

적외선 영상에서의 얼굴 영역 자동 추적

Facial Region Extraction in an Infrared Image

*신승원, *김경섭, *윤태호, *한명희, **김인영

*S. W. Shin, *K. S. Kim, *T. H. Yoon, *M. H. Han, **I. Y. Kim

Abstract - In our study, the automatic tracking algorithm of a human face is proposed by utilizing the thermal properties and 2nd momented geometrical feature of an infrared image. First, the facial candidates are estimated by restricting the certain range of thermal values, and the spurious blobs cleaning algorithm is applied to track the refined facial region in an infrared image.

Key Words : Infrared Image, Temperature, Facial Region, Tracking

1. 서 론

모든 물체는 물체가 가진 온도의 작용으로 적외선 에너지를 방출한다. 적외선 에너지는 전자기파 스펙트럼의 일부분으로서 파동성을 가진 눈에 보이지 않는 빛이다. 1800년 경 William Herschell 경이 가시 스펙트럼의 끝이 파장측으로부터 열 효과가 큰 부분이 있음을 발견하였고, 1835년에 A. Amphere가 이것이 가시광선과 같은 광파로 되어 있음을 발표하여 현재의 적외선에 대한 기초를 구축하게 되었다. 적외선 에너지의 파장은 0.7에서 1000 μ m로서 가시광선보다 더 길다. 적외선 에너지는 분자와 원자의 진동과 회전으로 생산되기 때문에 높은 온도의 물체는 더 많은 적외선 에너지를 방출한다. 따라서 절대 영도(-273.16 $^{\circ}$ C, -459.72 $^{\circ}$ F)에서 적외선 에너지의 방출은 최소가 된다. 적외선 영상은 이와 같은 적외선 영역의 파장을 검출하여 피사체의 표면온도를 각각의 온도의 높낮이에 따라 수천 개의 점으로 표현한 영상이다. 그러므로 적외선 영상은 피사체의 온도 정보를 포함하고 있다. 이러한 적외선 영상은 상업적으로나 군사적으로 여러 분야에 사용되고 있다. 최근에는 적외선 영상을 이용하여 열 특성 지수를 도출, 의학 분야에서 특정한 질병의 진단에 활용되고 있으며, 환자의 Health Monitoring 응용분야에도 활용되기 시작하고 있다. 의학 분야에서 지금까지의 적외선 영상의 활용은 환자의 정지 영상을 촬영하여 진단을 하는 방법을 사

용하였다. 그러나 이 방법으로 환자의 상태에 따른 체온 변화를 관찰하려면 환자가 오랜 시간 고정된 자세로 영상 장비 앞에서 있어야 하고, 환자의 자세가 흐트러지면 진단하고자 하는 위치가 변화하여 원하는 위치의 온도 값을 얻을 수 없는 등의 단점이 많았다. 따라서 본 연구에서는 환자, 특히 노인의 지속적인 건강 상태를 관찰하기 위한 얼굴 영역의 온도 변화를 관찰하기 위하여, 적외선 영상을 이용한 얼굴 영역의 온도 분포와 얼굴 영역의 모양 특성 값을 이용하여 얼굴 영역을 검출하고, 검출된 얼굴 영역을 연속적으로 추적하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 연구에 사용된 적외선 영상장비는 FLIR SystemsTM사의 ThermaCAMTM P20 모델이고, PC Windows 기반의 MFC(Microsoft Foundation Class)프로그램으로 알고리즘을 구현하였다. 그림 1은 적외선 영상에서의 얼굴 영역 검출 및 추적 알고리즘의 과정을 나타낸다.

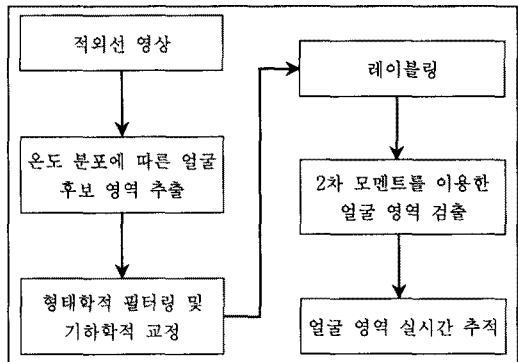


그림 1. 적외선 영상에서의 얼굴 영역 추적 알고리즘.

