

셀룰러 토폴로지를 이용한 솔리드 모델 스트리밍

이재열^{1*} · 김 현²

¹전남대학교 산업공학과 / ²한국전자통신연구원 분산협업기술연구팀

Streaming of Solid Models Using Cellular Topology

Jae Yeol Lee¹ · Hyun Kim²

¹Department of Industrial Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 500-757

²Distributed Collaboration Technology Research Team, ETRI, Daejeon, 305-350

Progressive mesh representation and generation have become one of the most important issues in network-based computer graphics. However, current researches are mostly focused on triangular mesh models. On the other hand, solid models are widely used in industry and are applied to advanced applications such as product design and virtual assembly. Moreover, as the demand to share and transmit these solid models over the network is emerging, the generation and the transmission of progressive solid models depending on specific engineering needs and purpose are essential. In this paper, we present a Cellular Topology-based approach to generating and transmitting progressive solid models from a feature-based solid model for internet-based design and collaboration. The proposed approach introduces a new scheme for storing and transmitting solid models over the network. The Cellular Topology (CT) approach makes it possible to effectively generate progressive solid models and to efficiently transmit the models over the network with compact model size.

Keywords: progressive solid model, cellular topology, feature-based design, level-of-details (LOD), solid model

1. Introduction

컴퓨터 그래픽스 분야에서 실감에 대한 기대가 높을수록 이를 만족시키기 위한 형상 모델의 섬세함이 요구된다. 모델링 시스템에서 섬세한 모델은 Extrusion, Constructive Solid Geometry, Freeform Deformation 등과 같은 다양한 형상 오퍼레이션에 의해서 생성될 수 있다. 하지만 효율적인 가시화를 위해서는 이렇게 생성된 모델이 삼각망과 같은 메시로 격자화(tessellation) 되어야만 한다. 그러나, 이렇게 생성된 메시는 저장, 전송, 렌더링(Rendering) 등을 지원하기에는 많은 어려움이 따르며, 이를 극복하기 위해서는 1) 메시 단순화(mesh simplification), 2) LOD 생성(Level-of-Detail generation), 3) 프로그레시브 전송(progressive

transmission), 및 4) 메시 압축(mesh compression) 등에 관한 연구가 필요하다(Garland, 1997; Hoppe, 1996; Popvic, 1997; Rossignac, 1999).

컴퓨터 그래픽스에서 사용되는 모델은 주로 삼각망을 이용해서 표현된다. 하지만, 산업현장에서 제품개발에 (즉, 제품설계 및 가상 어셈블리) 사용되는 것은 삼각메시가 아니라 솔리드 모델이다. 뿐만 아니라, 이러한 제품개발 프로세스가 분산 환경하에서 진행되기 때문에 솔리드 모델을 네트워크 상에서 어떻게 효율적으로 공유 및 교환을 할 것인가가 중요한 이슈로 떠오르고 있다(최동혁, 2002; Lee, 2002; 이재열, 2000). 이를 위해서는 특정 애플리케이션에 적합한 LOD 생성 및 효율적인 전송과정이 요구된다. 하지만, 현재의 대부분의 연구결과는 삼각메시에 국한된 것이고, 솔리드 모델과 관련된 연구는 미

본 연구는 한국학술진흥재단 연구지원으로(KRF-2003-003-D00558) 수행되었음.

*연락처 : 이재열, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300 전남대학교 산업공학과, Fax : 062-530-1789,

E-mail : jaeyeol@chonnam.ac.kr

미하다. 결국, 인터넷 환경하에서 제품개발을 위한 협업이 올바르게 이루어지기 위해서는 솔리드 모델의 LOD 생성 및 프로그래시브 전송이 필수적이다(Lee, 2001; Lee, 2002).

