한국CAD/CAM학회 논문집
Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers

Vol. 19, No. 2, pp. 191-201. June 2014
DOI http://dx.doi.org/10.7315/CADCAM.2014.191

〈응용논문〉

pISSN 1226-0606
eISSN 2288-6036

스마트 디바이스를 위한 3D 파라메트릭 CAD 시스템

강윤아[1] · 한순흥[2†]

[1]국방과학연구소 1본부, [2]카이스트 해양시스템공학과

A 3D Parametric CAD System for Smart Devices

Yuna Kang[1] and Soonhung Han[2†]

[1]1st R&D Institute, Agency for Defense Development
[2]Department of Ocean System Engineering, KAIST

Received 24 February 2014; received in revised form 5 May 2014; accepted 7 May 2014

ABSTRACT

A 3D CAD system that can be used on a smart device is proposed. Smart devices are now a part of everyday life and also are widely being used in various industry domains. The proposed 3D CAD system would allow modeling in a rapid and intuitive manner on a smart device when an engineer makes a 3D model of a product while moving in an engineering site. There are several obstacles to develop a 3D CAD system on a smart device such as low computing power and the small screen of smart devices, imprecise touch inputs, and transfer problems of created 3D models between PCs and smart devices. The author discusses the system design of a 3D CAD system on a smart device. The selection of the modeling operations, the assignment of touch gestures to these operations, and the construction of a geometric kernel for creating both meshes and a procedural CAD model are introduced. The proposed CAD system has been implemented for validation by user tests and to demonstrate case studies using test examples. Using the proposed system, it is possible to produce a 3D editable model swiftly and simply in a smart device environment to reduce design time of engineers.

Key Words: Computer-aided design, Multi-touch gesture, Procedural model, Smart device, 3D parametric modeling

1. 서 론

1.1 연구 배경

최근 네트워크 발달과 중앙처리장치(CPU: Central Processing Unit)의 소형화, 모바일 기기의 발달을 통하여 스마트 폰과 스마트 패드로 대표되는, 이른바 '스마트 디바이스'가 널리 보급되고 있다. 스마트 디바이스는 작고 가벼워 이동하면서 사용하기 간편하며, 카메라, 위성항법장치(GPS: Global Positioning System), 가속도계, 지자기센서, 자이로스코프, 근접센서, 조도센서 등 다양한 센서들을 기본적으로 내장하고 있고, 블루투스(bluetooth), 인터넷 등 무선 통신도 원활하게 사용이 가능하여 다양한 용도로 사용되고 있다. 개인의 스케줄이나 정보 관리뿐만 아니라 최근에는 다양한 산업분야에서도 스마트 디바이스의 적용에 주목하고 있다.

CAD 분야에서도 역시 모바일 디바이스를 사용

†Corresponding Author, shhan@kaist.ac.kr
©2014 Society of CAD/CAM Engineers

한 디자인 도구나 시스템 개발에 주목하고 있다[1]. 스마트 디바이스상에서 CAD 시스템을 사용한다면 터치를 통한 직관적이고 빠른 입력, 그리고 무선 네트워크 및 다양한 내장 센서를 이용하여 모델링에 필요한 추가적인 정보 수집 측면에서 유비쿼터스(ubiquitous) 기술의 장점을 CAD 분야에 효과적으로 접목시킬 수 있다.

스마트 디바이스는 아직까지 PC나 노트북 컴퓨터의 하드웨어 성능을 따라가지 못하기 때문에 데스크탑 환경에서는 성능 면에서 상대적으로 불리하다. 그러나 이동 중 임의의 장소에서 모델링을 하거나 산업현장에서 직접 주변 환경을 확인하며 모델링을 하는 경우 등 불특정 위치에서 CAD 시스템을 사용해야 할 때, 스마트 디바이스가 유일하고 효율적인 대안이 될 수 있다. 스마트 디바이스 CAD 시스템은 이러한 '이동성'과 '현장성'이 최대 강점이라고 볼 수 있다.

1.2 문제의 정의

PC 환경에서는 Dassult Systems의 Solidworks, CATIA, Siemens의 NX(Unigraphics) 등 이미 다양한 상업용 3D CAD 시스템들이 존재한다. 그러나 현존하는 스마트 디바이스의 CAD 관련 어플리케이션은 아직까지 대부분이 2D 도면만 수정이 가능하거나, 3D 모델을 가시화하는 기능만 제공하거나, 제공되는 3D 형상을 불러오고 배치하는 정도의 기능만 제공하고 있다. 문서 작업 프로그램이나 이미지 편집 프로그램, 게임 등등 다양한 기존 PC 기반의 어플리케이션이 스마트 디바이스에서 사용되고 있음에도 불구하고, 아직까지 스마트 디바이스용 CAD 시스템은 개발이 더디게 하는 몇 가지 이슈가 존재한다[2].

첫째, 현존하는 PC 기반 3D CAD 시스템은 스마트 디바이스 상에 그대로 적용하기에 크고 무겁다. 설치 용량은 기가바이트(gigabyte) 단위이며 내부적으로도 매우 복잡도가 높은 계산이 수행되기 때문에 컴퓨팅파워가 낮은 스마트 디바이스에 그대로 적용하기 어렵다.

둘째, 터치 제스처로는 정확한 입력을 생성하기 어렵다. 스마트 디바이스에서 대부분의 입력은 터치 제스처로 제한되는데, 직관적이지만 터치를 하는 도중 손가락이 화면을 가리게 되어 정확한 위치의 입력이 어렵다. PC 기반 CAD 시스템의 모든 기능을 스마트 디바이스에서 사용하기 위해서는 많은 메뉴, 복잡한 사용자 인터페이스(UI: User Interface)가 필요하게 되어 터치 입력에서 오류가 발생할 확률이 높고, 정밀한 수치를 입력하는 것에도 어려움이 있다.

