

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.1.135>

JIIBC 2013-1-20

## Delaunary 삼각화에 의한 그룹화 및 외형 탐지

### Edge Grouping and Contour Detection by Delaunary Triangulation

이상현\*, 정병수\*\*, 정제평\*\*\*, 김정록\*\*\*\*, 문경일\*\*\*\*\*

Sang-Hyun Lee, Byeong-Soo Jung, Je-Pyong Jeong, Jung-Rok Kim, Kyung-li Moon

**요약** 본 외곽선 탐지는 모양 판별 및 객체 인식과 같은 많은 컴퓨터 시각 분야에 있어서 중요한 문제이다. 대부분의 경우에 지역적인 휘도 변화가 객체 윤곽선에서 보다는 무늬 영역에서 보다 강하게 나타나는 것으로 판명되고 있다. 따라서 각 화소의 가까운 인접된 부분에서만 볼 수 있는 지역적인 에지 특징들은 하나의 윤곽선 존재의 믿음만한 정보가 될 수 없기 때문에 전체적인 분석이 요구되고 있다. 본 연구에서는 형태심리학적 원리를 바탕으로 가상 연산자의 변형된 형태로서 적응성을 갖는 확대 연산자에 의한 지역적인 윤곽선 탐지 기법을 제안한다. 제안 방식의 새로운 점은 확대 방식에 있어서 각 윤곽선 화소에 관해 계산 기하학의 관점에서 Delaunary 다이어그램을 사용한다는 것이다. 윤곽선 그룹화와 관련하여 다중 임계 알고리즘이 도입되고, 각 임계 단계에서 작은 크기의 윤곽선 그룹들은 삭제되며, 자연 3차 스플라인 보간법을 통해 재구축되는 방식의 외형을 나타낸다. 또한, 상이한 임계들의 학습을 통해 입력 인자들의 값에 제안된 알고리즘이 민감하지 않은 견고한 성질을 유지하도록 한다. 본 연구의 구현에서는 기존 접근방식과의 비교를 통해 제안된 외형 결정 방식이 이미지에서 제거된 많은 텍스처들이 있음에도 불구하고 견고하고, 낮은 대비의 외형을 쉽게 감지하는데 효과적임을 보인다.

**Abstract** Contour detection is important for many computer vision applications, such as shape discrimination and object recognition. In many cases, local luminance changes turn out to be stronger in textured areas than on object contours. Therefore, local edge features, which only look at a small neighborhood of each pixel, cannot be reliable indicators of the presence of a contour, and some global analysis is needed. The novelty of this operator is that dilation is limited to Delaunary triangular. An efficient implementation is presented. The grouping algorithm is then embedded in a multi-threshold contour detector. At each threshold level, small groups of edges are removed, and contours are completed by means of a generalized reconstruction from markers. Both qualitative and quantitative comparison with existing approaches prove the superiority of the proposed contour detector in terms of larger amount of suppressed texture and more effective detection of low-contrast contour.

**Key Words** : Edge and boundary detection, Morphological grouping, Delaunary triangulation

## 1. 서론

이론은 인간 감각 형성 능력으로 특히 물체의 시각적

인식과 관계되며 단순 선과 곡선들이 아닌 전체적인 모습에 역점을 준다. 지금까지 Gestalt 이론이 단지 서술적이라는 것으로 비판되어왔지만, 패턴들 혹은 객체들의

\*정회원, 호남대학교 컴퓨터공학과

\*\*정회원, 남부대학교 컴퓨터전기정보학과 (교신저자)

\*\*\*정회원, 호남대학교 토목환경공학과

\*\*\*\*정회원, 호남대학교 산업디자인학과

\*\*\*\*\*정회원, 호남대학교 컴퓨터공학과

접수일자 : 2013년 1월 1일, 수정완료 : 2013년 1월 30일

게재확정일자 : 2013년 2월 8일

Received: 2 December 2013 / Revised: 15 January 2012 /

Accepted: 10 February 2012

\*\*Corresponding Author: bsjung@nambu.ac.kr

Dept. of Computer Electric &amp; Information, Nambu University, Korea

지각 연구의 진보에 상당한 공헌을 했으며, 행위, 사고, problem solving 및 정신 병리학에 많은 영향을 미치고 있다. Gestalt 이론에 의하면, 시각적 지각이 시스템 전반에 걸쳐 동시적으로 나타나기 때문에 다중적인 제약들의 동역학적인 완화라 할 수 있는 창발적인 과정을 포함하고 있다는 것이다. 이에 따라 다 수준의 호환적인 피드백 모델이 뚜렷하게 모순으로 드러나고 있는 개념들을 해결하기 위한 여러 가지 모델들이 제안되고 있는데, 그것들은 상이한 수준들이 양방향 피드포워드 및 피드백 경로들로 연결되는 계층적 시각 구조를 나타내고 있다. 여기에서 수준들 간에 피드백 경로에 의해 실행되는 계산적인 변환은 대응되는 피드포워드 처리 스트림에 의해 실행된 변환의 역과 같다. 이러한 대안적인 시각 연산의 패러다임은 일반적으로 많은 시각적 환상 효과들을 설명하며, Gestalt 이론에 의해 폭로된 시각 처리의 발생학적이고 구조적인 측면을 제공하고 있다.

