

논문 2004-41SP-2-2

겹쳐진 3차원 물체의 2차원 영상에서 가리는 물체의 구분기법

(Separation of the Occluding Object from the Stack of 3D Objects Using a 2D Image)

송 필 재*, 홍 민 철**, 한 현 수**

(Piljae Song, Mincheol HONG, and Hensoo HAHN)

요 약

겹쳐진 물체의 분리에 대한 기존의 연구들은 주로 모델기반 정합방법을 사용하고 있어서 적용가능물체가 2차원물체에 한정되었고, 모델물체의 수가 증가하면 정합과정에 소요되는 시간이 지수적으로 증가하는 문제를 갖는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 곡면을 포함하는 3차원물체를 대상으로 물체에 대한 정보가 없는 상황에서도 가리는 물체를 찾아내는 알고리즘을 제시한다. 이 방법을 이용함으로써 겹쳐진 물체의 인식이 독립된 하나의 물체를 인식하는 문제로 단순화될 수 있다. 제안하는 알고리즘은 물체를 면의 결합으로 해석하고 면들은 경계선을 속성으로 표현된다. 3차원 물체의 겹침은 2차원 영상에서 면의 겹침으로 보여 지고 면의 겹침은 경계선의 교차로 나타나는 특성을 이용하여 겹침의 형태를 경계선의 형태로 일반화하여 분류하는 기법을 사용하였다. 면사이의 겹침 관계를 면특징관계도를 이용하여 표현하기 위해 관계계수를 정의하였고 관계계수의 값은 겹침의 형태를 보여주도록 개념화하였다. 제안된 알고리즘의 성능은 산업현장에서 사용되는 표준 부품을 임의로 겹치게 하여 영상을 획득한 후 가리는 물체를 구분하는 실험을 통해 입증하였다.

Abstract

Conventional algorithms of separating overlapped objects are mostly based on template matching methods and thus their application domain is restricted to 2D objects and the processing time increases when the number of templates (object models) does. To solve these problems, this paper proposes a new approach of separating the occluding object from the stack of 3D objects using the relationship between surfaces without any information on the objects. The proposed algorithm considers an object as a combination of surfaces which are consisted with a set of boundary edges. Overlap of 3D objects appears as overlap of surfaces and thus as crossings of edges in 2D image. Based on this observation, the types of edge crossings are classified from which the types of overlap of 3D objects can be identified. The relationships between surfaces are represented by an attributed graph where the types of overlaps are represented by relation values. Using the relation values, the surfaces pertained to the same object are discerned and the overlapping object on the top of the stack can be separated. The performance of the proposed algorithm has been proved by the experiments using the overlapped images of 3D objects selected among the standard industrial parts.

Keywords : 3D Object Recognition, Feature Relation Graph, Overlapped Objects, Separation of Objects, Object Representation Scheme

I. 서 론

카메라를 이용한 작업환경에 대한 정보의 획득은 컴퓨터의 성능향상에 따라 실시간 처리가 가능해지면서 그 응용범위를 산업의 자동화에서 군사적, 우주탐사, 교통관제 등 공학의 전 분야로 넓혀가고 있다. 단순한 독립된 2차원 물체의 인식에서 다수의 물체를 구분할 수 있게되고 3차원물체를 인식하는 다양한 방법이 개발되면서 이제는 겹쳐진 물체의 인식에 관한 연구가 자동화 공정에서 다수의 물체를 분류하거나^[1] 물체의 이동경로 추정^[2], 주행하는 차량의 인식^[3] 등의 목적으로 활발히

* 정희원, 동서울대학 컴퓨터시스템과
(Dept. of computer system, Dong Seoul College)

** 정희원, 송실대학교 정보통신전자공학부
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 본 연구는 송실대학교 교내연구비지원으로 연구되었음.
접수일자: 2003년8월27일, 수정완료: 2004년3월1일

진행되고 있다. 겹쳐진 물체의 인식은 주로 가장 위에 놓이는 물체, 즉 다른 물체를 가리는 물체의 인식에 초점이 맞추어져 있으며 이 문제는 가장 위에 놓인 물체를 분리하여 인식하는 문제와 동일하다.

겹쳐진 물체의 인식에 관한 연구는 하나의 카메라를 이용하여 획득한 영상에서 물체정보를 추출하는 2차원 영상을 이용하는 방법^{4, 5, 6}과 카메라와 함께 다른 보조기구(또 다른 카메라나 조명)를 사용하여 획득한 거리정보 영상에서 물체정보를 추출하는 3차원 영상을 이용하는 방법³으로 구분할 수 있다. 2차원 영상을 이용하는 방법은 카메라의 설치가 간단하여 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있지만 3차원 물체의 경우 2차원으로 깊이정보가 손실되는 문제로 인해 정보처리가 쉽지 않다는 단점이 있다. 이와 반대로 3차원 영상을 이용하는 방법은 깊이정보를 포함하므로 3차원 물체의 인식에 유리하다는 장점이 있지만 다른 보조기구와 카메라의 캘리브레이션이 필요하다는 단점으로 인해 사용 환경이 제한적일 수밖에 없다. 본 논문에서는 사용범위가 넓은 2차원 영상을 이용하는 경우를 고려하기로 한다.

물체의 영상을 얻기 위해 어느 방법을 이용하든지 간에 겹쳐진 3차원 물체의 영상에서 가리는 물체의 분리 혹은 인식에 관한 연구는 기본적으로 모델(혹은 템플릿) 정합방법을 이용하여 이루어지고 있다. 모델정합방법은 3차원 모델물체에 대한 정보를 영상에서 추출할 수 있는 특징들로 표현하여 데이터베이스를 만들고 입력영상에 포함된 물체들의 특징들을 추출하여 데이터베이스와 비교하는 방법을 말한다. 달리 표현하면 겹쳐진 물체의 영상이 주어지면 모델물체를 하나씩 영상에 비교해보고 같은 특징을 가장 많이 갖는 영역의 물체를 모델물체로 판단하는 방식이라 할 수 있다. 이러한 접근방법을 Brooks¹⁷가 계층그래프 표현방법의 제안을 통해 체계적으로 정리하여 놓았다. Brooks가 제안한 ACRONYM이라는 물체인식 시스템은 물체를 일반화된 실린더(GC: generalized cylinder)들의 결합으로 분석하고 결합의 방법으로 계층그래프(tree)를 이용하였다. 계층그래프에서 최하위단의 노드는 GC 템플릿이 되고 아크는 GC들간의 관계를 표현한다. 다시 모델의 외형을 2차원 영상에서 관측될 수 있는 리본과 타원의 형태로 표현하여 예측그래프(prediction graph)를 구성한다. 입력영상으로부터 리본과 타원을 추출하여 입력영상에 대한 관측그래프(observation graph)를 형성한다. 인식과정은 두 단계로 수행되는데, 처음에는 예측리본과 관측리본을 정합 시키고 다음에는 부분적인 정합을 수행한다. 이 후로 많은 변화가 시도되었다. Li와 Lee¹⁸는 물