마지막으로 스마트 디바이스와 PC 기반 CAD와의 호환문제가 존재한다. 스마트 디바이스 CAD 시스템에서 만들어진 모델은 단순 껍데기 모델이 아닌 실제 솔리드(solid) 모델이어야 하며 추후 필요에 따라 파라미터의 수정이 원활하게 이루어져야 한다. 이를 위해서는 스마트 디바이스에서 생성한 모델이 기존에 존재하는 PC 기반 CAD 시스템과 호환될 필요가 있다. 다른 CAD 시스템에서 설계변경이 가능하기 위해서는 설계이력 정보가 포함된 CAD 모델을 교환해야 하는데, STEP이나 IGES 등의 표준 포맷들도 설계 이력정보는 포함하고 있지 않으며 상업용 CAD 시스템은 각각 독립적으로 상이한 포맷을 사용하고 있어 호환에 어려움이 있다.

본 연구에서는 위와 같은 스마트 디바이스의 특징으로 인한 다양한 문제들을 해결하여 스마트 디바이스 상에서 사용이 가능한 3D CAD 시스템을 제안한다.

1.3 관련 연구

스마트 디바이스가 널리 보급된 것이 2000년대 후반이기 때문에 최근 들어서야 스마트디바이스상의 모델링 관련 연구들이 생겨나고 있다. Sharma, Madhvanath[3]와 Ranglani[4]는 모바일 디바이스 상에서 멀티터치를 이용하여 모델링하는 연구이다. 그러나 두 연구 모두 특징형상 기반의 모델링을 제공하지 않고, Ranglani의 경우 여러 개의 참조형상(primitive) 모델을 배치하여 3D 형상을 얻는 방법을 사용하였으며, Sharma의 경우는 면을 스케치한 후 스케일(scale) 명령을 이용하여 돌출특징형상(extrude)을 만들 수 있도록 하였다.

PC 기반 상업용 CAD 회사 중에는 현재 Autodesk[5]사가 스마트 디바이스 어플리케이션 개발에 가장 적극적으로 참여하고 있다. 'AutoCAD 360'이나 'Inventor Publisher Mobile Viewer'와 같은 상업용 CAD와 호환 가능한 어플리케이션들을 발표하였는데, 아직까지는 3D 모델링 기능은 지원하지 않고 있다. Autodesk사의 어플리케이션 중 3D 모델링이 가능한 것은 '123 Design'인데, 이것은 3D 프린팅 용 모델을 사용자가 간편하게 만들 수 있도

록 지원하며, 형상을 수정하여 원하는 모델을 얻을 수 있도록 하고 작성한 모델을 메쉬(mesh) 형태로 출력하여 PC와 교환이 가능하다. 하지만 주어진 형상 외의 임의의 형상을 만들기가 어렵고, 메쉬 형태로 PC와 교환하게 되면 파라미터의 수정이 어려워 모든 정점(vertex)의 위치를 일일이 수정하거나 B-rep 혹은 특징형상 정보를 재생성하는 과정을 거친 후 모델을 수정해야 한다는 문제점이 있다.

그 외에 몇몇 시스템이 스마트 디바이스 상에서 상업용 3D CAD 시스템과 같이 특징형상 기반 모델링이 가능하도록 만들어진 것을 볼 수 있다. ModelAN3D[6]의 경우 사용자가 만든 스케치 기반으로 돌출특징형상과 회전특징형상(revolve)을 만들 수 있도록 지원하며, 만들어낸 각 모델을 3D 공간상에서 원하는 위치로 움직일 수 있다. 이 시스템은 앞서 설명한 시나리오와 같이 만든 3D 모델을 증강현실을 통해 실제 배경에 증강시켜 가시화가 가능하다는 특징이 있다. 또한 일반 CAD 시스템에서 사용되는 참조나 조립체 개념을 배제하고, 단순히 각 스케치에 돌출특징형상 혹은 회전특징형상을 생성한 후 두 개 이상의 특징형상을 배치/조합하여 모델을 만들기 때문에 최종 모델을 CAD 시스템과 호환 가능하도록 만들기 어렵다.

또 다른 모델링 시스템인 AutoQ3D[7]는 마찬가지로 돌출특징형상과 회전특징형상을 지원하며, 스냅(snap) 기능과 치수 입력 기능을 지원하여 스마트 디바이스 상에서도 정확한 입력이 가능하도록 하고 있다. SpaceDraw[8]는 현존 스마트 디바이스 모델링 어플리케이션 중 가장 많은 기능을 지원하고 있으며, 특징형상은 돌출특징형상만 지원하지만 다양한 선과 곡선, 메쉬 편집 기능을 지원하고 있다. 그러나 이 두 시스템은 사용자에게 매우 정밀한 터치 입력을 요구하며 실제 사용이 용이 하지 않고 입력에 오랜 시간이 걸리거나, 이동하면서 사용하기는 불가능하다. 또한 특징형상 모델링 명령어를 사용해서 모델링을 했지만 최종 저장 모델은 단순 메쉬 모델인 obj로, PC 기반 CAD 시스템에서 가시화는 가능하나 파라미터 수정은 불가능 하다.

이와 같이 현존 연구나 시스템들은 PC와의 호환문제를 해결하지 못하였고, 스마트 디바이스의 특징을 충분히 고려하지 못하여 모바일 환경에서 사용이 용이하지 못하다는 단점이 있어 이런 문제를 해결할 수 있는 새로운 시스템이 필요하다.

2. 스마트 디바이스 3D CAD 시스템

2.1 제안하는 방법

본 연구에서는 스마트 디바이스 상에서 사용이 가능한 3D CAD 시스템을 구축하기 위하여 1.2절에서 제시한 3가지 문제의 해결방법을 아래와 같이 제시한다.

