

Chamfer 알고리즘에 기초한 영상분리 기법

김학경* · 정남수** · 이명숙*** · 김상봉****

An Image Segmentation based on Chamfer Algorithm

Hak-Kyeong Kim*, Nam-Soo Jeong**, Myung-Suk Lee*** and Sang-Bong Kim****

Key Words : Chamfer algorithm(챔퍼 알고리즘), Euclidean distance(유클리드 거리), Otsu's optimal thresholding method(Otsu 최적문턱치 결정법), Image segmentation (영상분리), *Acinetobacter* sp. (아시네토박터 종)

Abstract

This paper is to propose image segmentation method based on chamfer algorithm. First, we get original image from CCD camera and transform it into gray image. Second, we extract maximum gray value of background and reconstruct and eliminate the background using surface fitting method and bilinear interpolation. Third, we subtract the reconstructed background from gray image to remove noises in gray image. Fourth, we transform the subtracted image into binary image using Otsu's optimal thresholding method. Fifth, we use morphological filters such as areaopen, opening, filling filter etc. to remove noises and isolated points. Sixth, we use chamfer distance or Euclidean distance to this filtered image. Finally, we use watershed algorithm and count microorganisms in image by labeling. To prove the effectiveness, we apply the proposed algorithm to one of Ammonia-oxidizing bacteria, *Acinetobacter* sp. It is shown that both Euclidean algorithm and chamfer algorithm show over-segmentation. But Chamfer algorithm shows less over-segmentation than Euclidean algorithm.

1. 서론

현미경 영상은 렌즈 속의 이물질 등과 같은 많은 잡음이 포함되어 있으며 또한 미생물은 무색 투명한 것이 대부분이므로 이것을 관측 및 계수하기 위해 염색이 필요하다. 그러나 염색시약은 빠르게 희미하게 바래지고, 미생물에 따라 염색되는 정도가 다르므로 밝기가 균일하고 깨끗한 영상을 얻기가 힘들며, 또한 중첩영상으로 인해 미생물을 정확히 계수하기 위해서는 현미경 속의 잡음과 밝기가 균일하지 않고 중첩영상이 있는 현미경 영상 속에서 미생물을 분리시킬 필요가 있다. 이러한 현미경 영상에서 미생물을 분리시키기 위해서는

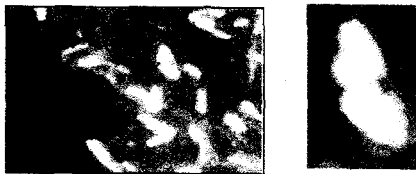
문턱치의 결정이 중요하다. 문턱치 결정법⁽¹⁰⁾⁻⁽¹³⁾에는 히스토그램기반 문턱치 결정법, 엔트로피기반 문턱치 결정법, 퍼지 문턱치 결정법, 지역기반 문턱치 결정법이 있다. 히스토그램기반 문턱치 결정법에는 Otsu의 최적문턱치 결정법⁽¹⁾과 반복법⁽²⁾⁽³⁾, root히스토그램법⁽⁴⁾, 최소오차문턱치 결정법⁽⁵⁾이 있으며 엔트로피기반 문턱치 결정법에는 Kapur법⁽⁶⁾, Pun법⁽⁷⁾과 Johannsen 법(1982)이 있으며, 퍼지기반 문턱치 결정법에는 퍼지법과 Yager법(1979)이 있으며 지역기반 문턱치 결정법에는 Frag and Delp⁽⁸⁾과 Chow and Kaneko⁽⁹⁾에 의한 법이 있다. 이들 중 가장 일반적으로 널리 사용되는 법은 Otsu의 최적문턱치법이다. 본 연구에서도 Otsu최적문턱치법을 사용한다⁽¹⁾. 그러나 Otsu최적문턱치법만으로는 미생물을 분리시키기에 충분치 않다. 그래서 영상 처리법에 의한 세균의 계수 및 계측을 위한 알고리즘 개발이 절실하다.

