

論文2000-37TE-3-7

웨이브릿변환을 적용한 얼굴영상분할

(Facial Image Segmentation using Wavelet Transform)

金長源*, 朴賢淑**, 金昌錫***

(Jang-Won Kim, Hyun-Sook Park, Chang-Seok Kim)

요 약

본 연구에서는 인체 상반신영상에서 얼굴부위를 분할하기 위한 영상분할 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 HWT를 적용하여 영상의 경계를 이루는 차분영상인 고주파대역과 평균영상인 저주파대역으로 분리하고, 저주파대역에서 고립점과 돌출부위, 경계중복점을 제거하였다. 또한 제안한 경계검출 알고리즘으로 경계를 검출하고 단순화시켰으며, 1픽셀 단위의 세선화과정을 통하여 경계를 선명하게 하였다. 그리고 제안한 폐곡선추적 알고리즘으로 얼굴부위 경계만을 추출한 뒤, 마스크를 구성하고 원영상과의 정합을 통하여 얼굴부위분할을 하였다. 제안한 알고리즘을 적용하여 얼굴부위 분할실험을 실행한 결과 95.88%의 분할값을 갖는 얼굴분할이 이루어졌다.

Abstract

In this study, we propose the image segmentation algorithm for facial region segmentation. The proposed algorithm separates the mean image of low frequency band from the differential image of high frequency band in order to make a boundary using HWT, and then we reduce the isolation pixels, projection pixels, and overlapped boundary pixels from the low frequency band. Also the boundaries are detected and simplified by the proposed boundary detection algorithm, which are cleared on the thinning process of 1 pixel unit. After extracting facial image boundary by using the proposed algorithm, we make the mask and segment facial image through matching original image. In the result of facial region segmentation experiment by using the proposed algorithm, the successive facial segmentation have 95.88% segmentation value.

I. 서 론

입력된 얼굴영상으로부터 자동으로 얼굴을 인식하거나 식별하는 기술은 패턴인식 및 컴퓨터 비전과 같은

많은 분야에서 연구되어왔으며, 그 응용분야는 신분카드대용, 범인의 몽타주 식별, 감시카메라 등 보안시스템이나 일반 인증시스템에 적용할 수 있으며, 많은 연구 결과가 보고되고 있다.

최근 연구되고 있는 웨이브릿변환(wavelet transform)은 신호처리 응용에서 가장 적당한 부호화 방법으로 제안되고 있으며 신호코딩, 영상압축, 컴퓨터비전에서 사용되어 왔다^[1,2]. 웨이브릿(wavelet)을 이용한 변환은 코사인변환과 Fourier변환(Fourier transform) 등에 비하여 구획화현상이 발생하지 않으며 영상을 주파수대역별로 구분하여 각각 대역별 특성에 맞게 부호화하는 대역분할 부호화와 영상을 서로 다른 해상도로 표현하는 다해상도 표현을 결합시킨 형태로서 주파수영역과

* 正會員, 暎園專門大學 事務自動化科
(Dept. of Office Automation, Kyungwon College)

** 正會員, 東亞放送大學 放送技術科
(Dept. of Broadcasting, Dongah Broadcasting College)

*** 正會員, 明知大學校 電子工學科
(Dept. of Electronics, Information and communication Engineer, Myongji University)

接受日字:2000年8月21日, 수정완료일:2000年9月18日

공간영역 모두에서 분할 처리가 가능하다^[3].

따라서 본 연구에서는 인체 상반신영상에서 입력된 영상을 Haar 웨이브렛변환(HWT : Haar wavelet transform)하여 영상의 대역별특성을 이용하여 인체상 반신 영상에서 얼굴영상만을 분할하는 방법을 제안한다. 얼굴영역의 분할은 먼저, 기본적으로 물체와 배경을 분리하기 위하여 실험입계값을 선정하여 물체와 배경을 분리한다. 그리고 이치영상을 HWT하여 저주파성분만으로 재구성한 저대역 영상을 만들고, 이 영상에서 고립점, 돌출부위, 경계중복점을 제거하고 고대역 에지 성분을 보충하여 원 영상크기로 복원한다. 복원영상은 제안한 자동경계검출방법을 적용하여 경계를 검출하고 자동폐곡선추적방법을 적용하여 얼굴이외의 영역을 제거 한 후, 원영상과의 마스킹을 통하여 얼굴 영상만을 분할한다.