체의 표현방법으로 상관그래프를 사용하였으며 정합의 효율을 높이기 위해 상관그래프를 여러 개로 분할하고 분할된 상관그래프를 모델물체의 상관그래프와 Hoffield 신경망을 이용하여 정합을 시키는 방법을 사용하였다. Cucchiara¹⁹ 등은 물체의 표현방법으로 역시 정합과정이 용이한 그래프 방법을 사용하였다. 노드(Node)는 면을 아크(Arc)는 면들 사이의 관계로 구성하는 VC-graph(Visual Constraint Graph)를 이용하여 물체를 표현하였다. VC-graph는 3차원 물체의 회전을 고려하여 특정한 방향에서 바라보는 경우 보여지는 물체의 형태를 구분할 수 있도록 고안되어 있다. 그 외에도 가려진 물체를 재구성하기 위해 Castellani¹⁰ 등은 모델 베이스 기반으로 물체를 인식하여 가리는 물체를 제거한다. 가려진 물체는 경계가 선명한 부분을 찾아서 연속성과 구조적 탐색을 통해 재구성된다. Catellani의 경우는 평면으로 이루어진 물체에 한정된 반면에 Benlamri¹¹는 가려진 곡면 물체를 새로운 모델 베이스 접근 방법으로 인식하고 있다. 물체의 이미지는 선, 실린더, 구로 기하학적으로 표현되고 이러한 성분이 새로운 모델의 요소로 사용된다. 표면은 경계선으로 표현된 후 에지 연결 그래프로 다시 나타내지며, 면들간의 관계를 설명하기 위해 에지 교점을 이용하였다.

지금까지 시도되어온 이와 같은 접근방법들은 근본적으로 해결하기 어려운 다음과 같은 문제를 안고 있다. 첫 번째는 정합을 위해 소요되는 시간문제이다. 모델물체를 하나씩 선택하여 입력영상에서 이와 유사한 형태적 특성을 갖는 영역을 다 찾아보아야 하므로 입력영상에 포함된 물체의 수가 많아지거나 겹쳐진 정도가 복잡할수록 비교회수가 지수적으로 증가하게 되게 된다. 두 번째는 물체가 겹쳐지는 경우 물체의 중요한 특징들이 추출되지 않는다는 점이다. 물체를 표현하는 특징들이 얻어지지 않으면 정합의 정확성은 보장할 수 없다. 이와 같은 이유로 겹치는 물체에 관한 연구들이 인식대상으로 대부분 2차원형태의 물체들을 다루고 있거나¹² 시점에 따라 2차원투영도가 쉽게 얻어지는 데이터베이스의 구성방법을 사용함으로써 각 물체들을 하나의 면으로 표현되는 형태로 단순화하는 방법⁴⁻⁶의 개발에 초점이 맞추어져 왔다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하는 방법으로 송필재 등¹³이 제안한 '겹치는 물체의 분리 후 정합'이라는 접근방법을 발전시켜 다면체로 제한했던 응용범위를 오목면을 포함하는 자연2차물체(NQO: natural quadric object)에까지 확장하는 것을 목표로 한다. NQO는 물체의 구성요소인 표면과 모서리가 2차방정식으로 표현 가

능한 물체를 말하며, 산업용 부품이나 일반적으로 규격화된 물체를 가리킨다. 겹치는 물체의 분리 후 정합방법은 물체가 겹쳐지는 경우 발생하는 면들 사이의 특징을 이용하여 어느 면이 가리는 물체에 속한 것인지를 판단함으로써 가장 위에서 가리는 물체를 분리한 후 분리된 물체에 대해 정합을 시도하는 방법이다. 이 방법은 사람의 경우 겹쳐진 물체가 주어지면 물체의 색과 윤곽, 형태에 대한 정보를 이용하여 '하나의 완성된 형태'를 이루고 있는 가리는 물체를 구분하여 인식하고 가려진 물체의 부분적인 정보와 가리는 물체의 형태를 이용하여 가려진 물체를 추론하는 과정을 컴퓨터비전에 적용하려는 시도이다. 따라서 본 논문에서는 입력영상이 주어지면 모델물체 데이터베이스의 도움 없이 영상 내에서 물체의 겹쳐짐이 발생했는지를 판단하고, 겹쳐진 물체영상인 경우 가리는 물체의 영역을 분리해내는 알고리즘을 제안한다. 가리는 물체의 분리에 소요되는 시간이 겹쳐진 상태에서 정합에 소요되는 시간에 비해 현저히 적어서 제안하는 방법이 매우 효과적임을 실험을 통해 입증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 입력영상에서 발생할 수 있는 두 면 사이에서 관계를 관계계수를 이용하여 분류하였고 이를 기반으로 세 면 사이의 관계를 설명하였다. III장에서는 면사이의 관계를 물체전체로 확장하여 면특정관계도(attributed graph)로 표현한 후 관계계수를 이용하여 가리는 물체에 속한 영역을 구분하는 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 산업용부품 목록에 포함된 다양한 3차원물체를 임의로 겹쳐놓은 영상을 입력받아 제안된 알고리즘을 적용하여 성능을 평가한 실험 결과를 보여준다.

II. 겹쳐진 물체의 입력영상에서 면들 사이의 관계

본 논문에서는 2차방정식으로 표현되는 평면, 구면,

원통면, 원추면 등을 포함하는 자연2차물체(NQO)를 적용대상으로 고려한다. 이들은 2차원영상에서 그림 1에서와 같이 직선과 곡선을 경계선으로 하는 평면의 집합으로 구분된다. 2개의 NQO가 겹쳐진 경우, 하나의 에지가 두개의 면에 의해 공유되거나, 대부분의 경우 한 면의 에지가 다른 면의 에지와 교차되어 물체에는 존재하지 않는 새로운 정점(분리점)이 발생하는 것을 그림 1에서 알 수 있다.

2.1 겹쳐진 물체의 2차원 영상에서 분리점의 특성

NQO를 구성하는 면들은 물체의 형태에 따라 볼록 혹은 오목으로 구분된다. 이들 물체들이 서로 겹쳐지는 경우 발생하는 분리점의 수와 특성으로 겹쳐짐의 종류를 구분할 수 있다.

1) 볼록면과 볼록면의 겹침

2차방정식으로 표현되는 에지를 갖는 면들이 겹쳐지는 경우 교점(분리점)은 2개가 존재한다. 그림 2에서는 3개의 볼록면 A, B, C가 겹쳐있는 형태를 보인다. A와 B면의 경우처럼 하나의 면이 다른 면을 부분적으로 가리는 경우 가리는 B면의 에지에 의해 가려지는 A면의 에지는 사라지면서 분리점(a와 b)을 중심으로 2개의 T자형 에지들이 만들어진다. A와 C면처럼 한 면(C면)이 다른 면(A면) 위에 놓여서 가려진 면이 2개의 면(A와 D면)으로 분리하는 경우, 가리는 C면의 경계선은 A면과 D면에 각각 2개씩 분리점(c와 d, e와 f)을 만들어냄을 알 수 있다. 결과적으로 볼록면들이 부분적으로 겹쳐지면 2개의 분리점이 만들어지고 하나의 면에 의해 다른 이 분리되는 경우는 분리되는 면의 수의 2배만큼 분리점이 발생함을 알 수 있다. 분리점이 발생하는 부분에서 에지들은 T자 형태를 갖게 되므로 물체의 겹침을 확인하기 위해서는 주어진 영상의 외곽선을 따라 T자형 에지가 있는지를 확인하면 된다.

