한국 CAD/CAM학회 논문집
제11권 제6호 2006년 12월 pp. 455-463

학술논문

기술도해 생성을 위한 가시화 데이터 은선 제거 알고리즘

심현수*, 양상욱**, 최 영***

Hidden Line Removal for Technical Illustration Based on Visualization Data

Hyunsoo Shim*, Sangwook Yang** and Young Choi***

ABSTRACT

Hidden line removal(HLR) algorithms can be devised either in the image space or in the object space. This paper describes a hidden line removal algorithm in the object space specifically for the CAD viewer data. The approach is based on the Appel's 'Quantitative Invisibility' algorithm and fundamental concept of 'back face culling'. Input data considered in this algorithm can be distinguished from those considered for HLR algorithm in general. The original QI algorithm can be applied for the polyhedron models. During preprocessing step of our proposed algorithm, the self intersecting surfaces in the view direction are divided along the silhouette curves so that the QI algorithm can be applied. By this way the algorithm can be used for any triangulated freeform surfaces. A major advantage of this algorithm is the applicability to general CAD models and surface-based visualization data.

Key words : Technical Illustration, Hidden Line Removal, Silhouette Line Detection, Visualization Data

1. 서 론

컴퓨터의 발달과 네트워크 인프라의 빠른 성장으로 인하여 정보화 사회로의 전환이 급격하게 진행되고 있다. 이와 관련하여 기계설계 분야에서도 네트워크를 통한 엔지니어링 협업설계 시스템이 개발되어 서비스되고 있으며, 이러한 기술을 체계적으로 정리하고 사업화하여 이익을 창출하는 회사도 생겨나게 되었다. 하지만 네트워크를 이용한 컴퓨터 통신의 한계는 대용량 파일의 전송에 많은 시간이 소요되고, 협업의 대상물을 서로 공유할 경우 공유되지 말아야 하는 정보들도 공유하게 되는 보안상의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존 상용 CAD 데이터에서 단순한 가시화만이 가능하고 협업에 필요한 기능만을 구현하기 위한 데이터 파일 포맷이 생겨나기 시작하였다. 하지만 뷰어 전용의 포맷을 사용함으로써 생기는 문제점들이 있다. 가장 큰 문제는 파일의 구조가 가볍기 때문에 기존 CAD 데이터에서 지원되는 기능을 사용자들이 요구할 경우, 요구사항을 수용하여 소프트웨어 상에서 구현하기가 쉽지 않다는 것이다.

이러한 요구사항 중 3D 모델에 대한 은선이 제거된 이차원 벡터형식의 파일로 출력을 원하는 요구도 포함되어 있다. 즉, 뷰어를 통해서 검토하고 있는 모델에 대한 벡터 포맷의 그래픽 데이터를 기술도해 저작도구로 내보낼 수 있도록 하는 요구사항이다. 기술도해 사용자 입장에서는 상세한 삼차원 모델이 도면의 이해에 부담이 되는 경우가 있기 때문이다. 또한 사용자들이 제품 모델을 기술교범이나 사용자 매뉴얼 등의 전자 출판에 바로 사용될 수 있도록 도해를 생성할 경우 이러한 파일을 자동으로 생성해 주기를 원하기 때문이다.

대부분의 상용 CAD 소프트웨어는 와이어프레임 및 은선이 제거된 선 보기 기능을 제공한다. 하지만 이러한 동적 은선 제거 기능은 이미지 공간(image space)에서 구현된 경우가 많아 결과의 데이터를 확대/축소하거나 재가공하여 기술 도해를 생성하는 등의 일은 불가능하다. 은선이 제거된 형상의 이미지 데이터가 아닌 벡터 데이터가 필요하다면 객체 공간(object

*중앙대학교 기계공학부
**교신저자, 학생회원, 중앙대학교 기계공학부
***종신회원, 중앙대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2006. 03. 27
- 심사완료일: 2006. 11. 08

space)에서 기하학적인 연산으로 얻어 내어야 한다.

본 논문에서는 기존에 널리 연구된 은선 제거 알고리즘(HLR: Hidden Line Removal)과 실루엣 검색 알고리즘을 기반으로, 고전적인 폴리곤 메쉬 뿐 아니라 곡면 경계나 조립체 정보 등 가시화 데이터의 특성을 활용하여 CAD 모델 뷰어에서 기술 도해를 위한 은선이 제거된 이차원 벡터 데이터의 생성 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서 다루는 가시화 데이터는 B-rep 솔리드 데이터에서의 곡면(face) 단위로 삼각형 데이터가 그룹화 되어있고, 이 곡면의 경계를 표현하는 삼차원 폴리라인 데이터가 주어지지만 다른 곡면과의 연결 관계가 생략되어 있다. 또한 곡면들간의 경계에서 중복된 삼각형 에지들이 존재하는데 이들은 메이트 관계를 가지고 있지 않다. 이러한 특이성은 가시화 데이터의 복적상 원래 설계 데이터로부터 변환되면서 측정 및 가시화를 위한 정보를 제외한 설계 정보는 생략되는 데서 기인한다.

