
효율적인 화소기반 스캔마스크를 이용한 블록라벨기반 이진연결요소 라벨링

김교일*

Block Label-based Binary Connected-component Labeling using an efficient pixel-based scan mask

Kyoil Kim*

요약 패턴인식 등에서 널리 이용되는 이진연결요소 라벨링은 오래전부터 연구되어온 영상처리분야의 기본적인 처리방법이다. 연결요소 라벨링에 대한 현재의 연구는 이중스캔을 이용한 방법이 주류를 이루고 있는데 최근 일차스캔 시 인근 화소 여러 개를 한 번에 블록단위로 처리하는 것이 가장 성능이 뛰어난 것으로 보고되고 있다. 본 논문에서도 블록단위의 라벨링 방법을 이용하였지만 기존의 방법들보다 더 성능이 개선된 방법을 제시하고 있다. 제안된 방법은 블록단위의 라벨과 새로운 화소기반의 스캔마스크를 사용했는데 실험결과 현재까지 발표된 가장 빠른 라벨링 방법보다도 더 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났다.

주제어 : 패턴인식, 이진연결요소, 라벨링, 블록라벨, 스캔마스크

Abstract Binary connected-components labeling, which is widely used in the field of the pattern recognition, has been researched for a long time as one of the basic image processing techniques. Two-scan algorithm has been mainly used in the researches of the connected-components labeling. Recently, for the first scan in the two-scan algorithm, block-based labeling approaches have been used and reported as the fastest methods. In this paper, a new efficient scan mask for connected-components labeling with a block-based labeling approach is proposed. Labeling with the new pixel-based scan mask is more efficient than any other existing method. The results of the experiments show that the proposed method is faster than the existing fastest method.

Key Words : Pattern recognition, Connected-components, Labeling, Block label, Scan mask

1. 서론

연결요소 라벨링(connected-components labeling)은 영상에서 서로 연결된 화소들을 그룹화하고 각 그룹에 대해 고유한 라벨을 할당해 주는 작업을 말한다. 이 작업은 머신비전이나 패턴인식 등에서 객체인식이나 문자인식 등에 많이 이용되고 X선 진단영상이나 천문학 영상에서 객체의 수를 세거나 라벨링을 하는데 유용한 기초 처리로 종종 응용된다. 특히 이진영상(binary image)에 대한 연결요소 라벨링(이하 라벨링)이 기본이 되기 때문에 이에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 한편으로는 래스

터스캔방법을 이용한, 단일스캔(one-scan)[10], 이중스캔(two-scan)[1][3][5][9] 그리고 다중스캔(multi-scan)[4] 등으로 분류할 수 있는 연구들이 이뤄져 온 반면 객체의 윤곽선을 따라 연결요소를 라벨링하는 방법[2] 등 래스터스캔을 사용하지 않는 방법들도 제시되어 왔다. 하지만 최근 대부분의 연구는 래스터스캔, 그 중에서도 이중스캔방법의 부류들이 대부분인데 이는 이중스캔방법이 그 외 다른 방법과 비교할 때 더 좋은 성능을 보이기 때문이다.

가장 최신의 주목할 만한 연구결과들은 모두 복수의 화소들을 한 번에 처리하는 블록개념을 도입했다는 공통

*동양미래대학교 전기전자통신공학부 교수

논문접수: 2013년 3월 13일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2013년 4월 10일, 확정일: 2013년 4월 20일

점을 지니고 있다[1][3][5][9]. 본 논문에서도 블록라벨을 기반으로 하는 방법을 제안하고 있다. 다만, 사용한 블록의 정의와 스캔마크의 모양이 기존 방법들의 장점만을 취한 것이라고 하겠다.

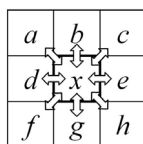
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 이론적 배경이 되는 이중스캔 방법을 개론적으로 설명했다. 3장에서는 이중스캔을 이용한 최근의 연구결과를 정리했고 4장에서는 본 논문에서 제안하는 방법을 설명했다. 5장에서는 실험을 통해 제안한 방법의 성능을 기존 방법들과 비교하였으며 6장에서는 결론으로 논문을 마무리했다.

2. 이중스캔 방법

이 장에서는 이중스캔 방법에 대해 개론적으로 살펴보고자 한다.

