

영상재구성을 통한 Watershed 변환에 기반한 영상분할

장원달, 윤태수, 양황규
동서대학교 인터넷 공학부
e-mail:xdmz2000@hanmail.net

Image Segmentation Based on Watershed Transform by Image Reconstruction

Won dal Jang Tae Soo Yun Hwang Kyu Yang
Division of Internet Engineering, Dongseo University

요 약

본 연구에서는 Watershed변환을 이용하여 영상을 분할할 때 과분할되는 문제점을 해결하기 위하여 영상의 경계를 강화하고 작은 지역 최소들을 효과적 제거하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 영상 속의 양자화와 노이즈에 의한 에러를 제거하는 영상필터링 단계와 제안된 방법에 의해 CERM변환을 수행하는 영상재구성단계 그리고 Watershed변환을 수행하여 영상을 분할하는 단계로 구성되어 있다. 제안된 방법으로 영상을 분할해본 결과 과분할을 효과적으로 줄일수 있었다.

1. 서론

영상분할은 컴퓨터 비전에 있어서 다양한 분야에 적용되는 영상 분석의 기본적인 기법으로 영상을 겹쳐지지 않는 동질영역들의 집합으로 나누는 것으로 영상처리에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히, 최근 MPEG-4 [1], MPEG-7 [2]의 표준화가 제정됨에 따라 영상분할의 중요성이 더욱 커지고 있다. 최근, 영상분할 방법으로 영상의 경계를 비교적 정확하게 찾아주는 형태수리학적 연산자를 이용한 방법이 많이 사용되고 있다. 대표적인 형태수리학적 방법으로 Watershed[3] 변환이 있다. Watershed 변환은 영역에 기반한 접근법으로 정확한 경계를 찾아주지만 영역을 과분할 시킨다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 두가지 접근법이 있다. 첫번째 접근은 Watershed 변환을 수행한 후에 몇몇의 기준에 의하여 이웃의 영역을 합병하는 방법이다. [4]-[6]과 같은 최근의 연구는 이 접근법이다. 두 번째로는 과분할을 감소시키기 위해 Marker를 이용하여 Watershed 변환 알고리즘을 확장하는 것이다.[7][8]. 이러한 방법들은 경계를 정확히 찾아내지만 많은 복잡한 처리들을 필요하므로 실시간 처리에 적용하기에 어려움이 있다.

본 연구에서는 과분할 해결을 위하여 입력되는 그레이 레벨 영상의 경계를 더 강화하고 영역 최소들을 효과적으로 제거하여 영상을 재구성 하는 방법을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 영상분할은 크게 3단계로 구성된다. 첫 번째로는 영상내부의 잡음이나 양자화에 의한 에러를 제거하는 필터링 단계와

경계를 강화하고 작은 지역 최소를 제거하는 CERM(Consolidation of Edge and Removal of small local Minima)변환을 수행하는 영상재구성 단계 그리고 재구성된 영상속 minima 영역을 찾아서 minima를 구성하는 화소의 수가 일정 크기 이상인 minima를 선택하여 Watershed변환을 수행하는 단계로 구성되어 있다. 그림 1 은 본 논문에서 제안된 방법의 전체적인 개요도이다.

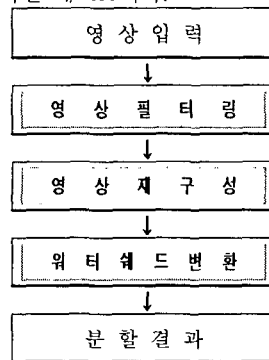


그림 1. 제안된 방법의 개요도

2. 영상 필터링

첫번째 단계는 영상속에 있는 잡음과 양자화에 의한 에러의 제거를 위한 필터링 단계이다. 전통적인 Watershed 변환은 이러한 요인에 의해 많은 지역적인 최소값을 생성하는데 이것이 Watershed 변환을

수행할 때 과분할을 야기시킨다. 필터링 단계에서는 일반적으로 사용되는 수학적 모폴로지 연산[9]으로 이러한 잡음이나 양자화 에러를 제거한다. 본 연구에서는 모폴로지 연산중 팽창(dilation, 식(1))연산과 침식(erosion, 식(2))연산의 조합으로 구성된 제거(Opening, 식(3))와 채움(Closing, 식(4))연산을 사용하여 영상을 걸러낸다.