따라서 입력 데이터의 형태에 있어서 폴리곤 메쉬나 자유곡면과는 또 다른 특성을 가지게 되며, 이 특성을 고려하여 각 곡면에 대해서는 기존 연구된 알고리즘을 활용하고, 곡면 경계 및 조립체를 이루고 있는 파트간의 실루엣 추출 및 은선을 검색하는 방법이 본 논문의 주제이다.

2. 관련 연구

삼차원 모델로부터 도해 정보를 찾아내는 방법은 일반적으로 실루엣 검색과 은선 제거 알고리즘으로 이루어지며 은선 제거 알고리즘은 통상 은면 제거 알고리즘을 포함한다. 이 알고리즘들은 많은 연구자들에 의해서 오랜 기간 연구되어 왔으며 Tobias 등은 개발자를 위한 실루엣 검색 방법의 선택 가이드[1]를 제시하기도 하였다. 은선 제거는 1967년 Appel이 QI(Quantitative Invisibility) 알고리즘[2]을 제시한 이후에 Surtherland 등이 이미 1974년 10가지의 은면 제거 알고리즘들에 대해 비교/조사한 바 있고[3] 이후 이미지 공간에 대해서 오랜 기간 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만 은선 제거와 은면 제거 알고리즘이 다르다는 것을 감안하면 객체 공간에서의 은선 제거 알고리즘에 대한 연구는 QI 이후 많지 않다. 실루엣 검색 및 은선 제거 알고리즘 중 대부분의 알고리즘은 폴리곤 메쉬 데이터에 초점이 맞추어져 있으며 일부 자유곡면에 대한 연구[4]도 진행된 바 있다. 실루엣 검색 및 은선 제거 알고리즘은 실시간 렌더링 분야의 발전과 더불어 이미지 스페이스에서는 비약적인 발전이 있어 왔다.

2.1 실루엣 검출 알고리즘

실루엣은 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 모델 데이터에는 존재하지 않지만, 가시화 과정에서 나타나는 윤곽선을 의미한다.

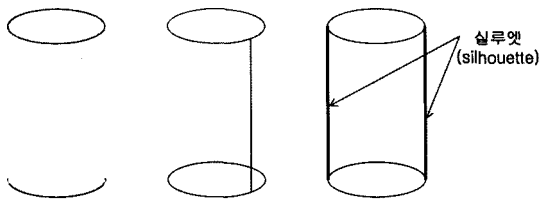


Fig. 1. An example of silhouette lines.

삼차원 형상을 이차원적으로 표현한 Fig. 2에서와 같이, 관측자 위치를 나타내는 시점과 각 면의 법선 벡터 n 간의 연산을 통해서 면의 앞과 뒤를 판별한 후, 앞뒤의 경계가 되는 선들을 통해 실루엣을 찾아낸다. 이러한 방법을 후면제거기법(back face culling)이라[5] 하며, 표준적인 실루엣 검색 방법은 에지들의 목록을 따라가면서 이 검사를 반복적으로 수행하는 것이다[6].

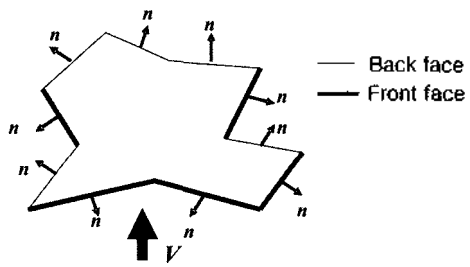


Fig. 2. Back face culling.

검사 과정에서 동일한 평면내 삼각형들의 내부 에지들을 선별하여 실루엣 검사를 하지 않으면 상당한 속도 향상을 얻을 수 있다[7].

Buchanan과 Sousa는 각각의 개별적인 면에 대한 내적 검사 결과를 재활용함으로써 각 에지에 대해 별도의 검사를 할 필요가 없도록 하여 검색 속도를 올리는 에지버퍼(edge buffer) 방법을 제안하였다[8]. 이 방법은 데이터 구조를 추가하여 면들을 검사함으로써 모든 에지의 전, 후면이 검사되도록 하여 실루엣 에지를 효율적으로 찾아내고, 모델이 경계 에지를 가지고

있지 않는 경우 주름 에지와 물결 에지에 대해서 확장하여 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 본 논문에서와 같이 곡면들간의 연결 구조를 가지고 있지 않은 데이터의 경우에는 적용하기 어렵다.

후면 제거 방법이나 에지버퍼 알고리즘과 같이 전체 다각형을 검색하는 방법에서 나아가 실루엣 검색 속도를 더욱 높이기 위한 방법으로는 데이터 구조를 통해 전처리 된 결과를 먼저 구하고 이를 실시간 활용하는 방법[9,10]이 있지만, 이러한 전처리 기법은 한 시점에서 연속된 다른 시점으로 옮겨 가는 동적 뷰잉 또는 애니메이션에서 효율적인 방법이다.