- 복잡하고 무거운 기존의 CAD 시스템에서 핵심적인 모델링 관련 기능만을 선택하여 스마트 디바이스에 적용.
- 멀티 터치 제스처를 활용하여 스마트 디바이스에서 편리하게 사용할 수 있는 사용자 인터페이스를 구성.
- 스마트 디바이스 상에서 모델링이 이루어질 때 메쉬 모델과 절차적 모델을 동시에 생성하는 형상 모델링 커널을 설계.

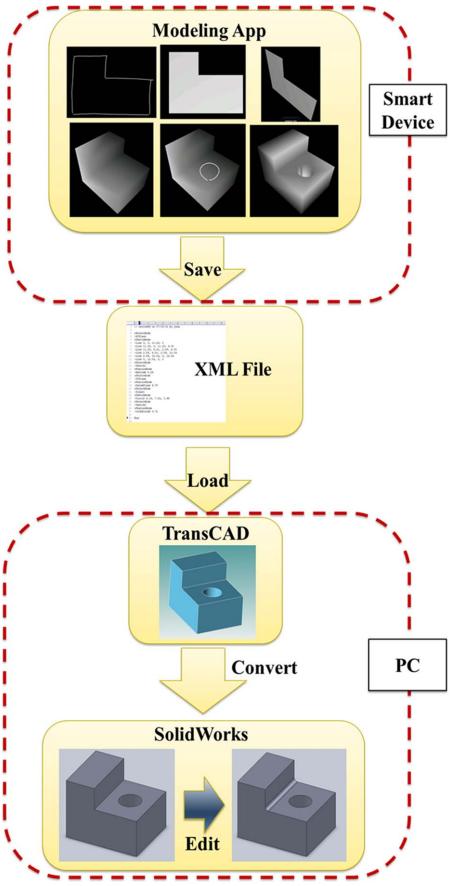


Fig. 1 Modeling process using a smart device[2]

본 연구는 이전 연구[2]의 전체 모델링 단계(Fig. 1)는 그대로 사용하되, 부족한 점을 보충하여 부분집합 정의 기준을 추가/보완하고 각 모델링 명령어의 출현 빈도 조사를 통해 최종 모델링 명령어 집합을 새로 정의하였다. 새로 정의된 모델링 명령어에 따라 멀티터치 사용자 인터페이스를 지정하여 시스템을 전반적으로 수정하였고, 스마트 디바이스상에서 모델링을 가능하게 하는 형상 모델링 커널을 새로이 제시한다. 최종적으로 제시한 3가지 해결방법에 대해 각각 평가를 거쳐 실제 시스템의 사용성을 검증한다.

2.2 모델링 명령어의 부분집합 정의

복잡하고 무거운 CAD 시스템은 스마트 디바이스에서 구동하기 어렵기 때문에, 상업용 프로그램에서 제공되는 많은 기능 중 주요 기능만을 제공하는 가벼운 스마트 디바이스 전용 시스템을 구성해야 한다. 따라서 모델링 된 파트의 애니메이션이나 해석 등의 응용 기능들을 모두 제외하고 3D 모델링을 위한 기능들만 고려한다.

3D 모델링을 위한 기능도 매우 다양하고 각 상업용 시스템마다 조금씩 다른 기능들을 제공하고 있는데, 본 연구에서는 최소의 3D 모델링 기능만을 추려내고자 한다. 양정삼의 2003년 연구[9]에서는 상업용 3D CAD 시스템 사이의 절차적 모델 교환을 위해서 표준 모델링 명령어 집합을 만들기 위해, 각 상업용 CAD 시스템마다 가지고 있는 다른 모델링 명령어 집합에서 공통분모를 추출하였다. 본 연구에서는 양정삼의 연구와 마찬가지로 공통분모를 추출하되, 양정삼의 연구에서는 스케치 명령어, 솔리드 모델링 명령어, 곡면 모델링 명령어, 구속 조건 명령어 4가지로 모델링 명령어를 분류하였는데, 본 연구에서는 스마트 디바이스를 위한 최소 집합을 만들기 위하여 곡면 모델링 명령어와 구속조건 명령어를 제외하고, 스케치 명령어와 솔리드 모델링 명령어만 고려하였다. 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되는 상업용 CAD 시스템 5가지(CATIA, Solidworks, Pro/Engineer, NX, Inventor)의 모델링 명령어들의 공통 분모를 추려내었다.

정리된 공통 모델링 명령어 집합에서, 모델링에 가장 핵심적인 부분집합을 추리기 위해 몇 가지 부분집합 정의 기준을 만들었다.

- A 모델링 명령어에서 생성될 수 있는 형상이 B 모델링 명령어에서도 생성된다면 두 모델링 명령어는 한 개로 합친다.
- A 모델링 명령어에서 생성될 수 있는 형상이 두 개 이상의 명령어를 사용하여 생성할 수 있다면 한 쪽을 배제한다.
- 위의 두 가지를 수행할 때 자주 사용되는 명령어가 채택된다.
- 비슷한 빈도로 사용된다면 사용자의 입력 파라미터가 적은 쪽이 채택된다.
- 복잡한 곡면형상을 생성하면서 사용빈도가 낮은 명령어는 배제한다.

Fig. 2 Test cases for analyzing frequently used function[2]

• 생성된 이후, 참조 형상으로 쓰이지 않는 명령어는 배제한다.

명령어 개수를 줄이고도 최대한 비슷한 형상을 만들 수 있도록 형상과 사용 빈도를 기준으로 정의하였다. 따라서 본 연구에서는 테스트케이스를 정하고 이들을 분석하여 각각의 모델링 명령어가 사용되는 빈도를 조사하였다. 테스트 케이스는 총 24개이며, KAIST에서 데이터 교환 연구를 위해 만들어진 테스트케이스 6개, 미국 Advanced Technology Institute에서 역시 데이터 교환 테스트를 목적으로 만들어진 테스트케이스 6개, Solidworks에서 제공하는 산업 예제 모델 중 6개, CATIA에서 제공하는 산업 예제 모델 중 6개를 사용하였다. 사용된 24개의 테스트 케이스의 형상은 Fig. 2와 같다.