기존 연구결과들을 살펴보면 주로 삼각메시의 프로그래시브 모델 생성 혹은 압축과 관련된 내용이다. 반면에 제품설계에 널리 사용되는 솔리드 모델로부터 프로그래시브 모델 생성 혹은 전송과 관련된 연구결과는 드물다. 이러한 중요성을 언급한 관련 내용을 살펴보면, Wu(2001) 등은 협업분산 환경하에서 솔리드 모델링 과정에서 발생하는 수정을 효과적으로 수행 및 전송하기 위한 방법론을 제시하였다. Belaziz(200) 등은 디자인 프로세스 상에서 분석 툴과의 효과적인 통합을 도울 수 있는 Morphological 분석 방법을 제시하였다. 최동혁(2002) 등은 특징형상 모델링 히스토리를 재배치시킴으로써 B-Rep의 다중해상도 생성을 위한 방법론을 제시하였다. 재배치과정에서는 불리언 작업의 합집합과 차집합의 교환과정이 경우에 따라 필요하다. 하지만, 재배치 과정 및 각 레벨 간의 전이과정에는 불리언 연산이 필요하여 많은 계산시간을 요구한다. 이상현(2002a; 2002b) 등은 불리언 작업 중 합집합과 차집합 사이에는 일반적으로 교환과정이 성립하지 않음을 지적하고, 셀 구조를 갖는 비다양체 모델을 다중해상도 구현에 적용시켜, 합집합과 차집합 작업 사이에 상호교환 법칙이 성립되는 선택적 불리언 작업을 제시하였다. 이재열(Lee, 2002) 등은 솔리드 모델을 인터넷 상에서 전송시키기 위해서 프로그래시브 솔리드 모델을 제시하였으며, 이는 셀룰러 토폴로지를 이용하여 어떻게 효율적으로 프로그래시브 솔리드 모델을 표현하고 생성할 것인지에 관한 방법을 제시하였다. 일반적으로, 올바른 프로그래시브 모델을 생성하기 위해서는 효율적인 인터넷 전송지원(Efficient Transmission), 불리언 연산과 같은 비효율적인 작업 최소화(Computational Efficiency), 각 레벨 간의 전이 용이(Easy Transition between LODs) 및 LOD의 효율적인 저장(Efficient Storage of LOD), 전송 및 복원 후 정보손실 최소화 등이 요구된다(Hoppe, 1996; Lee, 2002; 이상현, 2002a; 이재열, 2000). 따라서, 본 논문에서는 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 새로운 방법론을 제시하는 데 주목적이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장은 프로그래시브 솔리드 모델을 효율적으로 생성시키기 위한 형상표현 방법에 대해서 설명하고, 제3장은 2장에서 언급된 형상표현을 기반으로 특징형상 모델로부터 프로그래시브 솔리드 모델을 생성시키는 방법에 대해서 기술한다. 제4장은 구현결과를 보여주며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. Progressive Solid Model Representation

2.1 Overview

일반적으로, 설계된 파트의 디테일 모델은 특정 응용분야에

항상 적합한 것은 아니다. 경우에 따라서는 디테일 모델이 단순화되거나 이상화되어야만 특정 응용분야에 사용될 수 있다. 이러한 단순화 및 이상화 과정 중의 하나인 프로그래시브 모델 생성이 적용되면 사용자는 인터넷 상에서 초기 단순화 모델 SM^0 를 우선적으로 받고 n 상세변위 모델($DV_0 \sim DV_{n-1}$)을 점진적으로 받으면서 최종모델 SM^n 로 디테일화시킬 수 있다. 각각의 상세변위 모델 DV_i 는 델타볼륨(delta volume)으로 칭하며 이는 SM^i 에서 SM^{i+1} 로 변환시킨다($SM^{i+1} = SM^i \cdot * DV_i$). 이러한 과정은 분산환경하에서 형상 모델 가시화나 협업과정에서 많은 도움을 줄 수 있다. 또한, 사용자의 역할에 따라서 특정한 모델 SM^i 만 접근 허용을 가능케 하여 보다 폭넓게 사용될 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 최종 모델 $SM = SM^n$ 으로부터 아래와 같이 SM^0 와 n 상세변위 모델을 생성시킨다.

$$(SM = SM^n) \xrightarrow{Y * DV_{n-1}} \xrightarrow{Y * DV_1} SM^1 \xrightarrow{Y * DV_0} SM^0$$

여기서 Y^* 는 불리언 유니온 오퍼레이션이며, DV_i 는 SM^{i+1} 와 SM^i 사이의 델타볼륨이다.