일반적으로 폴리곤 모델에서 일부 에지만이 실루엣 에지가 되기 때문에, 빠르게 실시간으로 실루엣 에지를 찾기 위해서 추측통계학적(stochastic)인 방법이 사용되기도 한다[11]. 이 방법은 n개의 폴리곤에 대해서 $\sqrt{n}$ 개의 에지를 검색하게 되는 것으로 알려져 있다[12]. 그러나 추측통계학적 방법 또한 동적인 실시간 렌더링에 적합한 방법으로 모든 실루엣 에지를 찾아야 하는 경우에는 적합하지 않다[1].

이처럼 다양한 실루엣 검색 알고리즘이 연구되었지만, 본 논문에서 대상으로 하는 데이터와 같이 곡면간 관계의 위상 정보가 없는 상태에 적용하기에 적합한 알고리즘을 찾기는 어렵다. 본 논문에서는 각 곡면의 내부에서 발생하는 실루엣을 찾아내기 위하여 후면제거기법을 이용하고, 주어진 경계 에지를 재생성하기 위하여 4.2절에서와 같이 곡면 분할을 수행한 후 은선 제거를 수행한다.

2.2 은선제거 알고리즘

은면제거 및 은선제거 알고리즘 또한 많은 연구가 진행 되었으며 특히, 실시간 렌더링 분야에서 z-buffer[13]를 이용하는 이미지 공간 알고리즘들은 최근 급속하게 발전하고 있는 하드웨어 가속을 이용하여 매우 빠른 속도와 높은 품질을 제공할 수 있도록 구현되고 있다. 광선추적(ray tracing)[14] 알고리즘 또한 실사적 렌더링(photo-realistic rendering) 분야에서 꾸준한 발전을 이루어오고 있다.

그러나 이 방법들은 이미지를 결과로 가지기 때문에 벡터로 표현되는 형상 데이터를 얻어내기는 힘들며, 본 논문의 목적과는 차이가 있다.

객체 기반의 은선 제거 알고리즘으로는 Appel의 QI 알고리즘[4]이 있으며, 2.1절에서 언급한 에지버퍼 방법과 전처리 방법 및 추측통계학적 방법 등의 실루엣 검색을 위한 다른 알고리즘들도 은선 제거를 위하여 사용된다.

QI 알고리즘 외 은선 제거를 목적으로 하는 연구로는 CAD 데이터의 위상 정보를 이용하여 빠르게 은선 제거를 하는 방법[15]과 자유곡면 상에서 은선 제거를 수행하는 연구[6]가 수행된 바 있다.

3. 가시화 데이터 구조 및 특성

일반적으로 상용 CAD 소프트웨어의 데이터는 눈에 보이는 형상 데이터 이외에도 부가적인 위상정보 및 제품정보 데이터를 포함하므로 데이터의 구조가 복잡하고 사이즈가 상당히 크다. 이를 가시화의 목적으로만 사용하기에는 사이즈가 크고 불필요한 데이터가 많이 포함되어 있으며, 협업을 위하여 데이터를 공유할 때 도면 자체의 공개를 원하지 않을 경우 문제점으로 작용할 수도 있다. 대부분의 상용 소프트웨어에는 가시화를 위한 경량 파일로 출력하는 기능이 제공되고 있다.

Table 1. Comparison between CAD and visualization data

	CAD 데이터	가시화 데이터
데이터 요소	Geometry 및 Topology 등의 완전한 솔리드 모델 데이터	경계 폴리라인 및 삼각화 데이터
데이터 간 연결 관계	연결 관계를 모두 가지고 있음	데이터를 경량화 하기 위해 부분적인 연결 관계만 있음
Entity의 중복 여부	동일한 기하 요소는 중복되지 않음	구현의 간소 화를 위하여 중복 기하요소 존재가능

Table 1에 나타난 바와 같이, 가시화 데이터의 주된 요소는 경계 폴리라인 및 삼각형 데이터이며 이들을 제외한 대부분 CAD 데이터 요소들은 생략된다. 그리고 가시화 프로그램에서 곡면별 가시화 및 선택 기능을 제공하기 위해 경계 폴리라인과 삼각형 데이터는 곡면 단위로 생성되어 저장된다.

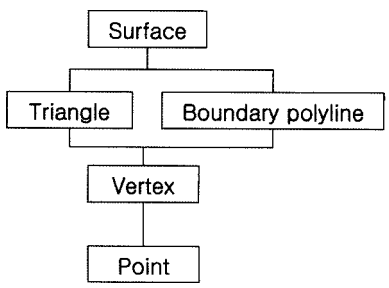


Fig. 3. Structure of visualization data.

Fig. 3은 본 논문에서 사용된 가시화 데이터 구조이다. 각 곡면은 삼각망과 외부와의 경계를 나타내는 경계 폴리라인(이하 BP)으로 구성되어 있다. BP는 곡면의 경계선을 이루는 연속된 에지의 집합을 뜻하며 곡면 단위의 선택 기능을 구현할 수 있도록 가시화 데이터에 포함된다.