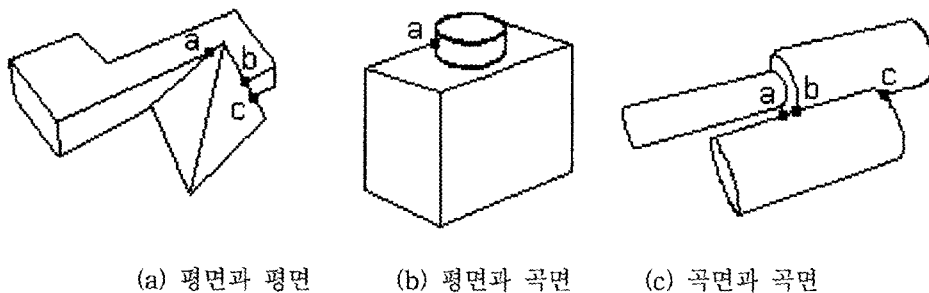


그림 1. 물체의 겹침에 의해 발생하는 분리점(영어 소문자 표시)
 Fig. 1. Separation points occurred by overlapping of two objects: (a) polygon and polygon (b) polygon and curved surfaces (c) curved and curved surfaces

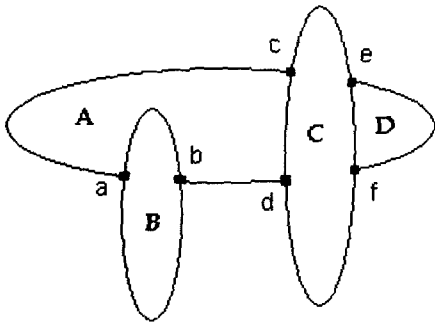


그림 2. 볼록 면들의 겹쳐짐
Fig. 2. Overlapping of convex surfaces

2) 오목면의 겹침

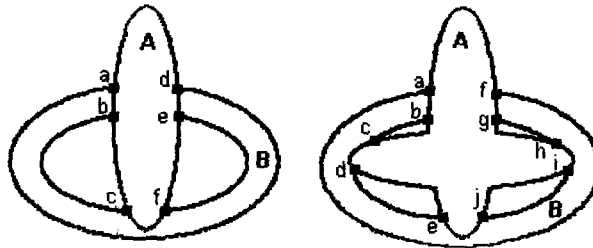
오목면이 겹치는 경우는 겹쳐지는 면이 볼록면이든 오목면이든 에지의 수에 비례한다. 기본적으로 오목면이든 볼록면이든 가려짐이 발생하기 위해서는 한 면의 에지가 다른 면의 에지에 의해 끊겨지면서 분리점을 생성되고 반드시 최소한 2개의 분리점이 존재해야한다. 다만 오목면의 경우는, 여러 개의 볼록면을 겹쳐놓은

것으로 해석할 수 있으므로, 최대 오목한 부분의 수의 배수에 비례하는 많은 분리점을 가질 수 있다는 점이다. 오목면의 경우도 겹쳐질 경우에는 역시 분리점을 중심으로 T자형 에지가 발생하기 때문에 겹쳐짐의 확인을 위해서는 T자형 에지를 찾는 일이 선행되어야한다. 그림 3은 오목면이 볼록면에 의해 가려진 경우와 오목면을 오목면이 가리는 경우 분리점의 수가 2의 배수로 나타남을 보여주고 있다.

2.2 두면 사이의 관계 및 관계계수

1) 관계의 구분

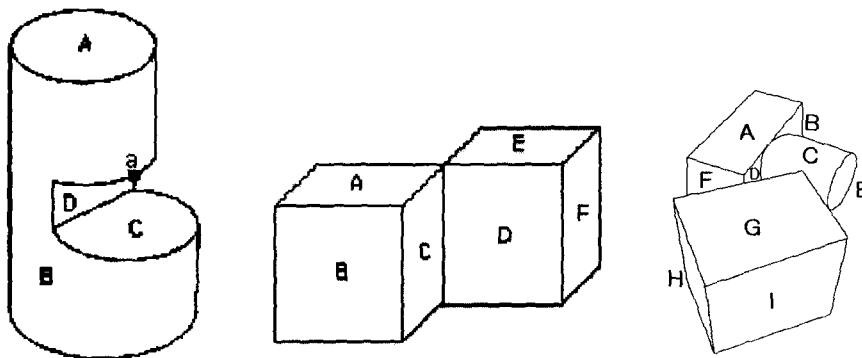
입력영상에 포함되는 임의의 두 면사이의 관계는 분리, 인접, 그리고 겹쳐짐으로 구분할 수 있다. 분리는 두 면이 공유하고 있는 에지가 하나도 없는 경우이고 인접은 두 면이 서로 하나의 모서리를 공유하고 있는 경우이다. 겹쳐짐은 한 면의 모서리가 다른 면의 모서리에 의해 나뉘는 경우로 나뉘는 에지를 가진 면이 나누는 에지를 가진 면을 가리게 되어 가림과 가려짐으로 구분



(a) 오목면을 볼록면이 가림 (b) 오목면을 오목면이 가림
(분리점의 수: $2 \times 3 = 6$) (분리점의 수: $2 \times 5 = 10$)

그림 3. 오목면의 겹쳐짐

Fig. 3. Overlapping of concave surfaces: (a) convex surface occluding concave surface (b) concave surface occluding concave surface.



(a) 단일물체 (b) 인접한 물체 (c) 겹쳐진 물체

그림 4. 두 면 사이의 관계

Fig. 4. Relationship between two surfaces: (a) single object, (b) adjacent objects, (c) overlapped objects

된다. 그림 4(a)는 독립된 단일물체에서 면들간의 관계를 보여준다. A와 C, A와 D는 서로 공유하는 에지가 없으므로 분리의 관계이고, A와 B, B와 D, B와 C는 하나의 에지를 공유하는 인접의 관계, B와 D는 D의 에지가 B의 에지를 둘로 나누는 분리점(a)을 생성하므로 겹쳐짐의 관계이며, B는 가림, D는 가려짐의 관계를 갖게 된다. 그림 4(b)에서는 C와 D가 하나의 에지를 공유하는 인접의 관계이고 각각의 면을 포함하는 물체 ABC와 DEF도 인접의 관계임을 보여준다. 그림 4(c)의 경우는 ABCDEF로 구성되는 물체와 GHI로 구성되는 다면체가 겹쳐있는 상황에서 면들 사이의 관계를 보여준다. GHI물체의 G면이 다른 물체의 F, D, C면과 겹쳐져 있으며 E면과 인접함을 보여준다. E면은 원평면으로 에지가 원이다. G면과 겹쳐지면서 G면의 에지 상에 두개의 분리점을 만들어내지만 E면에서 보면 두 분리점 사이에 존재하는 하나의 에지를 G면과 공유한다. 따라서 G면에서는 E면을 가리는 것으로, E면에서는 G면과 인접한 것으로 각각 해석한다.

앞에서 언급한 바와 같이 겹쳐짐이 발생하면 가려지는 면의 에지는 가리는 면의 에지를 분할하며 T자형 에지를 만드는 특징을 갖는다. 즉 영상에서 T자형 에지는 면이 겹쳐있는 부분일 가능성이 존재함을 알 수 있다.