* ** 부경대학교 대학원 메카트로닉스공학과

*** 부경대학교 미생물학과

**** 부경대학교 기계공학부

본 논문에서는 CCD카메라에서 얻은 현미경 영상을 흑백영상(gray image)에서 표면 적합법⁽¹⁰⁾에 의해 최대밝기의 배경을 추출한다. 이것을 흑백영상에서 빼서 흑백영상의 배경 속의 잡음을 제거 한 후, Otsu의 최적문턱치로 이진영상(binary image)으로 변환하여 각종 형태학적 필터들(확대, 축소, 구멍 채움)을 통해 잡음을 제거한다. 여기에 거리 변환법(distance transformation method)인 유클리드 거리변환법⁽¹²⁾과 chamfer 알고리즘에 기초를 둔 chamfer거리변환법⁽¹³⁾으로 영상에 높이를 주어3차원적인 영상인 surface image를 얻는다. 이것으로부터 watershed 알고리즘⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁵⁾을 적용하여 영상을 분리한 후 라벨링하여 미생물을 계수한 것을 기존의 watershed 알고리즘과 비교하였다. 본 연구의 유효성을 검증하기 위해, 암모니아 산화세균의 일종인 *Acinetobacter sp.*⁽¹¹⁾에 적용하였다. 적용 결과 유클리드 변환법과 chamfer 법 모두 과도분리(oversegmentation)가 일어났지만 chamfer 법이 유클리드 변환법보다 과도분리가 낮게 일어났다.



(a) Gray image (b) overlapped image
Fig. 1 Gray image and overlapped image

2. 기본 개념

2.1 Chamfer 알고리즘

거리를 측정하는 데는 유클리드법이 있다. 유클리드 거리법은 (i, j) 와 (h, k) 두점사이의 거리를 유클리드 거리변환법 d_u 과 수정된 유클리드 거리 변환법 d_{ch} 은 다음과 같다.

$$d_u((i, j), (j, k)) = \sqrt{(j-i)^2 + (k-h)^2} \quad (1)$$

$$d_{ch} = \text{neareast integer}(d_u) \quad (2)$$

이 유클리드 거리계산법인 식(1)을 적용하기에는 많은 시간 및 기억용량이 필요하고 이것을 피하기 위해 식(2)와 같이 가장 가까운 정수값을 취하기도 하며 또한 영상 속의 각 점들은 잡음에 영향을 받기 때문에 정확한 영상 속의 각 점들 사이의

거리 계산에는 오차가 생기기 때문에 유클리드 계산법 대신에 chamfer 거리변환법을 사용한다. 이진영상을 근사적인 거리영상(distance image)으로 변환하는 작업을 거리변환(distance transformation)이라 하며 영상 속의 global 거리는 그 영상 위에 이웃픽셀들 사이의 거리인 local 거리를 전파시킴으로서 근사화 된다는 개념으로 그 전파 방법에는 평행한 또는 연속순서적인 것이 있다. 이때 연속순서적인 거리변환을 chamfer 거리변환이라 알려져 있다. 보통 3×3 , 5×5 과 7×7 마스크 등이 사용되고 있으나 본 연구에서는 3×3 마스크를 사용하였다.

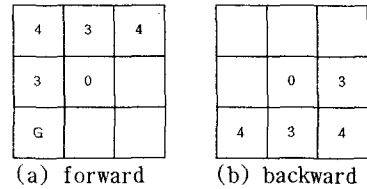


Fig. 2 3×3 mask

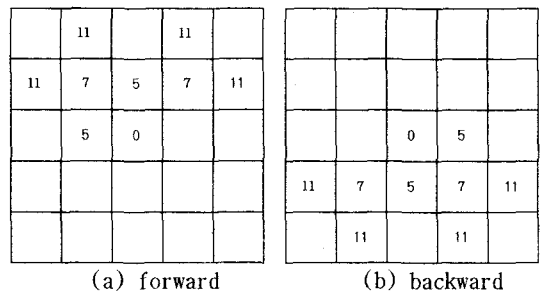


Fig. 3 5×5 mask

이진에지영상에서는 각 에지픽셀은 0으로 두고 에지가 아닌 픽셀은 무한대(∞)로 둔다. 지역적인 거리들의 평행적인 전파에 의한 거리변환법은 다음과 같다.