4. 가시화 데이터 기반 은선제거

4.1 알고리즘 개요

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 개요는 Fig. 4와 같다. 우선 삼각화된 자유곡면에서 실루엣 라인을 찾아낸다. 그리고 자유 곡면의 원래 BP와 실루엣 라인으로 만들어지는 BP를 경계로 하는 분할된 삼각망 곡면들에 대해서 QI 알고리즘을 적용한다.

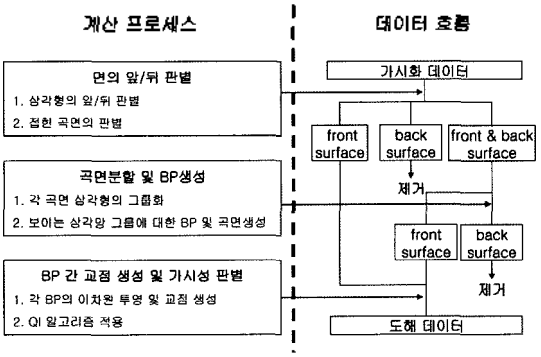


Fig. 4. Proposed computation flow.

또한 하나의 단일 다면체만이 아니라 면 접촉을 가지는 조립체 모델에도 적용이 가능하다. 이 계산은 Fig. 4의 계산 단계 중 'BP간 교점 생성 및 가시성 판별'에서 다루어지며 자세한 내용은 4.3.3항에서 설명한다.

4.2 실루엣 생성 및 곡면 분할

4.2.1 실루엣 생성

실루엣의 생성에는 후면제거기법[5]을 사용한다. Fig. 5에서 관찰자가 모델을 보고 있는 시점을 나타내는 방향 벡터를 $\boldsymbol{V}$라고 하고, 전후면 테스트 대상 삼각형의 법선 벡터를 $\boldsymbol{n}$이라 하면, $\boldsymbol{V}$와 $\boldsymbol{n}$의 내적을 계산함으로써 삼각형이 앞을 향하고 있는 면인지, 뒤를 향하고 있는지에 대해 판단할 수 있다.

두 벡터의 내적 값이 양수가 된다면 해당 삼각형은 관찰자의 입장에서 볼 수 있는 가능성을 가진 삼각형

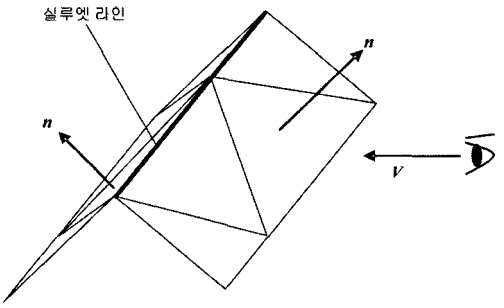


Fig. 5. Front and back test.

이다. 이와 반대로 내적 값이 음수가 된다면, 해당 삼각형은 현 관찰자의 시점에서는 볼 수 없는 삼각형이다. 모든 삼각형에 대해서 연산을 수행하면, 각 삼각형 간 인접정보를 통하여 계산된 내적 값이 0 또는 음수에서 양수로 바뀌는 실루엣을 찾을 수 있다. 이렇게 얻어진 실루엣은 이후 과정에서 BP와 동일하게 취급된다.

4.2.2 곡면 분할 대상 선정

QI 알고리즘을 적용하기 위해서는 모델이 다면체이어야 하므로 곡면에는 적용이 불가능하다. 그 이유는 곡면을 이차원 공간으로 투영시켰을 경우 경계가 서로 겹치는 경우가 있기 때문이다. 따라서 곡면으로부터 삼각화된 가시화 모델에 QI알고리즘을 적용하기 위해서는 곡면을 분할하는 전처리가 필요하다. 곡면 분할은 Fig. 6에서와 같이 F로 표기된 전방을 향하는 곡면만을 분리해 내는 단계이다.

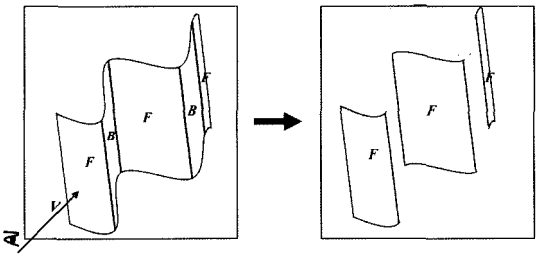


Fig. 6. An example of splitting surface.

물론 모든 곡면에 대하여 곡면 분할을 할 필요는 없기 때문에 후보를 선정하게 되는데, 이 과정은 다음과 같은 순서로 진행된다.

(1) 각 곡면의 삼각형 법선 벡터를 이용하여, 보이는 삼각형과 보이지 않는 삼각형의 구분.

(2) 구분된 삼각형 정보를 이용하여 각 곡면을 완전히 전방을 향하는 면, 완전히 후방을 향하는 면 또는 전/후방 삼각형이 동시에 존재하는 곡면으로 구분.

(3) 전/후방 삼각형이 동시에 존재하는 곡면에는 실루엣이 존재하므로, 해당 곡면을 곡면 분할의 후보로 분류.

4.2.3 곡면분할

곡면 분할 과정은 다음과 같은 세 단계로 구분된다.