테스트케이스에서 추출해낸 각 모델링 명령어의 출현 및 사용빈도는 Table 1에서 볼 수 있다. 스케치 모델링 명령어 중에는 'line'과 'circle'이 거의 대부분의 모델에서 사용되었음을 확인할 수 있으며, 솔리드 모델링 명령어 중에는 'extrude', 'extrude cut'이 거의 대부분의 모델에서 사용되었고, 그 외에는 'fillet', 'chamfer', 'pattern', 'hole', 'revolve'가 다른 모델링 명령어에 비해 자주 사용된 것을 확인할 수 있다.

Table 1 Statistics of each modeling command

	출현 빈도	출현 확률	사용빈도
Line	24	100%	335
Circle	21	87.5%	75
Arc	14	58.3%	69
Rectangle	12	50%	26
Polygon	1	4.2%	1
Extrude	23	95.8%	62
Extrude cut	23	95.8%	60
Fillet	12	50%	23
Chamfer	12	50%	17
Sweep	2	8.3%	2
Sweep cut	2	8.3%	2
Revolve	10	41.7%	11
Revolve cut	7	29.2%	10
Pattern	12	50%	28
Hole	12	50%	20
Shell	3	12.5%	3

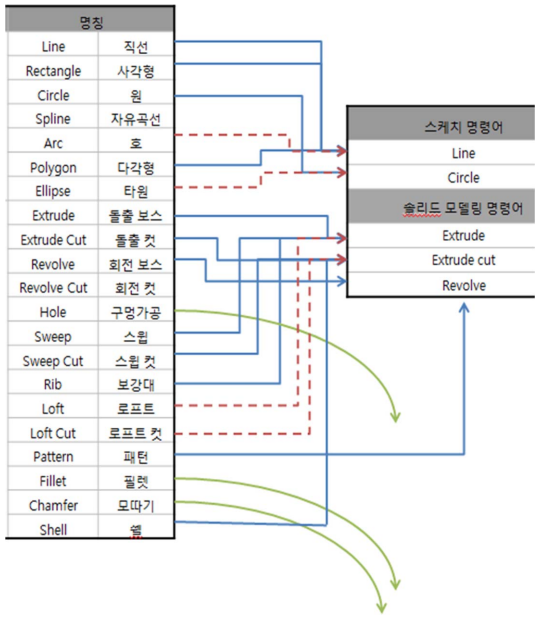


Fig. 3 Result of the subset definition

Table 2 A defined subset of modeling commands

스케치	솔리드 모델링
Line Circle	Extrude Extrude Cut Revolve

위에서 정의한 기준과 사용 빈도를 적용하여 Fig. 3과 같이 핵심 부분집합을 정의하였다. 파란색 실선은 합쳐지거나 채택된 명령어이며, 빨간색 점선은 단순화된 명령어, 초록색 곡선은 배제된 명령어이다. 최종적으로 정의된 핵심 부분집합은 Table 2와 같다. 기존 연구[2]와 달리 솔리드 모델링 명령어가 아닌 'datum plane' 명령어가 배제되었고, 출현 빈도수가 낮은 'sweep' 대신 'revolve'가 선택되었다.

2.3 유저 인터페이스 정의

스마트 디바이스에서 가장 기본적으로 사용되는 입력은 터치 입력이다. 두 개 이상의 손가락을 사용할 수 있는 멀티터치 입력은 싱글 터치에 비해 간단한 제스처로 다양한 입력을 생성할 수 있어 스마트 디바이스에서 자주 사용되고 있다. 최근 스마트 디바이스에서 사용되는 멀티터치 제스처는 여러 개의 명령을 손가락의 개수만 다르게 하고 액션 자체는 간단한 것만 사용하고 있어, 과

Table 3 Multi-touch gestures for 3D modeling

모델링 명령어	제스쳐
Sketch Line	Sketch a line with 1 finger
Sketch Circle	Sketch a circle with 1 finger
Extrude	Drag with 2 fingers
Cut Extrude	Drag with 2 fingers
Revolve	Draw a circle with 3 fingers

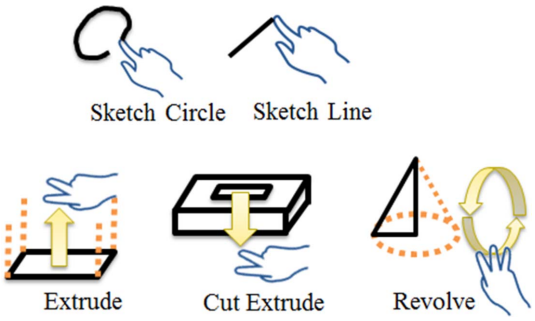


Fig. 4 Defined multi-touch gestures

거의 복잡한 스트로크 모양을 통한 인식법에 비해 인식오류가 적고 사용자가 배우고 사용하는데 있어 간편해진 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 간단한 액션을 모델링에 적용하였다. 결과는 Table 3과 Fig. 4에서 볼 수 있다. 2.2절에서 선택된 모델링 명령어와 제스처를 1:1로 제시하였고, 사용자 테스트를 통해 사용자가 모델을 생성하는데 있어 직관적으로 사용할 수 있는 제스처를 제안하였다.

