

스킨-스켈레톤 바인딩 기법을 이용한 인체 모델링

최 혜 옥[†] · 유 태 선^{††} · 전 병 민^{†††}

요 약

사실감있는 인체 모델과 동작제어 기술은 컴퓨터 그래픽스와 가상현실감 및 시뮬레이션등의 다양한 응용 분야에서 이용되고 있다. 인체의 모델링과 이의 동작을 제어하는 기술은 관절 구조의 인체를 뼈대와 관절 그리고 이를 둘러싸고 있는 피부로 모델링하고 운동학에 기반하여 각 관절을 제어하여 인체의 동작을 생성한다. 본 논문에서는 인체의 모델링을 위한 스킨-스켈레톤 바인딩 알고리즘을 제안한다. 인체의 골격구조를 관리하기 위한 일반적인 계층적 나관절체 데이터 구조를 설계하고, 골격 데이터에 피부를 입히기 위한 스킨-스켈레톤 바인딩 알고리즘을 설계한다. 제안된 알고리즘은 전처리, 세그멘테이션과 바인딩의 세기능 모듈로 구성된다. 바인딩 가능한 요소들의 효율적인 탐색을 위하여 분할해결 방식을 적용한 후보 테이블을 이용하였다. 20개의 관절로 이루어진 인체 골격 데이터와 Inventor 포맷의 인체 피부 데이터로 알고리즘을 실험하였다.

Human Body Modeling Using Skin-Skeleton Binding Technique

Haeock Choi[†] · Taesun Yoo^{††} · Byoungmin Jun^{†††}

ABSTRACT

Techniques for the realistic modeling and motion control of human body are applied to many areas of computer graphics, virtual reality and computer simulations. Human body is a multi-articular. To create a human model and motion, articulations with skin body models are generated and motions are controlled based on the kinematics or dynamics. In this paper, we designed the data structure to manage the articulated body, and proposed a skin-skeleton binding algorithm for the coupling of the skin data to skeleton. Proposed algorithm consist of three functional modules - preprocessing, segmentation and binding. A modified divide-and-conquer technique with the candidate table is used to reduce comparing procedures among feasible candidates. We verified the efficiency of proposed algorithm with a human body composed of 20 skeletons and an Inventor geometry data.

1. 서 론

컴퓨터 그래픽스 및 가상 현실감 시스템의 여러 응용 분야에서 사람의 움직임을 표현하기 위한 인체 모델링과 이의 동작제어 기술에 대한 요구가 많이 대두되고 있다. 인체의 모델링과 이의 동작을 제어하는 기술은

먼저 관절체로 되어 있는 사람의 모습을 뼈대와 관절, 이를 둘러싸고 있는 피부로 모델링하고, 운동학(Kinematics)을 기반으로 관절을 조작하여 인체의 움직임을 생성하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.

인체 모델링과 애니메이션 분야의 선두 주자인 N. Badler는 인체의 모델링과 애니메이션의 어려움을 다음과 같은 두가지 이유로 설명하고 있다[1].

- 컴퓨터 그래픽스에서 사용하고 있는 기하학적, 수학적 모델이 인체의 모양을 표현하기에 적합하지

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어연구소

†† 정 회 원 : 국방과학연구소

††† 정 회 원 : 충북대학교 컴퓨터공학과

논문접수 : 1998년 3월 6일, 심사완료 : 1998년 4월 29일

않다.

사람의 움직임은 관절에 의해서만 움직이는 것이 아니고 근육과 관절이 함께 움직이므로 관절만으로 인체의 움직임을 제어하기가 어렵다.

전자는 인체의 모델링에 대한 어려움을, 후자는 인체의 동작 제어에 대한 어려움을 표현하고 있으며, 이러한 어려움을 해결하기 위한 다양한 방법의 시도가 여러 분야에서 연구되고 있다. 일반적으로 사용하는 인체 모델은 표면 모델(surface model)로서 내부의 뼈대를 둘러싸고 있는 피부를 다각형이나 자유 곡면으로 이루어진 곡면의 조합으로 모델링한 것이다. 이런 특징을 가지는 인체 모델을 작성하기는 매우 어렵다. 모델의 모양을 나타내는 3차원 표면 모델을 작성하기 위해서는 3차원 모델링 도구가 필요하며, 다관절체의 골격을 표현하기 위해서는 다관절체 편집 도구도 필요하다. 또한 동작 제어를 위해서는 골격 데이터와 표면 데이터는 서로 연결되어 있어야 한다. 본 논문은 인체의 모델링과 동작 제어를 위하여 먼저 다관절체 구조의 인체 골격 구조를 정의하고(skeleton data), 이 골격 구조에 일반적인 모델링 시스템으로 작성된 인체의 모양을 표현한 모델 데이터(geometry data)를 접합하는 방법을 취한다. 이를 위한 일반적인 다관절체 오브젝트의 데이터 구조를 설계하고, 계층구조로 설계된 다관절체 골격 구조 데이터와 외모 모델 데이터를 연결하는 스킨-스켈레톤 바인딩(skin-skeleton binding) 알고리즘을 제안한다.