$$\delta_b(h) = (f \oplus b)(m, n) = \max(f(m-k, n-l) + b(k, l) | (m-k, n-l) \in D_f, (k, l) \in D_b) \quad (1)$$

$$\epsilon_b(h) = (f \otimes b)(m, n) = \min(f(m+k, n+l) - b(k, l) | (m+k, n+l) \in D_f, (k, l) \in D_b) \quad (2)$$

$$\gamma_b(f) = f \cdot b = (f \otimes b) \oplus b \quad (3)$$

$$\phi_b(f) = f \cdot b = (f \oplus b) \otimes B \quad (4)$$

그리고 효과적인 에러의 제거를 위해 모폴로지로 연산으로 필터링된 영상을 노이즈 제거에 효과적인 Median 필터링을 통해 다시한번 걸러준다. 필터링한 결과가 그림 2에 나타나있다.

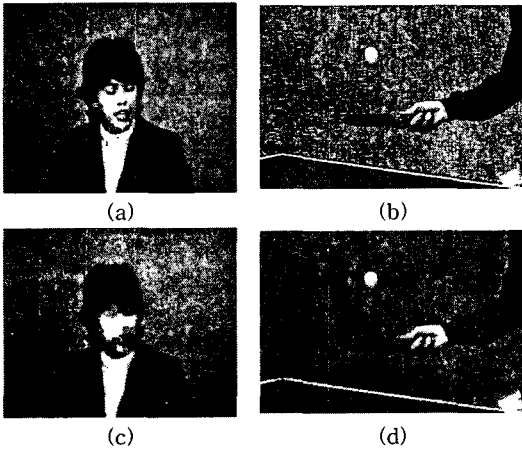


그림 2. 원영상 (a),(b) 와 필터링 영상(c),(d)

3. 영상 재구성

영상재구성은 영상속 경계는 더욱강화시키고 과분할을 발생시키는 작은 지역 최소들을 효과적으로 제거하는 단계이다. CERM 변환은 Watershed 변환을 하기위해 영상속 기울기 값을 구하는 단계의 전처리와 후처리 단계로 구성된다. 전처리 단계는 Automatic Thresholding[10] 알고리즘 식(5)(6)을 사

$$I_{th} = \arg \min_T (\sigma^2(T)) \quad (5)$$

$$\sigma^2(T) = \sum_{i=0}^T [i - \mu_1(T)]^2 \cdot P(i) + \sum_{i=T+1}^{255} [i - \mu_2(T)]^2 \cdot P(i) \quad (6)$$

where

$$\mu_1(T) = \frac{\sum_{i=0}^T i \cdot H(i)}{\sum_{i=0}^T H(i)}, \quad \mu_2(T) = \frac{\sum_{i=T+1}^{255} i \cdot H(i)}{\sum_{i=T+1}^{255} H(i)}$$

$$P(i) = \frac{H(i)}{\sum_{i=0}^{255} H(i)}, \quad H(i) = \text{Histogram}$$

용하여 영상의 히스토그램을 양분하는 임계값 I_{th} 를 찾고 경계를 기준으로 $T_{CE}[f(x, y)]$ 변환을 수행한다. $T_{CE}[f(x, y)]$ 변환은 식(8) 과 같다

$$f_{CE}(x, y) = T_{CE}[f(x, y)] \quad (7)$$

$$T_{CE}[f(x, y)] = \begin{cases} I_{th}, & \text{if } (f(x, y) < I_{th}) \\ f(x, y) \times a, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

where, a is const

다음으로 워터셰드 변환을 하기 위한 영상속 기울기 값을 계산한다. 2차원 영상 함수 f 가 연속적으로 미분가능하다면, 그것의 기울기는 식(8)과 같이 얻어질 수 있다.

$$g(f) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (9)$$

일반적으로 이산적인 영상은 연속적으로 미분가능하지 않으므로 근사값을 계산해야 한다. 기울기를 근사하기 위한 하나의 간단한 방법은 관심의 대상이 되는 점, 말하자면 (x, y) 에 중심이 위치하는 미리 지정된 윈도우 내에서 가장 높은 픽셀 세기 값과 가장 낮은 픽셀 세기 값 사이의 차이를 계산하는 것이다.[4] 다시 말해서 팽창 식(1) 함수와 침식 식(2)된 함수 사이의 차(difference)로 계산할수 있다. 본 연구에서는 기울기 값을 근사하는 식(10)에 의해서 기울기 이미지를 계산한다.