II. Haar 웨이브렛 변환

Kremer는 Haar함수 $HAR(k, t)$ 를 다음과 같이 정의 하였다^[4,5].

$$HAR(0, t) = 1 \quad (1)$$

$$HAR(2^p + g, t) = \begin{cases} +(\sqrt{2})^p, & g/2^p \leq t < (g+1/2)/2^p \\ -(\sqrt{2})^p, & (g+1/2)/2^p \leq t < (g+1)/2^p \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $p=0, 1, 2, \dots, \log_2(m/2)$, $g=0, 1, 2, \dots, 2^p-1$, $m=2^L$ ($L=0, 1, 2, \dots$)이다. Haar함수는 구형파형태로서 ± 1 값만을 취하는 Walsh함수와는 달리 $0, \pm(\sqrt{2})^p$ 의 값을 가지며, 구간 $L^2[0, 1]$ 에서 완전직교한다. 그림 1은 8개의 Haar함수를 나타낸 것이다.

Haar함수는 그림 1과 같이 시간적으로 에너지가 집중하며 진동하는 특성을 가지므로, 웨이브렛의 기본성질인 허용조건과 진동조건을 만족하며, 서로 상호직교하므로 웨이브렛함수로 사용할 수 있다^[6].

HWT를 이용한 영상분해를 위하여 먼저, 다중해상도 성질을 이용하여 $\phi_{j,k}(x)$ 를 Haar스케일링기저함수로 정의하고, 식 (3)과 같이 쓸 수 있다^[7].

$$\phi_{j,k}(x) = \phi(2^j x - k), \quad j, k \in Z \quad (3)$$

여기서 Z 는 정수이고, Haar스케일링함수 $\phi(x)$ 는 식

(4)와 같이 정의할 수 있다^[8].

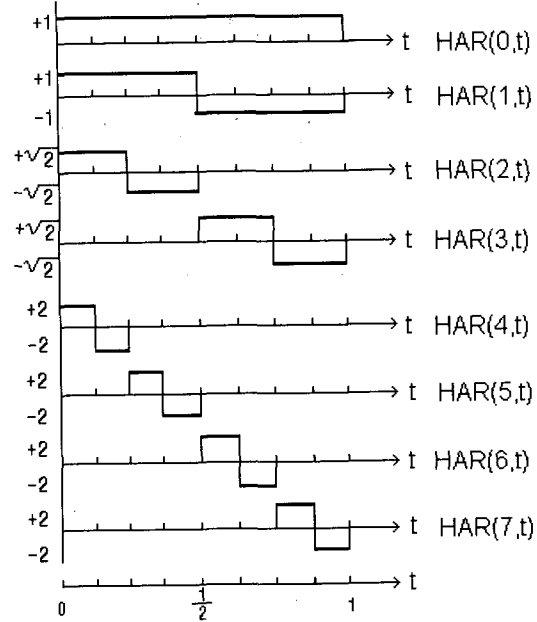


그림 1. Haar함수

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

Haar스케일링함수 $\phi(x)$ 는 그림 1과 같이 단위구간을 갖는 $\phi(x-k)$ ($k \in Z$)에서 $1/2$ 단위구간을 갖는 $\phi(2x-k)$ 로 스케일링과 천이될 수 있으며, 식 (5)와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\phi(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq x < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

또한 식 (5)로 구성되는 Haar웨이브렛함수를 $\psi(x)$ 로 정의하고 식 (6)과 같이 쓸 수 있다^[2].

$$\psi(x) = \phi(2x) - \phi(2x-1) \quad (6)$$

Haar스케일링함수와 웨이브렛함수를 완전복원조건을 만족하는 분해필터 $h(n)$, $g(n)$ 과 합성필터 $\tilde{h}(n)$, $\tilde{g}(n)$ 으로 표현한 관계식은 다음과 같다^[8].

$$\tilde{h}(n) = h(n), \quad \tilde{g}(n) = g(n), \quad g(n) = (-1)^n h(1-n) \quad (7)$$

그림 2는 필터뱅크의 구조로서 영상에 적용하였을 때, 그림 3과 같이 각각 서브샘플링되어 저주파영역과 고주파영역으로 분할된다.