위와 같이 정의할 때 극히 예외적인 경우가 존재한다. 직선과 직선이 교차하면 정점인지 분리점인지를 쉽게 구분할 수 있지만, 곡선에지를 포함하는 면의 경우 에지의 시작점과 끝점이 임의로 정의되므로 이에 접하는 직선이 만드는 교점이 정점인지 분리점인지 판단하기 어렵다. 그러므로 곡선에지와 교차하는 점이 정점인지 분리점인지를 판단하기 위해서는 다음과 같은 전처리 과정이 필요하다.

1. 곡선과 직선이 교점을 가지고 그 교점이 직선의

중점인 경우, 그림 4(a)의 a점과 같이 그 직선의 연장선과 곡선의 연장선이 다시 교점을 가지면 분리점으로 판단하고, 그림 4(a)의 b점과 같이 그렇지 않은 경우는 정점으로 판단한다.

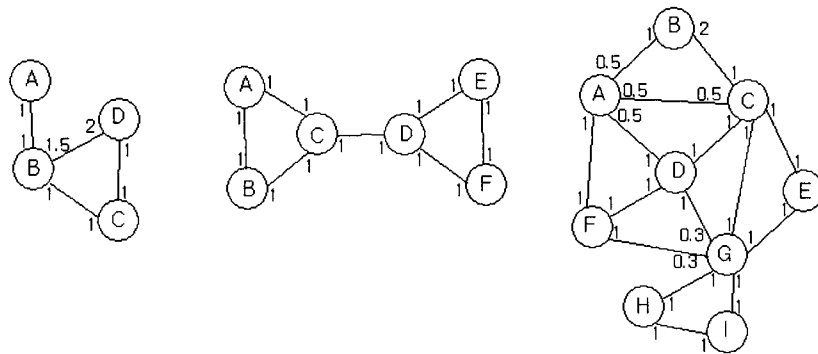
2. 곡선과 직선이 교점을 가지고 그 교점이 직선의 중점이 아니고 계속 이어진 경우, 그림 4(c)의 a점과 같이 교점의 수가 하나일 때, 즉 곡선이 직선에 접하는 경우, 분리점으로 판단한다.

2) 관계의 표현

이와 같이 구분되는 면들의 관계는 면특징관계도와 관계계수를 이용하여 표현된다. 면특징관계도에서 각 면은 노드(node)로 표현되며 두 면사이의 관계가 인접 혹은 겹쳐짐인 경우 아크(arc)에 의해 연결되고 두 면사이의 관계는 아크의 양끝에 주어지는 관계계수에 의해 표현된다. 관계계수는 두 면의 경계선 사이의 관계를 수치로 표현한 것으로 식 (1)과 같이 정의된다. 식 (1)에서 n은 두 면이 공유하거나 교차되는 에지의 수를 나타내고 mi는 i번째 에지로 인해 발생하는 분리점의 수를 나타낸다. 따라서 관계계수는 한 면이 다른 면과 공유하는 에지의 수와 함께 한 면의 에지가 다른 면의 에지에 의해 나누어지는 분리점의 수를 의미한다.

$$a = \sum_{i=1}^n 1/(1 + m_i) \tag{1}$$

그림 5는 그림 4의 물체들에 대해 이와 같이 구성된 면특징관계도를 보여준다. 예를 들어 그림 4(a)에서는 4개의 면이 존재하므로 4개의 노드가 생성된다. A면과 B면은 하나의 곡선에지를 공유하므로 두 면은 인접의 관계에 있어서 아크로 연결하며, 에지의 양끝은 각각 1의 관계계수가 무조건으로 주어진다. B와 C면의 관계



(a) 그림 4(a)의 경우 (b) 그림 4(b)의 경우 (c) 그림 4(c)의 경우

그림 5. 그림 4에 주어진 물체에 대한 면특징관계도
 Fig. 5. Surface Feature Relation Graphs of (a) object in Fig. 4(a), (b) object in Fig. 4(b), (c) object in Fig. 4(c)

도 역시 인접의 관계로 동일하게 표현된다. 그러나 B와 D면은 한 개의 에지를 공유하며 D면의 에지가 B면의 에지와 교차하며 분리점을 만들어낸다. 따라서 B와 D면은 아크로 연결되며 B쪽에서는 $a=(1+1/2)=1.5$, D쪽에는 $a=1+1=2$ 의 관계계수가 할당되게 된다. 그림 5(b)와 (c)는 각각 그림 4(b)와 (c)에 주어진 물체의 면특징관계도이다.

2.3 관계계수를 이용한 면관계의 분류

면들 사이의 관계계수가 구해지면 앞 절에서 정의한 면 사이의 관계를 구할 수 있다. 두 개의 노드 I와 J를 연결하는 아크의 양끝에 부과된 관계계수를 각각 a_i 와 a_j 라고 하면 두 면의 관계값은 $a_{ij} = |a_i - a_j|$ 로 정의된다. 이 관계값의 크기를 기준으로 노드의 종류에 관계없이 두 면사이의 관계는 다음과 같이 구분된다.

표 1. 관계값에 의한 면관계의 분류
Table 1. Relation between surfaces classified by relation values

분류	관계계수의 형태	면관계	
$a_{ij} = 0$	a_i 와 a_j 모두 소수	가려짐	
	$(3 > a_i, a_j)$ 인 정수	인접, 가려짐	
	$(3 \leq a_i, a_j)$ 인 정수	가려짐	
$a_{ij} \neq 0$	$a_{ij} < 0.5$	가려짐	
	$a_{ij} = 0.5$	$a_i, a_j \leq 2$	가려짐, 자체가려짐
		$a_i, a_j > 2$	가려짐
	$a_{ij} > 0.5$	가려짐	

1) $a_{ij} = 0$ 인 경우: '인접'이 대표적인 특징이지만 관계계수의 크기에 따라 다음과 같은 관계들이 가능하다.

- a) $a_i = a_j = 0.5$: 가려짐
- b) $a_i = a_j = 1$: 인접, 가려짐
- c) $a_i = a_j = 2$: 인접, 자체가려짐, 가려짐
- d) $a_i = a_j = 3$: 가려짐(포함)

2) $a_{ij} = 0.2, a_{ij} = 0.3$ 인 경우: 물체들이 서로 뒤엉켜 있을 때 물체들 간에 서로를 가리는 현상으로 관계값이 '0'보다는 크고 0.5보다는 작은 경우이다.