(1) 전방을 향하는 삼각형 그룹 추출

곡면 분할 후보로 선정된 곡면에 대해 Fig. 7 하단 그림과 같이 삼각형들의 앞/뒷면 정보와 인접 연결 정보를 사용하여 전방을 향하는 삼각형들의 집합을 추출한다.

(2) BP의 재구성

추출된 삼각망 곡면들에는 BP 정보가 완전하지 않기 때문에 삼각형의 인접 정보를 조사하여 삼각망의 최외곽 경계를 이루는 새로운 BP를 생성한다. 만일 BP 데이터를 지원하지 않는 모델의 경우에는 동일한 방법을 이용하여 BP 데이터를 생성할 수 있다.

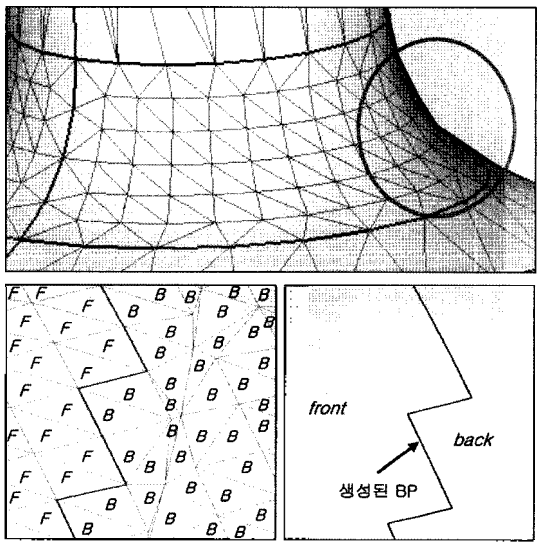


Fig. 7. BP generation with silhouette.

(3) 새로운 곡면 생성

추출된 삼각형 그룹과 새롭게 재구성된 BP를 각 그룹별로 묶어서 새로운 곡면을 구성한다.

위 세 단계를 통하여 재구성된 곡면을 관찰자의 시점 방향으로 이차원 평면상에 투영시키면, 단일 곡면의 경계선이 자체 교차하지 않는다. 따라서 QI 알고리즘을 적용할 수 있다.

4.3 BP의 교점 생성 및 가시성 판별

4.3.1 곡면의 기하학적 연결관계 생성

곡면 분할을 통하여, 전방을 향하는 모든 곡면을 추출하였다. 삼차원 모델을 현재 보고 있는 방향의 이차원 평면상에 투영하였을 때 각 곡면의 BP가 만날 가능성이 있는 곡면 검색을 곡면의 연결 관계 생성이라 한다. 교차 가능성이 있는 곡면 검색을 하는 이유는 추후 계산 단계에서 시간이 많이 소요되는 불필요한 교차 계산을 줄이기 위해서이다. 연결관계 생성을 효율적으로 수행하기 위해서 이차원 경계 박스 테스트를 선행한다.

4.3.2 교점의 깊이 비교

Fig. 8 에서와 같이 관찰 방향으로 BP를 투영하여 교점을 구한다.

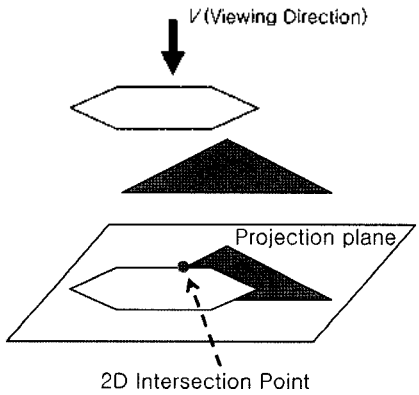


Fig. 8. Intersection on the projection plane.

이 교점에 해당되는 각 BP 세그먼트상의 점들의 시점 깊이를 비교함으로써 한 쌍의 BP 세그먼트 중에서 가려지는 세그먼트를 찾아 그 세그먼트에 새로운 점을 삽입한다. 예를 들어, Fig. 9에서 $z1$과 $z2$ 중 $z2$가 관찰자의 시점에서 더 멀기 때문에 BP2의 세그먼트에 교점을 삽입한다. BP2와 같이 일부가 가려지는 세그먼트는 삽입된 교점을 기준으로, 4.3.4절에서 설명하는 QI테스트를 통하여 보이지 않는 부분이 제거된다.

BP1세그먼트는 $z1$ 점을 기준으로 QI테스트를 수행할 필요가 없으므로 교점이 삽입되지 않는다.

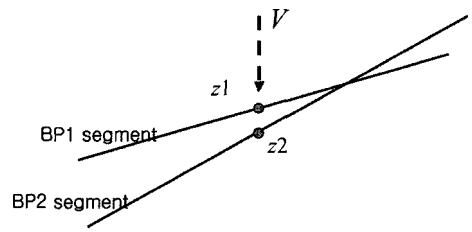


Fig. 9. Depth comparison in the view direction.

