

선택적 불리안 연산자를 이용한 솔리드 모델의 다중해상도 구현

이상현*(국민대 자동차공학대학원), 이강수(한밭대학교 기계공학부), 박상근

Multi-Resolution Representation of Solid Models using the Selective Boolean Operations

S. H. Lee (Kookmin Univ.), K. S. Lee (Hanbat National Univ.), S. Park

ABSTRACT

In this paper, we propose multi-resolucional representation of B-rep solid models using the selective Boolean operations on non-manifold geometric models. Since the union and subtraction operations of the selective Boolean operations are commutative, the integrity of the model is guaranteed for reordering design features. A multi-resolution representation is established using a non-manifold merged set model and a feature modeling tree reordered according to some criterion of level of detail (LOD). Then, a solid model for a specified LOD can be extracted from this multi-resolution model using the selective Boolean operations.

Key Words : Non-Manifold (비다양체), Multi-Resolution (다중해상도), Feature (특징형상), Boolean Operation (불리안 작업)

1. 서론

다중해상도 모델의 생성 및 활용에 대한 연구는 주로 컴퓨터 그래픽스 분야에서 디스플레이 속도를 향상시킬 목적으로 그 동안 활발히 이루어져 왔다. 여기서 대상으로 하는 3 차원 형상 모델은 주로 삼각형으로 이루어진 다면체 모델로서 필요한 상세 수준 (Level Of Detail (LOD))을 만족시키기 위해 edge-collapse, vertex-removal 와 같은 다양한 다면체 감소 방법이 개발되어 왔다.^[1,2]

이러한 다면체 모델에 대한 다중해상도 표현에 대한 연구와 달리, CAD 분야의 특징형상 기반 솔리드 모델링 시스템에서 사용되는 B-rep 파트 모델을 대상으로 한 연구가 최근 최동혁 등^[3]에 의해서 수행되었다. 여기에서는 특징형상을 가법(additive) 및 감법(subtractive) 특징형상으로 분류하고, 모든 가법 특징형상들의 합집합을 최저의 저해상도 모델로 설정하고, 여기에 감법 특징형상들이 적용됨에 따라 고해상도의 모델이 생성되는 것으로 가정하였다. 이러한 아이디어를 구현하기 위하여 원래의 특징형상간의 불리안 작업 트리를 변형시켜서 모든 가법 특징형상들의 합집합이 차지하는 체적을 최상위 노드로 가지고 나머지 감법 특징형상을 하위 노드로

가지는 계층적인 특징형상 트리를 생성하였다. 그러나 특징형상의 적용 순서를 바꾸는 것은 불리안 작업중 합집합과 차집합 연산이 서로 교환 가능한 경우에만 가능한 것으로써 이 논문에서는 이에 대한 아무런 수학적 검증이 없이 이를 사용하고 있다. 한편, 이 방법은 변경된 LOD 에 대하여 해당 솔리드 모델을 제공하기 위해서 특징형상 트리로부터 경계 계산(boundary evaluation)을 처음부터 다시 해야하기 때문에 많은 시간을 소모하게 된다. 그러나 원래의 다중해상도 모델의 생성 취지는 다소 기억장소를 사용하더라도 주어진 LOD 에 대한 모델을 신속히 얻어내기 위한 것이기 때문에 이 방법은 다중해상도 모델 생성의 본래 취지를 무색하게 하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 셀 구조를 갖는 비다양체 모델^[4]을 이용한 다중해상도 표현 방법을 제안하였다. 이 모델은 모든 특징형상이 병합된 하나의 비다양체 병합체 모델^[5](merged-set model)로서 특징형상들에 대한 모든 경계 정보들이 포함되어 있기 때문에 주어진 LOD 에 대한 경계 모델을 신속히 제공해 줄 수 있다. 또한, 저자가 개발한 합집합과 차집합이 서로 교환될 수 있는 선택적 불리안 작업을 도입하여 특징 형상의

적용 순서를 바꾸더라도 유효한 솔리드 모델을 제공해 줄 수 있도록 하였다.^[6] 그러면 이들 비다양체 모델을 이용한 다중해상도 표현에 대하여 보다 상세히 설명하도록 하겠다.

2. 선택적 불리안 작업

솔리드 모델에 대한 합집합과 차집합 불리안 작업은 적용 순서에 따라 그 결과가 다르다. 즉, 이들 불리안 작업은 교환 법칙이 성립하지 않는다 (즉, $A \oplus B \psi C \neq A \psi B \oplus C$). 이는 불리안 작업이 적용될 때에 이 작업의 영향을 받는 영역이 한정되어 있는데, 그 영역이 작업 순서에 따라 다르기 때문이다. 따라서 교환법칙이 성립되는 불리안 작업을 만들기 위해서는 각 불리안 작업이 적용되는 순간 그 영향이 미치는 영역을 함께 저장하여 두었다가, 나중에 그 순서가 바뀌더라도 그 작업에는 원래의 적용 영역에만 영향이 미치도록 하는 것이 필요하다. 이때, 영향이 미치는 영역은 그 작업의 결과에 기여하는 기본 입체들이라고 할 수 있다. 이와 같이 적용되는 영역이 한정되는 불리안 작업을 []에서 개발하였으며 이를 선택적 불리안 작업(Selective Boolean Operations)이라고 한다.