- a) $a_i = 1.5, a_j = 1.3$, 가려짐 (서로가림)
- b) $a_i = 2.3, a_j = 2$, 가려짐(서로가림),

4) $a_{ij} = 0.5$ 인 경우: NQO가 겹쳐질 때 많이 발생하는 가려짐의 경우이고 단일물체 내에 있는 하나의 면이 다른 면을 가리는 자체가려짐이 발생하는 경우도 해당된다.

a) $a_i = 1, a_j = 0.5$, 자체가려짐(4패턴), 자체가려짐, 가려짐

b) $a_i = 2, a_j = 1.5$, 자체가려짐, 가려짐

c) $a_i = 3, a_j = 2.5$, 가려짐

5) $a_{ij} = 0.7$ 인 경우

$a_i = 1, a_j = 0.3$, 가려짐

6) $a_{ij} = 1$ 인 경우

$a_i = 2, a_j = 1$, 가려짐, 직선과 곡선의 접합

7) $a_{ij} = 1.7$ 인 경우:

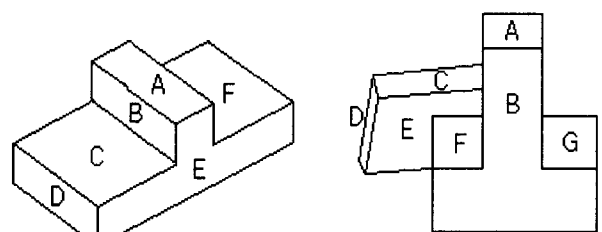
$a_i = 2, a_j = 0.3$, 가려짐

관계값이 0.5보다 큰 값을 가지는 경우는 모두 하나의 물체가 다른 물체를 가리는 것으로 나타난다. 위에서 얻은 관찰의 결과를 다음의 표 1에 정리하였다.

표 1에서 알 수 있듯이 대부분의 경우는 가려짐의 관계로 관계계수에 의해 간단히 판단되지만 다음의 두 경우는 관계계수만으로는 면의 관계를 한 가지로 판단할 수 없게 된다.

1) $a_{ij} = 0$ 이고 $(3 > a_i, a_j)$ 가 정수인 관계계수를 가질 때 인접(그림 6(a) E-F)과 가려짐(그림 6(b) E-F) 관계를 가지는 노드들이 존재한다.

2) $a_{ij} \neq 0, a_{ij} = 0.5, a_i, a_j \leq 2$ 인 관계계수일 때 가려짐과 단일 물체 내에서 가려지는 자체가려짐(그림 6(a) A-F)의 현상이 나타난다.



(a) 인접

(b) 가려짐

그림 6. 인접과 가려짐의 관계

Fig. 6. Adjacent (a) and occlusion(b) relation

위의 문제를 해결하기 위해 두 노드와 연결된 다른 하나의 노드를 포함하는 세 노드의 관계를 고려함으로써 해결한다. 그림 6(a) 경우는 위의 (1)과 (2)의 경우를 모두 포함하고 있다. A-E-F 세면의 관계를 분석함으로써 단일 물체임을 알 수 있다. 그림 6(b)는 물체가 놓인 위치나 카메라의 위치에 따라 극히 드문 경우이지만 나타날 수 있는 현상으로 B-F는 가리는 관계에 놓이게 되고, E-F는 가리는 관계임에도 불구하고 (a)의 E-F와 같이 인접의 관계계수를 갖는다. 결국 B-E-F의 관

계에서 F는 B와 단일물체로 고려되지 못하고 가리는 물체에서 손실된다. 이와 같이 세면사이의 관계를 분석하는 것이 단일 물체를 판단하는 중요한 방법으로 다음절에서 세면사이의 관계를 분석하는 알고리즘을 제시하도록 한다.

III. 면관계를 이용한 가리는 물체의 분리

그림 7은 전처리된 겹쳐진 물체의 이진 에지영상을 이용하여 면특징관계도를 구성하고 이를 분석하여 겹쳐진 물체를 판별, 분리하는 알고리즘의 과정을 보여준다. 카메라로 획득된 영상에 대해 에지 영상이 만들어지면 먼저 면에 해당하는 노드들 간의 인접성을 나타내는 면특징관계도를 생성시킨다. 주어진 면특징관계도에서 단일물체에 속하는 면들의 집합, 즉 2개 이상의 노드들이 특정한 관계를 만족하는 경우 단일 물체로 판단하고 노드집합(node set)을 형성한다. 노드집합의 기본 구성요건은 세 면 이상을 포함하는 것이지만 면의 종류에 따라 2개의 면으로도 형성할 수 있다. 면특징관계도에서 노드집합에 포함되지 못하는 노드들은 고립노드들로 판별하고 이들 간의 인접성을 고려하여 노드집합을 형성해준다. 모든 노드들이 노드집합으로 나누어지면, 노드집합 간의 관계에 따라 합침(merging)과정을 반복하면서 새로운 노드집합을 구성하고 물체의 구성요건을 판단하여 결과적으로 가장 위에 존재하는 가리는 물체를 분리해 낸다.

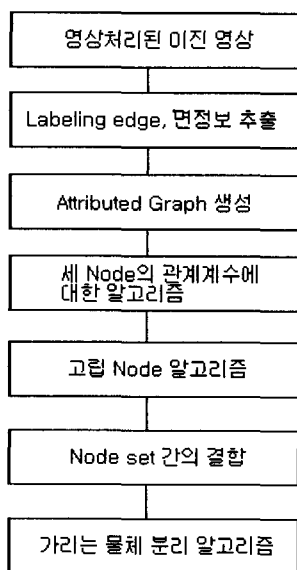


그림 7. 가리는 물체의 추출과정
Fig. 7. Flow of extracting the occluding object

면특징관계도에서 노드집합을 형성하기 위한 알고리즘의 설명을 용이하게 하기 위해 표 1에서 구분한 면관계를 다음과 같이 4개의 조건으로 정의한다.

- 1) 조건 1: $a_{ij} = 0.5$
- 2) 조건 2: $a_{ij} > 0$ & $a_{ij} \neq 0.5$
- 3) 조건 3: $a_{ij} = 0$ (a_i, a_j 는 1과 2를 제외한 실수)
- 4) 조건 4: $a_{ij} = 0$ (a_i, a_j 는 1 또는 2)

3.1 노드집합의 형성

면특징관계도에서 노드로 정의된 면들이 하나의 동일물체에 속할 수 있는 경우는 표 1의 분류에서 정의한 바와 같이 면들이 '인접' 혹은 '자체가려짐'의 관계를 가질 때이다. '인접'관계의 경우, 그림 4(b)의 경우처럼 동일한 물체에 속하지 않는 경우가 존재하므로 두 면이 동일물체에 속하는 지를 판단하기 위해서는 두 면과 아크로 연결된 다른 노드를 포함한 세 노드들의 관계를 이용하여 판단하게 된다. 만약 세 노드가 단일 물체로 판단되면 하나의 노드집합을 형성하며 이는 이후의 알고리즘 전개과정에서 동일물체에 포함되는 면들을 추론해나가는 기본 단위로 활용된다. 생성된 면특징관계도로부터 단일한 물체에 속한다고 판단되는 노드집합을 추출하는 과정은 다음과 같다. (그림 8참조)

① 면특징관계도에서 노드를 선택하여 기준노드, Nref로 정한 다음, Nref에 아크로 연결된 2개의 노드가 서로 아크로 연결되어 있으면 ②로, 아니면 ③으로.

② 세 개의 아크에 부과된 관계값들을 평가하여 다음과 같이 분리한다.

i) 모두 <조건 4>를 만족하거나 두 개의 arc는 <조건 4>를 만족하고 나머지 하나의 arc는 <조건 1>을 만족하면, 노드집합을 형성하고 ③으로.

ii) 한 개의 arc는 <조건 4>를 만족하고 나머지 두 개의 arc는 <조건 4>를 만족하지 않으면, <조건 4>를 만족하는 두 노드를 하나의 노드집합으로 설정하고 ③으로.