Gestalt 이론에서 강조되고 있는 원리는 창발(emergence), 구체화(reification), 다중 안정성(multistability) 및 불변성(invariance)이다. 본 연구는 이러한 Gestalt 원리 가운데 하나인 구체화를 위한 하나의 지각적인 모델링을 나타내는데 있다. 현재 자연 이미지에서 객체 외형들을 탐지하기 위한 많은 연구와 실험들이 진행되고 있는데, 이러한 연구 실험에서 대표적인 결과는 지역적인 휘도 변화가 객체 윤곽선보다는 무늬 영역에서 보다 강하게 나타나고 있다는 점이다. 따라서 각 화소의 가까운 인접된 부분에서만 볼 수 있는 지역적인 윤곽선 특징들은 전체적으로 그러한 외형 존재에 관한 신뢰성이 있는 정보가 될 수 없기 때문에 전역적인 분석 방법들이 요구되고 있다. 본 연구에서는 가상 연산자의 기능을 보완하여 일종의 적응적인 확대 연산자에 의한 지역적인 윤곽선 탐지 기법을 제안한다. 이러한 접근방식은 윤곽선 맵에서 전후관계의 특성을 갖는 긴 곡선형 구조의 외형을 식별하는데 유용하다. 제안된 기법에 의한 그래프 연결 성분들은 윤곽선 화소들의 그룹화에 해당되며, 좋은 연속성이라는 Gestalt 원리를 만족한다.

본 연구에서 외형 확대 방식은 각 윤곽선 화소에 관해 계산 기하학적인 접근방식으로 Delaunary 삼각화 방식을 적용한다. 윤곽선 그룹화와 관련하여 다중 임계 알고리즘이 도입되고, 각 임계 단계에서 작은 크기의 윤곽선 그룹들은 삭제되며, 자연 3차 스플라인 보간법을 통해 재구축되는 방식으로 전체적인 외형을 결정한다. 또한, 상

이한 임계들의 학습을 통해 입력 인자들의 값에 제안된 외형 결정 알고리즘이 잡음에 강한 견고한 성질을 가질 수 있도록 한다. 구체적으로 각 테두리 화소의 Delaunary 삼각형 구축을 통해 일종의 전후 맥락 관계로 이미지 윤곽을 구조화시킬 수 있는 하나의 가상적 확대 연산을 나타낸다. 즉, 테두리 집단화와 관련하여 먼저 형태학적 연산에 의한 지역적 처리를 통해 각 형태학적인 연산 레벨에서 미세한 테두리 그룹들을 제거하고, Delaunary 삼각형의 무게 중심의 기울기 방향에 따라 좋은 연속성을 줄 수 있는 방식으로 누락된 윤곽선들은 복구하는 방식을 논의한다. 비교 실험에서는 기존 접근방식과의 비교를 통해 제안된 외형 결정 방식이 낮은 대비의 외형을 쉽게 감지하는데 효과적임을 나타낸다.

## II. 외형 탐지의 이론적 배경

When 윤곽선 탐지는 모양 판별과 객체 인식 부문과 같은 컴퓨터 시각 응용에서 중요하다. 먼저, 테두리와 윤곽선을 명확히 구분할 필요가 있다. 테두리는 어떠한 무시할 수 없는 지역적인 휘도 변화를 나타내는 부분이고, 윤곽선은 하나의 객체와 그것이 갖는 배경을 구분하는 경계선이라 할 수 있다. 테두리 검출과 관련하여 많은 상이한 연구들이 진행되어 왔는데, 크게 선형 여과 방법<sup>[1]</sup>, 지역적인 방향 분석<sup>[2]</sup>, 이미지 데이터에 대한 해석학적인 모델 적합<sup>[3]</sup>, 지역적인 에너지 사용 방식<sup>[4]</sup>, 기울기 장에 관한 통계적 접근 방식<sup>[5]</sup>, 광학적 성질에 의한 이방성 확산 방식<sup>[6]</sup>, 경계와 영역들의 보편적 접근<sup>[7]</sup>, 생물학적인 주변 삭제 방식<sup>[8]</sup>으로 구분될 수 있다.

이러한 접근방식들의 주된 문제점은 각 화소를 둘러싼 아주 가까운 이웃만을 분석하여 윤곽선을 식별한다는 점이다. 그렇지만, 인간 시각 계는 윤곽선 통합 과정을 통해 공통 선형의 테두리 체인들을 그룹화 시켜서 객체 외형을 인식한다는 점이다. 외형 혹은 윤곽선 통합을 위한 계산적인 모델들을 포함한 많은 외형 검출 알고리즘들이 현재 까지 연구되어 오고 있다. 현재까지 연구된 결과들을 요약해 보면 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 전체적으로 두드러진 것들을 표현하는 맵을 구축하는 방식, 다른 하나는 Gestalt 법칙을 따르는 테두리 그룹화 접근방식이다.