저자 소개

- * 辛承元 : 建國大學校 醫學工學部 碩士課程
- * 金敬燮 : 建國大學校 醫學工學部 助教授·工博
- * 尹泰皓 : 建國大學校 醫學工學部 博士課程
- * 韓明希 : 建國大學校 醫學工學部 碩士課程
- ** 金寅寧 : 漢陽大學校 醫學工學部 副教授·醫博·工博

2. 본 론

2.1. 얼굴 후보 영역 추출

적외선 영상에서 얼굴 후보 영역을 추출하기 위해서는 주변 환경의 온도와 다른 얼굴 영역만의 온도 분포가 필요하다. 사람의 평균 체온은 36.5℃이고 피부 표면의 온도는 주변 환경의 온도에 민감한 반응을 보인다. 본 연구에서는 얼굴 영역의 온도 분포를 34℃와 42℃ 사이로 설정하였다. 입력 영상은 적외선 영상을 사용하기 때문에 영상의 각 픽셀에는 온도 정보가 들어있다. 즉, 각 픽셀의 온도 정보가 임계값 T 에 부합되면 출력 픽셀의 값을 1로, 그렇지 않으면 출력 픽셀의 값을 0으로 설정하면 얼굴 후보 영역은 이진화 영상으로 식 (1)과 같이 표현된다. 식 (1)에서 $I(x, y)$ 는 입력 영상을 나타내고, $B(x, y)$ 는 얼굴 후보 영역으로 분할된 영상을 나타낸다. T 는 얼굴 영역의 온도 분포로서 $34^\circ\text{C} \leq T \leq 42^\circ\text{C}$ 의 범위를 가진다.

$$B(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(x, y) \leq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

2.2. 형태학적 필터링 및 기하학적 교정

얼굴 영역의 온도 분포로부터 분할된 이진 영상은 주변의 온도 분포에 따른 잡음이 많이 포함되어 있다. 이러한 잡음을 제거하기 위하여 형태학적 필터링과 기하학적 교정 과정을 수행한다. 형태학적 필터링은 온도 분포에 의해 분할된 얼굴 후보 영상에서 돌출된 부분을 제거하고, 윤곽선을 부드럽게 만들어 줌으로서 얼굴 후보 영상을 단순화시키고, 얼굴 영역의 탐색을 보다 수월하게 한다. 즉, 1차적으로 도출된 얼굴 후보 영상에 형태학적 필터링의 Opening 연산과 Closing 연산을 복합 적용하여 영상 내에 존재하는 미세 영역을 제거함으로써 얼굴 후보 영역을 최적화 한다. Opening 연산은 수축 연산을 수행한 후 확장 연산을 수행하는 것으로 배경 내의 작은 영역들을 제거하고, Closing 연산은 확장 연산을 수행한 후에 수축 연산을 수행하는 것으로 객체(얼굴 후보 영역) 내의 고립된 잡음을 제거한다. 기하학적 교정은 다음 과정에서 수행될 레이블링 연산에서 잡음에 의해 증가할 수 있는 연산량을 줄이기 위하여 수평 방향 투영과 수직 방향 투영 연산을 수행한다. 수평 방향 투영은 각각의 행을 수평 방향으로 검사하면서 픽셀의 값들을 더하여 임계값 이상이던 픽셀의 값들을 유지하고 그렇지 않으면 픽셀의 값을 0으로 설정하는 연산이다. 수평 방향 투영 연산은 목선이 많이 노출된 영상에서 목 부분의 영역을 제거하는데 유용하다. 수직 방향 투영은 수평 방향과 동일한 연산을 각각의 열에 적용한다.

2.3. 레이블링

2.2의 과정을 거친 이진화 영상에서 표현된 각각의 영역들은 모두 동일한 픽셀값을 가지고 있다. 따라서 각각의 영역을 분리하기 위하여 이진화 영상에 8-근방 화소를 이용한 레

이블링을 수행한다. 레이블링은 서로 인접하고 같은 값을 가지는 픽셀들은 일정한 값으로 재설정하고 인접하지 않은 픽셀들은 다른 값을 가지도록 설정하여 각각의 영역을 구분하는 연산이다. 따라서 레이블링을 수행한 후의 영상에서는 각각의 영역들이 서로 다른 값을 가지게 되어 각각의 얼굴 후보 영역들을 다르게 인식할 수 있다.