$$p_{i,j}^k = \text{minimum} \left(\begin{array}{l} p_{i-1,j-1}^{k-1} + 4, p_{i-1,j}^{k-1} + 3, p_{i-1,j+1}^{k-1} + 4, \\ p_{i,j-1}^{k-1} + 3, p_{i,j}^{k-1}, p_{i,j+1}^{k-1} + 3, \\ p_{i+1,j-1}^{k-1} + 4, p_{i+1,j}^{k-1} + 3, p_{i+1,j+1}^{k-1} + 4 \end{array} \right) \quad (3)$$

$p_{i,j}^k$ 는 반복회수 k 에서의 위치 (i, j) 의 픽셀의 값이며 반복회수는 어떤 값이 변하지 않을 때까지 계속한다. 반복회수는 영상 속에서 일어나는 가장 긴 거리에 비례한다. 연속순서적으로 전파하는 거리 변환 알고리즘은 0 또는 무한대에서 출발한다. 영상 위에 두가지 길이 있다. 첫째로 Fig. 2(a) mask를 이용한 왼쪽에서 오른쪽으로 그리고 위쪽에서 아래쪽으로 전파하는 forward 방향으로 그리고 나서 Fig. 2(b)를 이용한 오른쪽에서 왼쪽으로

그리고 아래에서 위쪽으로 전파하는 backward방향의 길이다.

forward :

for $i=2, \Lambda, \text{rows}-1$ do

for $j=2, \Lambda, \text{column}-1$ do

$$p_{i,j} = \text{minimum} \left(\begin{array}{l} p_{i-1,j-1} + 4, p_{i-1,j} + 3, p_{i-1,j+1} + 4 \\ p_{i,j+1} + 3, p_{i,j} \end{array} \right)$$

backward:

for $i=\text{rows}-1, \Lambda, 2$ do

for $j=\text{column}-1, \Lambda, 2$ do

$$p_{i,j} = \text{minimum} \left(\begin{array}{l} p_{i,j}, p_{i,j+1} + 3, p_{i+1,j-1} + 4, \\ p_{i+1,j} + 3, p_{i+1,j+1} + 4 \end{array} \right)$$

$$d_{ch} = \{p_{i,j}\} \quad (5)$$

여기서 d_{ch} 는 chamfer 거리를 나타낸다

2.2 Watershed algorithm

이 절은 watershed의 표준정의를 제시하며 영상분리 목적으로 gradient 영상의 산등성이선(crest line)을 소개한다⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁵⁾. 이러한 선들을 특성화시키는 방법은 구배영상(gradient image)의 modulus에 watershed 알고리즘을 적용하는 것이다. 여기에 스텝함수의 이산적인 범위를 가진 디지털 그리드 위의 R^2 에서 정의되는 함수의 경우에 watershed를 계산하기 위해 고전적인 알고리즘을 제시한다⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁵⁾.

한편 흑백색상 영상은 매핑함수 $f: Z^2 \rightarrow Z$ 로 나타낼 수 있으며 이때는 $f(x)$ 는 점 x 에서의 영상의 밝기값이다. 공간 Z^2 의 점들은 정사각형 또는 육각형의 그리드의 꼭지점일 수 있다. f 는 연속 미분가능하다고 가정한다. 레벨 t 에서 f 의 단면은 집합 $X_t(f)$ 와 $Z_t(f)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$X_t(f) = \{x \in Z^2 : f(x) \geq t\} \quad (6)$$

$$Z_t(f) = \{x \in Z^2 : f(x) \leq t\} \quad (7)$$

거리함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\forall y \in Y, d(y) = \text{dist}(y, Y^c) \quad (8)$$

여기서 Y 는 마커(marker)들의 집합이며 그 여집합은 Y^c 로 표시한다.