두드러진 것들을 표현한 이미지 맵은 무작위 패턴들에 의해 둘러싸인 테두리들의 강도를 축소시키고, 공통적인

선형 관계를 가지는 바로 인접된 테두리들의 강도를 반복적으로 증가시키는 방식으로 얻어진다. 가장 널리 알려진 알고리즘으로 완하 라벨 기법을 들 수 있다[9]. 이 기법은 그래프 기반 프레임워크와 텐서 해석적인 방식으로 작동된다. 참고로 텐서 해석적인 접근은 각 테두리 화소와 텐서 장 혹은 벡터를 결합시키는 것이다. 이에 관한 최근 알고리즘은 인간 시각 계층의 착수 단계 부분에서 실행되는 의형 통합 과정을 성공적으로 모델화시키고 있다<sup>[10]</sup>.

정신 물리학 관련 연구에서 연상 필드로 불리는 특수한 확장 필드들은 억제 및 확산을 설명하기 위해 정의되고 있는데<sup>[11]</sup>, 특히, 군등 네트워크 기반의 반복적인 기법은 곡률 및 곡률 변화의 지역적인 정보로부터 하나의 두드러진 것들을 나타내는 맵을 계산하는데 적용될 수 있다<sup>[12]</sup>. Gestalt 이론은 어떤 공통적인 특징들을 공유하는 시각적인 자극들을 그룹화시키는 인간 관측자들의 지능과 밀접한 관련을 가진다. 가장 널리 알려진 그룹화 판정 기준은 근접성(서로 가까운 자극들이 블록화 되는 성질), 유사성(같은 모양, 색상 혹은 크기들을 갖는 자극들이 블록화 되는 성질) 및 공통 운명(같은 방향에서 같은 속도로 이동하는 객체들이 블록화 되는 성질)이다.

기본적인 자극 혹은 객체들이 서로 블록화 될 때마다, 새로운 보다 큰 객체가 형성된다. 이러한 보다 큰 객체는 다른 유사 객체들과 함께 블록화 되고 새로운 의미가 있는 유일한 구조로 식별될 때까지 계층적으로 반복되는 과정을 거치게 된다. 본 연구에서는 인접되고 공통 선형 구조를 갖는 지역적인 테두리 단서들을 블록화 시킬 수 있는 인간 시각 계의 메커니즘을 도입한다. 심리학에서 이러한 메커니즘을 좋은 연속성의 Gestalt 법칙으로 불리고 있다<sup>[13]</sup>.

### III. 적응적 윤곽선 식별

#### 1. 구조화 성분 기반 잉여 연결성분 제거

먼저 임계 선택은 보편적으로 대화식 혹은 특정 임계 탐지 방법으로 진행할 수 있는데, 본 연구에서는 지역적인 이미지 특징들의 함수로서 이미지 전반에 걸쳐서 임계값이 변하는 가변 임계 방식을 적용한다. 이미지를 부분 이미지들로 나누어, 각 부분 이미지에서 하나의 임계를 독립적으로 결정한다. 임계가 어떤 부분 이미지에서 결정될 수 없다면, 인접 이미지에서 결정된 임계값들로부터 보간 값을 취하고, 각 부분 이미지는 이러한 지역적

인 임계값으로부터 처리되는 방식으로 진행한다. 다음으로 좋은 연속성 근사를 위해서는 다른 무엇보다도 주된 윤곽선이 아닌 연결 성분들을 제거할 필요가 있다. 즉, 바이너리 이미지에서 특정한 임계보다 작은 영역들을 제거시키는 작업이다. 윤곽선들의 연결성 문제에 관해 본 연구에서는 보다 높은 임계 수준에서부터 보다 낮은 임계 수준들에 이르는 이미지의 조각들에 관해 연속적으로 연결성을 조사하여 화소 성분들을 구조화시키도록 한다.

구조화되는 성분들은 행렬의 중앙에 원점이 위치되는 바이너리 혹은 정수 행렬로 표현한다. 좋은 연속성의 근사 관점에서 몇 가지 중요한 구조화 성분들을 고려할 수 있다. 첫 번째로 기본적인 구조화 성분은 원점을 끝으로 하고, 길이가 1이고, 각 을 갖는 선분이 사용된다. 두 번째로 다이아몬드 형태의 구조화 성분이 대부분의 이미지에서 나타난다. 즉, 원점을 중심으로 3×3 십자 행렬의 형태이다. 이러한 기본 십자형의 연속적인 반복은 Minkowski의 덧셈으로 가상 확대시킬 수 있다. Gestalt 관점에서 은닉된 이미지 윤곽선의 도출을 위한 구조화 성분으로 특정 구조화 성분에 의한 이미지의 가상 확대를 들 수 있다. 확대 연산은 교차되는 형태에 따라 지역적으로 구조화 성분과 이미지를 비교한다. 이러한 확대 연산은 모든 분류 혹은 형태학적인 연산의 기본적인 것으로 보통 기본 연산자로 불리고 있다.