2.1 8방향 연결성과 연결요소

보통 라벨링에서는 화소의 8방향 연결을 가정한다. 8방향 라벨링이란 [그림 1]에 나타난 바와 같이 어떤 화소 x 에 대해 x 의 화소값이 바로 상, 하, 좌, 우 및 좌상, 우상, 좌하, 우하에 존재하는 각각의 화소와 같은 그룹에 속하는지를 조사하여 그렇다면 서로 연결된 것으로 보고 같은 라벨을 부여하는 것을 말한다.



[그림 1] 화소의 8방향 연결성

이때 라벨링 대상이 되는 화소 x 에 대해 a 부터 h 까지의 8개 화소를 인접요소라 한다. 또한 인접요소이면서 라벨링 대상이 되는 화소(이하 대상화소)와 화소값이 같은 그룹에 속하면 그 화소는 x 의 연결요소가 된다. 화소간의 연결은 상호 대칭적이므로 어떤 화소가 화소 x 의 연결요소이면 x 또한 그 화소의 연결요소가 된다.

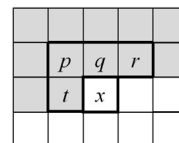
2.2 기본적인 알고리즘

전형적인 이중스캔 방법은 그 명칭이 의미하듯, 두 번

의 스캔작업이 빠대가 된다. 첫 스캔에서는 영상을 구성하는 화소 각각에 대해 연결요소가 있을 경우는 그 연결요소와 같은 라벨을 할당하는 작업을 한다. 그런데 이때 이미 할당된 서로 다른 두 라벨이 나중에 가서 서로 연결되는 상황이 생길 수도 있다. 이 경우는 두 라벨을 어느 하나로 합치는 작업이 필요하게 된다. 이를 라벨병합이라고 한다. 그런데 병합되는 라벨이 발생하면 이미 그 라벨이 할당되어 있는 모든 화소들의 라벨값을 병합된 라벨값으로 바꿔줘야 하는 문제가 발생한다. 이를 하기 위해선 다시 영상의 앞에서부터 화소를 하나하나 조사해야 한다. 이를 매번 반복하다보면 영상의 앞으로 다시 돌아가 스캔을 반복하는 일이 빈번하게 발생하게 되고 이는 심각한 성능의 저하를 초래한다. 이를 보다 효율적으로 하는 방법은 임시라벨과 대표라벨을 사용하는 것이다. 처음에는 임시라벨을 부여하고 라벨병합이 발생하면 병합결과 라벨값을 대표라벨로 설정하고 별도의 테이블에 임시라벨과 해당 대표라벨간의 관계만을 기록해 놓고 일차스캔을 계속해 나가는 것이다. 이후 일차스캔이 완료되면 임시라벨들을 대표라벨값으로 치환하는 이차스캔을 하게 된다. 이것이 이중스캔 방법의 핵심적인 알고리즘이다.

2.3 전형적인 스캔마크

스캔마크는 일차스캔에서 대상화소와의 연결성을 조사할 화소들의 집합이라고 정의할 수 있다. [그림 2]에 전형적인 스캔마크를 대상화소와 함께 나타냈다.



[그림 2] 전형적인 스캔마크

[그림 2]에서 음영을 이용해 이미 라벨링이 된 화소들과 그렇지 않은 화소들을 구별하였다. 화소 x 가 현재 대상화소이고 화소 p, q, r 그리고 t 는 스캔마크를 구성하고 있다. 그림 1에 따르면 현재의 대상화소 x 에 대해 8방향이 존재하는 인접요소들을 모두 조사해야 하겠지만, 연결의 대칭성에 의해 [그림 2]의 스캔마크에 존재하는 4개의 화소들에 대해서만 조사해도 결국 모든 화소들에 대해 8방향을 조사한 결과가 된다.

2.4 마스크

라벨링에서의 마스크(masking)을 스캔마스크를 대상 화소에 고정하고 대상화소와 스캔마스크내의 화소들 간의 연결성을 조사하여 라벨의 생성, 할당 또는 병합을 하는 작업이라고 정의하자. 마스크를 위해서는 스캔마스크의 화소들과 대상화소 값의 각 경우에 대해 어떤 동작을 취해야 하는지 미리 정해 놓아야 한다. 그런데 어떤 경우에 대한 동작이 하나만인 경우도 있지만 여러 개의 동작 중 하나를 하면 되는 경우도 있다. 이런 이유로 이를 정리한 표를 OR-decision table이라고 부른다. <표 1>은 전형적인 스캔마스크를 사용할 경우에 대한 OR-decision table이다. 각 화소값의 경우에 대하여 요구되는 작업을 나열해 놓았는데 no action은 특별한 작업의 필요가 없음을, new label은 새 라벨을 생성하여 대상화소 x 에 할당함을 말한다. assign항은 기존 화소의 라벨을 대상화소에 할당하는 것을 말하는데 assign의 p 의 의미는 p 의 라벨값을 할당하라는 것이다. merge는 라벨병합을 의미한다. 예를 들어 $p+r$ 은 p 의 라벨과 r 의 라벨을 병합하는 것을 의미한다. 이때 두 라벨을 병합할 뿐 아니라 대상화소에는 p 또는 r 의 라벨을 할당해 주게 된다.

