i \cdot x + P_iX \cdot y P_iQ_i \cdot y}{|P_iQ_i|} \\ v_i &= |P_iX| \sin(P_iX, P_iQ_i) = \frac{P_iX^T P_iQ_i^\perp}{|P_iQ_i|} = \frac{P_iX \cdot x P_iQ_i \cdot y - P_iX \cdot y P_iQ_i \cdot x}{|P_iQ_i|} \end{aligned} \quad (3)$$

Położenie punktu X' jest sumą ważoną wszystkich wartości pkt. X_i' (Rysunek 1, Rysunek 2). Dla każdej pary wektorów obliczana jest waga W_i , która zależy od długości wektora PQ i odległości wyznaczanego punktu X od środka tego wektora (Rysunek 3).



Rys. 1. Rozmieszczenie wektorów w obrazie docelowym



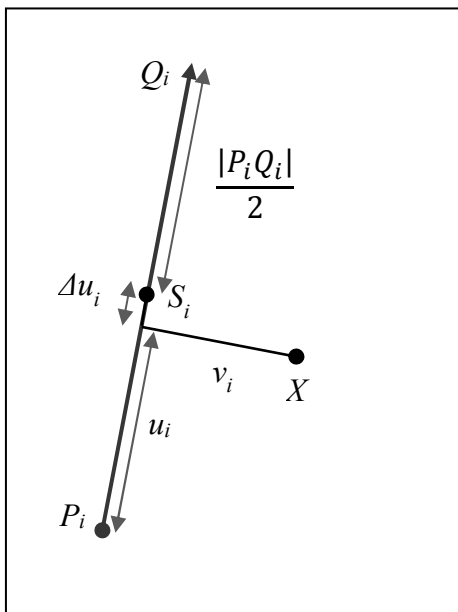
Rys. 2. Rozmieszczenie punktów X_i' na obrazie źródłowym

Do obliczeń wagi położen X_i' wyznaczanych na podstawie i -tej pary wektorów, w przeciwieństwie do oryginalnego artykułu Beier-Neely, proponujemy wykorzystanie rozkładu Gaussa 2D. Największe wagi mają piksele znajdujące się najbliżej środka wektora PQ . Odległość piksela od tego środka jest obliczana za pomocą odległości Manhattan.

Równanie (4) przedstawia sposób wyznaczania wag. Siła wpływu wektorów na położenie piksela uzależniona jest od rozkładu Gaussa. Rozkład w kierunku u jest uzależniony liniowo od parametru wariancji σ^2 i długości wektora PQ , zaś w kierunku v od parametru σ^2 i długości wektora $P'Q'$. W naszym rozwiązaniu przyjęliśmy arbitralnie wartość wariancji równą 10. Warto wspomnieć, że do obliczenia wagi potrzebne są tylko wartości u_i , v_i oraz długości wektorów $|P_iQ_i|$ i $|P_i'Q_i'|$.

$$W_i = \exp\left(-\frac{\Delta u_i^2}{2|P_iQ_i|\sigma^2} - \frac{v_i^2}{2|P_i'Q_i'|\sigma^2}\right) \quad (4)$$

Gdzie Δu_i jest odległością rzutu ortogonalnego pkt X na wektor $P_i Q_i$ od punktu S_i , będącego środkiem tego wektora (Rysunek 3).



Rys. 3. Wyznaczenie odległości Manhattan pomiędzy pkt. X a wektorem $P_i Q_i$

Mając wyznaczone wartości X_i oraz wagi W_i jesteśmy w stanie przy użyciu warpingu wektorowego wygenerować nowy obraz. Aby to osiągnąć, każdemu pikselowi X obrazu docelowego należy przypisać odpowiadający mu piksel na obrazie źródłowym. Jego położenie definiuje zmienna X' :

$$X' = \frac{\sum_i X_i' W_i}{\sum_i W_i} \tag{6}$$

W algorytmie Beier-Neely pozycja X' jest obliczana jako przesunięcie pierwotnej pozycji X o ważoną różnicę od położenia X_i' , $D_i = X_i' - X$. Te obliczenia są nadmiarowe, gdyż:

$$X' = X + \frac{\sum_i D_i W_i}{\sum_i W_i} = X + \frac{\sum_i (X_i' - X) W_i}{\sum_i W_i} = X + \frac{\sum_i X_i' W_i}{\sum_i W_i} - X = \frac{\sum_i X_i' W_i}{\sum_i W_i}$$

Poniżej przedstawiony został algorytm warpingu w formie pseudokodu:

Tabela 1. Pseudokod warpingu wektorowego

<p>For each piksel X w obrazie docelowym</p> <p>For each para wektorów $\overrightarrow{P_i Q_i}$ i $\overrightarrow{P'_i Q'_i}$</p> <p>Obliczenie pkt. źródłowego X'_i i wagi W_i</p> $W_{sum} = W_{sum} + W_i$ $XW_{sum} = XW_{sum} + X'_i W_i$ $X' = \frac{XW_{sum}}{W_{sum}}$ <p>ObrazDocelowy(X) = ObrazŹródłowy(X')</p>

2.1. Rozmieszczenie wektorów na owalu twarzy

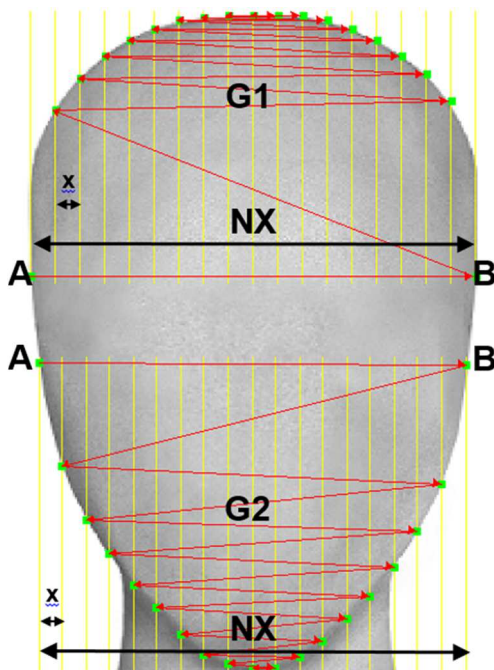
Na wzorcu przedstawiającym owal twarzy wyznaczone zostały 2 grupy wektorów.

- G1 – grupa zawierająca 18 wektorów opisujących kształt głowy.
- G2 – grupa określająca kształt podbródka. Składa się z 18 wektorów.

Proces wyznaczania wektorów określających kształt owalu twarzy można podzielić na następujące etapy:

- Wyznaczenie skrajnych pkt. A i B
- Wyznaczenie równomiernie rozmieszczonych pionowych linii pomiędzy pkt. A i B . Odstęp x pomiędzy kolejnymi liniami wyznaczany jest na podstawie wzoru $x = \frac{x_B - x_A}{N}$, gdzie $N=18$
- Wyznaczenie punktów charakterystycznych
- G1 – w miejscu przecięcia pionowych linii z obrysem górnej części owalu twarzy.
- G2 – w miejscu przecięcia pionowych linii z obrysem kształtu podbródka.

Wyznaczenie wektorów w taki sposób, że punkt określający koniec i -tego wektora jest jednocześnie punktem określającym początek $i+1$ -szego wektora.

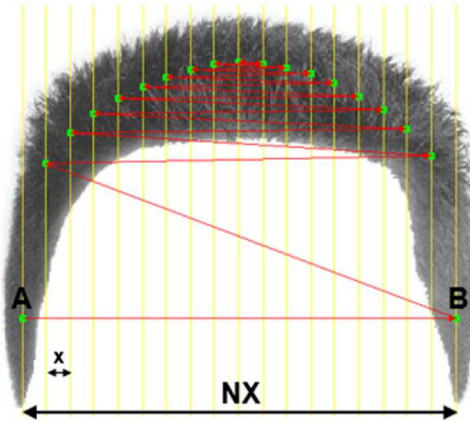


Rys. 4. Rozmieszczenie wektorów na wzorcu owalu twarzy

2.2. Rozmieszczenie wektorów na wzorcu włosów

Proces wyznaczania wektorów określających kształt włosów można podzielić na następujące etapy:

- Wyznaczenie skrajnych pkt. A i B
- Wyznaczenie równomiernie rozmieszczonych pionowych linii pomiędzy pkt. A i B . Odstęp x pomiędzy kolejnymi liniami wyznaczany jest na podstawie wzoru $x = \frac{x_B - x_A}{N}$, gdzie $N=18$
- Wyznaczenie punktów charakterystycznych na wyznaczonych liniach w miejscu, w którym włosy mają przylegać do obrysu głowy
- Wyznaczenie wektorów w taki sposób, że punkt określający koniec i -tego wektora jest jednocześnie punktem określającym początek $i+1$ wektora.