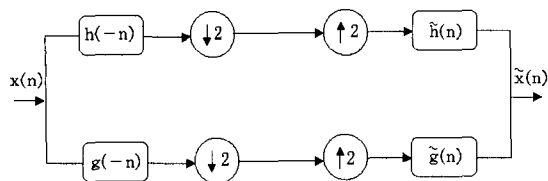


그림 2. HWT에 의한 영상분해와 영상합성

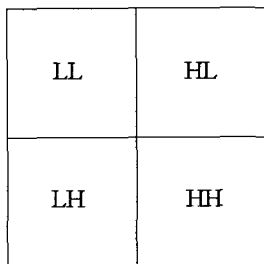


그림 3. 대역분할 영역

그림 4는 실험에 사용한 남자 10(M1, M2, ..., M10)명과 여자 10(W1, W2, ..., W10)명 중에서 크기가 480×480인 W1의 영상데이터를 1레벨 HWT한 영상으로서 반복적으로 4개의 대역으로 분할됨을 알 수 있다. 각 영역은 그림 3과 비교해서 볼 수 있다. 즉, LL영역은 수평·수직으로 저역통과필터를 통과하여 구성된 저주파영역이고, HL영역은 수직으로 저역통과필터를 수평으로 고역통과필터를 통과하여 구성된 영역이다. LH영역은 수평으로 저역통과필터를 수직으로 고역통과필터를 통과하여 구성된 영역이며, HH은 수평·수직 모두 고역통과필터를 통과하여 구성된 영역이다. 저주파영역인 LL영역을 반복적으로 HWT하면 저해상도의 주파수 대역으로 분할된 영상을 얻을 수 있다. HWT는 필터가 완전 복원 조건을 만족하기 때문에 Haar웨이브렛역변환(HIWT : Haar inverse wavelet transform) 후에 다시 원래의 영상으로 복원할 수 있다.



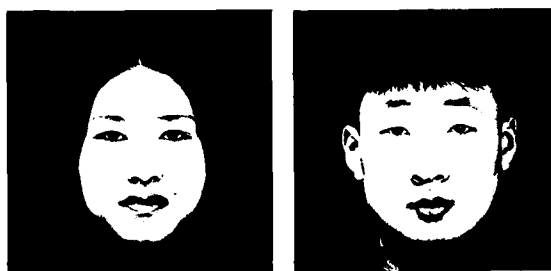
(a) W1 원영상 (b) HWT 영상

그림 4. 1레벨 HWT에 의한 영상

III. 얼굴영상 분할

제안한 알고리즘은 HWT 수행시 자동적으로 평균, 차분필터링되고, 공간영역과 주파수대역이 분할된 웨이브렛영역에서, 공간영역에서의 특성과 주파수영역에서의 특성을 이용하여, 먼저 축소된 저대역공간에서 경계가 복잡한 영상의 단순경계를 구하고 경계선을 분할하기 위해서 이치화를 수행하고, 그림 5와 같이 불필요요소인 돌출부위, 고립점, 경계중복점을 제거한다. 고립점은 그림 5(a)의 영상에서 연결되지 않은 점을 말하고, 돌출부위는 그림 5(b)에서 머리카락에 의하여 얼굴의 경계정보를 훼손시키는 돌출된 부위를 말하고, 경계중복점은 그림 5(c)에서 두 영역의 경계가 중복되는 부위를 말한다.

불필요요소를 제거한 축소영상은 고대역공간에서 상시되지 않고 보존하고 있는 영상의 경계특징을 보충하여 HIWT를 수행한다. HIWT후 영상은 경계정보를 복원하고 원영상 크기로 확대된다. 복원된 영상은 경계정보에 의해 특징의 경계가 명확해진 반면 크기는 작아졌지만 불필요요소가 살아날 수 있다. 따라서 다시 단순화를 위해 이치화를 하고, 고립점, 돌출부위, 경계중복 제거연산을 수행하여 뚜렷히 경계가 단순화된 영상을 획득할 수 있다.