4.3.3 조립체 접촉면에서의 교점 깊이 비교

교점의 $z1$과 $z2$의 값이 동일한 현상은 Fig. 10과 같이 단일 다면체가 아닌 접촉 상태로 조립된 데이터의 경우에 나타난다. 이를 처리하기 위하여 $z1$과 $z2$가 같을 경우에는 판별과정을 별도로 두어 어떠한 면이 관찰자의 시점에서 가까운 면인지 판단한다.

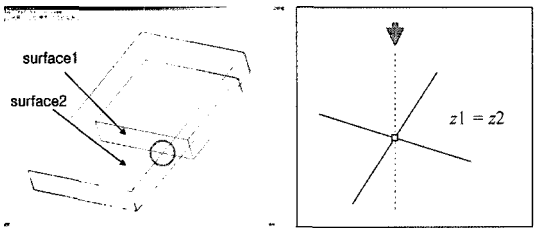


Fig. 10. Contact situation in assembly model.

두 개의 육면체가 면 접촉을 하고 있는 Fig. 10의 경우와 같이 교점의 두 BP 세그먼트의 z 값이 같을 경우 Fig. 11과 같이 두 BP 세그먼트의 양 끝점 네 점을 이용하여 한 평면을 구성하여, 두 개의 BP 세그먼트에서 미소거리만큼 떨어진 네 점($p1$, $p2$, $p3$, $p4$)

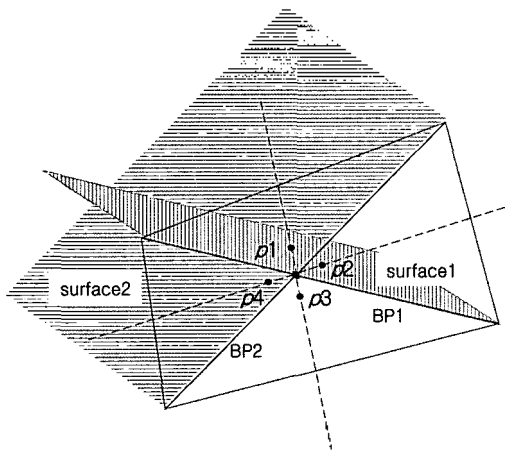


Fig. 11. Auxiliary intersection points.

을 구한다. 네 점은 두 세그먼트의 양 끝점이 이루는 사각형 각 변의 중점 방향으로 교차점에서 미소거리만큼 떨어진 지점으로 정한다. 이때 네 개의 점 중에서 한 점만이 두 BP세그먼트를 포함하는 두 면과 투영방향으로 교차한다.

Fig. 11과 같이 p1~p4를 surface1과 surface2에 투영시켜 어떤 점이 두 면과 모두 교차하면, 각각의 교차점에서 z좌표(z1', z2')를 구한다. 이 경우는 p1이 투영방향으로 두 면과 교차하는 점이다. 마지막으로 구해진 z1', z2' 좌표를 이용하여 4.3.2항에서 언급한 바와 같이 깊이 비교를 한다.

4.3.4 교점을 이용한 세그먼트 가시성 판별

교점을 이용하여 가시성을 판별하는 기본적인 계산은 QI테스트를 이용한다. QI알고리즘은 Fig. 12에서와 같이 한 선에 대하여 관찰자의 시점에서 선을 가리는 면의 개수를 직산하여 가려지지 않는 세그먼트를 판별하는 방법이다.

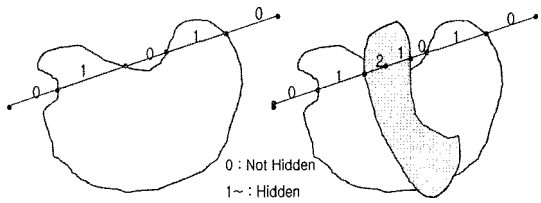


Fig. 12. Illustration of QI test result.

5. 구현 및 테스트 결과

본 논문에서 제시한 알고리즘을 사용하여 몇 가지 모델에 대하여 테스트를 수행하였다. 구현에 사용한 프로그래밍 언어로는 C++를, 데이터 구조를 위해서는 STL을 사용하였고, 별도의API는 사용하지 않았다. 단지 테스트베드 구현을 위하여 Visual Studio7.0 환경에서 OpenGL 및 MFC을 사용하였다.

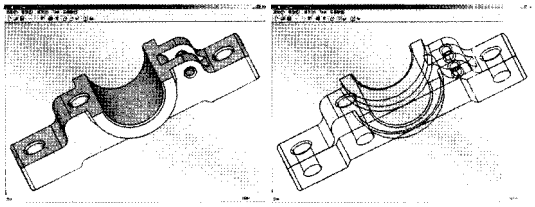
5.1 계산 단계별 실행 결과

5.1.1 데이터 입력 및 시점 설정

모델 데이터를 입력하고 이차원 투영을 시행할 방향을 정한다. Fig. 13(a)는 쉐이딩된 상태로 그린 것이고, Fig. 13(b)는 곡면의 외곽선을 모두 그린 화면이다.

5.1.2 전후면 검사 및 곡면 분할

Fig. 14는 실루엣을 생성하고, 곡면 분할을 수행한 결과이다.