레벨 t 에서의 d 의 단면은 다음과 같이 주어진다.

$$X_t(d) = \{y : d(y) \geq t\} = Y \ominus B_t \quad (9)$$

여기서 B_t 는 반경 t 인 원판이며 \ominus 는 Y 의 수축(erosion)을 의미한다.

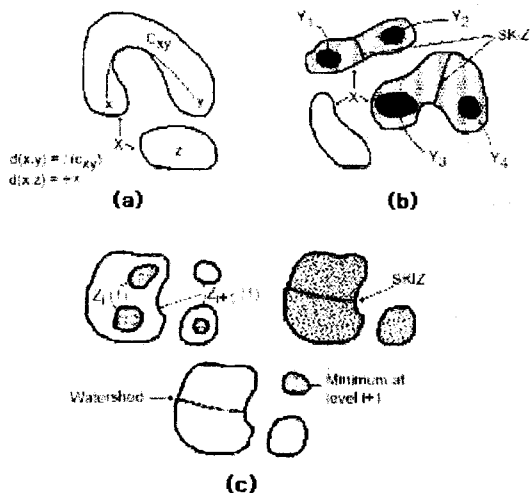


Fig. 5 (a) Shortest path and geodesic distance
(b) SKIZ of a set Y in X
(c) Watershed construction using geodesic SKIZ

x 와 y 사이의 지형학적인 거리(geodesic distance) $d_x(x,y)$ 를 그림 5(a)에 보여주는 바와 같이 x 와 y 를 연결시켜주는 X 내에 포함된 가장 짧은 길이로서 계산한다. Y 로부터 유한 지형학적거리 $d_x(x,y)$ 에 있는 X 의 모든 점 x 의 집합 $R_x(Y)$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$R_x(Y) = \{x \in X; y \in Y, d_x(x,y) : \text{finite}\} \quad (10)$$

다음 Fig. 5(a)와 (c)에서 보여주는 바와 같이 여러 영향지역사이에 경계들인 X 내의 Y 의 SKIZ(geodesic skeleton influence zone:지형학적 세선영향지역)를 얻는다.

$$SKIZ_x(Y) = X / IZ_x(Y) \quad (11)$$

$$IZ_x(Y) = \bigcap_{y \in Y} Z_x(Y_t) \quad (12)$$

$$Z_x(Y_t) = \{x \in X; d_x(x, Y_t) : \text{finite} \text{ and } \forall u \neq t, d_x(x, Y_t) < d_x(x, Y_u)\} \quad (13)$$

여기서 Y 와 $/$ 는 합집합과 차집합을 나타내며, t 와 u 는 레벨을 표시한다.

마지막으로 Fig. 5(c)에서 보여진 다음과 같이

watershed를 만든다. f 의 저수지의 물웅덩이 (catchment basin)에 대한 레벨 t 에서의 단면 $W_t(f)$ 와 높이 $t+1$ 에서의 함수의 최소값 $M_{t+1}(f)$ 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$W_{t+1}(f) = [IZ_{Z_{t+1}(f)}(X_t(f))] \cup M_{t+1}(f) \quad (14)$$

$$M_{t+1}(f) = Z_{t+1}(f) / R_{Z_{t+1}(f)}(Z_t(f)) \quad (15)$$

여기서 $W_{-1}(f) = 0$ 이다.

반복과정의 끝에서 주어지는 watershed line $WL(f)$ 는 다음과 같다.

$$WL(f) = W_N^c(f) \quad (\text{with } \max(f) = N) \quad (16)$$

3. 제안된 알고리즘

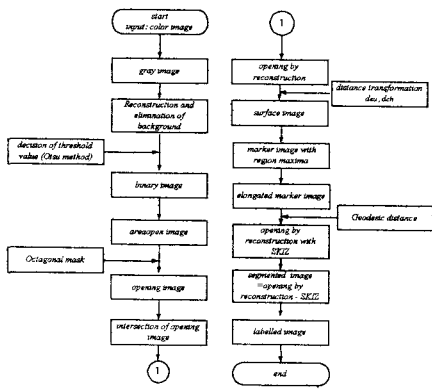


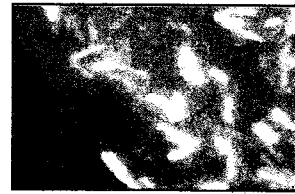
Fig. 6 Flow chart of the proposed method