1.1 관련 연구

인체의 모델링과 동작 제어 기술은 얼굴, 몸체, 손으로 나누어서 발전되어 왔다. 먼저 얼굴 모델링(face modeling)은 인체 모델링 기술과 상이한 기술로서, 얼굴은 관절을 포함하지 않고 근육과 근육을 둘러싸고 있는 표면 surface로 모델링한다[2]. 얼굴에 대한 동작 제어 기술은 텍스처 매핑을 이용하여 자연스러운 피부를 표현하기 위한 연구, 얼굴의 근육을 그룹핑하여 기쁨, 슬픔, 놀람 등의 표정에 따라 근육의 움직임을 정리한 FACS (Facial Action Coding System)[3]를 이용하여 얼굴의 표정을 표현하기 위한 연구와 TTS(Text-to-Speech)와 같은 음성 출력시 이에 해당되는 입술의 모양을 표현하는 lip-synch 기술이 연구되고 있다.

사람의 몸체와 손은 다관절체로 구성되어 있으므로

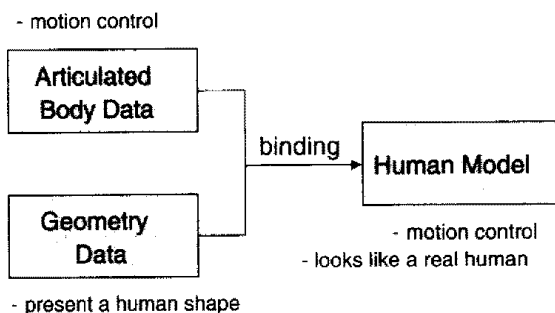
모델링 방법과 동작 제어 기술은 같은 기술이 이용된다. 몸체와 손의 모델링은 먼저 뼈대를 다관절체로 모델링하고 그 뼈대를 감싸는 피부를 여러 가지 방법으로 모델링한다. 다관절체의 동작은 운동학을 기반으로 처리할 수 있다. 그러나 몸체의 동작은 걷거나 앉기, 눕기 등의 자세와 이동에 관한 것인데에 반하여, 손 동작은 물건을 집거나(grasping)[4], 손 흔들기 등의 제스처에 해당하는 손동작이 필요하다. 손은 몸체에 비하여 작고 많은 관절이 모여 있고, 한 손가락의 움직임이 다른 손가락의 움직임에 영향을 주는 여러 가지 구속조건(constraints)을 가지게 된다[5]. 따라서 손동작 제어를 위해서는 구속조건의 처리와 각 손가락 사이의 충돌 감지 등의 기술이 필요하다. 몸체의 동작중 가장 대표적인 동작은 걷는 동작으로 이것을 로코모션(locomotion) 기술로서 따로 분류하기도 한다. 사람의 걷는 동작은 인체의 거의 모든 부분이 사용되며, 움직임이 복잡하여 많은 연구가 수행되었다. 특히 운동학을 기반으로 한 걸음을 걷기 위한 각 관절의 움직임을 정의한 워크 사이클(walk cycle) 등의 연구 결과가 이용되고 있다[6]. 운동학을 기반으로 한 동작은 힘의 요소가 배제되므로 사실감이 결여되며, 이를 위해서 동작 제어 기술에 동역학(dynamics)을 도입하는 연구가 활발히 진행되고 있다[7][8][9].

인체 모델링과 함께 최근 많이 연구되고 있는 기술은 피부변형(deformation)기술이다. 움직임의 대상이 되는 사람이나 동물 등의 생물체의 피부는 움직임에 따라서 그 모양이 변하는 비강체(non-rigid) 모델이다. 피부의 변형은 움직임에 의해서 신체의 각 부위가 서로 접촉하면서 발생하는 변형과, 신체의 어떤 부위에 외부로부터 힘이 가해져서 힘이 가해진 부위와 그 주변의 피부에 발생하는 변형이 있다. 이러한 변형의 처리는 인체 모델링 중 가장 어려운 기술로서 많은 연구가 진행되고 있다. 외부의 힘에 의한 변형은 현재까지 발표된 곡면의 변형 처리를 응용하여 처리할 수 있으나 인체 모델의 특성을 유지하며 변형을 처리하는 방법은 아직까지 제시되지 않고 있다. 신체의 각 부위의 접촉에 의한 변형은 피부뿐만 아니라 근육, 골격이 함께 처리되어야 하며 현재까지 특별한 처리 방법이 제시되지 않았다.