위에서 생성된 역변환 과정이 프로그래시브 모델 생성과정이다. 즉,

$$SM^0 \xrightarrow{- * DV_0} SM^1 \xrightarrow{- * DV_1} SM^2 \xrightarrow{- * DV_{n-1}} (SM = SM^n)$$

본 논문에서는 $\{SM^0, \{DV_0, DV_1, \dots, DV_{n-1}\}\}$ 을 프로그래시브 솔리드 모델 표현(Progressive Solid Model Representation)이라고 칭한다. 특히, 디퍼런스 및 유니온 불리언 과정은 삼각메시의 프로그래시브 모델 생성 과정인 *evol* 및 *usplit* 과정에 비유된다(Garland, M. et. al., 1997).

결론적으로 제시된 프로그래시브 모델은 아래와 같은 성질이 있다:

$$- \text{Completeness} : \Delta \subseteq \bigcup_i DV_i \text{ where } \Delta = SM^0 - * SM^n$$

$$- \text{Presence} : \Delta - * \bigcup_{DV_i \in DV - \{DV_i\}} DV_i \neq \emptyset \text{ and } DV_i \cap SM^n \neq \emptyset$$

$$- \text{Non-interaction characteristics} : DV_i \cap * DV_j = \emptyset \text{ and } DV_i \cap DV_j \neq \emptyset$$

$$- \text{Volume decreasing property} : SM^{i-1} \supset SM^i \text{ for all } i, i = 1, \dots, n$$

하지만 델타볼륨과 불리언 연산은 프로그래시브 모델 생성에 여러 가지 단점을 야기시키며, 이를 극복할 수 있는 방안이 필요하다(최동혁, 2002; Lee, 2002; 이상현, 2002a).

- Computational expensiveness : SM^i 에서 SM^{i+1} 로의 전이는 불리언 연산 $SM^i - * DV_i$ 를 필요로 하기 때문에 델타볼륨에 기반한 표현은 효율적이지 못하다. 또한, 클라이언트가 불리언 연산을 수행시킬 수 있어야 하기 때문에 *thin* 클라

셀에 영향을 끼치기도 한다. 즉, F_1 은 $C_1, C_2, C_3, C_5, C_7, C_8, C_9$ 에 영향을 끼친다. 특히, C_6 와 C_{10} 은 더미(dummy) 셀인데, 이들은 Negative 볼륨이며 특징형상 소유주가 하나뿐인 셀로, 프로그래시브 모델 생성에 영향을 끼치지 않는다. Figure 2(c)는 셀의 병합과 분리에 따른 일련의 프로그래시브 모델의 한 예를 도시하고 있다. 이를 효과적으로 생성시키기 위한 Cut&Paste Operation은 다음 장에서 설명한다.

본 논문에서 사용될 용어를 아래와 같이 정의한다.

- 1) 특징형상 셀(Feature Cell) C_k 는 CELL3D 대신 사용됨.
- 2) 특징형상 셀의 최종 소유주는 가장 마지막으로 파트에 추가된 특징형상을 의미함. 예를 들면, Figure 3에서 FC의 최종 소유주는 슬롯 특징형상임.
- 3) 만약 최종 소유주가 Negative (혹은 Positive) 형상이면, 특징형상 셀도 Negative (혹은 Positive)로 불리며 C_k^- (혹은 C_k^+)로 정의됨.

3. Progressive Solid Model Generation

프로그래시브 솔리드 모델 생성과정은 초기 특징형상 모델 $SM=SM^0$ 으로부터 SM^0 로 변환시키는 일련의 변환과정이다. 본 연구에서는 파트 $P=SM^0$ 은 F_1, \dots, F_m 의 특징형상으로 설계되었으며, P 는 앞 장에서 설명한 것처럼 CT 모델로 표현이 가능하다고 가정한다. 결과적으로, 모델 생성과정을 거치게 되면 프로그래시브 솔리드 모델 표현 (PSM)은 $\{SM^0, \{PF_0, PF_1, \dots, PF_{n-1}\}\}$ (여기서, PF_i 은 레벨 i 에서의 프로그래시브 특징형상)로 표현된다. PSM 생성 프로과정은 우선 SM^0 를 찾고, 1) Negative 특징형상 셀을 찾고, 2) 이들을 클러스터링하여 분리된 셀 영역(Cell Region)을 나누며, 3) 각 셀 영역을 분할하며, 4) 분할된 셀로부터 일련의 프로그래시브 특징형상을 생성시키는 과정을 따른다.

3.1 Progressive Features

본 연구에서는 2장에서 언급된 델타볼륨의 단점을 극복하기 위해서 프로그래시브 특징형상 개념을 제시한다. 이는 셀의 병합과 분할로부터 유도된다. 제시된 개념의 장점은 효율적인 전송 및 저장이 가능하며, LOD 간에 전이가 쉽게 이루어진다.