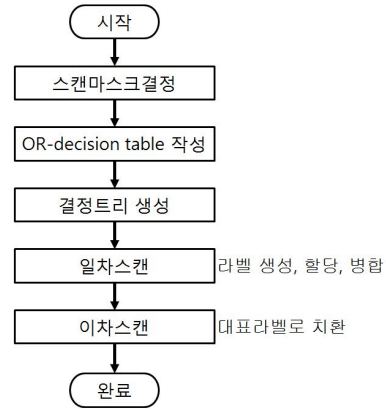
<표 1> 전형적인 스캔마스크를 사용한 OR-decision table

화소값					요구되는 작업								
p	q	r	t	x	no action	new label	assign				merge		
							p	q	r	t	p+r	r+t	
-	-	-	-	0	1								
0	0	0	0	1		1							
0	0	0	1	1						1			
0	0	1	0	1					1				
0	0	1	1	1									1
0	1	0	0	1					1				
0	1	0	1	1					1			1	
0	1	1	0	1					1	1			
0	1	1	1	1					1	1	1		
1	0	0	0	1			1						
1	0	0	1	1			1				1		
1	0	1	0	1								1	
1	0	1	1	1								1	1
1	1	0	0	1			1	1					
1	1	0	1	1			1	1			1		
1	1	1	0	1			1	1	1				
1	1	1	1	1			1	1	1	1			

그런데 OR-decision table을 프로그램으로 구현하려면 이 테이블로부터 최적화된 결정트리를 구해야 한다. <표 1>과 같이 간단한 테이블이라면 이는 직관적으로 또는 카르노맵을 이용해서 할 수도 있으나 다음 장에 소개될 Grana의 방법이라면 경우의 수가 너무 많아 불가능하다. 이런 경우를 위해서는 Schumacher의 알고리즘[7]

이나 Sutheebanjard의 알고리즘[8]을 이용하게 된다.

[그림 3]에는 이상과 같이 2장에서 알아본 이중스캔 방법의 절차를 정리, 표시하였다.



[그림 3] 이중스캔 알고리즘의 작업순서도

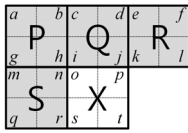
3. 이중스캔 기반의 최근 연구들

3.1 Grana의 방법[3]

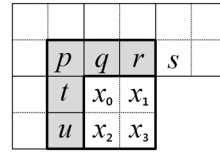
라벨은 전경색(foreground) 화소들에게 부여된다. C. Grana 등(이하 Grana)은 서로 인접해 있는 4개의 화소를 고려한다면 이 중 전경색화소들은 모두 같은 라벨을 가질 수 밖에 없음을 주목했다. 따라서 일차스캔시 4개의 화소를 묶은 블록이란 단위에 라벨을 부여하고 일차스캔이 완료된 후 그 블록내 전경값을 갖는 화소에 대해서만 해당블록의 라벨값을 기록하는 방법을 제안했다. 더불어 스캔마스크도 블록을 기반으로 설계하였다.

[그림 4]에 Grana의 방법에서 사용한 블록과 그에 기반한 스캔마스크를 보였다. [그림 4]에서 작은 사각형은 화소이고 굵은 선으로 표시된 큰 사각형은 블록이다. Grana방법은 발표당시로서는 가장 빠르게 라벨링하는 방법으로 보고가 되었다. 이 방법은 이하 ‘Grana의 방법’으로 부를 것이다.

이후 Sutheebanjard 등이 Grana의 방법에서 R블록을 제외한 스캔마스크를 사용한 방법[9]을 제시했으나 성능면에서 큰 차이 없는, 유사한 결과를 보였다.