(a) 고립점(W1) (b) 돌출부위(M6)



(c) 경계중복점(M10)

그림 5. 불필요 요소

1. 고립점 제거

원영상을 이치영상으로 치환할 때, 픽셀의 정확한 threshold 값을 설정하여도 고립된 영역이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 그림 6과 같이 1개픽셀단위, 2개픽셀단위 4개픽셀단위로 존재하는 영역들을 모두 고립점으로 인식하고, 자동으로 주변의 픽셀값과 동일한 값을 갖도록 모두 치환하였다. 이것은 원하는 하나의 폐곡선만을 자동으로 검출하게 하기 위해서 필수적인 단계이며, 4개픽셀 이상으로 구성된 고립점이 발생하지 않도록 실험적으로 이치영상을 만들때의 threshold 값을 정하였다. 그림 7은 주변 8개픽셀과 비교하여 현재위치의 픽셀값이 주변 픽셀값과 다를 경우 주변 픽셀값에 동화되어 고립점을 제거하는 기법을 제시하였다.

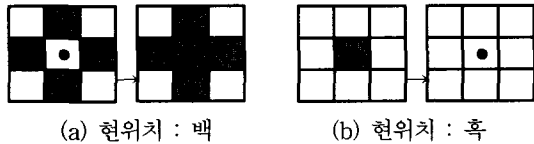


그림 6. 1픽셀단위 고립점 제거

2. 돌출부위 제거

이치화된 영상에서 돌출부위가 가장 많이 발생하는 부분은 머리카락 부분과 얼굴 영역의 경계면에서 가장 많이 발생한다. 본 연구에서는 돌출부위를 제거하기 위하여 기준픽셀로부터 발생할 수 있는 돌출 깊이를 최대 3픽셀로 가정하고, 경계의 모서리가 아닌 경우와 경계의 모서리인 경우로 나누어서 자동으로 돌출 부위가 제거될 수 있도록 하였다. 다음 그림은 제안한 돌출부위 제거 방법을 나타낸 것이다.

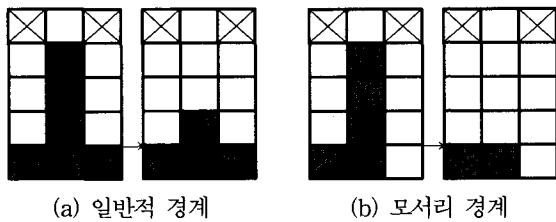
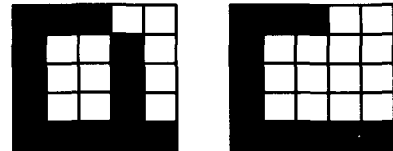


그림 7. 3픽셀단위 돌출부위 제거

3. 경계중복점 제거

고립점제거기법을 통하여 3픽셀 이하로 이루어진 고립점이 제거되었다 할지라도 얼굴 영역이 아닌 그 이상의 픽셀 크기로 이루어진 고립점이 얼굴영역을 이루는 경계와 같은 경계로 존재할 경우, 그 고립점은 정보

를 담고 있는 부위로 판별하여 얼굴 부위에 편입시키거나 독립된 경계로 두어야 한다. 본 연구에서 제안한 방법은 그림 8과 같이 중복된 경계가 반드시 한 픽셀 라인으로 구성된 경우에 한하여 정보를 담고 있다고 판단될 경우, 얼굴부위에 편입시켰다.

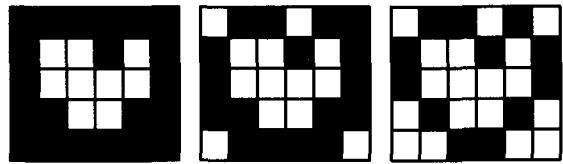


(a) 중복된 경계 (b) 편입된 경계

그림 8. 경계 중복점 제거

4. 경계검출

경계 단순화 과정에서 얻은 이치영상에서 픽셀값이 0인 현재위치의 픽셀과 주변의 픽셀을 비교하여 주변의 픽셀값이 255일 때, 현재위치를 자동으로 경계선으로 결정하는 방법으로 경계선을 검출하였고, 특정영역 경계검출을 위하여 경계선이 직각으로 표현되지 않고 각선으로 표현되도록 1픽셀단위로 세선화하였다. 그림 9는 경계검출과 세선화과정을 나타내었다.