(a) (b)

Fig. 13. Shaded image and wireframe display of input data.

5.1.3 곡면 연결 관계 생성 및 가시성 검사

Fig. 15는 각 BP와 만나는 면과의 교점을 구한 후, QI를 적용하여 선들의 가시성 검사를 완료한 후 은선을 제거한 결과이다.

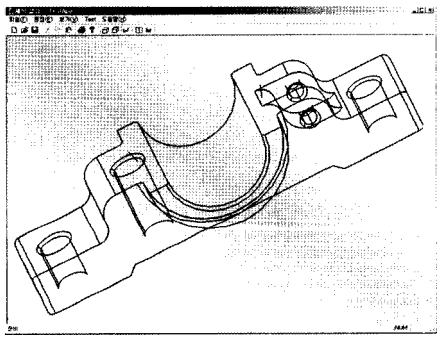


Fig. 14. Silhouette generation and surface splitting.

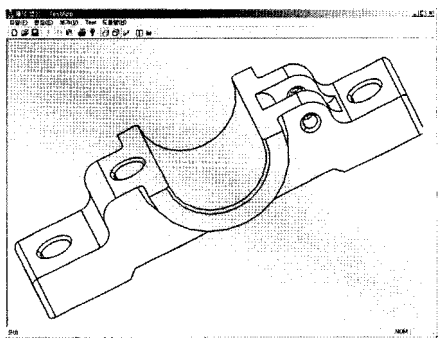
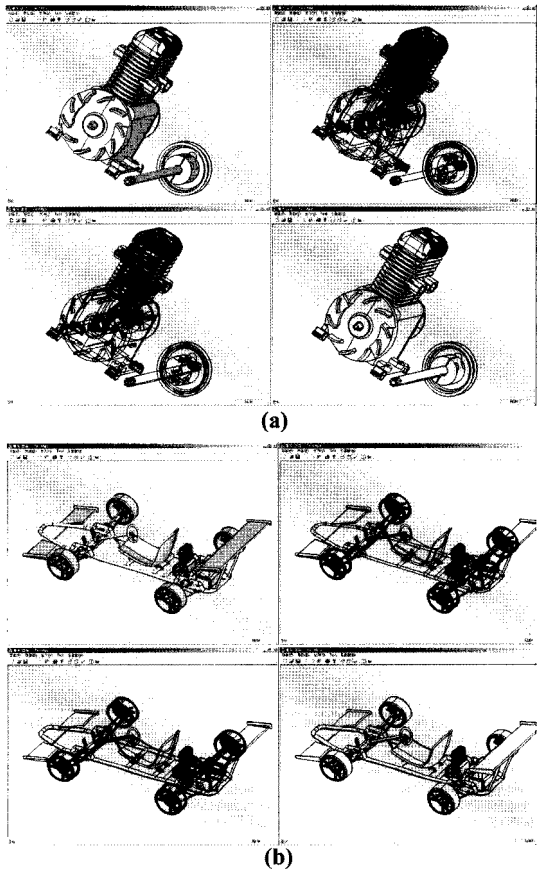


Fig. 15. Final result.

5.2 테스트 결과

Fig. 16의 (a)와 (b)는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 실제 CAD 데이터로부터 변환된 가시화 데이터에 적용한 결과이다.

Fig. 15 및 Fig. 16(a)와 (b) 에 사용된 데이터 및 소요 계산시간을 Table 2에 정리하였다. 하드웨어 테스트 환경은 AMD(2.01 GHz) CPU와 1GB RAM을 사용하였다.



(a)

(b)

Fig. 16. Test results for complex data.

Table 2. Computation result

	Fig. 15	Fig. 16(a)	Fig. 16(b)
곡면 개수(개)	69	1,074	6,945
삼각형 개수(개)	2,052	41,164	345,468
vertex 개수(개)	2,024	43,148	207,318
곡면분할 소요시간(초)	0.000	0.094	3.703
총 소요시간(초)	0.672	2.890	73.359

6. 결 론

기존의 객체 관점의 은선 제거 알고리즘은 주로 폴리곤 메쉬나 자유곡면을 대상으로 연구되고 구현되어 왔다. 하지만 CAD 데이터로부터 생성된 가시화 데이터는 변환 과정에서 생략되는 정보들로 인해서 폴리곤 메쉬를 이루는 삼각형들 간의 위상 정보가 완전하지 않기나, 여러 파트의 조립체로 표현 되는 경우도 있어 기존 연구된 알고리즘을 적용하기가 쉽지 않다.

따라서 가시화 정보로부터 기술도해를 얻기 위해서

는, 실루엣 검색 및 은선 제거 과정에서 기하 정보로부터 모델을 이루는 곡면들의 위상 관계를 알아내는 계산과 여러 파트들 간의 접촉이 있을 때 별도의 가시성 검사를 수행하는 과정이 필요하다.