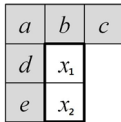
[그림 4] Grana의 블록과 스캔마스크



[그림 6] 김교일의 블록과 스캔마스크

3.2 He의 방법[5]

L. He 등(이하 He)은 [그림 5]와 같이 두 화소를 묶어서 라벨링대상으로 한꺼번에 처리하는 방식을 제안하였다. 이때 스캔마스크는 전형적인 마스크와 유사한 형태의 화소기반 마스크를 사용하였다. He는 새롭게 제안하는 방식이 자신들의 기존 방법을 10%정도 개선했다고 밝히고 있다. 아쉬운 점은 발표당시 가장 빠른 라벨링 방법으로 알려진 Grana 방법과의 성능비교가 없었다는 점이다. 이 방법은 이하 'He의 방법'으로 부를 것이다.



[그림 5] He의 블록과 스캔마스크

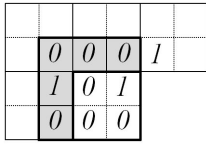
3.3 Kim의 방법[1]

김교일은 최근까지 가장 좋은 성능을 보인 Grana와 He 두 방법에서 각각의 장점을 취하여 새 라벨링 방법을 제시했다. Grana의 방법의 경우 블록라벨 개념을 사용한 것은 실행시간의 단축에 매우 효과적이었으나 블록기반의 마스크는 경우의 수가 너무 많아 결과적으로 결정트리 너무 복잡해지고 이는 오히려 실행시간이 많이 걸리는 요인이 되는 것으로 분석되었다. 그것보다는 화소기반 마스크를 사용하여 결정트리를 단순화하면서도 한번의 마스크에 두 개의 화소를 처리한다는 개념의 He방법이 우세한 결과를 보인 것이다. 김교일은 이에 화소기반의 상대적으로 단순한 마스크를 사용하면서 한 번의 마스크에 4개의 화소를 한 번에 처리하는 것과 유사한 효과를 갖는 Grana의 블록라벨 개념을 적용하였다. [그림 6]에 김교일의 방법을 나타내었다.

여기에서 Grana의 방법이 경우의 수가 너무 많아서 성능이 떨어졌다는 사실을 주목하여 마스크를 되도록 단순하게 만들고자 라벨링대상 블록의 오른쪽 위에 위치한 화소([그림 6]의 s)를 마스크에서 제외하였다. 이에 따라 결여된, 블록의 우상방향의 연결성은 마스크시 마스크내의 화소 q와 t의 연결성을 조사하는 것으로 해결하였다. 실험결과 김교일의 방법은 He의 방법에 비해 SIDBA 표준영상 중 일반영상에 대해서는 평균 3.9%, 다양한 텍스처영상에 대해서는 평균 8.3% 정도의 성능개선이 있었다. 특히 풀HD급 이상의 해상도를 갖는 일반영상에 대해 실험한 결과 He의 방법보다 평균 22.4%의 개선이 있다고 보고되었다. 이 방법은 이하 'Kim의 방법'으로 부를 것이다.

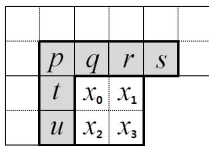
4. 본 논문의 제안방법

Kim의 방법에서는 결정트리의 단순화를 위해서 [그림 6]의 화소 s를 마스크에서 제외하였다. 이 화소를 제외함으로 경우의 수를 반으로 줄이는 효과를 얻을 수 있다는 것이 그 이유였다. 그러나 동시에 화소 s가 존재함으로써 마스크시 이용할 수 있는 인접화소간의 연결성 정보가 감소하는 것도 사실이다. 연결성정보의 감소는 작업을 추가로 해야 함을 의미한다. [그림 7]의 예를 보자. [그림 7]의 경우에는 마스크시 대상블록과 연결된 블록이 없는 것으로 판단될 것이므로 새 라벨이 할당된다. 하지만 다음 마스크에서는 화소 s가 q의 자리가 되고 화소 x₁이 t가 되므로 s와 t가 연결된다. 따라서 라벨병합을 실시하게 된다. 하지만 애초 화소 s가 스캔마스크에 포함되어 있었다면 x₁에는 s의 라벨이 할당되고 시간비용이 많이 들어가는 라벨병합은 할 필요가 없었을 것이다.



[그림 7] Kim의 방법에서 화소 s 누락의 문제

이와 같이 화소 s 를 마스크에서 제외하면서 발생하는 추가작업들에 의한 시간이 결정트리화 단순화된 효과를 넘어선다면 오히려 화소 s 의 제외는 득보다는 실이라고 할 것이다. 본 논문에서는 화소 s 를 스캔마스크에 포함하여 그 연결성 정보를 활용하는 것이 더 효과적인 것이라는 판단으로 Grana의 블록개념은 그대로 이용하되 [그림 8]과 같이 전형적인 형태와 유사한 스캔마스크를 사용하는 방법을 제안, 사용하였다.