$$g(f_{CE}) = \delta(f_{CE}) - \epsilon(f_{CE}) \quad (10)$$

후처리단계는 기울기 영상을 일정 임계값까지 침수시켜서 작은 지역 최소를 제거시키는 단계이다. 전처리로 $T_{CE}[f(x, y)]$ 변환을 거친 기울기 영상속에 있는 미세한 값들은 작은 지역 최소를 발생시키고 이는 Watershed 변환시 과분할을 야기시킨다. 이 단계에서는 영상을 적정 수위만큼 침수시키는 RM 변환을 통하여 작은 지역 최소를 제거한다. 오브젝트 경계를 살리면서 지역 최소들만 제거할수 있는 적절한 침수 수위 조절이 중요하다. RM변환은 영상속 화소의 평균 값이 수렴할때까지 영상을 일정 수위만큼 침수시킨다. 침수 RN변환 알고리즘의 슈드 코드는 다음과 같다. 여기서 침수수위를 결정하는 β 는 상수값이다.

```
int mean, bak_mean=0;
do{
```

$$mean = \frac{\sum_{y=0}^{height-1} \sum_{x=0}^{width-1} f(x, y)}{height \times width}$$

$$\text{if}(f(x, y) \leq mean \times \beta)$$

$$f(x, y) = mean \times \beta;$$

$$\text{if}(mean == bak_mean)$$

```
break;
```

```
else
```

$$bak_mean = mean;$$

```
}while(true)
```

그림 3에 재구성된 영상이 나타나있다. (a),(b)는 각각 $T_{CB}[f(x,y)]$ 변환의 결과이고 (c),(d)는 기울기 영상을 반전한 영상이고 (e),(f)는 RM변환으로 침수된 영상을 반전한 영상이다.

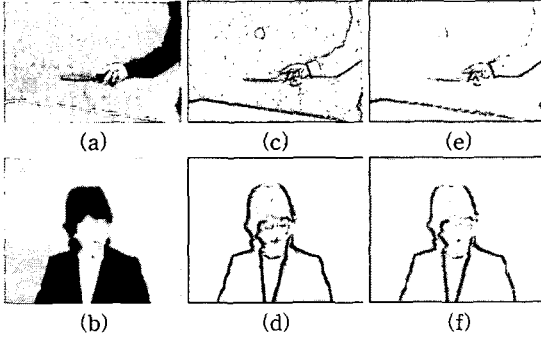


그림 3. 재구성된 영상

4. 워터셰드 분할

마지막 영상 분할 단계는 크게 2단계로 세분화된다. 그 첫 번째 단계로는 워터셰드 변환을 위한 작은 지역 최소를 제거한 minima의 집합 Min_S 를 찾아내는 단계이고 두 번째 단계로는 Min_S 를 이용하여 Watershed 변환을 수행한다. 그레이 영상속에 있는 minimum m 은 같은 명도값을 가지는 화소의 연결된 요소이고 m 과 인접하는 이웃의 모든 화소값들은 더 높은 명도값을 가진다. Min 은 영상속에 있는 모든 m 의 집합으로 정의한다. 영상속에 있는 minima를 구성하는 픽셀이 2×2 이하인 것은 작은 지역 최소라고 볼수 있다.[11] 그러므로 Min_S 는 Min 의 m 중에서 m 구성하는 화소가 2×2 보다 큰 것들만을 모아놓은 집합이다. 마지막 단계는 선택된 Min_S 를 이용한 Watershed 변환[3]을 수행한다. 영상은 식(11)과 같이 정의내릴수 있고 $T_h(f)$ 는 레벨 h 의 f 의 집합이라고 한다. Min_h 는 레벨 h 에 있는 모든 모든 영역 최소들이라고 할때 식(12)(13)를 정의한다. 영상 f 의 Watershed 변환은 $X_{h_{min}}(f)$ 의 값부터 $X_{h_{max}}(f)$ 값까지 계산이 완료되었을 때 $Wshed(f)$ 식(14)와 같다.