2.4. 2차 모멘트를 이용한 얼굴 영역 검출

이진화 영상에서 분리된 얼굴 후보 영역들 중에는 얼굴의 온도 분포와 같은 주변 환경의 영역이 포함될 수 있다. 따라서 분리된 얼굴 후보 영역들을 모두 얼굴 영역으로 간주할 수는 없다. 그러므로 얼굴 후보 영역들 중 얼굴 영역과 비슷한 온도 분포를 가지는 주변 영역들을 분리해 내야 한다. 추출된 얼굴 후보 영역들 중에서 최적의 얼굴 영역을 검출하기 위하여 사람의 얼굴 형태인 타원 모양의 특성과 2차 모멘트를 기반으로 조건을 부여하여 이 조건에 부합되는 영역만을 얼굴 영역으로 선택한다. 식 (2)~(9)를 적용하여 타원 형태의 얼굴 위치 모델과 영역의 중심 좌표와, 얼굴 영역이 기울어진 각도를 구할 수 있다. 여기서, x_c 와 y_c 는 중심좌표, A 는 레이블링 된 영역의 넓이 (픽셀의 갯수), μ_{xx} , μ_{yy} , μ_{xy} 는 2차 모멘트, a 와 b 는 장축과 단축의 길이, θ 는 기울어진 각도를 의미한다. 얼굴 영역 검출의 첫 번째 조건으로, 레이블링된 영역의 넓이를 이용하는데 이 영역의 넓이가 16×16 이상일 경우에만 얼굴 영역 조건에 맞는 후보 영역으로 검출된다. 넓이의 조건에 부합되는 영역이 검출되면 검출된 영역의 장축과 단축의 비율과 얼굴 영역의 기울어진 각도를 통하여 좀 더 정확한 얼굴 영역을 검출하게 된다. 장축과 단축의 길이의 비율은 1~1.8, 얼굴 영역의 기울기는 $45^\circ \sim 135^\circ$ 가 얼굴 영역의 조건으로 사용되었다. 그림 2는 위의 조건들에 부합되어 최종적으로 검출된 얼굴 영역을 보여준다.

$$x_c = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} x \quad (2)$$

$$y_c = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} y \quad (3)$$

$$\mu_{xx} = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} (x - x_c)^2 \quad (4)$$

$$\mu_{xy} = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} (x - x_c)(y - y_c) \quad (5)$$

$$\mu_{yy} = \frac{1}{A} \sum_{(x,y) \in R} (y - y_c)^2 \quad (6)$$

$$a = \sqrt{2\sqrt{\mu_{xx} + \mu_{yy} + \sqrt{(\mu_{xx} - \mu_{yy})^2 + 4\mu_{xy}^2}}} \quad (7)$$

$$b = \sqrt{2\sqrt{\mu_{xx} + \mu_{yy} - \sqrt{(\mu_{xx} - \mu_{yy})^2 + 4\mu_{xy}^2}}} \quad (8)$$

$$\theta = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{-2\mu_{xy}}{(\mu_{xx} - \mu_{yy}) + \sqrt{(\mu_{xx} - \mu_{yy})^2 + 4\mu_{xy}^2}} & \text{if } (\mu_{yy} \geq \mu_{xx}) \\ \tan^{-1} \frac{(\mu_{xx} - \mu_{yy}) + \sqrt{(\mu_{xx} - \mu_{yy})^2 + 4\mu_{xy}^2}}{-2\mu_{xy}} & \end{cases} \quad (9)$$