③ Nref에 연결된 또 다른 두 개의 노드가 있는지를 평가하여

- i) 존재하면, ①로.
- ii) 존재하지 않으면, 새로운 노드를 Nref로 정하여 ①로.

3.2 고립노드의 검출 및 노드집합형성

고립노드는 면특징관계도에서 연결된 아크가 하나뿐

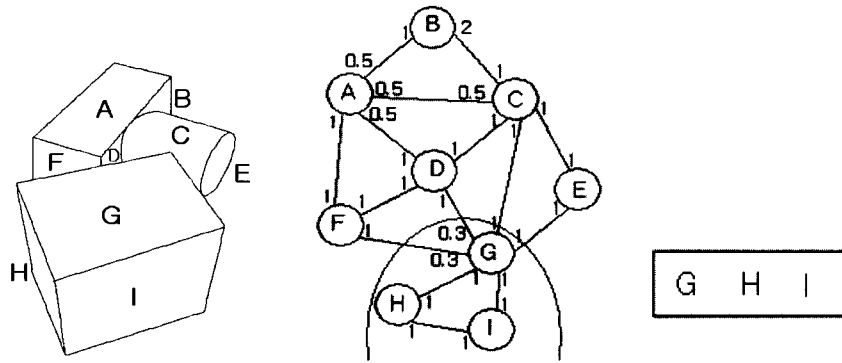


그림 8. <조건 4>를 만족하는 인접관계의 세면
 Fig. 8. Three surfaces adjacent each other satisfying the 4th condition

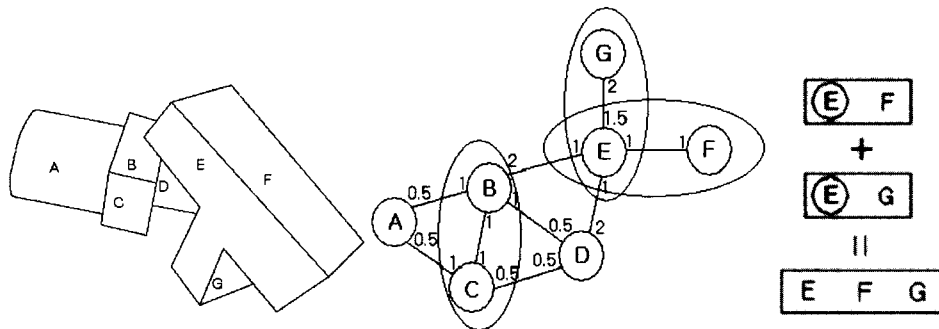


그림 9. 고립노드(G와 F)를 포함하는 노드세트의 구성: (E, G), (E, F)
 Fig. 9. Node sets including isolated nodes, G and F: (E, G), (E, F)

인 노드로 그림 9에서는 G와 F가 이에 속한다. 주로 입력영상에서 최외곽에 위치하는 면의 경우에 발생하며 연결된 면이 하나뿐이므로 앞 절에서 설명한 노드집합을 구성할 수 없다. 이런 경우에는 연결된 아크의 특성이 '인접'이 아니라도 공유하는 에지의 수가 한 개 이상이고 관계값이 0.5로 가리는 관계이면 두 노드를 하나의 노드집합으로 합칠 수 있다. 즉 두 노드가 서로에 대해 인접성을 가진 경우로 다음은 고립노드를 포함하는 노드집합을 형성하는 과정이다. 그림 9에서 보면 G는 E와, F도 E와 각각 노드세트를 형성하게 된다.

- ① 3.1절에서 노드집합에 포함되지 못한 노드 중 검색하지 않은 하나를 Nref로 선택
- ② Nref와 연결된 아크가 하나인 경우로
 - i) 관계계수가 <조건 4>를 만족하면, ③으로
 - ii) 관계계수가 <조건 1>을 만족하고 관계계수 = 1.5이면, ③으로
 - iii) 아니면 ①로
- ③ 두 노드로 노드집합을 형성하고 ①로

3.3 노드집합의 결합과 가리는 물체의 분리

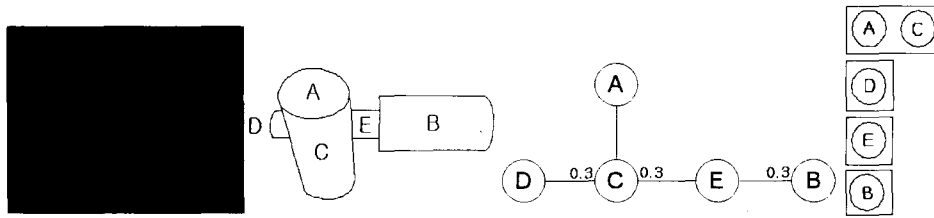
위의 과정들을 통해 생성된 노드집합에 포함되는 면

들은 하나의 물체에 포함되는 것으로 간주한다. 그리고 두개의 노드집합이 한개 이상의 노드를 공유하고 있으며 두개의 노드집합을 하나의 노드집합으로 결합한다. 예를 들어 그림 9에는 3개의 노드세트, (B, D), (E, G), (E, F)가 형성된다. 노드세트 (B, D)는 3.1절의 알고리즘에 의해, 나머지 두개는 3.2절의 알고리즘에 의해 얻어진다. 3개의 노드세트에서 (E, G)와 (E, F)는 E 노드를 공유하므로 다음의 알고리즘에 의해 하나의 노드세트, (E, G, F)로 형성된다.

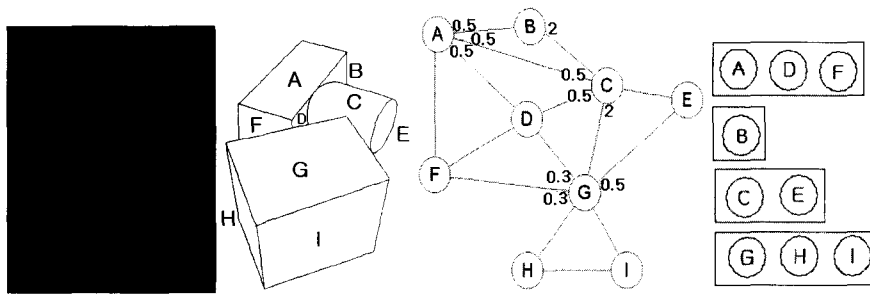
표 2. 실험에 사용된 영상의 특징 및 처리시간
 Table 2. Features of the objects used in the experiment and their processing times.