$$\text{Octagonal mask} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Fig. 6은 제안된 알고리즘의 흐름도이다. Fig. 7은 본 논문에서 제안된 알고리즘이 Fig. 6의 순서도에 의해 대상으로 하는 영상이 2장에서 보인 영상처리 알고리즘을 이용하여 화상처리되고 있는 과정을 보인 것이다. 먼저 원영상인 칼라영상을 흑백영상(gray image)으로 변환한 후 배경 속에 있는 잡음을 제거하기 위해 최대 밝기값 배경을 추출한다. 이것을 원래영상에서 빼서 잡음을 제거한다(b). 이것을 다시 Otsu의 최적분턱치로 이진 영상(binary image)을 만든다. 이 이진영상(c)에서 잡음으로 생각되는 면적이 적은 영상을 제거하는 areaopen 영상(d)을 만든 후 8각형 마스크로

다시 opening한다. 이 opening한 영상을 흑백영상과 교집합한 영상을 재구성한다(e). 이 재구성한 영상에서 유클리드거리 또는 chamfer 거리를 구하여 이것을 높이로 하여 3차원 표면영상(surface image)을 구한다. 3차원 표면영상(f)에서 지역적 최대(region maximum)를 구하여 이것을 마커(marker)로 하며 이 마커(g)를 연장하여 형태학적 거리(geodesic distance)로 SKIZ(h)를 구하여 watershed line(i)을 구한다. Watershed line을 재구성한 영상(e)에서 빼면 영상이 분리된다(j). 이 분리된 영상을 라벨링하면 계수된다(1).

한편 watershed 알고리즘을 적용함에 있어, Fig. 7(e)에서 3 차원 표면 영상(Fig. 7(f))을 만들기 위해 필요한 거리함수를 구할 때, 즉 거리 함수 식(8)을 구할 때 같은 유클리드 거리 계산법인 식(1)로 구하면 시간 소비적이므로 본 논문에서는 수정된 유클리드 계산법인 식(2)와 chamfer 거리계산법인 식(5)를 적용하였다.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

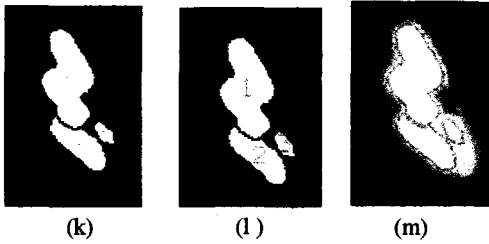


Fig. 7 The procedure of the proposed algorithm
 (a) Gray image (b) Sampled gray image (c) Binary image
 (d) Areaopen image (e) Open image (f) Surface image.
 (g) Surface image with maxima
 (h) Surface image with watershed line
 (i) Image with watershed lines (j) Segmented Image
 (k) Center points (l) Labelled image
 (m) Gradient image on the gray image

4. 결과 및 검토

Fig. 8은 고전적인 watershed 알고리즘을 적용한 후 라벨링 한 것이며, 충분한 분리가 되지 않고 있다. Fig. 9는 식(2)의 근사유클리드 거리법에 의한 watershed 알고리즘을 적용한 후 라벨링한 결과이며 과도한 영상분리가 되고있음을 보이고 있다. Fig. 10은 식(4)의 chamfer 알고리즘에 의해 산출된 chamfer 거리를 적용한 후 watershed 알고리즘을 적용한 후 영상을 라벨링한 결과이며 전통적인 watershed 알고리즘과 근사 유클리드 거리를 적용한 후의 라벨링한 결과의 중간임을 알 수 있다. Fig. 11은 상기 세 알고리즘을 적용한 라벨된 미생물 세포의 면적분포이다. Table 1은 라벨된 미생물 세포의 통계값들이다.