그림 1과 같이 구조화 성분을 바탕으로 이미지에서 불필요한 연결 성분들을 제거시키기 위한 알고리즘은 다음과 같이 구축할 수 있다.

```

Image_grain_removes (f, a, Structure) {
// f: 이미지, a: 임계, Structure: 구조화 성분
Structure = image_cross; // 디폴트: 십자 형
if (f='binary') {
    fr = image_label(f, Structure); //연결성분 라벨링
    g = image_grain(fr, 'area'); // 연결성분 측정
    y = image_thresh(g, a); // 임계 처리
else {
    y=zeros(size(f)); //f와 같은 크기의 빈 행렬
    // 그레이 스케일 영역 열기, 임계 사용
    for k in range(1, image_max_level(f)+1) {
        fk = image_thresh(f, k);
        fo = image_grain_removes(fk, a, Structure);
        if (fo=0) then break; }
        y = y + double(fo);
    }
}
}
    
```

그림 1. 구조화 성분 기반 잉여 연결성분 제어 알고리즘  
 Fig. 1. The structured component-based surplus connectivity control algorithm

여기서 `image_label()`은 바이너리 이미지의 연결 성분들의 라벨 붙이기를 실행한다. 연결 성분은 주어진 구조화 원소 Structure를 바탕으로 얻어진다. 배경 화소들은 (0의 값을 갖는) 라벨을 갖지 않는다. 출력 이미지에서 최대 라벨은 연결성분 개수이다. `image_grain()`은 `fr`의 라벨을 갖는 이미지의 측정과 관계된다. 측정은 면적, 무게 중심, 둘러싸인 사각형 등이 고려되지만, 본 연구에서는 다음 절에서 논의되는 Delaunay 삼각형을 고려하기 때문에 삼각형의 무게 중심만을 취급하기로 한다. 라벨 1을 갖는 지역적인 영역의 측정은 출력의 첫 번째 행이 된다. `image_thresh()`는 그레이 스케일 이미지 하한 값을 임계로 하는 이미지 생성과 관계되는데, 상한 값을 사용할 수도 있다.

## 2. Delaunary 트리 기반 가상 확대 연산

구조화 성분의 개념을 사용한 지역적인 처리 및 임계 작업을 통해 일종의 잠음이라 할 수 있는 잉여적인 연결 성분들을 제거시킨 이미지로부터 주된 윤곽선의 좋은 연속성 근사를 얻기 위한 방법으로서 Delaunay 삼각화의 개념을 도입할 수 있다. Delaunay 삼각화는 보로노이(Voronoi) 다이어그램과 밀접한 관련을 갖는다. 보로노이 테두리로 알려진 셀 경계들은 가장 근접된 2개 사이트들로부터 동일한 거리에 있는 점들을 나타낸다. 보로노이 정점으로 불리는 여러 경계들을 만나는 점은 그것이 갖는 3개의 최 근접된 사이트들로부터 동일한 거리에 있는 점이다. 따라서 보로노이 다이어그램은 시스템을 구성하고 있는 입자들 간의 공간구조를 정확하고 효율적으로 추론해 낼 수 있는 가장 강력 한 계산도구로 사용될 수 있다.

좋은 연속성의 이미지 외형 탐지 모델을 생성하는 데 있어서 관건은 길쭉한 둔각 삼각형의 생성을 가능한 줄여야 한다는 것이다. 주어진 점에 대해 최소 각을 최대화시키는 삼각화를 생성하는 Delaunay 삼각화는 이러한 조건에 잘 부합된다. Delaunay 삼각화를 이용한 다단계의 외형 탐지 관련 계층 구조는 DAG(Directed acyclic graph)로 표현될 수 있다. 그래프 내의 하나의 노드는 하나의 삼각형에 대응되며, 하나의 삼각형으로부터 인접한 하위 레벨의 다른 삼각형으로 향하는 각은 그들이 2차원 평면상에서 서로 겹침을 의미한다. 이러한 구조의 가장 대표적인 예가 Delaunay 피라미드 구조이다.

Delaunay 피라미드 구조는 하나씩의 점들 삽입하면서

수행되는 점진적인 Delaunay 삼각화 과정으로부터 얻어진다. 이러한 구조의 문제점은 트리 구조가 아니기 때문에 탐색이 복잡하고, 서로 다른 레벨을 부합시키기가 어렵다는 것이다. 삼각형들 간에 형성된 겹치는 관계만으로는 하나의 삼각형을 다른 여러 개의 삼각형으로 대치함으로써 얻어지는 결과의 메시 표면을 빠짐없이 표현하면서 연속적이라는 보장을 할 수 없다. 이와 같은 단점을 보완하기 위하여, 삼각형 노드로 이루어진 인접한 레벨 사이에 다각형 중간 노드를 사용할 수 있다. 다각형 노드로 구성되는 중간 레벨을 뚫으로써 보완한 DAG구조는 여전히 몇 가지 심각한 문제점을 가지고 있다. 가장 심각한 문제는 인접한 낮은 외형 레벨을 생성하기 위해 제거할 수 있는 점들이 매우 제한적이기 때문에, 계층 구조의 레벨 수가 많아진다는 것이다. 인접한 다음 레벨을 생성하기 위해 제거되는 점의 개수가 많을수록, 전체 계층 구조를 생성하는 레벨의 개수는 줄어들게 되고, 그 반대의 경우는 계층 구조의 레벨 수가 많아지면서 깊이가 깊어지게 된다.