[그림 8] 제안된 스캔마스크

이 스캔마스크를 이용하여 OR-decision table을 작성하고 여기에 Suthesbanjard의 알고리즘[8]을 적용하여 결정트리를 얻었다. 얻어진 결정트리는 레벨수가 10, 노드수는 108, 리프노드수는 109였다. 제안된 방법의 결정트리와 다른 방법들의 결정트리를 비교하여 <표 2>에 나타내었다.

<표 2> 각 방법별 결정트리들의 레벨, 노드, 리프수

라벨링방법	레벨수	노드수	리프수
Grana의 방법	14	210	211
He의 방법	7	33	34
Kim의 방법	9	80	81
제안된 방법	10	108	109

5. 실험 및 결과

5.1 구현 및 실험환경

본 논문에서 제안하는 방법과 그 성능비교를 위한 알고리즘들은 모두 Java언어로 구현되었다. Grana는 자신

들의 알고리즘을 구현한 C언어 소스코드를 홈페이지에서 제공하고 있어 그 구현구조를 유지하면서 Java언어로 변환하였다. 또한 공정한 비교를 위해 다른 방법들도 동일한 방식을 따라 구현하였다. 따라서 본 실험결과는 각 방법들을 구현하는 프로그래밍의 기법에는 의존하지 않는 것이라고 말할 수 있다.

실험은 Intel Celeron 420 1.6GHz CPU와 RAM 8GB를 장착하고 Windows 7 운영체제를 사용한 PC에서 실행되었다. 특히 해상도가 낮은 영상에 대해 라벨링을 하는 경우는 그 실행시간이 매우 짧다. 따라서 라벨링 프로그램을 실행하고 있는 PC의 상태에 따라 측정되는 실행시간이 때때로 변하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 본 실험에서는 같은 실행을 500회 실시하여 그 평균값을 취하여 실험결과로 사용하였음을 밝힌다.

라벨링은 4가지 부류의 영상에 대해 실시했는데, 첫째는 전경화소를 랜덤하게 분포시켜 만든 잡음영상, 둘째는 SIDBA 표준영상 중 일반영상, 셋째는 USC-SIPI 영상 DB 중 텍스처영상들이다. 그리고 마지막은 풀HD급 고해상도 일반영상들이다. 이들 중 둘째, 셋째 그리고 넷째 부류들은 Otsu의 방법[6]을 이용해 이진영상으로 변환하여 실험에 사용했다.

5.2 잡음영상에 대한 실험

256x256, 512x512, 1024x1024, 2048x2048, 그리고 4096x4096의 5개 해상도의 영상에 전경화소를 임의로 분산배치하여 잡음영상을 만들었다. 각 해상도별로 전경화소의 농도는 0.1부터 0.9까지 0.1의 간격으로 만들어 해상도당 9개의 잡음영상에 대해 라벨링하였다. 각 방법에 따른 잡음 농도 및 해상도별 실행시간을 <표 3>과 <표 4>에 각각 나타내었다. Grana의 방법에 비해 He, Kim 그리고 제안된 방법이 월등히 좋은 성능을 보였다. 이 결과는 앞으로 기술할 실험결과들에서도 일관성있게 나타나기 때문에 Grana의 방법은 결과표에만 표기하고 분석에서는 제외할 것이다. 45개의 잡음영상을 모두 라벨링하는데 걸린 총 시간은 He의 방법이 48.3 msec, Kim의 방법이 43.2 msec, 그리고 제안된 방법이 42.7 msec로서 제안된 방법이 He의 방법에 비해 약 11.6%, Kim의 방법에 비해 약 1.1% 정도 성능이 우수했다.

〈표 3〉 잡음농도별 평균실행시간(msec)

잡음 농도	Grana	He	Kim	제안 방법	He대비 (%)	Kim대비 (%)
0.1	2175.3	994.8	870.1	851.9	14.36	2.09
0.2	2324.7	1036.7	944.4	925.9	10.69	1.96
0.3	2459.6	1108.6	991.7	975.3	12.02	1.65
0.4	2548.2	1116.9	1029.3	1010.7	9.51	1.81
0.5	2566.8	1138.6	1025.2	1014.7	10.88	1.02
0.6	2552.0	1106.1	1004.2	1000.1	9.58	0.41
0.7	2499.1	1088.7	971.1	966.5	11.22	0.47
0.8	2409.1	1058.6	928.3	926.1	12.52	0.24
0.9	2304.7	1003.6	867.5	865.6	13.75	0.22