인체의 모델링 방법 및 기술은 그 활용 목적에 따라서 다음과 같이 두가지로 분류할 수 있다. 첫째 실제 사람의 생물학적 특성 및 물리적 특성을 그대로 표현한

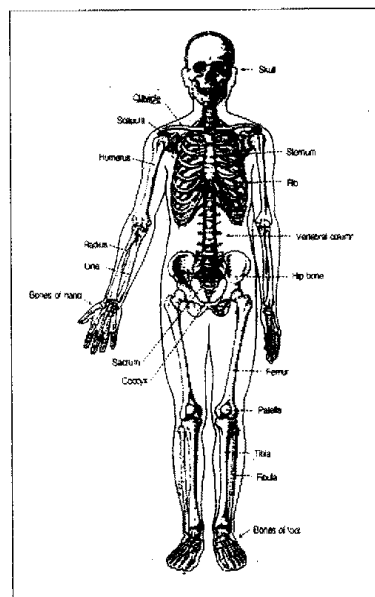
사실적인 인체 모델로서 최근의 생물학 기반 (anatomically-based) 모델링 기술을 들 수 있다 [10][11]. 이 방법에 의해 작성된 모델은 인체의 골격, 근육, 지방층과 피부를 모델링하고, 근육의 움직임의 특성 함수를 도출하여 사실적인 동작을 생성해 낼 수 있다. 그러나 이러한 방법의 모델링 기술은 많은 양의 데이터와 동작 제어시 막대한 계산 시간을 필요로 하므로 실시간의 애니메이션을 필요로 하는 응용보다는 의용공학이나 시뮬레이션등의 응용에 적합한 모델링 기술이다. 둘째, 사람의 형태를 가지며 사람과 유사한 동작을 생성하기 위한 모델링 기술을 들 수 있다. 최근 게임이나 가상환경등에 등장하는 아바타나 에이전트의 처리를 위한 기술로 활용할 수 있는 기술로서 관절을 제어하여 운동학으로 동작을 처리하며, 사실감있는 동작의 생성보다는 쉽게 다양한 모델을 생성하고, 동작의 처리도 실시간에 처리되도록 하는 기술이다.

본 논문에서는 위의 두가지 방법중 후자의 목적에 부합하는 인체의 모델링 방법을 취하며 이를 위해서 (그림1)과 같이 인체의 골격을 표현한 다관절체 모델과 인체의 외모를 표현한 기하 모델을 결합하기 위한 스킨-스켈레톤 바인딩 기법을 제안한다.



(그림 1) 스킨-스켈레톤 바인딩
(Fig. 1) Skin-skeleton binding

인체의 골격은 해부학적으로 (그림2)와 같은 구조로 되어있다[12]. 연령에 따라서 다소 다르지만 성인의 골격은 200여개의 골격(skeleton)으로 구성되며 이중의 많은 부분은 척추, 손, 발에 집중되어 있다[13]. 인체의 움직임을 표현하기 위해서 사용되는 골격은 척추와 사지 즉 팔, 다리 부분으로 컴퓨터 애니메이션을 위한 인체의 모델에는 대개 20여개의 골격과 이 골격들을 연결하는 관절로 이루어지는 모델이 일반적으로 사용되고 있다. 이 골격에 근육(muscle)과 건(tendon)이 붙어 있으며 실제로 사람의 움직임은 근육의 움직임이 건을 통하여 관절을 제어하여 인체의 움직임이 생성된다. 이 위를 지방층(fatty tissue)이 감싸고 있으며 가장 외부로 표현되는 인체는 이러한 모든 요소를 둘러싸고 있는 피부이다.



(그림 2) 해부학적 인체의 골격구조
(Fig. 2) Anatomical skeletons of human body

2. 인체 모델

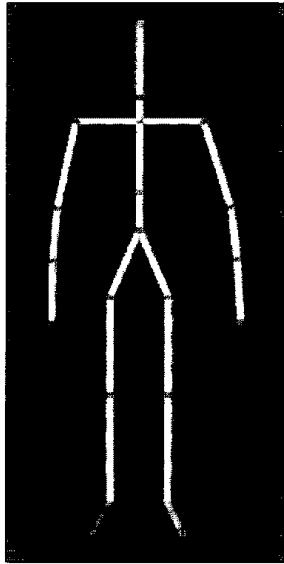
2.1 인체의 해부학적 구조

인체는 골격, 근육, 혈관, 신경, 관절들이 상호 유기적으로 연결되어 있는 복잡한 구조로 되어 있다. 이 중에서 애니메이션을 위한 인체의 모델은 골격과 관절, 근육들과 이를 감싸고 있는 피부를 모델링하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 골격과 관절 그리고 이들 둘러싸고 있는 피부의 모델링에 대해서 논한다.