델타볼륨 DV_i 에 대응되는 프로그래시브 특징형상 PF_i 은 속성값을 포함한 델타볼륨의 Face의 Subset으로 정의된다. 즉, PF_i 는 (N_i, O_i, A_i) 로 정의되며, N_i 은 $SM^i(N_i)$ 에 추가될 Face의 Set이고, O_i 는 $SM^i(O_i)$ 로부터 제거되어야 할 Face의 Set이며, A_i 는 속성값을 나타낸다.

$$N_i = \partial DV_i - \sum_k f_k, \text{ where } f_k \in \partial DV_i \text{ and } f_k \cap \partial SM^i \neq \emptyset$$

$$O_i = \text{A set of Facelds of } \sum_k f_k,$$

$$\text{where } f_k \in \partial DV_i \text{ and } f_k \cap \partial SM^i \neq \emptyset$$

여기서 ∂SM^i 는 SM^i 를 구성하는 특징형상 셀의 외부 면을 나타내며, f_k 는 DV_i 의 면이다. 또한, 속성값은 색깔, 텍스처, 엔지니어링 정보 등을 포함할 수 있다.

면 f_k 의 Faceld는 다음과 같이 정의된다:

$$\text{Faceld}(f_k) = [\text{ProgressiveFeatureId}, \text{faceIndex } k, \text{surfaceType}]$$

3.2 Generating Progressive Features

프로그래시브 특징형상 모델을 생성하는 것은 다음의 4 단계를 거친다.

- 1) Constructing SM^0 ,
- 2) Extracting negative feature cells whose last owners are negative features,
- 3) Clustering them into disjoint cell regions by analyzing the connectivity of the cells,
- 4) Decomposing each cell region into progressive features and sequencing them,
- 5) Ordering clusters and sequencing progressive features.

최종적으로 순서를 정할 때 사용될 수 있는 기준은 형상 볼륨, 접근성(accessibility), 뷰(view dependency), 저장 크기 등이 있을 수 있다. Figure 3은 최종적으로 생성된 프로그래시브 모델 및 특징형상을 도시하고 있다. 여기에 이용된 기준은 특징형상 볼륨 및 접근성이다. 밝은 회색으로 표시된 부분은 새로운 프로그래시브 특징형상의 추가되기 전에 삭제되어야 할 면이다.

3.3 Progressive Transmission

프로그래시브 모델의 용도는 우선 SM^0 를 전송시키고 순차적으로 프로그래시브 특징형상을 전송시키는 것이다. 수신하는 쪽에서 SM^0 로부터 SM^i 를 점진적으로 생성시킬 수 있다. 특히, 프로그래시브 특징형상을 사용함으로써 델타볼륨 사용과 비교해서 보다 효과적인 전송뿐만 아니라, LOD생성, 또한 각 LOD 사이의 효율적인 전이 등이 가능하다. 또한, 업데이트 과정은 불리언 연산과정이 필요없으며, Face Cut& Paste 과정에 의해서 쉽게 이루어질 수 있다.

각 LOD 상에서의 전이는 아래와 같이 쉽게 이루어진다:

– Transition from SM^i to SM^{i+1} :

$$\partial SM^{i+1} = \partial SM^i - \partial SM^i(O_{i+1}) + N_{i+1}^{A_{i+1}}$$