〈표 4〉 잡음해상도별 평균실행시간(msec)

잡음 해상도	Grana	He	Kim	제안 방법	He대비 (%)	Kim대비 (%)
256x256	17.1	3.2	3.0	2.9	9.38	3.33
512x512	98.6	33.8	30.6	30.1	10.95	1.63
1024x1024	415.3	153.4	144.7	141.5	7.76	2.21
2048x2048	2009.5	814.7	766.9	745.1	8.54	2.84
4096x4096	9592.7	4357.5	3850.4	3823.0	12.27	0.71

5.3 SIDBA 일반영상에 대한 실험

SIDBA(Standard Image Data-BAs) 표준영상DB의 비행기, 공항, 항공사진, 개코원숭이, 배, 다리, 여성얼굴, 집, 경치, 우유방울, 자, 탱크, 피망, 커플 등의 일반영상들에 대해 라벨링을 실행했다. 이 영상들은 미국 University of Southern California의 Signal and Image Processing Institute의 USC-SIPI 영상 DB에서 miscellaneous에 분류되어 있으며 해상도는 모두 512x512였다. <표 5>는 이 영상들의 최소, 평균, 그리고 최대 라벨링 시간을 나타내고 있다.

〈표 5〉 SIDBA 일반영상에 대한 실행시간(msec)

구분	Grana	He	Kim	제안 방법	He대비 (%)	Kim대비 (%)
최소 시간	79.4	25.4	22.9	20.9	17.7	8.7
평균 시간	129.9	43.0	39.0	37.2	13.5	4.6
최대 시간	356.6	129.4	116.5	113.7	12.1	2.4

<표 5>에서 'He 대비'란 He의 방법에 비해 제안된 방법의 성능개선비를 의미한다. 또한 'Kim 대비'란 Kim의

방법에 비해 제안된 방법의 성능개선비를 의미한다. SIDBA의 일반영상들에 대해 제안된 방법은 He의 방법에 비해 라벨링 시간을 평균 약 13.5%, Kim의 방법에 비해 평균 약 4.6% 단축한 것으로 나타났다.

5.4 USC-SIPI 텍스처영상에 대한 실험

USC-SIPI 영상 DB의 textures에 분류되어 있는 영상 중 해상도가 512x512인 36개의 다양한 패턴의 텍스처 영상들에 대해 각 방법을 이용해 라벨링을 실행했다. <표 6>은 이 영상들을 라벨링할 때 소요된 시간 중 최소, 평균, 그리고 최대 시간을 각 방법별로 나타내고 있다. 제안된 방법의 성능이 He의 방법에 비해 평균 약 14.9%, Kim의 방법에 비해 평균 약 1.2% 우수한 것으로 나타났다.

〈표 6〉 다양한 텍스처 영상에 대한 실행시간(msec)

구분	Grana	He	Kim	제안 방법	He대비 (%)	Kim대비 (%)
최소 시간	84.09	29.88	24.91	24.76	17.1	0.6
평균 시간	89.48	32.07	27.62	27.29	14.9	1.2
최대 시간	95.2	36.58	29.57	28.63	21.7	3.2

5.5 풀HD 고해상도 일반영상에 대한 실험

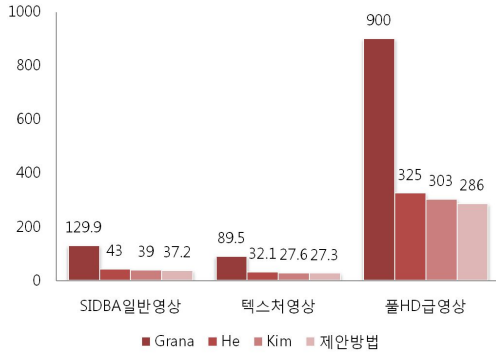
다음은 풀HD급 해상도를 갖는 영상에 대해 라벨링을 실시해 보았다. 영상들은 1920x1080 및 1920x1277의 해상도를 갖는 도시, 경치, 놀이기구, 장난감, 건물, 및 거리 등 총 7개의 사진들로 인터넷에서 수집하거나 직접 촬영한 영상들이었다. <표 7>에 이 영상들의 최소, 평균, 그리고 최대 라벨링 시간을 나타내었다. 제안된 방법의 성능이 He의 방법에 비해 평균 약 11.9%, Kim의 방법에 비해 평균 약 5.6% 우수한 것으로 나타났다.