$$f: D \rightarrow N, (where, h_{min} \leq f \leq h_{max}) \quad (11)$$

$$T_h(f) = \{p \in D | f(p) \leq h\} \quad (12)$$

$$X_{h_{min}}(f) = \{p \in D | f(p) = h_{min}\} \quad (13)$$

$$X_{h+1} = X_h \cup Min_{h+1} \cup \{IZ_{\tau_{\dots}(X_h)} \setminus T_h(f)\}, h \in [h_{min}, h_{max}] \quad (14)$$

$$Wshed(f) = D \setminus X_{h_{max}}(f)$$

5. 실험결과 및 고찰

제안한 방법을 검증하기 위해서 본 논문에서 제시한 방법으로 Claire와 TableTennis 영상을 분할해 보았다. 실험에 사용한 시스템은 Pentium III 650 Mhz이고 프로그램 환경은 Visual C++ 6.0이다. 실험에 사용한 α, β 는 각각 1.5, 0.6으로 실험적으로 구했다. 분할된 결과가 그림4,5에 나타나 있다. 그림에서 두 번째 행은 전통적인 Watershed변환 결과이고 세 번째 행은 본 연구에서 제안한 CERM변환을 사용한 분할결과이다. 결과에서 알수 있듯이 과분할 영역을 효과적으로 줄일수 있었다.

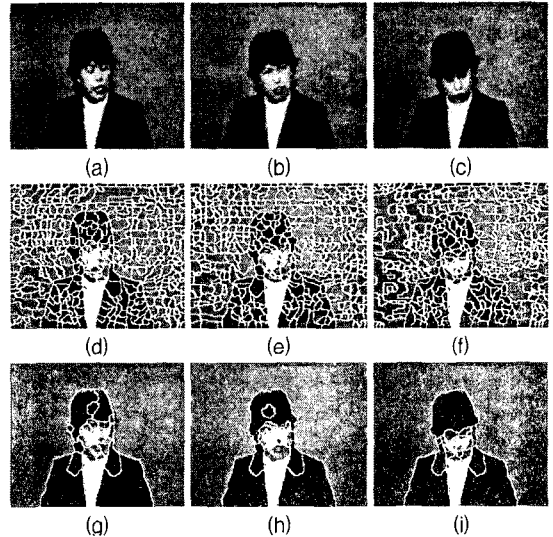


그림 4. Claire 분할결과

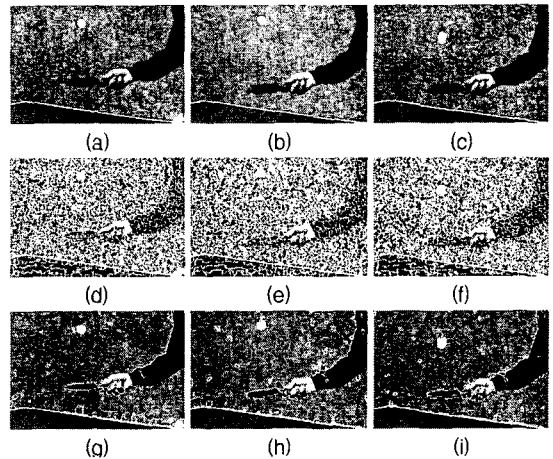


그림 5. TableTennis 분할결과

영상 재구성에 의한 영상의 변화를 확인하기 위해 Table Tennis영상의 표시된 행의 명도값을 분할 단계별로 그래프로 그려보았다. 결과가 그림 6에 나타나있다.