(a) 이치영상 (b) 경계검출 (c) 세선화

그림 9. 경계검출 및 세선화

5. 폐곡선 추적

얼굴영역의 경계선이 검출되었으나 자동으로 원영상과 정합을 통하여 얼굴영역만을 분할하기 위해서는 얼굴영역경계를 이루는 폐곡선을 자동으로 검출할 수 있어야 하고, 경계가 아닌 불필요 요소들은 자동으로 제거되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 기준픽셀에 대한 방향을 코드로 나타내고, 이 코드를 이용하여 8방향의 이웃픽셀들을 표시하여 8방향의 연결성분을 가지고 지정된 영역내에서 임계값에 의해 배경과 분리된 얼굴부위와 최초로 만나는 점을 시작점으로 하여 미리 정의된 방향규칙에 따라 배경과 분리된 얼굴부위의 픽셀이 있는 방향으로 시작점과 끝나는 점이 일치할 때까지 폐곡선을 추적하였다.

그림 9(c)에서 현재위치 ①픽셀은 영상의 좌상단점으로 부터 라인스캔을 통하여 최초로 만나는 점이며, 기준 픽셀점이 된다. 기준픽셀점으로부터 주변 8픽셀의 값을 조사하여 픽셀값이 0인 것을 조사한 후, 이전 픽셀값이면 버리고 이후 픽셀값이면 그 픽셀을 현재픽셀로 재 설정하여 반복한다. 현재위치에서 다음 픽셀값이 최초의 픽셀값과 일치하면 내용을 저장하고 폐곡선 추적을 마친다.

제안한 폐곡선추적기법에 의하여 얻어진 얼굴영역 폐곡선에서, 폐곡선 외부의 픽셀에는 픽셀값 0을 주고, 내부에는 픽셀값 255를 주어 마스크를 만든다. 원영상과 마스크를 마스킹하여 얼굴영역만을 효과적으로 분할하였다.

IV. 실험 및 고찰

실험에 사용된 영상은 검정색 단일배경에서 무표정으로 전면을 응시하는 20명의 영상을 1.5[m] 거리에서 실험영상으로 획득하였다.

모의실험의 결과비교를 위하여 원영상에 대한 최적의 표준마스크를 수조작으로 만들었으며, 표준마스크를 사용한 얼굴분할영상을 그림 10에 나타내었다. 표준마스크에는 고립점이 없으며, 돌출부위와 경계중복점이 완전히 제거되었고 매우 단순화되고 명확한 경계로 이루어져 있다.

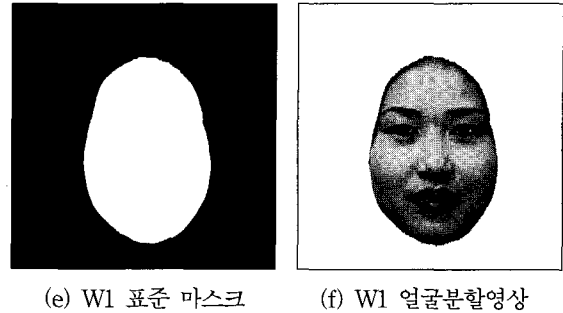
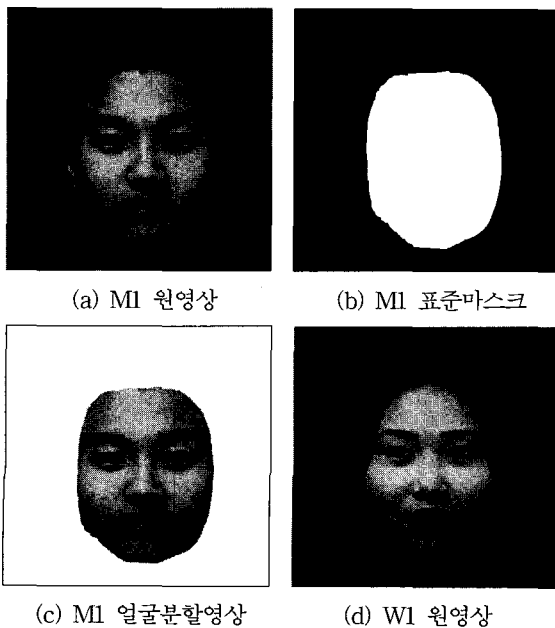


그림 10. 표준 마스크에 의한 얼굴분할영상

본 연구에서 제안한 자동얼굴부위분할 알고리즘의 과정은 우선 전처리 단계에서 얼굴부위와 배경을 서로 분리하기 위하여, HWT후 형성된 축소 고대역영상에서 경계정보를 크게 하기 위해 반복적인 실험방법에 의하여 최적의 임계값을 $T = 138$ 로 선정하여 원영상에 대해서 이치화를 수행하였다. 그림 11은 그림 10의 원영상에 대하여 임계값 $T = 138$ 로 이치화한 영상이다.