〈표 7〉 풀HD급 영상에 대한 실행시간(msec)

구분	Grana	He	Kim	제안 방법	He대비 (%)	Kim대비 (%)
최소 시간	776.3	273.6	256.3	246.2	10	3.9
평균 시간	900.4	324.8	303.4	286.3	11.9	5.6
최대 시간	986.1	355.8	340.5	323.4	9.1	5

알고리즘들간의 성능을 보다 쉽게 비교하기 위해 그래프를 이용해 결과를 나타내 보았다. [그림 9]는 SIDBA

의 일반영상, USC-SIFI 영상 DB의 텍스처영상 그리고 풀HD급 일반영상에 대해 Grana, He, Kim 그리고 제안 방법의 평균 라벨링시간을 차례로 나타낸 것이다. 모든 종류의 영상에 대해 제안방법이 가장 짧은 라벨링시간을 보이고 있다.



[그림 9] 평균 라벨링시간(msec)의 비교

5.6 Kim과 제안방법의 성능차에 대한 고찰

4장에서 제안방법은 Kim의 방법에 비해 병합수를 줄이는 이점이 있다고 주장하였다. 반면에 마스크의 화소수를 한 개 증가시키므로서 결정트리의 레벨수도 역시 하나 증가하여 리프에 도달하기까지의 시간이 증가하는 불리한 측면도 있음을 기술했다. 이 절에서는 실제 실험 결과를 기반으로 이 두 요소가 성능에 어떻게 영향을 주었는지 살펴보고자 한다. <표 8>에 영상의 종류별로 Kim의 방법과 제안방법으로 라벨링시 발생한 총 라벨병합수를 각각 나타내었다.

잡음영상에 대해서는 특별히 각 잡음농도별로 라벨병합수를 기술했는데 이는 Kim의 방법과 제안방법이 한 잡음농도에서는 해상도와 상관없이 동일한 라벨병합수 비율을 보이고 잡음농도가 증가하면서 유의미한 경향의 수치변화를 보이기 때문이다. 기대했던 것과 마찬가지로 마스크에 화소를 추가함으로써 라벨병합의 발생이 감소했음을 알 수 있다. 특히 잡음영상의 결과를 보면 전경화소수가 작은 경우 제안방법의 라벨병합의 감소 효과가 컸음을 알 수 있다. 하지만 잡음농도가 증가하면서 그 효과는 점점 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 잡음영상전체에 대해서는 제안방법이 Kim의 방법에 비해 라벨병합 발생을 6%정도 줄일 수 있었다. 텍스처 영상, SIDBA 일반영상, 그리고 풀HD급 일반영상들에 대해서는 각각 13.3%, 9.3% 그리고 15.1%의 감소결과를 보이고 있다.

<표 8> 영상 종류별 총 라벨병합 발생 수

영상종류	Kim방법 총병합수	제안방법 총병합수	제안방법/Kim (%)
잡음영상(농도 0.1)	74529	31288	42.0
잡음영상(농도 0.2)	346133	225382	65.1
잡음영상(농도 0.3)	822290	649813	79.0
잡음영상(농도 0.4)	1430678	1254472	87.7
잡음영상(농도 0.5)	2047624	1906211	93.1
잡음영상(농도 0.6)	2506433	2413575	96.3
잡음영상(농도 0.7)	2641485	2591960	98.1
잡음영상(농도 0.8)	2308118	2288671	99.2
잡음영상(농도 0.9)	1427511	1423906	99.7
잡음영상전체	13604801	12785278	94.0
텍스처영상전체	207309	179831	86.7
일반영상전체	41483	37613	90.7
풀HD영상전체	86996	73874	84.9

다음은 각 방법에 대해 결정트리에서 리프노드 도달까지의 평균레벨을 알아보고자 한다. 노드에서의 비교시간이 같다면, 이 평균레벨이 클수록 라벨링에 걸리는 시간은 길어진다고 생각할 수 있다. <표 9>는 그 결과를 보여주고 있다. 한 개의 화소를 마스크에 추가함으로써 결정트리 자체의 레벨은 하나 증가했지만 이를 이용해 실제로 리프노드에 도달하는데 소요되는 레벨의 수는 최고 0.3정도의 레벨차만 있을 뿐이었고 거의 차이가 없는 경우도 있었다. 따라서 두 방법의 노드에서의 비교비용이 크게 차이가 나지 않는다면 결정트리의 레벨차에 의한 효과는 그렇게 크지 않다고 볼 수 있을 것이다.