실험 영상	물체의 종류	노드수	구분된 물체수	가리는 물체수	적용시간(sec)
그림 10(a)	곡면체+곡면체	5	4	2	0.0036
그림 10(b)	곡면체+다면체	9	4	1	0.0062
그림 10(c)	다면체+다면체	15	5	1	0.0101
그림 10(d)	곡면체+다면체	28	11	3	0.0310

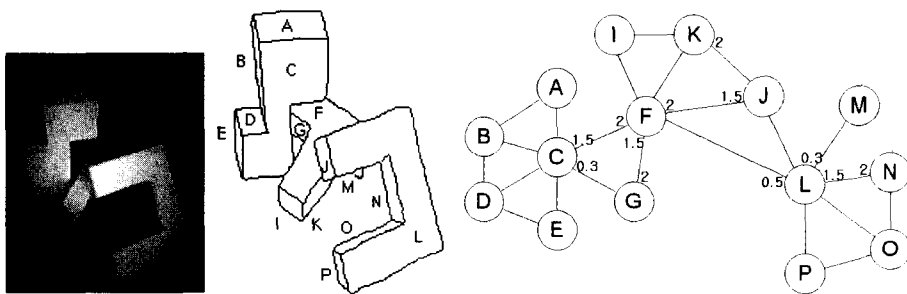
- ① 노드집합에서 검색하지 않은 하나를 NSref로 선택



(a)



(b)



(c)

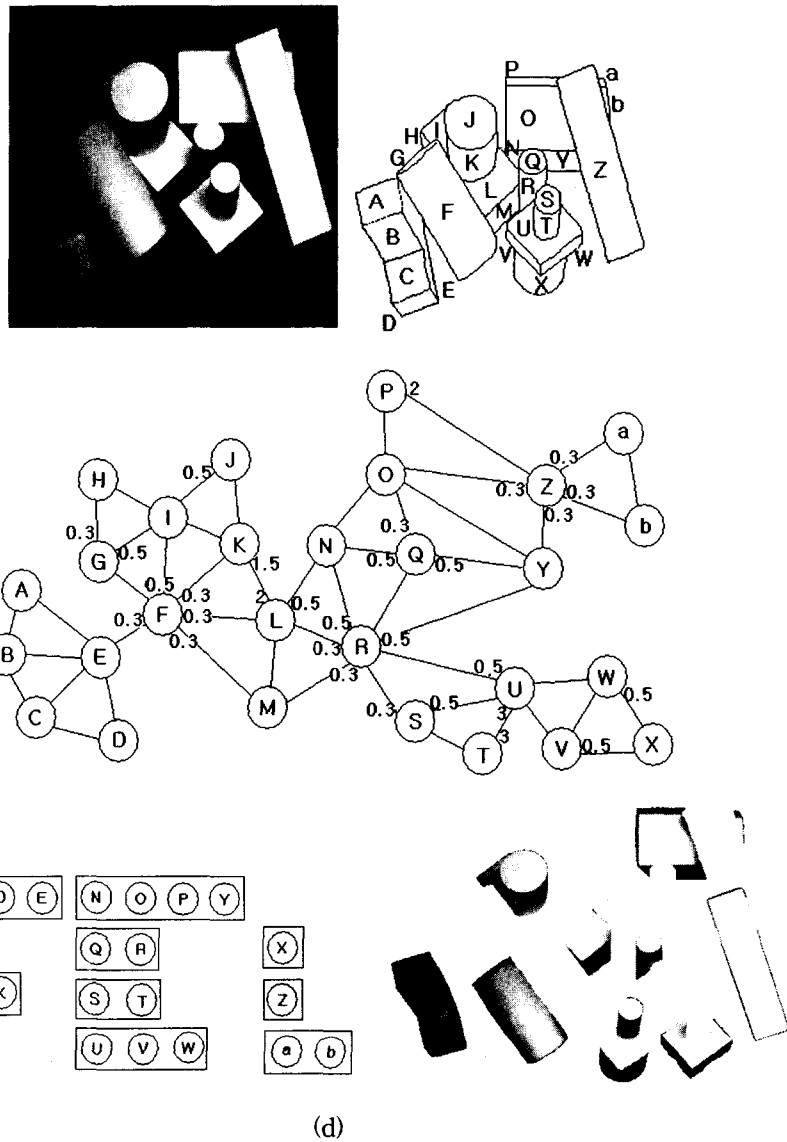


그림 10. 겹쳐진 물체들에 대한 실험 결과
 Fig. 10. Results of the experiment

② NSref에서 검색하지 않은 하나의 노드를 포함하는 다른 노드집합이

i) 있으면 두개의 노드세트를 결합하여 새로운 노드세트를 형성하고 ①로

ii) 없으면 NSref에 포함된 모든 노드의 검색이 끝날 때까지 ②로,

모든 노드검색이 끝났으면 ①로

위와 같이 노드세트의 결합과정을 거치면 물체의 개수를 예측할 수 있게 되며 가장 위에 놓인 물체, 즉 가리는 물체는 자체가려짐 외에는 가려진 면이 없는 노드세트를 골라낼 수 있게 된다. 그림 9에서 보면 노드세트 (E, G, F)의 E면이 노드세트 (B, D)의 B면을 가리게 되므로 E를 포함하는 노드세트는 가리는 물체로 판명

하고 B를 포함하는 노드세트는 가려지는 물체로 판명할 수 있게 된다. 가리는 물체의 노드세트를 판별하는 과정은 다음과 같다.

① 노드집합 중에서 검색하지 않은 노드세트 하나를 NSref로 선택

② NSref에서 검색하지 않은 노드 하나를 선택하여 이와 아크로 연결된 노드가 다른 노드세트에 포함되는지를 검색, 다른 노드세트에

i) 포함되면, ③으로

ii) 아니면 NSref에 포함된 모든 노드의 검색이 끝날 때까지 ②로

모든 노드검색이 끝났고 가리는 물체후보=0이면 ①로, 아니면 ④로

- ③ NSref에 속한 노드가 다른 노드를
 i) 가리는 관계이면 Nref는 가리는 물체후보=1로 정하고 ②로
 ii) 가려지는 관계이면 ①로
 ④ NSref를 가리는 물체, 즉 가장 위에 놓인 물체로 판단하고 ①로.

IV. 실험 및 고찰

실험을 위해서 카메라는 디지털 카메라(256x256화소의 256 gray level)를 사용하였으며 PC(펜티엄 800MHz)를 사용하여 Windows 2000 환경에서 Visual C++ 6.0을 사용하여 프로그래밍 하였다.

본 실험의 목적은 제안된 알고리즘이 다양한 NQO가 임의로 놓여 있는 상황에서 가장 위에 놓인 가리는 물체를 얼마나 정확하고 또한 빠르게 판단하는 지를 평가하는 것이다. 따라서 NQO는 산업현장에서 가장 많이 사용하는 20개의 형태를 조합한 것으로 선택하였고 임의로 물체를 배치하여 영상을 획득하여 알고리즘을 적용하였다. 실험의 결과는 아래의 표 2에 정리하였으며 그림 10은 처리과정을 보여주고 있다. 그림의 면특징관계도에서 관계값이 표시되지 않은 아크는 1을 의미한다.