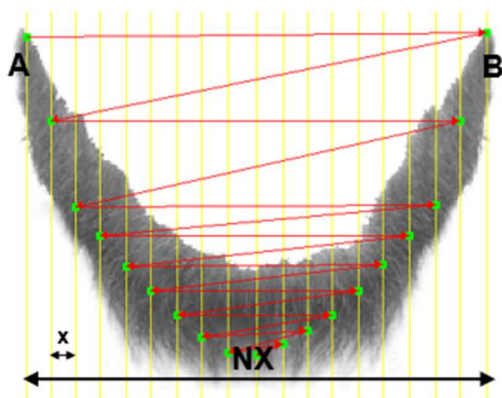


Rys. 5. Rozmieszczenie wektorów na wzorcu włosów

2.3. Rozmieszczenie wektorów na wzorcu brody

Proces wyznaczania wektorów określających kształt wzorca brody można podzielić na następujące etapy:

- Wyznaczenie skrajnych pkt. A i B
- Wyznaczenie równomiernie rozmieszczonych pionowych linii pomiędzy pkt. A i B . Odstęp x pomiędzy kolejnymi liniami wyznaczany jest na podstawie wzoru $x = \frac{x_B - x_A}{N}$. Wartość zmiennej N uzależniona jest od wzorca brody. $N = 2k, k \in \mathbb{N}, k \in [5, 9]$
- Wyznaczenie punktów charakterystycznych na wyznaczonych liniach w miejscu, w którym broda ma przylegać do obrysu podbródka
- Wyznaczenie wektorów w taki sposób, że punkt określający koniec i -tego wektora jest jednocześnie punktem określającym początek $i+1$ wektora.

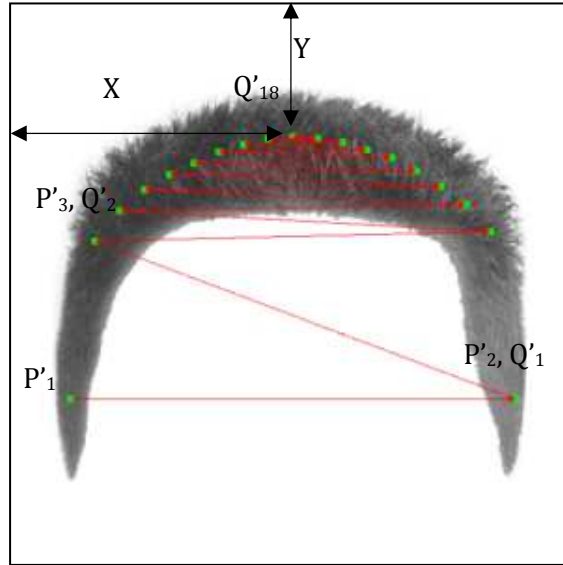


Rys. 6. Rozmieszczenie wektorów na wzorcu brody

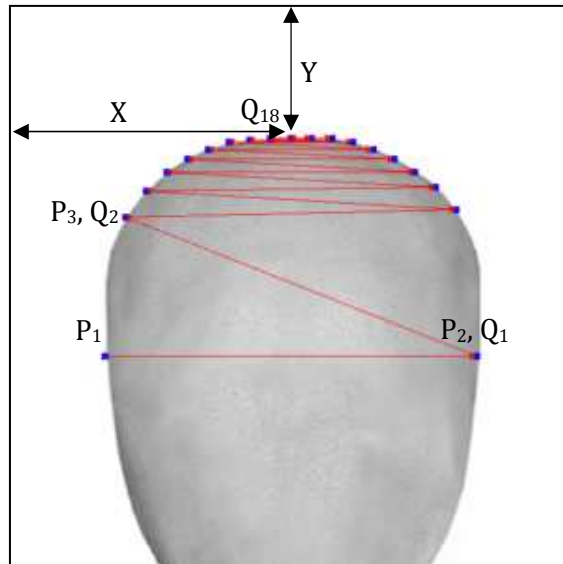
3. Eksperymenty

Aby osiągnąć efekt płynnego dopasowania brody oraz włosów do owalu twarzy, wzorce te zostały zdeformowane przy użyciu warpingu w taki sposób, aby wyznaczone na nich punkty charakterystyczne odpowiadały punktom wyznaczonym na wzorcu przedstawiającym owal twarzy.

Obraz docelowy, który powstaje w wyniku modyfikacji obrazu źródłowego posiada ten sam rozmiar, zmienione zostaje tylko rozmieszczenie jego pikseli. Konieczne jest zmodyfikowanie obrazu na którym wyznaczono wektory docelowe w taki sposób, by jego rozmiar odpowiadał rozmiarowi obrazu źródłowego, oraz by położenie punktu końcowego ostatniego wektora ($\overline{P_{18}Q_{18}}$) odpowiadało położeniu punktu końcowemu ostatniego wektora na obrazie źródłowym ($\overline{P'_{18}Q'_{18}}$). Rozmieszczenie wektorów na obrazie źródłowym i docelowym przedstawione zostało na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Rozmieszczenie wektorów na obrazie źródłowym



Rys. 8. Rozmieszczenie wektorów na obrazie docelowym

Poniżej przedstawione zostały przykłady portretów pamięciowych, w których wzorce włosów oraz brody zostały zmodyfikowane przy użyciu operacji warpingu wektorowego w taki sposób by ich kształt został dopasowany do kształtu owalu twarzy.