이 선택적 불리안 작업의 더하기 작업은 $\oplus_{\{S_i\}}$, 빼기 작업은 $\psi_{\{S_i\}}$ 로 나타내며, 여기서 $\{S_i\}$ 는 불리안 작업에 관계되는 모든 기본 입체들의 집합을 나타낸다. 이 선택적 불리안 작업은 합집합, 차집합 사이에 교환법칙이 성립한다. (즉, $A \oplus_{\{A,B\}} B \psi_{\{A,B,C\}} C = A \psi_{\{A,B,C\}} C \oplus_{\{A,B\}} B$, 그리고 $A \psi_{\{A,B\}} B \oplus_{\{A,B,C\}} C = A \oplus_{\{A,B,C\}} C \psi_{\{A,B\}} B$). 이 작업은 병합 및 선택 알고리즘에 따라 구현되어 있다. 병합 단계에서는 불리안 작업이 적용된 모든 물체를 하나의 비다양체 모델로 만들어 놓고, 선택 단계에서 주어진 불리안 트리에 따라 경계를 구성하는 위상 요소들을 추출하는 방식을 취하고 있다.

3. 상세 수준(LOD) 결정 기준 및 다중해상도 표현의 구현

솔리드 모델링 시스템에서 사용되는 특징형상은 가법 특징형상과 감법 특징형상으로 분류될 수 있으며, 특징형상 기반 모델러에서는 이들 특징형상을 기본 단위로 이들을 기본 입체에 더해 나감으로써 소기의 물체를 모델링하는 방법을 채택하고 있다. 따라서 모델링 과정은 Fig. 1에 나타난 것과 같은 트리 형태로 나타낼 수 있다. 여기서 단말노드는 기본 입체들이며, 내부 노드는 모두 합집합과 차집

합 가운데 하나를 나타내는 연산자 노드이다. 본 논문에서 제안된 특징형상의 불리안 트리는 연산자 노드에 자신의 아래에 위치하는 모든 자식 특징형상의 기본 입체에 대한 리스트를 저장하고 있으며, 이러한 정보는 모델링 작업시 생성된다. 즉, Fig. 2에 나타난 것과 같이 각 연산자 노드에 영향 범위에 대한 정보를 저장한다. 또한 모든 특징형상들이 병합된 병합체 모델이 Fig. 3과 같이 생성된다.

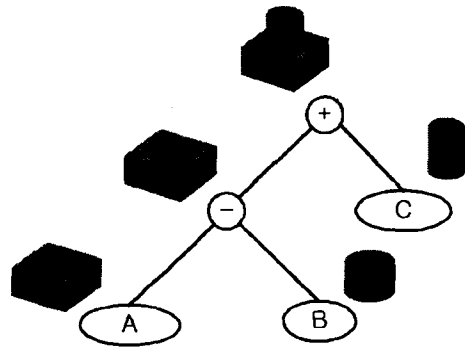


Fig. 1 An example of feature modeling tree using the conventional Boolean

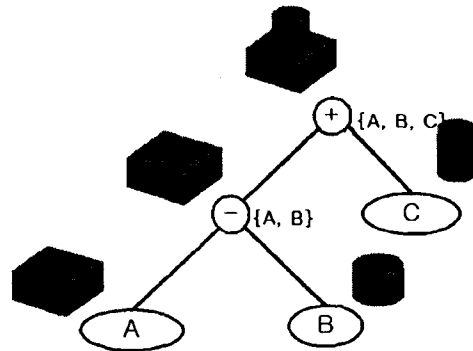


Fig. 2 A feature modeling tree using the selective Boolean operations

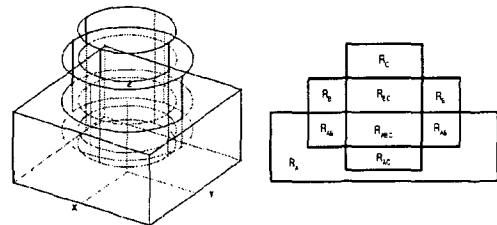


Fig. 3 The merged set model for Fig. 2 example

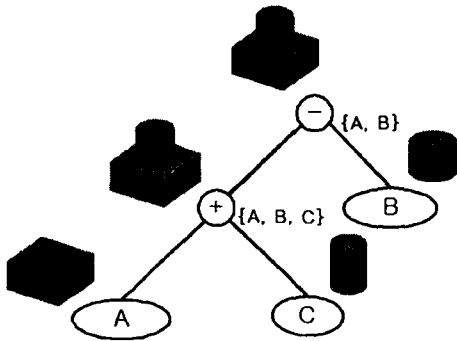


Fig. 4 Multi-resolution representation with rearranged design features.