2.4 스마트 디바이스 CAD를 위한 모델링 커널

3D 솔리드 모델은 크게 B-rep 모델과 절차적 모델로 나눌 수 있다. B-rep 모델은 복잡한 형상의 CAD 모델을 표현하는데 적합하기 때문에 현재 서로 다른 CAD 시스템간의 데이터 교환에 널리 사용되고 있다. 반면 절차적 모델은 3D 솔리드 형상을 생성할 때 사용된 설계 명령어들의 연속적인 나열로 3D 모델을 정의하는 포맷이다. 절차적 모델은 모델 자체에 형상 정보를 가지고 있지 않고, 사용된 명령어들을 순서대로 재실행하여 얻을 수 있다. 모델의 형상을 접근하는데 있어서 B-rep 모델이 훨씬 유리하지만, 모델링의 중간 단계에 접근하여 수정하는 것이 불가능 한 단점이 있다. 따라서 설계모델의 파라메트릭 변경을 위해서는 절차적 모델이 더 유리한 구조를 가지고 있다. 또한 기존 상업용 CAD 시스템에서는 내부적으로 B-rep 모델의 가감 연산을 통해 모델을 생성하게 되는데, 이 계산이 매우 복잡하여 컴퓨팅 파워가 부족한 스마트 디바이스 상에서 수행할 경우 딜레이가 발생할 수 있다.

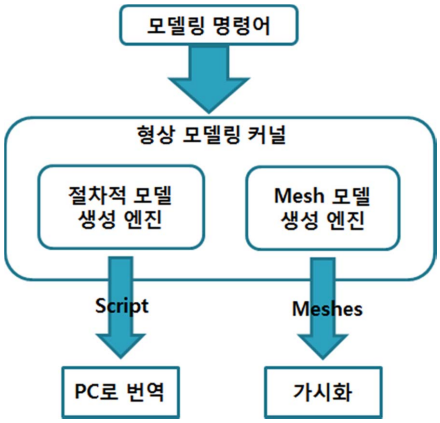


Fig. 5 Modeling kernel for smart devices

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 스마트 디바이스를 위한 형상 모델링 커널을 제안하였다(Fig. 5). 스마트 디바이스 내에서 가시화 할 모델은 메쉬 형태로 생성하고, PC 환경에서 사용할 수 있도록 절차적 모델 역시 커널 내부적으로 동시에 생성하도록 한다. 사용자가 한 개의 모델링 명령어를 발생시킬 때, 절차적 모델 생성 엔진은 모델링 명령어를 한 줄 혹은 그 이상의 정해진 형태의 스크립트로 저장하여 모델링이 종료된 후 PC로 파라메트릭 모델을 번역할 수 있도록 하고, 메쉬 모델 생성 엔진은 모델링 명령어에 따라 메쉬를 수정하여 스마트 디바이스 상에서 가시화 할 수 있도록 업데이트 해준다.

메쉬는 2.2절에서 정의된 각 모델링 명령어에 대하여 Table 4와 같은 메쉬 생성/편집 알고리즘을 적용하여 구현하였다.

절차적 모델의 경우 Fig. 6과 같이, 상업용 CAD 시스템에서 사용되는 매크로 스크립트처럼 명령어와 모델링을 하는데 필요한 치수나 인수들을 나열한 형태로 저장하여 PC 환경으로 변역하였다. 크게 현재(변경된) 모드 표시와 모델링 명령어 두 가지로 나눌 수 있고 모델링 명령어 뒤에는 필요할 경우 치수가 이어서 나타나게 된다.

저장된 절차적 모델 스크립트는 KAIST에서개발한 매크로 파라메트릭 기반 번역 방법[10](Macro-parametrics Approach) (Fig. 7)을 통해서 각 상업

Table 4 Algorithms for creating meshes

Create Line Sketch (vertex 배열) {
각 vertex를 잇는 line 생성
각 vertex의 좌우 line 사이의 각도 측정
if (line 사이의 각도가 180 이상인 vertex가 1개) {
해당 vertex를 중심으로 삼각 mesh 생성
}else if (line 사이의 각도가 180 이상인 vertex가 2개 이상) {
첫 번째 해당 vertex 이전의 vertex와 삼각 mesh 생성
마지막 해당 vertex 이후의 vertex와 삼각 mesh 생성
두 번째 ....
마지막에서 두 번째 .....
.....
} else { 첫 번째 vertex를 중심으로 삼각 mesh 생성 }
return 생성된 삼각 mesh
}

Create Circle Sketch (중심점 좌표, 반지름) {
중심점을 기준으로 해당 반지름을 가진 원 생성
(사용자 정의 n)/360 각도 당 1개씩 vertex 생성
첫 번째 vertex를 중심으로 삼각 mesh 생성
return 생성된 삼각 mesh
}

Create Extrude/Cut (mesh, extrusion/cut length) {
전체 mesh의 가장자리에 있는 edge를 검색
검색한 edge 상에 있는 vertex를 정리
위에서 정리한 각 vertex에서 mesh의 수직 방향으로 extrusion/cut length만큼 떨어진 위치에 새 vertex 생성
새 vertex들로 이루어진 Cap mesh 생성
새 vertex와 예전 vertex를 잇는 옆면 mesh 생성
return 생성된 삼각 mesh
}

Create Revolve (mesh, 축 vector) {
전체 mesh에서 축 상에 있는 edge를 검색
검색한 edge 상에 있는 vertex를 정리
위에서 정리한 vertex를 제외한 모든 vertex에 대해 축 vector를 기준으로 회전시켜 vertex를 생성 (circle sketch와 같은 방식)
축에 해당하는 vertex의 다음 vertex와 이전 vertex가 회전하여 생성한 vertex들과 축 vertex를 이어 Cap mesh 생성
축 이외의 vertex 들을 서로 이어 옆면 생성
return 생성된 삼각 mesh
}

용 CAD 시스템의 매크로 파일로 번역할 수 있다. 각 CAD 시스템에서는 매크로 파일을 실행시켜 스마트 디바이스 상에서 만들어진 모델을 재생성하고, 모델을 파라메트릭하게 수정할 수 있다.