이러한 단점을 보완하는 방식으로 Delaunay 트리 구조를 사용할 수 있다. 인접한 다음 레벨을 생성하는 과정에서 제거되는 점들에 대한 제약 조건을 없애고, 이미지의 원래 메시와 이루는 오차가 적은 순서대로 제거해 나가되, 그들 사이에 어떠한 의존 관계도 두지 않음으로써 필요에 따라 충분히 많은 수의 점들을 제거시키는 것이다. Delaunay 트리에서 하나의 노드는 하나의 다각형과 그 다각형 영역의 Delaunay 삼각화를 이루는 삼각형들의 집합으로 이루어진다. 하나 또는 그와 인접한 점들이 제거되어 그 점을 둘러싼 삼각형들의 모임으로 이루어지는 다각형을 다시 삼각화하는 경우에 이들 삼각형을 포함하고 있는 모든 노드들을 자식 노드로 하는 하나의 부모 노드가 생성된다. 이렇게 생성된 계층 구조는 완전한 트리 구조이며, 따라서 빠르고 간결한 트리 탐색이 가능하다. 또한, 각 레벨을 이루는 점의 개수를 조정함으로써 원하는 만큼의 레벨을 생성할 수 있고, 서로 다른 레벨로 표현된 외형의 인접한 영역은 연속적으로 정합된다.

이제 Delaunay 트리를 기반으로 하는 하나의 적응적 가상 확대 연산을 고려하자. 바이너리 이미지가 평면에서 하나의 점집합이고, 가의 보로노이 셀이라 하자. 각 점 와 연관되는 지역적인 구조를 이루는 원소들의 부분 집합 (2차원 실수 공간의 부분 집합에 해당)을 가정하자. 이러한 가정 하에서 바이너리 이미지의 점집합과, 을 입

력으로 하여 각 와 대응점의 보로노이 셀 간에 모든 교집합들의 합을 출력으로 하는 그림 2 와 같은 시스템을 고려할 수 있다.

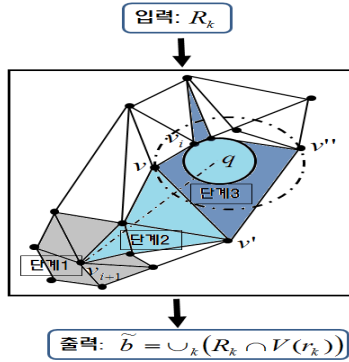


그림 2. Delaunay 트리 기반 연산 시스템  
Fig. 2. Tree-based operations systems Delaunay

집합  $R = \{R_1, \dots, R_N\}$ 의 직교 좌표계 표현은 하나의 구축 함수  $\Delta_R(r, r_i)$ 의 형태로 표현 가능하다. 여기서  $\Delta_R(r, r_i)$ 은  $r \in R_k \Leftrightarrow \Delta_R(r, r_k) < 1$ 의 관계를 가지는 것으로 한다. 입력 점집합  $b$ 의 Delaunay 삼각화를 고려하고,  $q(r) \in b$ 가 점  $r$ 을 포함하는 Delaunay 삼각형의 무게 중심이라 하자. 여기서  $r$ 은 평면 내에 포함된 점이다. 이러한 표기에서 그림 2의  $\tilde{b}$ 은  $\Delta[r, q(r)] < 1$ 을 만족하는 점  $r$ 의 집합이 된다. 이러한 성질은 보로노이 다이어그램에서도 만족된다. 즉,  $\tilde{b} = \{r | \Delta_R[r, q(r)] < 1\}$ 이고, 이러한 성질은 그림 2의 구현을 용이하게 한다. 구체적으로 각 화소  $r$ 에 대해, 그것이 갖는 최 근접 이웃  $q(r) \in b$ 을 계산해서  $\Delta[r, q(r)] < 1$ 이 성립되면  $\tilde{b}$ 에  $r$ 을 추가시키면 된다. 이러한 과정에서 가장 빈번한 연산은 입력 이미지  $b$ 의 첫 번째 최 근접 이웃 변환인  $q(r)$ 을 계산하는 것이다.  $M$ 개의 점들에 관한 Delaunay 삼각형의 계산 복잡도는  $O(M \log M)$ 이다. 삼각형에서  $q(r)$ 의 계산은 입력 이미지의 크기에 비례하는 선형 시간이 소요된다. Delaunay 삼각형의 무게중심에 해당되는 원의 반경  $a_i$ 의 계산은 다음과 같이 진행될 수 있다.  $V(C_i)$ 가  $C_i$ 에 속하는 점  $r_k$ 의 모든 Delaunay 삼각형  $V(r_k)$ 의 합집합으로 정의된  $C_i$ 에 관한 Delaunay 셀이라 하자. 또한  $r$ 이