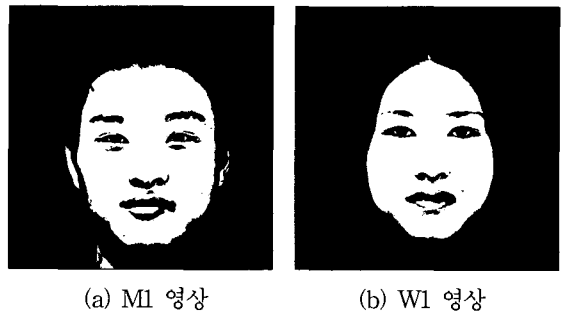


그림 11. $T = 138$ 의 이치영상

HWT과정에서 자동적으로 저주파대역은 평균 분해 필터에 의해 평활화가 이루어지고, 고주파대역은 차분 분해필터에 의해 영상예리화가 이뤄진다. 그림 12는 이치영상을 HWT 수행한 결과영상이다.

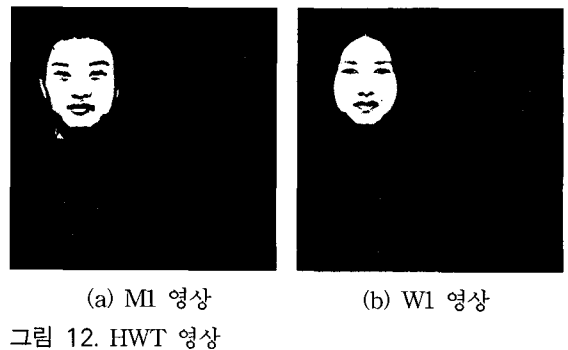
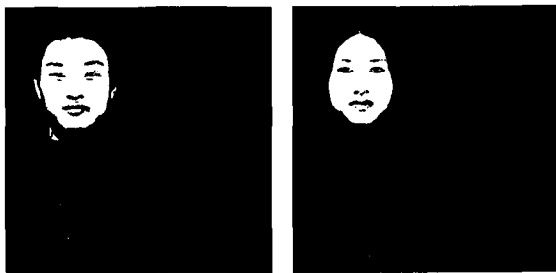


그림 12. HWT 영상

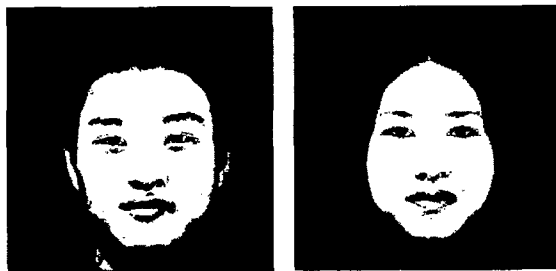
그림 12에서 보는바와 같이 공간영역과 주파수대역이 분할되어지고, 각각 LL영역은 수직·수평저주파정보를, HL영역은 수직고주파정보를, LH영역은 수평고주파정보를, HH 영역은 수직·수평고주파정보를 포함한 것을 알 수 있다. 본 실험에서, 주특징정보를 포함하고 있는 축소저대역공간인 LL영역에서는 원하는 경계단순화와 경계선분할을 위해 실험임계값 $T=128$ 로 하여 치환한 후, 불필요요소인 고립점, 돌출부위, 경계중복점을 제거하였고, 축소고대역공간에서는 경계정보를 보존시켰다.



(a) MI 영상 (b) WI 영상
그림 13. 1차 제거영상

그림 13은 축소저대역공간 LL영역에서 1차적으로 불필요요소를 제거한 영상이다.

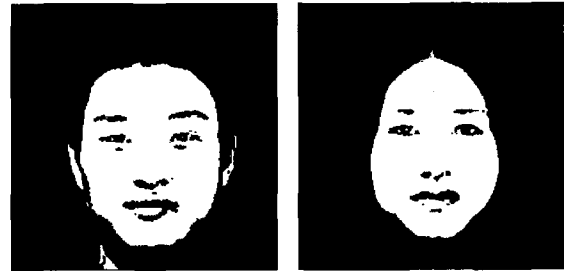
그림 13에서 얼굴부위의 경계부분이 상당부분 단순화됨을 알 수 있다. 다음으로 HIWT는 원영상 크기로 복원할 뿐만 아니라 고대역공간에서 보존하고 있던 특징경계정보를 보충하여 경계정보를 상실하지 않고 복원할 수 있다.