그림 2. 적외선 영상에서 검출된 얼굴 영역

2.5. 얼굴 영역 추적

얼굴 영역을 실시간으로 추적하기 위해서, 적외선 카메라를 통하여 연속적으로 들어오는 영상을 매 프레임이 캡처될 때 마다, 제안된 알고리즘을 적용하여 얼굴 영역을 실시간으로 검출하고 추적하도록 하였다. 따라서 각각의 프레임마다 사람의 얼굴이 검출되고, 사람의 얼굴 영역이 이동하게 되면 검출되는 얼굴 영역도 따라서 이동하게 되어 실시간으로 얼굴 영역이 검출되어 화면에 보이게 된다. 또한 매 프레임마다 제안된 알고리즘에 의하여, 얼굴 영역의 기울어진 각도와 중심점이 연속적으로 다르게 검출되어 얼굴의 위치가 변화하면 중심점과 기울기도 따라서 변화하여 얼굴 영역을 연속적으로 검출하게 된다. 그림 3은 적외선 카메라를 통하여 실시간으로 얼굴 영역을 추적하는 것을 보여주는 그림이다. 그림 3의 (a)는 얼굴이 왼쪽으로 기울어진 영상, (b)는 얼굴이 오른쪽으로 기울어진 영상, (c)는 얼굴이 화면의 오른쪽에 위치할 때의 영상, (d)는 얼굴이 화면의 가운데에 위치할 때의 영상, (e)는 얼굴이 화면의 왼쪽에 위치할 때의 영상, (f)는 얼굴이 화면의 왼쪽에 위치하고 오른쪽으로 기울어졌을 때의 영상을 보여준다. 그림 3에서 보여주는 것과 같이 연속적으로 얼굴 영역을 검출하고 얼굴의 위치가 변화함에 따라 검출되는 영역이 같이 변화되었으며, 검출되는 얼굴 영역의 기울기와 중심점도 같이 변동되면서 검출되었다.

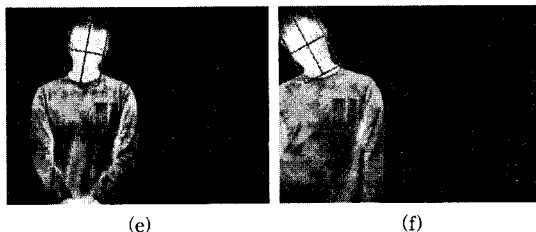
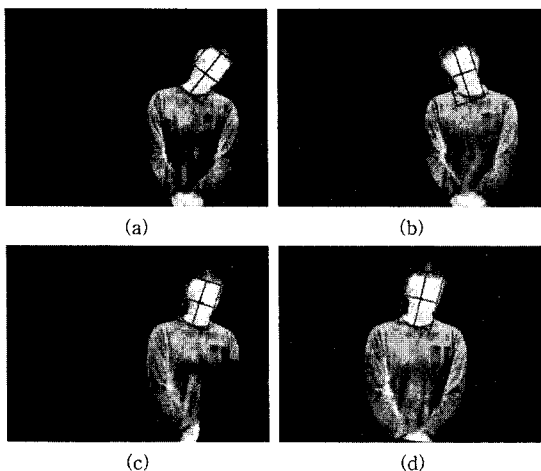


그림 3. 적외선 카메라를 통한 실시간 얼굴 영역 추적

- (a) 얼굴이 왼쪽으로 기울어진 영상
- (b) 얼굴이 오른쪽으로 기울어진 영상
- (c) 얼굴이 화면의 오른쪽에 위치할 때의 영상
- (d) 얼굴이 화면의 가운데에 위치할 때의 영상
- (e) 얼굴이 화면의 왼쪽에 위치할 때의 영상
- (f) 얼굴이 화면의 왼쪽에 위치하고 오른쪽으로 기울어질 때의 영상.

3. 결 론

본 논문에서는 적외선 영상에서 얼굴 영역의 온도 분포와 얼굴의 타원 모양 정보를 이용하여 얼굴 영역을 검출하고 추적하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 제안된 알고리즘은 얼굴 부위에만 한정되어 적용되고, 주변에 얼굴 온도 분포와 비슷한 온도를 가진 열원이 존재하면 그 열원까지 같이 검출되는 단점이 있었다. 이런 단점을 해결하기 위해서 제안한 알고리즘을 컬러 영상에서 얼굴 영역을 검출하는 알고리즘과 같이 병행하여 적용된다면 얼굴 영역을 보다 더 효과적으로 검출할 수 있을 것으로 보인다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술부 산하 “실버의료기기 핵심기술개발 사업”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Genno, K. Ishikawa, O. Kanbara, M. Kikumoto, Y. Fujiwara, R. Suzuki, M. Osumi, "Using Facial Skin Temperature to Objectively Evaluate Sensations", International Journal of Industrial Ergonomics 19 (1997) 161-171.
- [2] 김성대, 이훈철, 이종원, 이청우, "적외선 영상을 이용한 자동 목표물 인식 시스템", 물리학과 첨단기술 March 1998, p.27-32.
- [3] FLIR Systems™, ThermoCAM™ Researcher User's manual.
- [4] 이진성, 이훈철, 김성대, "적외선 영상에서 움직임 영역 검출을 이용한 목표물 검출 및 추적 기법", 제 12회 신호처리 합동학술대회 논문집, pp.185-188, 1999.