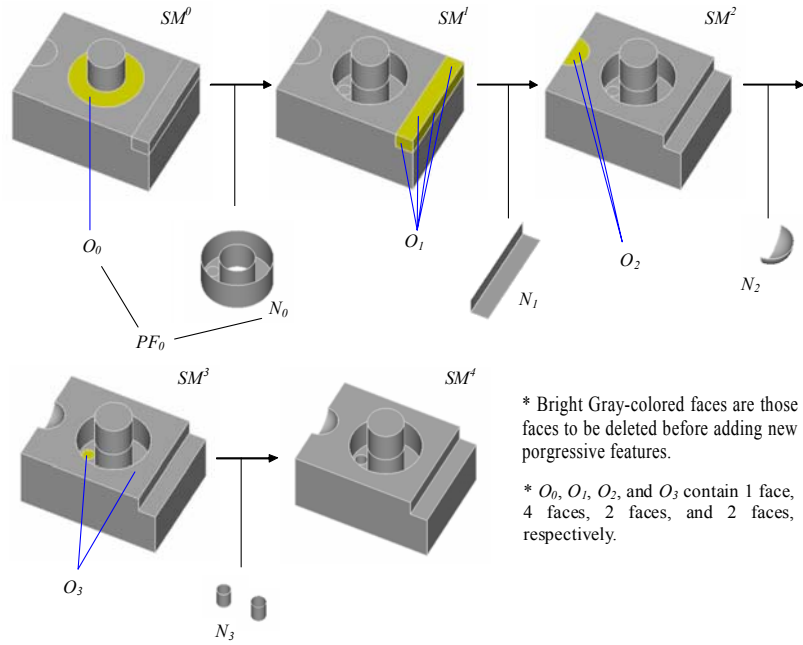


Figure 3. A sequence of the generated progressive features.

– Transition from level SM^{i+1} to SM^i :

$$\partial SM^i = \partial SM^{i+1} + \partial SM^i(O_{i+1}) - N_{i+1}^{A_{i+1}}$$

여기서 ∂SM^i 는 SM^i 의 Face Set이며, $\partial SM^i(O_{i+1})$ 는 ∂SM^i 로부터 삭제되어야 할 Face Set이고, $N_{i+1}^{A_{i+1}}$ 는 A_{i+1} 속성값을 지니고 ∂SM^i 에 추가되어야 할 Face Set이다.

한 예를 보여준다. 특히, 본 연구에서는 additive 특징형상을 Suppression하는 기능을 제공한다. Figure 4에서 볼 수 있듯이 크레인의 탑은 비록 Additive 형상이지만 초기 모델이 아닌 최종 프로그레시브 모델에 나타난다. 이러한 기능은 SM^0 를 단순화시키고 보다 효과적인 프로그레시브 모델을 생성시키는 데 도움을 준다. 본 연구에서 Suppression 적용 여부는 형상의 볼륨크기에 기반을 두었다.

4. System Implementation

본 장에서는 솔리드 모델로부터 프로그레시브 모델을 생성한 구현결과를 실례를 통해서 설명한다. 본 연구는 ACIS™의 Cellular Topology Husk 모듈을 사용하였다.

Figure 4에서는 크레인 팔에 대한 프로그레시브 모델을 생성

5. Conclusion

본 논문에서는 분산환경하에서 효율적인 설계모델 공유 및 전송을 위한 셀룰러 토폴로지 기반 프로그레시브 솔리드 모델 표현 및 생성 방법론을 제시하였다. 제시된 방법은 인터넷 상

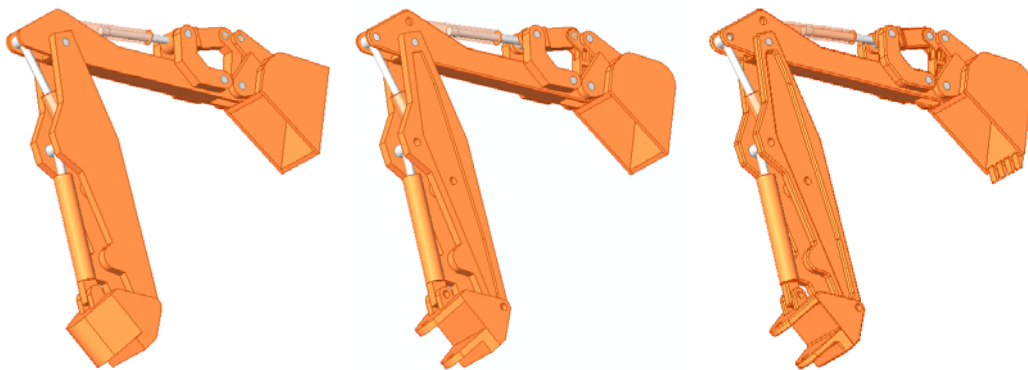


Figure 4. Progressive solid models of a crane arm.