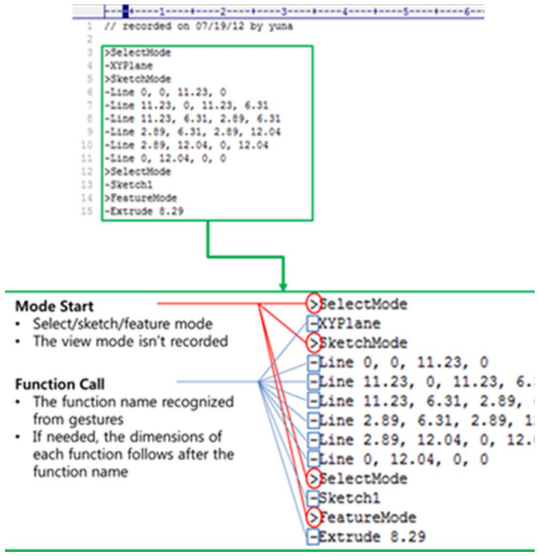


Fig. 6 A script for procedural model

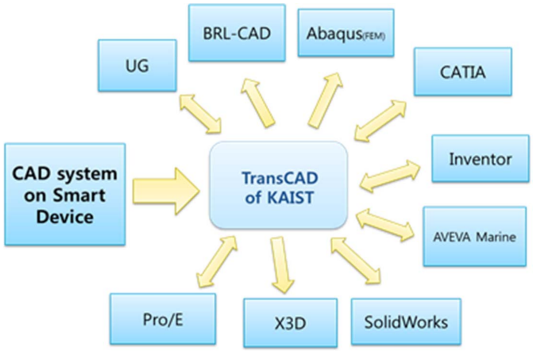


Fig. 7 Translate to each commercial CAD system

3. 구현 및 검증

3.1 데모 시스템 구현

본 연구의 데모시스템은 안드로이드(Android) 디바이스상에서 테스트 되었다. 삼성 갤럭시탭 10.1과 구글 넥서스원에서 각각 테스트 되었으며, Android 4.0.4버전과 2.3.3 버전이 사용되었다. 개발도구는 Unity3D와 Eclipse가 사용되었으며 Intel i7 2.93GHz, 4GB RAM, Windows 7 Professional K 64bit PC상에서 개발되었다.

개발된 스마트 디바이스 CAD 시스템에서 순차적으로 모델링을 한 후, 저장된 절차적 모델 파일을 본 연구에서 개발한 번역기를 통하여 Dassault Systems의 Solidworks의 매크로로 번역이 되었고 Solidworks의 자체 기능을 통해 재생성 된 3D 모

델을 수정하였다.

3.2 모델링 명령어의 검증데모 시스템 구현

앞서 2.2절에서는 20개가 넘는 공통 모델링 명령어 집합에서 5개의 핵심 모델링 명령어를 추려내었다.

추려낸 모델링 명령어가 기존의 모델을 완벽하게 생성하지 못하기 때문에 모델 형상의 단순화가 필요하다. 단순화 된 모델이 실제 모델과 어느 정도 비슷한지 테스트 하기 위하여 산업에서 실제 사용되는 모델과 교환 연구를 위해 정의된 모델 24종을 사용하였다. 원본 모델과 단순화된 볼륨비교 결과는 Table 5와 같다. 결과에서, 5개의 핵심 모델링 명령어만으로 ±2% 이내의 볼륨을 가진 유사한 모델을 생성할 수 있음을 확인할 수 있다.

Table 6은 임의로 뽑은 6개의 CAD 모델에서 스마트 디바이스에서 단순화하여 생성한 모델을 PC로 옮겨와 수정할 때 모델링 단계 수와 같은 모델을 PC에서 생성할 때 모델링 단계 수를 비교한 결과이다. 스마트 디바이스에서의 모델링 단계 수는 PC에서 모델을 완성할 때보다는 적으며, 스마트 디바이스에서 간단히 생성한 모델을 PC에서 상대적으로 적은 단계의 수정만 거쳐서 PC 기반의 정확도 높은 모델과 같은 모델을 만들 수 있음을 확인할 수 있다.

처음부터 PC 기반에 생성할 때에 비하여 스마트 디바이스에서 생성하고 PC에서 수정할 때 단계 숫자는 전체적으로 약간 증가한 것을 볼 수 있는데, 이는 모바일 디바이스의 제한된 환경에서 데스크탑 환경보다 효율적인 모델링을 하는 것이 어렵기 때문이다. 모바일 디바이스상에 CAD 시스템을 구현하는 연구의 목적은 현장에서 직접 주변 환경에 맞추어 모델링을 하는, PC 기반 CAD 시스템에서는 할 수 없는 기능을 구현하는 것이 목적이므로, PC와 근소한 차이의 모델링 단계 수를 보여주는 것으로 시스템의 효율을 확인할 수 있었다.

3.3 사용자 테스트

2.3절에서 정의한 멀티터치를 이용한 사용자 인터페이스가 스마트 디바이스 상에서 효용성이 있음을 검증하기 위하여 사용자 테스트를 수행하였다. 상업용 CAD 사용 경험이 있는 집단과 없는 집단에 각각 PC 환경과 비슷하게 싱글 터치로 메뉴를 선택하여 모델링을 수행하는 것과 메뉴를 최소화 하고 멀티터치로 모델링을 수행하게 하였다. CAD 사용 경험이 있는 집단은 싱글 터치가 모델링 하는데 더 편하다고(익숙하다고) 답변하였지만 Fig. 8과 같이 실제 모델링 시간은 멀티터치 방식이 적게 걸린 것을 볼 수 있다. 이는 실제 멀티터치가 스마트 디바이스 상에서 싱글 터치를 대체할 수 있음을 보여주며, 상업용 CAD 사용 경험자는 기존의 방법과 비슷한 싱글 터치에 익숙하여 쉽다고 느끼지만 멀티터치 제스처에 익숙해졌을 시, 훨씬 빠르고 간단하게 모델링이 가능할 것으로 보인다.