본 논문에서 다루고 있는 데이터 구조를 살펴보면, 곡면이 삼각망으로 구성된다는 점에서는 곡면 자체를 다면체로서 가정할 수 있고, 곡면의 요소 중 보이지 않는 면을 제거하는 과정과 곡면을 분할하는 과정을 거쳐서 QI 테스트를 수행한다. 이 과정에서 BP를 재구성하므로 입력 데이터에 BP가 없어도 도해 생성이 가능하다. 따라서 본 알고리즘은 삼각화가 가능한 모든 자유곡면 기반의 데이터에도 적용 가능하다. CAD로부터 변환된 가시화 데이터에는 대부분 BP 데이터가 포함되어 있으므로 이 경우에는 곡면의 경계선 데이터의 생성에 사용되는 시간만큼 수행 시간이 단축된다.

본 알고리즘을 구현한 프로그램은 기술도해 저작도구의 입력으로 사용될 수 있는 이차원 벡터 그래픽 데이터를 출력한다. 제안된 알고리즘의 구현은 뷰어 응용프로그램의 기능으로 제공될 수 있다. 따라서 데이터 보안에 대한 걱정 없이 도해 데이터를 생성하여 제품의 기술 교범 및 사용자 매뉴얼 작성 등에 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2005 중앙대학교 교내학술연구비 지원에 의해서 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Isenberg, T., Freudenberg, B., Halper, N., Schlechtweg, S. and Strothotte, T., "A Developer's Guide to Silhouette Algorithms for Polygonal Models", *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 28-37, July/August. 2003.
2. Appel, A., "The Notion of Quantitative Invisibility and the Machine Rendering of Solids", *Proceedings of ACM National Conference*, pp. 387-393, 1967.
3. Sutherland, I. E., Sproull, R. F. and Schumacker, R. A., "A Characerization of Ten Hidden-Surface Algorithms", *Computing Surveys*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-55, 1974.
4. Elber, G. and Cohen, E., "Hidden Curve Removal for Free Form Surface", *Computer Graphics*, Vol. 24, pp. 95-104, Aug. 1990.
5. Kumar, S., Manocha, D., Garrett, B. and Lin, M., "Hierarchical Back-face Culling", *7th Eurographics Workshop on Rendering*, pp. 231-240, 1996.
6. Jérôm, M. and Stam, J., "A Unified subdivision Scheme for Polygonal Modeling", *Proceedings of Eurographics 2001*, Vol. 20, No. 3, pp. 471-479, Sep. 2001.
7. Lander, J., "Images from Deep in the Programmer's Cave", *Game Developer*, Vol. 8, No. 5, pp. 23-28, May. 2001.
8. Buchanan, J. W. and Sousa, M. C., "The Edge Buffer: A Data Structure for Easy Silhouette Detection", *Proceedings of the First International Symposium on Non Photorealistic Animation and Rendering*, 2000.
9. Gooch B., Sloan, P. J., Gooch, A., Shirley, P. and Riesenfeld, R., "Interactive Technical Illustration", *Proceedings of 1999 ACM Symposium. Interactive 3D Graphics, ACM Press*, pp. 31-38, 1999.
10. Benichou, F., and Elber, G., "Output Sensitive Extraction of Silhouette from Polygonal Geometry", *Proceedings of 7th Pacific Graphics Conference, IEEE CS Press*, pp. 60-69, 1999.
11. Markosian, L., Kowalski, M., Trychin, S. and Hughes, J., "Real-Time Nonphotorcalistic Rendering", *Proceedings of SIGGRAPH 97*, pp. 415-420, 1997.
12. Sander P. V., Gu, X., Gortler, S. J., Hoppe, H. and Snyde, J., "Silhouette Clipping", *Proceedings of SIGGRAPH 2000*, Computer Graphics, pp. 327-334, 2000.
13. Greene, N., Kass, M. and Miller, G., "Hierarchical Z-buffer visibility", *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 231-238, Sep. 1993.
14. Glassner, A. S., "Space Subdivision for Fast Ray Tracing", *IEEE CG&A*, Vol. 4, No. 10, pp. 15-22, Oct. 1984.
15. Heger, W., "Vector Hidden Line Removal and Fractional Quantitative Invisibility", http://wheger.tripod.com/vhl/vh-1.htm

심 현 수

2003년 중앙대학교 기계공학부 학사
2006년 중앙대학교 기계공학부 석사
2006년~현재 현대자동차 가솔린엔진 설계팀 연구원
관심분야: 데이터 인스펙션, 협업 설계

양 상 옥

1998년 중앙대학교 기계설계학과 학사
2000년 중앙대학교 기계설계학과 석사
2000년~2002년 삼성SDS UniCAD 개발팀 대리
2003년~2004년 eDiag Solutions Inc. 차장
2005년~현재 중앙대학교 기계공학부 박사과정
관심분야: 웹 기반 협력설계, Computational geometry, Mobile CAD

최 영

1979년 서울대학교 기계설계학과 학사
1981년 KAIST 생산공학과 석사
1989년 Carnegie Mellon University 박사
1990년~1991년 KIST CAD/CAM 연구실 선임연구원
1992년~현재 중앙대학교 기계공학부 교수
관심분야: 형상모델링, Physically based modeling, 웹 기반 협력설계, STEP 응용기술