그림 10에서 첫 번째 영상은 입력영상을, 두 번째는 추출된 에지영상을, 세 번째는 면특징관계도를, 네 번째는 노드세트를 추출하고 결합한 결과를, 그리고 마지막은 노드세트의 따라 입력영상에서 물체를 분리한 결과를 보여준다. 제안된 알고리즘의 계산복잡도(computational complexity)는 면특징관계도의 노드와 아크 수의 곱에 비례하며 노드의 수를 N , 노드당 평균 아크의 수를 n 이라하면 $O(nN)$ 으로 표현할 수 있다. 위의 표 2에 설명된 실험 결과에서도 알고리즘의 처리시간이 노드의 수에 비례함을 확인할 수 있다. 이러한 실험결과를 기존의 정합방법에 의존하는 물체분리기법과 직접비교하는 것은 어렵지만 모델물체 정합에 의존하는 방법은 일반적으로 입력영상에 포함되는 면(노드)와 아크(연결관계)의 수만이 아니라 모델물체의 개수와 모델물체당 평균 면의 수의 곱에 비례하는 계산량을 필요로 한다. 모델물체의 수를 M , 모델물체당 평균 면의 수를 m 이라하면 정합방법에 의한 물체분리 방식의 계산복잡도는 $O(nN \cdot mM)$ 에 해당한다. 따라서 제안하는 알고리즘은 기존의 방법에 비해 시간적으로 매우 우수함을 알 수 있다.

실험결과에서 제안된 알고리즘은 특별한 경우를 제외하고 가리는 물체를 정확히 분리하고 있음을 보여주고 있다. 예를 들어 많은 물체들이 서로 엉켜 있을 때,

가려지는 물체의 면이 영상에서 너무 적게 나타나서 정상적으로 노드세트를 형성하지 못하는 경우가 발생하였다. 즉 가려진 물체에 대한 정보가 너무 적게 되면 동일 물체의 면인데도 불구하고 서로 다른 물체로 판단되는 경우가 발생함을 알 수 있었다. 그림 10(c)의 경우는 실제로는 자체가려짐으로 판단되어서 동일 물체로 간주되어야 하나 가려진 정도가 심하여 판단할 수 있는 정보가 부족한 경우에는 정상적으로 분리 알고리즘이 적용되지 못하는 부분이 나타났으나, 최종적으로 가리는 물체를 분리하는 데는 문제가 없었다.

결과적으로 실험결과는 제안된 알고리즘이 각 면간의 관계를 수치화하여 물체를 분리하는 과정을 단순화함으로써 작업 수행시간을 단축시킬 수 있음을 보여주고 있다. 본 실험의 수행에 있어서 한 가지 문제점은 에지영상을 반자동으로 추출한 것이다. 아직까지 조명에 의한 에지의 상실문제가 완벽하게 해결되지 못한 상태에서 상실된 에지들은 수동으로 연결하여 에지영상을 얻었다. 이 문제는 조만간 조명에 상관없이 에지를 추출하는 알고리즘의 개발이 해결해 줄 것이며, 이러한 상황에서 제안된 알고리즘은 가려짐의 정도가 완전히 겹치는 수준의 경우가 아니면 거의 모든 영상에서 정확하게 가리는 물체를 분리해낼 수 있었다. 즉, 정확하게 물체의 윤곽선을 얻을 수 있다면 입력영상에 포함된 물체의 수가 많은 경우라도 가리는 물체를 실시간에 분리될 수 있음을 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 가리는 물체를 판단하는 기존의 연구들이 갖고 있는 선분 단위 혹은 정점 단위의 정합방법을 이용함으로써 소요되는 계산의 복잡도 및 누적오차 문제를 해결하기 위해 모델 물체에 대한 정보가 없이도 가리는 구분하는 새로운 방법을 제안하고 실험을 통해 실효성을 입증하였다. 제안된 알고리즘은 영상전체를 면간의 관계로 면특징관계도를 이용하여 표현하고 면간의 관계를 관계계수로 표현함으로써 수치적인 비교를 통해 면이 서로 인접하는지, 가리는지, 가려지는지를 판단할 수 있도록 하였으며, 면의 관계를 통해 면들이 동일한 물체에 속하는지를 판단할 수 있도록 하였다. 또한 하나의 물체에 속하는 면들을 계수비교를 통해 합치는 방법을 제안함으로써 가리는 물체에 속한 면들을 간단히 분리할 수 있도록 만들었다. 제안하는 알고리즘은 모델물체의 정보를 사용하지 않아 별도의 복잡한 정합과정을 배제하였기 때문에 물체의 가려짐 정도와 물체의 개수와 무관하게 효과적으로 가리는 물체를 분리함

을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Kawaguchi T., Nagao M., "Recognition of occluded objects by a genetic algorithm", Proceedings of 14th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 1, 16-20 Aug. 1998, pp. 233-237.
- [2] Dockstader S.L., Tekalp A.M., "Tracking multiple objects in the presence of articulated and occluded motion", Proceedings of 2000 Workshop on Human Motion, 7-8 Dec. 2000, pp. 88-95.
- [3] Kimachi, M., Wu, Y., Ogata, S., "A vehicle recognition method robust against vehicles' overlapping based on stereo vision", Proceedings of 1999 IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems, 5-8 Oct. 1999, pp. 865-869.
- [4] Mayez Al-Mouhamed, "ARobust Gross-to-Fine Pattern Recognition System", Industrial Electronics, IEEE Transactions on , Volume: 48 Issue: 6, Dec. 2001, pp. 1226-1237.
- [5] M.S. Abou-El-Ela, H. El-Amroussy, "A Machine Vision System For The Recognition And Positioning Of Two-Dimensional Partially Occluded Objects", IEEE, 1996.
- [6] Yuichi Nakamura, Makoto Nagao, "Recognition of Overlapping 2-D Objects by Local Feature Construction Method" IEEE, 1988.
- [7] R. A. Brooks, "Symbolic reasoning among 3D models and 2D images," Artificial Intelligence, Vol. 17, 1981, pp. 285-348.
- [8] Wen-Jing Li, Tong Lee, "Object recognition by sub-scene graph matching", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, 2000, pp. 1459-1464.
- [9] R.Cucchiara, E.Lamma, P.Mello, M.Milano, M. Piccardi, "3D Object Recognition by VC-graphs and Interactive Constraint Satisfaction", Proceedings of International Conference on Image Analysis and Processing, pp. 508-513. 1999.1999
- [10] Umberto Castellani, Salvatore Livatino, Robert B. Fisher, "Improving Environment Modelling by Edge Occlusion Surface Completion", 3D Data Processing Visualization and Transmission, 2002. Proceedings. First International Symposium on, 19-21 June 2002, pp. 672-675.
- [11] Rachid Benlamri, "Curved Shapes Construction for ZObject Recognition", Geometric Modeling and Processing, 2002. Proceedings, 10-12 July 2002, pp. 197-204.
- [12] Stan Z. Li, "Recognizing Multiple Overlapping Objects in Image: An Optimal Formulation", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 9, No 2, February 2000, pp. 273-277.
- [13] 송필재, 최홍주, 차형태, 한헌수, "Face Relation Features for Separating Overlapped Objects in a 2D Image", 대한전자공학회 논문지, 제38권 SP편 제1호, pp. 54-68.

저 자 소 개



송필재(정회원)

1993년 2월 : 숭실대학교 전자공학과(공학사).

1995년 8월 : 숭실대학교 산업대학원 전자공학과(공학석사)

2002년 2월 : 숭실대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

2002년 3월~현재: 동서울대학 컴

퓨터시스템과 전임강사

<주관심 분야 : 영상처리, 이동로봇, 컴퓨터 시스템>

홍민철(정회원)

제38권 SP편 제 6호 참조

한헌수(정회원)

제38권 SP편 제 6호 참조