CAD 사용 경험이 없는 집단은 모든 모델링 명령어에 대해 설명을 듣고 실험에 임하였지만 용어가 익숙하지 않아 메뉴를 선택해야 하는 싱글 터치 입력보다 멀티터치 입력이 더욱 편리하다고 답

Table 5 Multi-touch gestures for 3D modeling

#	단순/원본(%)		단순/원본(%)
1	99.90968731	7	98.6159264
2	100.5591717	8	101.7919799
3	100.1319274	9	100.1297607
4	100.3945652	10	101.4270077
5	101.4028468	11	100.1562456
6	100.4249266	12	98.49512292

Table 6 Modeling steps on each devices

Test model	1	2	3	4	5	6
Steps on PC	5	14	18	15	15	19
Steps on Smart Device	4	16	16	12	12	18
Editing Steps in PC	1	4	6	3	5	2

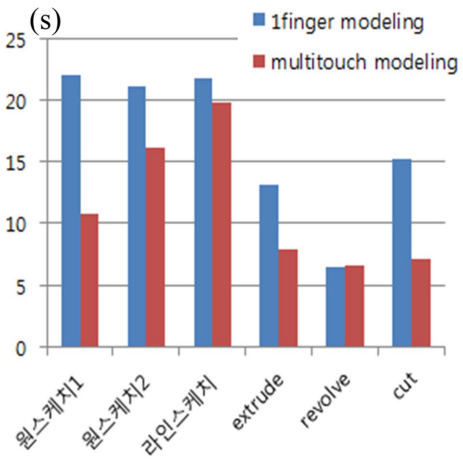


Fig. 8 Required time to make each command

하였다. 다만 다음 특징형상을 만들기 위한 참조 형상(reference) 선택에 있어서 3D 모델링 경험이 없기 때문에 같은 모델이 주어졌을 때 어떤 순서로 명령을 실행하면 만들 수 있는지를 결정하는 것에 어려움을 겪었다. 이는 CAD 미경험자가 PC 기반 상업용 CAD 시스템을 사용할 때도 마찬가지로 겪는 문제점이며, 본 시스템이 CAD 사용 경험이 없는 사용자에게는 상업용 CAD 시스템보다 모델링 명령어 개수가 적어 좀 더 쉽게 CAD 사용법 및 3D 모델링 방법을 익힐 수 있도록 도와주는 역할을 할 것으로 예상된다.

3.4 테스트케이스 모델링

구현된 데모 시스템을 이용하여 스마트 디바이스 상에서 모델링을 하고, 절차적 모델을 교환하여 PC 환경에서 모델을 수정한 결과는 Fig. 9에서 볼 수 있다. PC 환경으로 교환 한 후 생략되었던 필렛(fillet), 구멍(hole) 등을 생성하였고, 스마트 디바이스 상에서 정확하게 생성할 수 없었던 각 스케치와 특징형상의 수치들을 수정하였다.

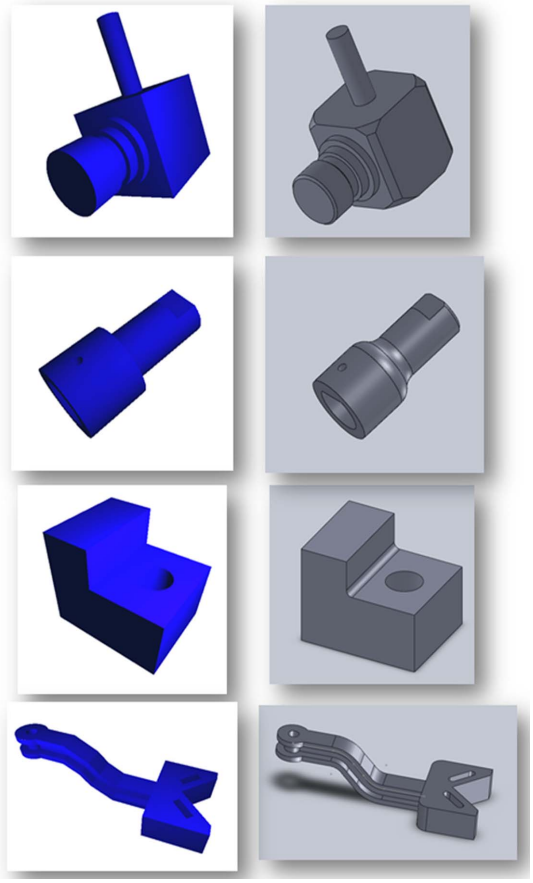


Fig. 9 Modeling results on a smart device (left) and the results of fine editing on a PC (right)

4. 결 론

본 연구는 스마트 디바이스 환경에서 사용 가능한 3D CAD 시스템을 구축하기 위하여, 최초로 스마트 디바이스의 특징과 단점을 고려한 CAD 시스템을 디자인하고 데모 시스템을 통해 사용성을 평가하였다. 본 연구에서 제안한 시스템은 첫째, 크고 무거운 CAD 시스템을 스마트 디바이스 상에서 사용 가능하게 하기 위하여 복잡한 기능을 모두 제공하지 않고 스마트 디바이스 상에서 가볍게 사용이 가능한 시스템으로 구축하여, 언제 어디서든 간단한 콘셉트 모델링을 할 수 있도록 하였고, 둘째, 터치로 정확한 입력이 어려운 문제를 해결하기 위하여 정확한 입력을 시스템에서 요구하지 않고, 간단한 멀티터치 제스처 입력만으로 모델링이 가능하게 하였으며, 셋째, PC 기반 CAD 시스템과의 호환성 문제를 해결하기 위하여 스마트 디바이스 상에서 절차적 모델과 메쉬를 동시에 생성하는 형상 모델링 커널을 제안하여 스마트 디바이스에서 만든 간단한 모델을 PC 환경에서 파라미터 수정이 가능한 모델로 출력하도록 하였다. 본 연구에서는 최종적으로 테스트케이스를 모델링 함으로써 스마트 디바이스가 모바일 환경에서 3D CAD의 역할을 충분히 할 수 있을 것을 확인하였다.