Rys. 9. Dopasowanie wzorców włosów oraz brody zmodyfikowanych za pomocą warpingu



Rys. 10. Dopasowanie wzorców włosów oraz brody zmodyfikowanych za pomocą warpingu

4. Podsumowanie

Do tworzenia portretu pamięciowego coraz częściej wykorzystywane są techniki komputerowe. Mimo iż sposoby budowania wizerunku twarzy są w nich bardzo zróżnicowane, to zarówno aplikacje umożliwiające stworzenie portretu pamięciowego poprzez wybór poszczególnych elementów twarzy, jak i te, których działanie oparte jest o algorytmy sztucznej inteligencji, do stworzenia portretu pamięciowego potrzebują bazy plików graficznych odzwierciedlających poszczególne typy elementów twarzy, które muszą zostać ze sobą połączone. Celem niniejszego artykułu było zaprezentowanie sposobu wykorzystania operacji warpingu do płynnego dopasowania wzorców przedstawiających włosy oraz brodę

do owalu twarzy. W artykule opisany został sposób wyznaczenia wektorów oraz implementacja warpingu, która przedstawiona została za pomocą pseudokodu.

Zastosowanie operacji warpingu w programach komputerowych do odtwarzania portretów pamięciowych umożliwia precyzyjne dopasowanie wzorców włosów oraz brody do owalu twarzy, przez co możliwe jest stworzenie dokładniejszego portretu pamięciowego. W przyszłości przeprowadzone zostaną badania, które skoncentrują się nad opracowaniem metody automatycznego wyznaczenia wektorów na wzorcach twarzy poddawanych operacji warpingu.

Bibliografia

1. Schreiber P., Kovac M., Moravcik O., *Using Genetic Algorithms for Identikit Creation*, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2012, Newswood Limited, 2012r, s. 363–368.
2. Gibson S., Bejarano A., Solomon C., *Synthesis of Photographic Quality Facial Composites using Evolutionary Algorithms*, Proceedings of the British Machine Vision Conference 2003r, s. 221-230.
3. Frowd C., Skelton, F., Hancock, J., *Evolving an identifiable face of a criminal*, The Psychologist vol 25, February 2012r, s. 116–119.
4. Beier T., Neely S., *Feature-Based Image Metamorphosis*, ACM SIGGRAPH Computer Graphics 1992, vol 26, s. 35-42.
5. Wolberg G., *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press 1990.
6. Feciorescu A., *Image Morphing Techniques*, Journal of Industrial Design and Engineering Graphics 2010, vol 5, s. 25-28.

Streszczenie

Tworzenie portretu pamięciowego metodą komputerową staje się coraz powszechniejszym sposobem na odtworzenie wyglądu ludzkiej twarzy. Systemy komputerowe stworzone do tego celu korzystają z bazy wzorców zawierającej obrazy przedstawiające części twarzy. Wzorce te muszą być połączone ze sobą w taki sposób, aby uwaga użytkownika nie była rozpraszana przez nienaturalny wygląd wygenerowanego portretu pamięciowego.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie sposobu wykorzystania warpingu wektorowego do płynnego dopasowania wzorców przedstawiających włosy oraz brodę z owalem twarzy. Na obrazach wyznaczane są odpowiadające sobie wektory określające zmianę siatki obrazów. W artykule przedstawiony został sposób ich wyznaczenia, opisany został algorytm warpingu oraz sposób jego zaimplementowania. Algorytm znajdzie zastosowanie w autorskim systemie przeznaczonym do odtwarzania portretu pamięciowego.

Abstract

Creation of photofits by utilizing computer-based methods is becoming more and more common for reconstructing characteristics of a human face. Computer systems created to fulfil this purpose use to fall back upon databases containing patterns of certain parts of human faces. The patterns have to be connected with each other in a way which enables the observer's attention to avoid being distracted by an unnatural look of a generated photofit.

The purpose of the below article is to present a method of using vectorial warping for fluent matching of patterns of beard and hair with a given face oval. In order to achieve this goal, vectors depicting changes in the net of images and corresponding with each other need to be marked. The article presents the depicting procedure, the warping algorithm itself as well as its implementation method. The algorithm will be applied in the author's system for reconstruction of photofits.

Keywords: warping, photofits