<표 9> 영상 종류별 총 리프도달까지의 평균 레벨

영상종류	Kim방법 평균레벨	제안방법 평균레벨	제안방법/Kim (%)
잡음영상(농도 0.1)	6.9	7.1	102.9
잡음영상(농도 0.2)	6.8	7.0	102.9
잡음영상(농도 0.3)	6.5	6.8	104.6
잡음영상(농도 0.4)	6.2	6.5	104.8
잡음영상(농도 0.5)	5.9	6.2	104.3
잡음영상(농도 0.6)	5.5	5.7	103.9
잡음영상(농도 0.7)	5.1	5.2	102.9
잡음영상(농도 0.8)	4.8	4.8	100.0
잡음영상(농도 0.9)	4.4	4.4	100.0
잡음영상전체	5.8	6.0	103.1
텍스처영상전체	5.4	5.5	101.0
일반영상전체	5.1	5.1	100.2
풀HD영상전체	5.5	5.5	100.2

<표 8>과 <표 9>의 결과를 종합하면 라벨병합 발생

을 줄이는 정의 효과가 결정트리의 레벨을 늘린 부의 효과보다 더 크다고 할 수 있는데 이것이 제안방법의 성능이 Kim의 방법에 비해 좋은 결과를 보인 이유가 된다고 할 것이다.

6. 결론

연결요소라벨링 방법의 주류인 이중스캔방법에서는 스캔마스크의 선택이 매우 중요하다. 스캔마스크가 많은 화소를 포함할수록 이용할 수 있는 화소간의 연결성 정보가 많아 라벨병합을 줄이는 효과가 있지만 결정트리가 복잡해져 라벨링시간을 늘리게 되기도 한다. 본 논문에서는 저자가 이전에 제안한 스캔마스크에서 제외했던 화소를 추가하여 새로운 스캔마스크를 제안하였다. 실험 결과 이 화소의 추가는 결정트리의 레벨을 증가시키는 부의 효과보다 라벨병합을 줄이는 정의 효과가 더 큰 것으로 판명되었다. 결국 기존 보고된 방법 중 가장 성능이 좋은 방법에 비해서도 제안된 방법이 우수한 것으로 나타났다. 앞으로 라벨링 알고리즘의 구현을 더욱 효율적으로 할 수 있는 방법에 대한 연구를 계속하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 김교일 (2013). 블록기반 라벨과 화소기반 스캔마스크를 이용한 이진 연결요소라벨링. 전자공학회논문지, 50(5), (게재예정).

[2] Chang, F., Chen, C. & Lu, C. (2004). A linear-time component-labeling algorithm using contour tracing technique. *Computer Vision and Image Understanding*, 93(2), 206-220.

[3] Grana, C., Borghesani, D. & Cucchiara, R. (2010). Optimized block-based connected components labeling with decision trees. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19(6), 1596-1609.

[4] Hashizume, A., Suzuki, R., Yokouchi, H., Horiuchi, H. & Yamamoto, S. (1990). An algorithm of automated RBC classification and its evaluation. *Japanese journal of medical electronics and biological engineering*, 28(1), 25-32.

[5] He, L., Chao, Y., & Suzuki, K. (2012). A new

two-scan algorithms for labeling connected components in binary images. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2012, London, U.K.*, 1141-1146.

[6] Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.

[7] Schumacher, H. & Sevcik, K. C. (1976). The synthetic approach to decision table conversion. *Communication of the ACM*, 19(6), 343-351.

[8] Sutheebanjard, P. & Premchaiswadi, W. (2010). Fast convert OR-decision table to decision tree. *IEEE 8th International Conference on ICT and Knowledge Engineering 2010, Bangkok, Thailand*, 37-40.

[9] Sutheebanjard, P. & Premchaiswadi, W. (2011). Efficient scan mask techniques for connected components labeling algorithm. *EURASIP Journal on Image and Video Processing 2011*, 2011(14), 1-20.

[10] Trein, J., Schwarzbacher, A. Th. & Hoppe, B. (2008). FPGA implementation of a single pass real-time blob analysis using run length encoding. *MPC-Workshop, Ravensburg-Weingarten, Germany*, 71-77.

김 교 일



- 1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
- 1990년 8월 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
- 2003년 5월 : The University of Texas at Austin 전기및컴퓨터공학(공학박사)
- 1991년 3월 ~ 1996년 2월 : 한국통신(현KT) 전임연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 동양미래대학교 전기전자통신공학부 부교수
- 관심분야 : 프로그래밍, 영상처리, 컴퓨터네트워크
- E-mail : kikim@dongyang.ac.kr