$C_i$ 에 포함되는 하나의 테두리 점이고,  $V(C_i)$ 의 경계 상에서  $r$ 의 최 근접 이웃을  $q(r)$ 이라 하자.  $r$ 와  $q(r)$  사이에 유클리드 거리를  $\rho(r)$ 라 하고,  $r \in C_i$ 에 관한  $\rho(r)$ 의 조화 평균을  $\rho_k^H$ 라 하면, 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$\rho_k^H = \left[ \frac{1}{N_i} \sum_{r_k \in C_i} \frac{1}{\rho(r_k)} \right]^{-1} \quad (1)$$

식 1의  $N_i$ 은  $C_i$ 에 포함된 테두리 점들의 개수이다. 이러한 표현에서 반경의 길이는  $\rho_k^H$ 의 단조 증가함수가 된다.  $\rho(r)$ 의 보다 작은 값은 조화 평균에 보다 많은 영향을 미치기 때문에 구조화 되는 성분들은 Delaunay 삼각형  $V(C_i)$ 보다 항상 좁아지는 형태가 된다. 이러한 방식에서 테두리 방향과 직각이 되는 확대는 공통 선형이 아닌 성분들이 집단화되는 것을 방지한다. 이러한  $\rho_k^H$ 의 함수로 적절한 형태로  $\log(\rho_k^H + 1)$  혹은 적절한 양수  $c$ 와  $q \in (0, 1)$ 에 관해  $(\rho_k^H + c)^q - c$ 을 사용할 수 있다. 본 연구의 Delaunay 삼각화에 의한 무게중심 근사 방식은 GVF (gradient vector flow) 방식의 개선된 형태라 할 수 있다. GVF 방식은 윤곽선을 도출하는데 있어서 윤곽선에 미칠 수 있는 외적인 영향들을 고려하면서 확산 방정식의 인자를 조정한다. GVF 방식은 객체 경계들을 향해 잡아 늘어뜨리고 구부리는 일종의 저항을 주는 물리적인 객체로서 모델화된다. 특히 확산 방정식에 따라 연속적인 근사를 하기 때문에 대상으로부터 아주 멀리까지 확대시킬 수 있도록 한다.

#### IV. 결과

흔히 ‘펜타곤’으로 불리는 미 국방부는 알고 보면 할리우드의 큰 손으로 매년 200편 이상의 할리우드 영화들이 펜타곤에 지원을 요청하고 그중 30% 정도가 지원 허가를 받는다. 펜타곤 이미지에 관해 보다 좋은 연속성 근사의 외곽선 추출은 비교적 어려운 문제에 속하기 때문에 그림 3 과 같은 펜타곤 이미지에 관해 제안 방식의 적용 결과를 나타내기로 한다. 본 연구에서 제안된 지역적인

전처리를 거쳐서 미세한 객체들을 제거시킨 다음에 펜타곤의 윤곽선을 보다 두드러지게 한 다음에 선형 스피라인의 최적 L2 근사 방식과 보로노이 다이어그램에 의한 윤곽선 추출 결과를 비교해 보면, 선형 스피라인의 최적 L2 근사 방식이 보다 좋게 나타난다.

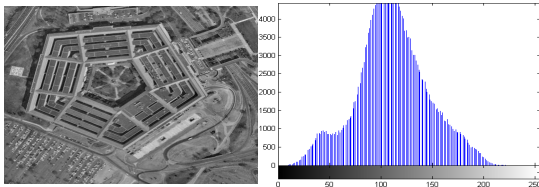


그림 3. 펜타곤 이미지와 히스토그램 출력  
Fig. 3. The Pentagon images and histogram output

그림 4 은 최적 L2 근사 방식에 의한 것으로 기존 방식에 의한 실험 결과는 보다 좋은 연속성의 근사를 나타내지 못한다.

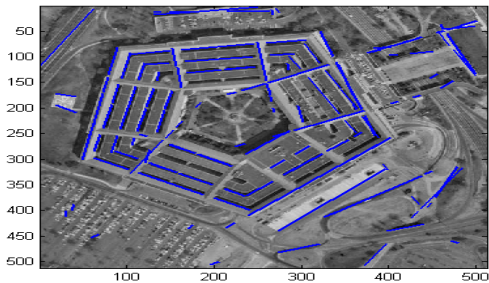


그림 4. 최적 L2 근사 방식의 윤곽선 추출  
Fig. 4. Extracting the contours of optimal L2 approximation

그림 5 은 Delaunay 삼각화 방식에 의한 무게 중심점들과 그러한 점들이 공통적으로 갖는 기울기 방향 선들을 출력한 것이다. 기울기 방향 선들이 보다 적게 나타난 이유는 대표적인 윤곽선이라 할 수 있는 펜타곤이 5각형이기 때문에 5각형의 방향 선들을 중심으로 중복되어 나타나기 때문이다. 그림 6 는 제안된 Delaunay 삼각화와 확대 연산에 의한 좋은 연속성의 윤곽선 추출 결과로 기존 방식보다 더 낮은 결과를 보이지만, 펜타곤 중앙 부분의 윤곽선들은 잡음이 많아 제대로 포착되지 못하였다.