다음, 어떤 상세 수준 결정 기준에 따라 특징형상의 적용 순서를 재배치하여 다중해상도 모델을 완성한다. 상세 수준의 결정 기준은 어느 것이 낮은 해상도 모델이고 어느 것이 높은 해상도 모델인지에 대한 판단 기준을 뜻하는 것으로서 이는 사용자마다 다르게 정의할 수 있다. 본 논문에서는 일반적으로 통용될 수 있는 2가지 방법을 제시한다.

첫번째는 가감법에 관계없이 적용한 특징형상의 부피(V_i)를 판단기준으로 삼는 방법이다. 예제에서는 $V_A > V_B > V_C$ 의 순서이므로 Fig.2에 나타난 것과 같은 다중해상도 모델이 생성된다. 여기에서는 특징형상 적용 순서가 바뀌지 않았으나, 일반적으로는 그 적용순서가 바뀌게 된다.

두번째는 가법 특징형상을 모두 더한 모델을 가장 해상도가 낮은 모델로 하고, 그것에 감법 특징형상을 큰 것에서 작은 것의 순서로 적용하여 점점 높은 해상도의 물체를 만드는 방법이 있다. 예제에 이를 적용하면 Fig.4와 같은 변경된 특징형상 모델링 트리를 갖는 다중해상도 모델이 만들어진다. Fig.4에서 보는 바와 같이 특징형상 적용 순서를 달리하여도 선택적 불리안 작업은 유효한 모델을 생성시켜준다. 만일 일반적인 불리안 작업을 적용한다면, Fig.5와 같이 유효하지 않은 모델이 발생할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 셀 구조의 비다양체 모델과 불리안 작업의 합집합과 차집합 작업 사이에 상호 교환법칙이 성립되는 선택적 불리안 작업을 이용하여 특징형상 기반 다중해상도 표현을 개발하였다. 이 방법은 초기 모델링 작업시 적용된 특징형상의 적용 순서를 자유로이 바꾸더라도 같은 결과를 보장

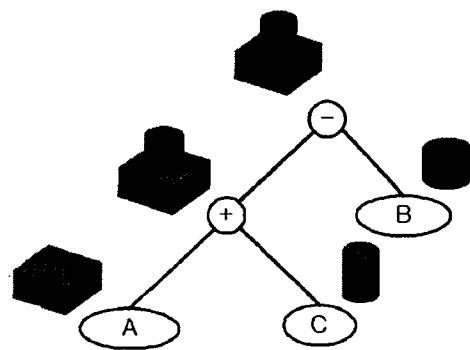


Fig. 5 Result of the conventional Boolean operations for reordered design features.

하며, 그 가운데 필요한 특징 형상만을 선택하는 경우에도 적합한 솔리드 모델을 제공해 줄 수 있다. 또한, 기존의 솔리드 모델을 이용하는 방법에 비해 기억장소는 많이 차지하나 주어진 상세 수준(LOD)에 대한 솔리드 모델을 신속히 제공해 줄 수 있는 장점을 가지고 있다. 향후 상세 수준의 판단 기준에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Schroeder, W. J., Zerge, J.A. and Lorensen, W.E., "Decimation of Triangle Meshes", *Proceedings of SIGGRAPH '92 in Computer Graphics*, Vol. 26, No.2, pp. 65-70, July 1992.
2. Cignoni, P., Montani, C. and Scopigno, R., "A Comparison of Mesh Simplification Algorithms", *Computers & Graphics*, Vol.22, No.1, pp.37-54, 1998.
3. 최동혁, 김태완, 이건우, "Feature conversion 을 이용한 B-rep model 의 다중해상도 구현", 2001 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp.57-64, 2001.2
4. Sang Hun Lee and Kunwoo Lee, "Partial Entity Structure: A Compact Boundary Representation for Non-Manifold Geometric Modeling", *ASME Journal of Computing & Information Science in Engineering*, Vol.1, No.4, pp.356-365, 2001. 12.
5. 김성환, 이건우, 김영진, "비다양체 모델을 수용하는 CAD 시스템 커널을 위한 불리안 조작의 개발", Vol.1, No.1, pp.20-32, 1996.
6. 이상헌, 이강수, 박상근, "교환법칙을 만족하는 비다양체 모델의 선택적 불리안 작업의 개발", 한국정밀공학회 2002년도 춘계학술대회 논문집, KSPE 2-229, 2002. (to appear)