(a) MI 영상 (b) WI 영상
그림 14. HIWT에 의한 복원영상

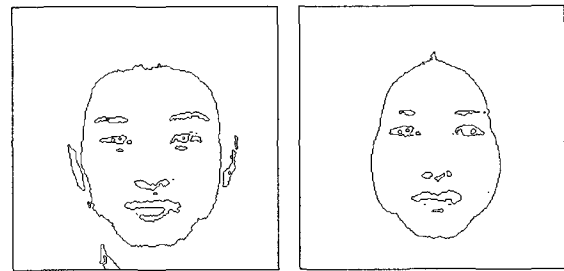
그림 14는 HIWT하여 경계정보를 보충한 복원영상이다. 하지만 복원시 불필요요소가 재건될 수 있다. 그림 14에서 경계정보와 특징정보가 보충되어 원영상 크기로 복원된 것을 볼 수 있다. 재건된 불필요요소를 제거

하기 위해 실험임계값 $T=0$ 으로 복원영상을 치환한 후, 2차적인 불필요요소를 제거하였다. 그림 15는 복원영상에서 2차 불필요요소를 제거한 영상이며, 경계가 더욱 단순화되고, 확실히 분리됨을 알 수 있다.



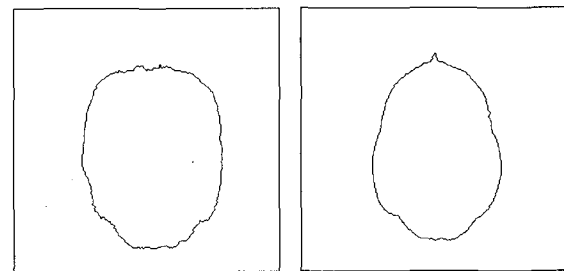
(a) MI 영상 (b) WI 영상
그림 15. 2차 제거영상

그림 16은 얼굴분할과정을 수행하기 위하여 제안한 방법으로 경계검출을 하고, 1픽셀단위로 경계를 세선화한 결과이다.



(a) MI 영상 (b) WI 영상
그림 16. 경계검출영상

그림 16에서 모든 영역들이 1픽셀단위로 경계가 검출되어 있으나 얼굴영역을 이루는 내부에 여러개의 경계들이 존재함을 알 수 있다. 이를 제안한 폐곡선추적



(a) MI 영상 (b) WI 영상
그림 17. 얼굴부위 경계검출영상

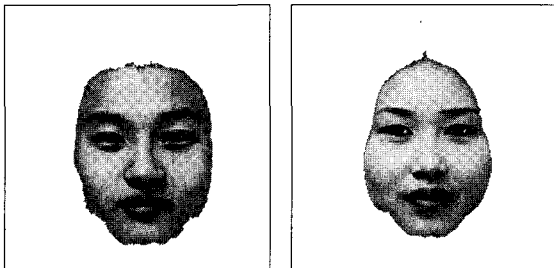
방법을 적용하여 얼굴영상의 경계만을 검출한 결과, 그림 17과 같이 얼굴부위의 경계를 검출할 수 있었다. 그림 18은 그림 17에 의해서 검출된 경계부위를 적용하여 구성한 얼굴부위 마스크이다.



(a) M1 영상 (b) W1 영상

그림 18. 제안한 알고리즘에 의한 마스크 영상

그림 19는 그림 18의 마스크영상을 이용하여 M1과 W1 영상에서 얼굴부위를 분할한 영상이다.



(a) M1 영상 (b) W1 영상

그림 19. 얼굴분할영상

표 1. 표준 마스크와 제안한 방법의 마스크에 의한 분할값

영상	차율	영상	차율	영상	차율	영상	차율
M1	98.50%	M6	96.51%	W1	98.76%	W6	98.19%
M2	98.06%	M7	98.21%	W2	90.61%	W7	98.28%
M3	98.96%	M8	97.33%	W3	96.18%	W8	97.21%
M4	97.25%	M9	96.76%	W4	94.99%	W9	98.19%
M5	94.26%	M10	-	W5	98.07%	W10	75.48%

표 1은 표준마스크에 의하여 분할된 얼굴부위와 제안한 알고리즘에 의해 구성된 마스크를 이용하여 분할된 얼굴부위를 비교하여 산출된 분할값을 나타낸 것이다. 분할값을 산출하는 방법은 각각 이치영상으로 된 마스크에서 각 픽셀의 값을 비교하여 서로 동일한 픽

셀의 수를 산출하여 영상의 총 픽셀로 나누어 백분율로 표시하였다.