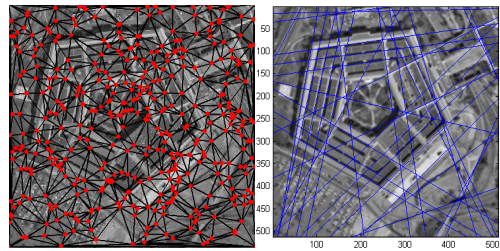


그림 5. Delaunay 삼각화 및 기울기 방향선 출력  
Fig. 5. Delaunay samgaghwa and slope direction line output

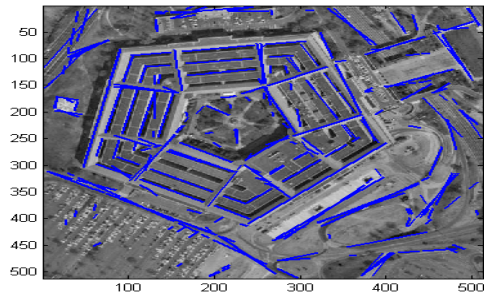


그림 6. 제안 방식에 의한 윤곽선 추출 결과  
Fig. 6. As a result of the way the proposed outline extraction

그림 7의 상단 ①은 기본 소스 이미지로, ②은 기존 GVF 방식에 의한 외형 근사, ③은 Papari와 Petkov에 의한 보로노이 다이어그램을 사용한 근사, 마지막 ④은 제안된 방식에 따른 윤곽선 추출을 통해 재현한 이미지 출력 결과이다. 세 가지 방식에 의한 근사는 펜타곤 이미지에 관해 자연스러운 좋은 연속성의 근사를 모두 이루고 있지만, 소요 시간의 측면에서 GVF에 의한 근사 가장 빠른 것으로 나타났다.

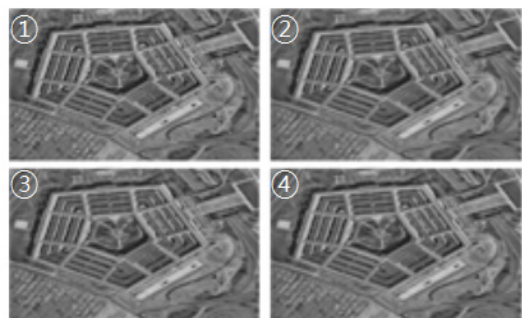


그림 7. 근사 행렬을 통한 이미지 출력  
Fig. 7. Output the image through a matrix approximation

본 연구의 2-D GVF 계산은 MATLAB 코드를 사용하여 구현되었다. 하나의 256×256 픽셀 이미지에 관해 유클리드 거리 맵을 사용하는 경우에 GVF를 사용하는 경우에 보통 420초가 소요된다. 그렇지만, 주된 윤곽선들이 정규 다각형들을 유지하고 있는 경우에 소요 시간은 대략 1/3로 줄어든다. 펜타곤 이미지에서 주된 윤곽선은 자연적인 잡음에 의한 것보다는 정규 다각형의 성질을 유지하고 있기 때문에 그래프 연결 성분들의 탐색이 GVF 방식에서 대략 155초로 줄어들었다.

## V. 결론

본 연구는 이미지 처리와 관련하여 좋은 연속성의 근사를 위한 하나의 지각적인 모델링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 가상 연산자 기능을 보완하여 일종의 적응적인 확대 연산자에 의한 지역적 윤곽선들을 검출하는 것이었다. 이러한 접근방식은 윤곽선 맵에서 전후관계 특성을 갖는 곡선 구조의 외형을 식별하는데 유용하게 사용될 수 있다. 제안 방식에 의해 출력된 그래프 연결 성분들은 윤곽선 화소들의 그룹화로서 좋은 연속성을 가져올 수 있다. 특히 외형 확대 방식에 있어서 계산 기하학적인 접근방식을 적용하였다. 윤곽선 그룹화와 관련하여 다중 임계 알고리즘이 사용되었으며, 각 임계 단계에서 작은 크기의 윤곽선 그룹은 삭제되고, 스플라인 보간법을 통해 완만하게 재구축되는 방식으로 전체적인 외형을 결정하였다. 또한, 상이한 임계들의 학습을 통해 입력 인자들의 값에 제안된 외형 결정 알고리즘이 견고한 성질을 가질 수 있다. 제안된 방식은 기존의 GVF 방식에 의한 외형 근사, Papari와 Petkov에 의한 보르노이 다이어그램을 사용한 근사에 의한 외형 식별과의 비교실험을 행하였다. GVF에 의한 근사는 윤곽선 방향 벡터와 평활 방법에 지나치게 매끄러움을 강조하기 때문에 자연스러운 좋은 연속성의 근사가 이루어지지 않는다. 반면에 부르노이 다이어그램 및 본 연구의 Delaunay 삼각화 근사 방법은 보다 자연적인 좋은 연속성의 윤곽선을 도출하는 것으로 나타났다. 특히, 제안된 접근방식은 낮은 대비의 외형을 쉽게 감지하는데 효과적인 것으로 나타났다.