Fig. 8 Traditional watershed algorithm



Fig. 9 Approximated Euclidean distance



Fig. 10 Chamfer distance

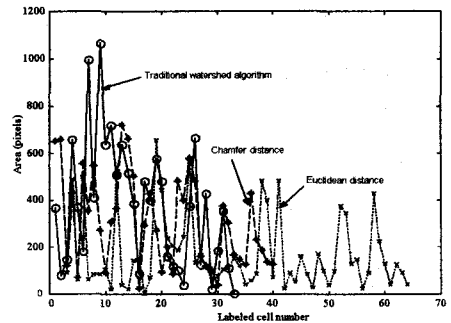


Fig. 11 Area distribution of labeled cells

Table 1 Statistic data of labeled cells

	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation
Traditional algorithm	5	1066	276	272
Chamfer distance	26	718	308	190
Euclidean distance	5	659	188	180

5. 결론

본 논문에서 근사유클리드 거리변환법, chamfer 거리변환법을 적용한 후 watershed 알고리즘을 적용 분리하여 미생물 세포를 계수하는 알

고리들을 제안했다. 그 유효성을 적용하기 위해 암모니아 산화세균의 일종인 *Acinetobacter* sp.에 적용한 결과 유클리드 변환법은 과도한 영상분리를 하였으며 chamfer 거리변환법은 다소 과도한 분리를 하였으나 유클리드변환법보다 개선되었음을 보였다.

참고문헌

- (1) N. Otsu, 1979, "A thresholding selection method from gray-level histogram", IEEE transaction on systems, man and cybernetics, SMC-9, pp. 62~66.
- (2) T. W. Riddler and S. Calvard, 1978, "Picture thresholding using an iterative selection method", IEEE transaction on Systems, Man, Cybernetics, SMC 8", pp. 630~632.
- (3) H. J. Trussel, 1979, "Comments on picture thresholding using an iterative selection method", IEEE transaction on systems, Man, Cybernetics, SMC9(5)", pp. 311.
- (4) A. A. Farag and E. J. Delp, 1986, "Some experiments with histogram-based segmentation", Proceedings of the 1986 Conference on Intelligent System and Machines, Oakland University, Rochester, Michigan, pp. 25~256.
- (5) J. Kittler and Illingworth, 1986, "Minimum error thresholding", Pattern Recognition, vol. 19, No. 1, pp. 41~47.
- (6) J. N. Kapur, P. K. Sahoo, and A. K. C. Wong, 1985, "A new Method for gray-level picture thresholding using entropy of the histogram", Computer vision, graphics, and image processing, vol. 29, pp. 273~285.
- (7) T. Pun, 1980, "A new method for gray-level picture thresholding using entropy of the histogram", Signal Processing, vol. 2, pp. 223~237.
- (8) A. A. Farag and E. J. Delp, 1991, "A stochastic modeling approach to edge- and region-based image segmentation", TR_EE 90-34, School of Electrical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- (9) C. K. Chow and T. Kaneko, 1972, "Automatic boundary detection of left ventricle from cineangiograms", Comput. Biomed. Res. Vol. 5, pp. 338~410.
- (10) KR. Castleman, 1996, Digital Image Processing, Prentice Hall. Inc., United States of America, pp. 501~507.
- (11) M. S. Lee and J. H. Park, 1998, "Isolation of ammonia oxidizing bacteria and their characteristics", Journal of the Korean Fisheries Society, vol.31, pp. 769~766.
- (12) G. Borgefors, 1986, "Distance transformations in digital images", Comput. Vision, Graphics, Image processing, vol. 34, pp. 344~371.
- (13) M. K. Butt and P. Maragos, 1988, "Optimal design of chamfer distance transforms", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 7, NO. 10, pp. 1477~1484.
- (14) S. Beucher and C. Lantuejoul, 1979, "Use of watershed in contour detection", International Workshop on Image Processing: Real-time edge and motion detection /estimation, Rennes, France, pp. 17~21.
- (15) L. Vincent and P. Soille, 1993, "Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, No. 6, pp. 583~598.