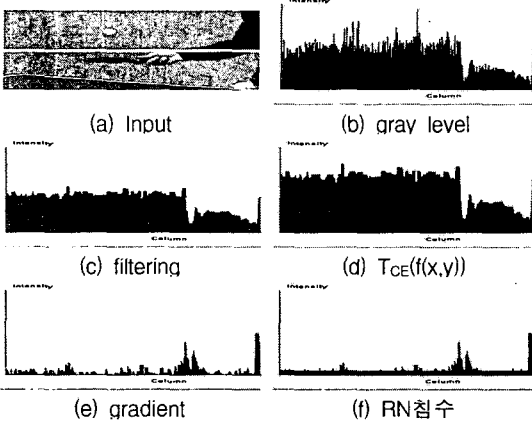
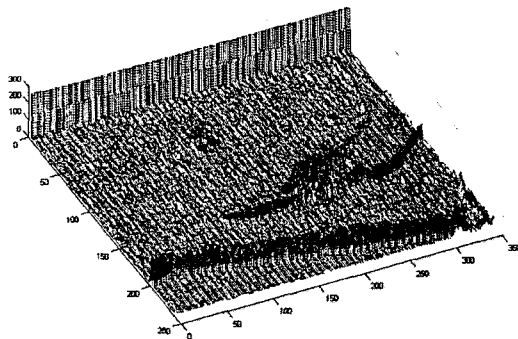
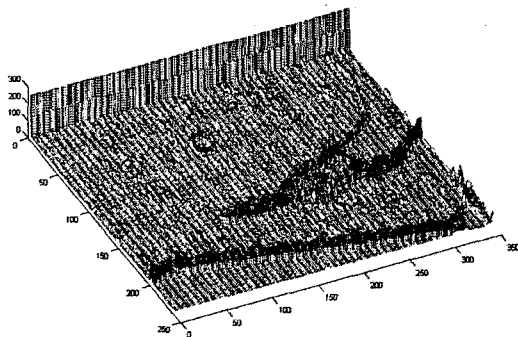


그림 6. 영상속 단면 그래프

지역 최소의 제거를 확인하기 위해 제안된 영상재구성결과와 전통적인 gradient영상을 3차원으로 그려보았다.



(a) Morphological Gradient Image



(a) CERM Image

그림 7. 3차원 그래프

기울기 영상의 전처리 결과에서는 영상속의 경계가 강화되었고 침수 단계에서는 작은 지역 최소를 발생시키는 값들이 다수 제거됨을 그림 6. 에서 확인할 수 있다. 영상재구성을 통한 지역최소값을 효과적으로 제거됨을 그림 7에서 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 Watershed변환을 이용하여 영상을 분할할 때 과분할되는 문제점을 해결하기 위하여 영상의 경계를 강화하고 작은 지역 최소들을 효과적 제거하는 방법을 제안하였다. 실험해본 결과 영상속 크게 변화되는 경계를 잘 찾아낼수 있었다. 하지만 필터링과 재구성에 의해 손실되는 영역이 나타났다. 이는 영상 재구성에서 사용되는 상수 α, β 의 값에 의해 발생하는 것으로 분석되었다. 향후과제로 경계정보를 보존하면서 과분할을 제거하는 α, β 값을 결정하는 연구와 영상속에 분할된 영역을 병합시키는 연구가 필요하겠다.

참고문헌

- [1]MPEG-4 Visual Fixed Draft International Standard, ISO/IEC 14 496-2, Oct, 1998.
- [2]"MPEG-7 Requirements Document," MPEG Requirements Group, 1998.
- [3]L. Vincent and P. Soille, "Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 13, pp. 583-598, Dec. 1991.
- [4]J.M. Gauch, "Image segmentation and analysis via multiscale gradient watershed hierarchies," IEEE Trans. Image Processing, vol. 8, pp. 69-79, Jan. 1999
- [5]K. Haris, S. N. Efstratiadis, N. Maglaveras, and A. K. Katsaggelos, "Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging," IEEE Trans Image Processing, vol. 2, pp. 1684-1699, Dec. 1998.
- [6]A. Tremeau and P. Colantoni, "Regions adjacency graph applied to color image segmentation," IEEE Trans. Image Processing, vol. 9, pp. 735-744, Dec. 1998.
- [7]P. Salembier and M. Pardas, "Hierarchical morphological segmentation for image sequence coding," IEEE Trans. Image Processing, vol. 3, pp. 639-651, Sept. 1994.
- [8]P. Salembier and F. Marques, "Region-Based representations of image and video Segmentation tools for multimedia services," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 9, pp. 1147-1169, Dec. 1999.
- [9]L. Vincent, "Morphological grayscale reconstruction in image analysis: Application and efficient algorithms," IEEE Trans. Image Processing, vol. 2 pp. 176-201, 1993.
- [10]N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Trans. SMC., vol. 9, pp. 62-66, 1979
- [11]Demin Wang, "Unsupervised Video Segmentation Based on Watersheds and Temporal Tracking", IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, vol. 8, no. 5, September 1998