## 참고 문헌

- [1] J. F. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 6791-698, Jun. 1986.
- [2] P. H. Gregson, "Using angular dispersion of gradient direction for detecting edge ribbons," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 15, no. 7, pp. 682 - 696, Jul. 1993.
- [3] G. Chen and Y. H. H. Yang, "Edge detection by regularized cubic B-spline fitting," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. 25, no. 4, pp.635-642, Apr. 1995.
- [4] P.Kovesi, "Image features from phase congruency," *Visere: J. Comput. Vis. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 2 - 27, 1999.
- [5] D. R. Martin, C. C. Fowlkes, and J. Malik, "Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 26, no. 1, pp. 530 - 549, Jan. 2004.
- [6] Y. Chen, C. A. Z. Barcelos, and B. A. Mair, "Smoothing and edge detection by time-varying coupled nonlinear diffusion equations," *Comput. Vis. Image Understand.*, vol. 82, no. 2, pp. 85 - 100, 2001.
- [7] W. Y. Ma and B. S. Manjunath, "Edgeflow: A technique for boundary detection and image segmentation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, no. 8, pp. 1375 - 1388, Aug. 2000.
- [8] C. Grigorescu, N. Petkov, and M. A. Westenberg, "Contour detection based on nonclassical receptive field inhibition," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 12, no. 7, pp. 729 - 739, Jul. 2003.
- [9] O. Ben-Shahar and S. W. Zucker, "The perceptual organization of texture flow: A contextual inference approach," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 25, no. 4, pp. 401 - 417, Apr. 2003.
- [10] M. Ursino and G. E. L. Cara, "A model of contextual interactions and contour detection in primary visual cortex," *Neural Netw.*, vol. 17, no. 5



- 6, pp. 719 - 735, 2004.

[11] D. J. Field, A. Hayes, and R. F. Hess, "RF Contour integration by the human visual system: Evidence for a local association field," *Vis. Res.*, vol. 33, no. 2, pp. 173 - 193, 1993.

[12] S. C. Yen and L. H. Finkel, "Extraction of perceptually salient contours by striate cortical networks," *Vis. Res.*, vol. 38, no. 5, pp. 719 - 741, 1998.

[13] G. Papari and N. Petkov. "Adaptive Pseudo Dilation for Gestalt Edge Grouping and Contour Detection," *IEEE Transactions on image processing*, vol. 17, No. 10, October 2008.

[14] S. H. Lee, J. H. Lim, K. L. Moon, "Approximation of green warranty function by radon basis function network," *The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication* v.12, no.3, June 2012.

저자 소개

이 상 현(정회원)



- 2002년 : 호남대 컴퓨터공학과 졸업
- 2004년 : 호남대 컴퓨터공학과 석사
- 2009년 : 전남대학교 전산학과 박사
- 1990년 ~ 2008년 : (주)현대자동차 근무
- 2012년 : 한국에너지기술연구원 선임 연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 호남대 컴퓨터공

학과 조교수

<주관심분야 : 인공지능, 지능형 소프트웨어공학>

정 병 수(정회원)



- 1986년 : 전남대학교 계산통계학과 졸업
- 1988년 : 전남대학교 계산통계학과 석사
- 2005년 : 전남대학교 전산학과 박사
- 1991년 ~ 2000년 : 전남과학대학 전 산정보처리학과 조교수
- 2000년 ~ 현재 : 남부대학교 컴퓨터 전기정보학과 교수

<주관심분야 : 소프트웨어 엔지니어링, 디지털 이미지 처리, 임베디드>

정 제 평(정회원)



- 1993년 : 전남대 토목공학과 졸업
- 1995년 : 전남대 토목공학과 석사
- 2004년 : 전남대 토목공학과 박사
- 2009년 ~ 2012년 8월 : 용마ENG 기술자문단장
- 2012년 9월 ~ 현재 : 호남대 토목환경 공학과 조교수

<주관심분야 : 콘크리트 전산구조해석 및 프로그램>

문 경 일(정회원)



- 1991년 : 서울대학교 자연대학원 계산 통계학과 이학/석/박사
- 1987년 ~ 현재 : 호남대학교 컴퓨터 공학과 교수

<주관심분야 : 지능시스템, 복잡계 네트워크>

김 정 록(정회원)



- 1985년 : 조선대 경영학과 졸업
- 1996년 : 조선대 경영학과 석사
- 1998년 ~ 2012년 : 전남대 평교원 유통관리 전담교수
- 2012년 ~ 현재 : 호남대학교 산업디자인학과 조교수

<주관심분야 : 마케팅 차별적우위전략, 감성마케팅, 관계마케팅 & 고객관리>