현재는 스마트 디바이스의 낮은 컴퓨팅 파워를 극복하기 위하여 가벼운 시스템을 개발하였으나, 디바이스의 사양이 더욱 발달하고 네트워크 기술을 적용하면 좀 더 복잡한 모델링이 스마트 디바이스 상에서도 가능할 것으로 예상된다. 그러나 향후 디바이스의 사양이 점차 좋아지더라도 스마트 디바이스가 모바일 장비이기 때문에 가지고 있는 작은 화면과 터치 입력으로 인한 인터페이스 부분은 여전히 문제로 남아있게 된다. 따라서 스마트 디바이스의 센서를 활용하면 멀티터치 입력만 사용하는 것보다 더욱 효율적이고 직관적인 모델링 입력이 가능할 것으로 예상된다.

또한 본 연구에서는 스마트 디바이스에서부터 PC로 변환하는 한 방향 변환만 지원하고 있는데, PC에서 스마트 디바이스로 변환하는 역방향 교환

기술에 대한 연구가 추가적으로 이루어 질 수 있다. 특히 PC에서 생성한 모델을 스마트 디바이스로 옮기거나, PC에서 세부 수정한 모델을 스마트 디바이스로 재전송하여 코멘트/수정을 하는 경우, 역방향 교환이 필요하게 된다. 현재 기술을 역방향으로 적용하면 PC 매크로를 스마트 디바이스의 절차적 모델로 교환하고 스마트 디바이스 CAD 상에서 순차적으로 절차적 모델을 재수행(excute) 시켜 3D 모델을 얻을 수 있으나, 이때 PC에서 사용된 모델링 명령어가 스마트 디바이스에서 사용할 수 있는 모델링 명령어일 경우에는 역방향 교환이 가능하지만, 스마트 디바이스에서 생략된 모델링 명령어일 경우 교환이 불가능 하다.

본 연구를 통해, 3D 모델링 분야에서 스마트 디바이스의 사용 가능성을 확인할 수 있으며, 최근 들어 산업 현장에 적용하는 방안에 대해 활발하게 연구되고 있는 분야이기 때문에, 다양한 향후 연구와 적용에 대한 고찰이 필요하다. 연구 배경에서 밝혔듯이 이 연구는 증강현실 기술과 통합하여 실제 환경을 배경으로 모델링을 하고, 그 자리에서 현장 혹은 협력업체에서 피드백을 받아 수정까지 완료할 수 있도록 하고자 하는 연구이다. 따라서 증강현실 기술과 통합하여 스마트 디바이스 카메라로 찍은 환경 위에 3D 모델을 원하는 위치에 고정시키고 모델링을 하거나, 스마트 디바이스의 카메라와 센서를 이용하여 주변 환경을 삼차원 재구성하는 연구와 결합하여, 모델링 결과물을 주변 환경에 비추어서 충돌/매칭 테스트를 하는 등, 다른 연구와의 통합 시스템을 구축하여 실제 현장에서 보다 유용하게 사용 가능한 어플리케이션으로 업그레이드가 가능하다.

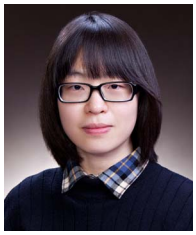
감사의 글

본 논문은 지식경제부 기술혁신사업 「원전 생애주기 통합화 및 자동화 기술개발(과제번호: 2011T100200145)」에서 지원된 연구의 결과임을 밝힙니다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20134030200300)입니다.

References

1. Zeng, Y. and Horvath, I., 2012, Fundamentals of Next Generation CAD/E Systems, *Computer-Aided Design*, 44(10), pp.875-878.
2. Kang, Y., Kim, H., Suzuki, H. and Han, S., 2013, Editing 3D Models on Smart Devices, *Computer-Aided Design*, Online Published.
3. Sharma, A. and Madhvanath, S., 2011, MozArt: an Immersive Multimodal CAD System for 3D Modeling, *Proceedings of the 3rd International Conference on Human Computer Interaction 2011*, pp.97-100.
4. Ranglani, S., 2012, 3D Shape Manipulation using Multi-touch Gestures, Master Thesis, The University of Tokyo, Japan.
5. Autodesk, http://www.autodesk.com/mobile-apps/
6. ModelAN3D, http://modelan3d.android.informer.com/
7. AutoQ3D, http://www.autoq3d.com/
8. SpaceDraw, http://www.scalisoft.com/
9. Yang, J., Han, S., Kim, B. and Park, C., 2003, A Macro Parametric Data Representation for CAD Model Exchange using XML, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, 27(12), pp.2061-2071.
10. Han, S., 2010, Macro-parametric: an Approach for the History-based Parametrics, *International Journal of Product Lifecycle Management*, 4(4), pp.321-325.
11. Kim, I., 2014, Sequencing of the Design Features to Reconstruct a Procedural CAD Model, Ph.D Thesis, KAIST.
12. Kang, Y. and Han, S., 2013, A CAD Client on a Smart Device with Drag-type Buttons, *Proceeding of 2013 Asian Conference on Design and Digital Engineering*, Korea.
13. Mun, D., Han, S., Kim, J. and Oh, Y., 2003, A Set of Standard Modeling Commands for the History-based Parametric Approach, *Computer-Aided Design*, 35(13), pp.1171-1179.



강 윤 아

2014년~현재 국방과학연구소 선임 연구원
2014년 KAIST 기계공학과 박사
2008년 KAIST 기계공학과 학사
관심분야: Smart Device, HCI, Augmented Reality, Virtual Reality

한 순 흥

2008년~현재 KAIST 해양시스템공학과 교수
1993년~현재 KAIST 기계공학과 교수
1979년~1992년 한국해양연구원
관심분야: CAD, STEP, VR (Virtual Reality) for engineering design, Collaborative CAD, Knowledge-based design system