표준마스크와 제안한 알고리즘에 의하여 만들어진 마스크를 비교한 결과 평균 4.12%의 오차를 나타내었다. 귀부분이 제거된 영상인 경우 오차가 2%내에 있었고, 귀 부분은 제거되지 않았으나 귀의 경계가 단순화된 영상의 경우 차이가 3%정도였으며, 귀 부분의 경계가 복잡하게된 영상인경우는 차이가 5~10%였고, 눈썹 경계가 머리카락경계와 연결되어 눈썹이 상실된 영상에 대해서는 24%의 큰 오차를 나타내었다.

V. 결 론

본 연구에서는 시간-주파수축상에서 영상을 저주파 영역의 평균영상과 고주파영역의 차분영상으로 분리가 가능한 HWT를 적용하여 인체상반신영상으로부터 배경 및 불필요한 부위를 제거하고, 얼굴부위만을 분할하는 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘은 첫째, 얼굴의 특징이 변형되지 않고 잡음을 제거할 수 있었다. 둘째, 복잡한 부위가 효과적으로 제거되었고, 턱 밑의 불분명한 경계를 명확히 구분함으로써 얼굴부위를 분리할 수 있었다. 셋째, 세션 화과정으로 1픽셀단위의 경계를 만들고 폐곡선추적 알고리즘으로 여러개의 경계영역 중 효과적으로 얼굴부위의 폐곡선을 추출할 수 있었다. 넷째, 추출된 얼굴부위의 폐곡선으로 만들어진 마스크를 이용하여 얼굴부위만을 분할할 수 있었다.

표준마스크와 제안한 알고리즘에 의한 마스크에 의해서 얼굴분할한 결과 95.88%이상의 분할값을 갖는 얼굴부위분할이 이루어졌다. 따라서 제안한 알고리즘은 얼굴부위를 분할하는 방법에 적합하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath, and Haitao Guo, *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*, Prentice Hall, 1998.

[2] Eric J. Stollnitz, Tony D. Deroose, and David H. Salesin, "Wavelet for Computer Graphics : A primer, part 1", *IEEE computer graphics and applications*, Vol. 15, No. 3, pp.76-84, 1995.

- [3] O. Rioul and P. Duhamel, "Fast Algorithms for Discrete and Continuous Wavelet Transforms", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 38, No. 2, pp.569-586, 1992.
- [4] R. D. Brown, "A Recursive Algorithm for Sequency-ordered Fast Walsh Transforms", *IEEE-C*, Vol. 24, No. 8, pp.819-822, 1977.
- [5] D. Gubbins, I. scollar, and Wisskirchen, "Two Dimensional Digital Filtering with HAAR and WALSH Transforms", *Ann. Geophys*, Tome 27, Numero 2, pp.85-104, 1971.
- [6] Jaideva C. Goswami and Andrew K. Chan, *Fundamentals of Wavelets: Theory, Algorithms, and Applications*, Texas A&M university Publisher, 1999.
- [7] K. Grochenig, M. Madych, "Multiresolution Analysis, Haar Bases, and Self-Similar Tilings of R^n ", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 38, No. 2, pp.556-568. 1992.
- [8] Raghuv eer M. Rao and Ajit S. Bopardikar, *Wavelet Transforms: Introduction to theory and applications*, Addison Wesley, 1998.

 저 자 소 개

金長源(正會員)

1962년 11월 9일생. 1990.2월 명지대학교 전자공학과(공학사). 1992.2월 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1992.3월~현재 명지대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 1993.3~현재 경원전문대학 사무자동화과 부교수. 주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 영상통신

金昌錫(正會員) 第36卷 S編 第1號 參照

현재 명지대학교 전자공학과 교수

朴賢淑(正會員) 第36卷 S編 第1號 參照

현재 동아방송대학 방송기술과 부교수