에서 효과적인 전송을 지원할 뿐만 아니라, 효과적인 LOD 생성 및 각 LOD 사이의 효율적인 전이를 가능케 한다. 특히, 프로그래시브 특징형상 개념을 제시하여 솔리드 모델 전송의 문제점인 불리언 작업을 개선하여 전송 및 복원, 혹은 각 LOD 간의 전이 과정을 프로그래시브 특징형상의 N, O, A를 이용하여 용이하게 지원할 수 있다. 또한, 프로그래시브 특징형상에 속성 값을 유지 및 저장시켜 프로그래시브 모델 생성뿐만 아니라 다양한 응용분야에 사용될 수 있도록 기존의 정보를 보존할 수 있다.

하지만, 다음과 같은 추후연구가 더 필요하다.

- 효율적인 Additive 특징형상의 Suppression 방법: 단순히 특징형상 볼륨뿐만 아니라 다양한 기준을 설정하고 이를 바탕으로 효과적인 구현방법론 개발이 필요하다.
- 다양한 순위결정 기준 선정: 프로그래시브 특징형상 순위를 결정하는 데 현재는 셀룰러 모델의 셀의 부피 정보나 accessibility를 이용하였지만 보다 폭넓은 기준을 적용시킬 필요가 있다.
- 어셈블리 모델로부터 프로그래시브 모델 생성: 다양한 어셈블리 제약조건을 고려하여 어셈블리 모델로부터 프로그래시브 모델을 생성시킬 수 있는 방법론 개발이 필요하다.
- 단순히 특징형상 모델로부터 프로그래시브 모델을 생성시키지 않고 기존의 솔리드 모델로부터 프로그래시브 모델을 효과적으로 추출할 수 있는 방법론 개발이 필요하다.

참고문헌

- Belaziz, M., Bouras, A., and Burn, J. M.(2000), Morphological analysis for product design, *Computer-Aided Design*, 32(5-6), 377-388.
- Bidarra, R. and Bronsvort, W.F.(2000), Semantic feature modeling, *Computer-Aided Design*, 32(3), 201-225.
- Bidarra, R., de Kraker, K.J., and Bronsvort, W.F.(1998), Representation and management of feature information in a cellular model, *Computer-Aided Design*, 30(4), 301-313.
- 최동혁, 김태완, 이건우(2002), 특징형상 변환을 이용한 B-rep 모델의 다중해상도 구현, *한국CAD/CAM학회 논문집*, 7(2), 121-130.
- Garland, M. and Heckbert, P.(1997), Surface simplification using quadric error metrics, *Proceedings of ACM SIGGRAPH '97*, 209-216.
- Hoppe, H.(1996), Progressive meshes, *Proceedings of ACM SIGGRAPH '96*, 99-108.
- Lee, J.Y., Kim, H., and Han, S.B.(1999), Web-enabled feature-based modeling in a distributed design environment, *Proceedings of ASME/DETC '99*, DFM8941.
- Lee, J.Y., Kim, H., and Kim, K.(2001), A web-enabled approach to feature-based modeling in a distributed and collaborative design environment, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 9(1), 74-87.
- Lee, J.Y., Lee, J.-H., Kim, H., and Kim, H.-S.(2002), Progressive solid models for internet-based design and collaboration, *Proceedings of ASME/DETC '02*, CIE-34457.
- Popovic, J. and Hoppe, H.(1997), Progressive simplicial complexes, *Proceedings of ACM SIGGRAPH '97*, 217-224.
- Rossignac, J.(1999), Edgebreaker: connectivity compression for triangle meshes, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5(1), 41-61.
- Rossignac, J. and Requicha, A.A.G.(1991), Constructive non-regularized geometry, *Computer-Aided Design*, 23(1), 21-31.
- Shah, J.J. and Mantyla, M.(1995), *Parametric and Feature-based CAD/CAM*, John Wiley.
- Wu, D. and Sarma, R.(2001), Dynamic segmentation and incremental editing of boundary representations in a collaborative design environment, *Proceedings of ACM Solid Modeling '01*, 289-300.
- 이상헌, 이강수, 박상근(2002a), 선택적 불리언 연산자를 이용한 솔리드 모델의 다중해상도 구현, *한국정밀공학회 춘계학술대회논문집*, 833-835.
- 이상헌, 이강수, 박상근(2002b), 교환법칙을 만족하는 비다양체 모델의 선택적 불리언 작업의 개발, *한국정밀공학회 춘계학술대회논문집*, 836-839.
- 이재열, 김현, 한성배(2000), 네트워크 기반 특징형상 모델링, *한국CAD/CAM학회 논문집*, 5(1), 12-22.