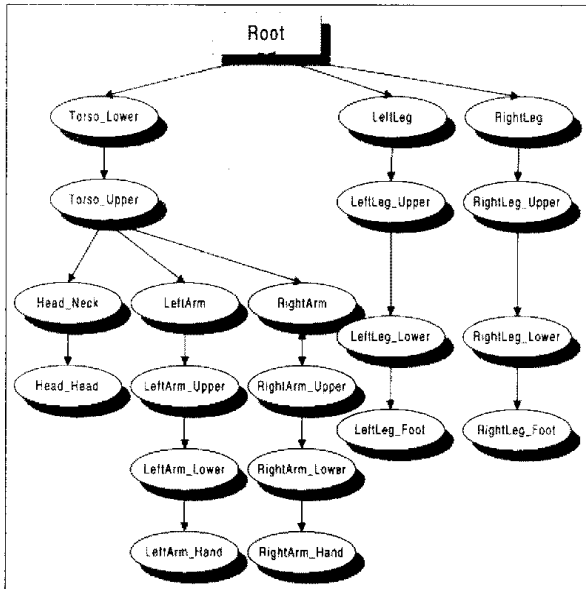
2.2 다관절체 데이터 구조

인체의 골격구조는 다관절체 구조이며 다관절체는 링크(link)들이 관절(joint)에 연결되어 있는 형태의 물체이다. 다관절체는 중심이 되는 관절 즉 루트를 기준으로 계층적 구조를 가지며, 한 조인트의 축은 상위 조인트의 회전과 링크의 길이에 의존적이다. 이러한 다관절체의 계층적 특성을 가장 잘 표현할 수 있는 자료 구조는 트리(tree) 구조이다. 인체 모델을 위한 다관절체 데이터를 관리하기 위하여 목적 지향 개념으로 데이

터 구조를 정의하였나(14). (그림3)과 같은 인체의 골격구조를 정의하여 만들어진 다관절체의 트리 구조는 (그림4)와 같다.



(그림 3) 인체의 골격구조
(Fig. 3) Skeletal model of human body

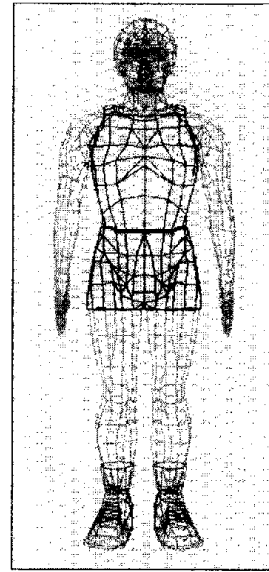


(그림 4) 인체의 계층적 트리구조
(Fig. 4) Hierarchical tree structure for human body model

2.3 피부 데이터 구조

앞에서 언급된 바와 같이 인체의 피부는 비강체로서 변형되는 모델이다. 그러나 본 논문에서는 피부의 변형

은 다루지 않는다. 따라서 인체의 외모를 표현하는 피부 데이터는 일반적인 그래픽스 모델링 시스템을 사용하여 만든 surface 모델 데이터를 이용한다. 본 연구에서 실험 데이터로 이용한 피부 데이터는 (그림5)와 같이 Open Inventor로 작성된 3차원 모델로서 인체의 외모를 faceset의 조합으로 표현한 것으로 간주한다.



(그림 5) 인체의 피부구조
(Fig. 5) Geometrical model of human body

3. 스킨-스켈레톤 바인딩

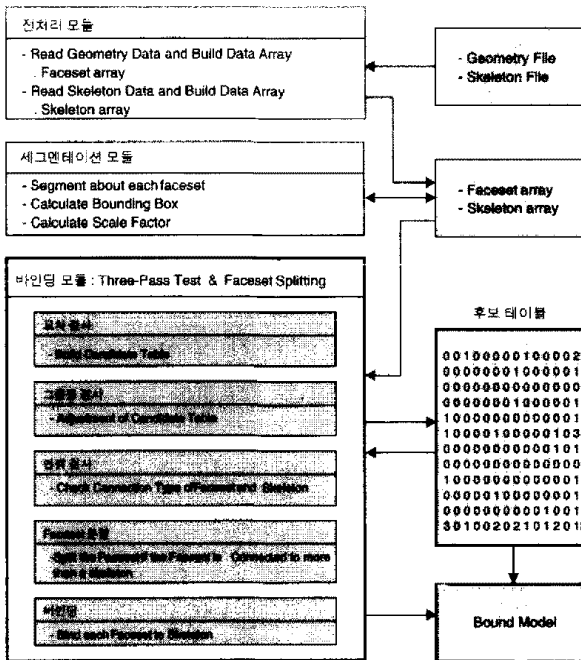
인체의 골격 구조(skeleton data)에 일반적인 모델링 시스템으로 작성된 인체의 피부 표면 데이터(geometry data)를 접합하여 사실적인 애니메이션에 적합한 인체 모델로 만들기 위한 스킨-스켈레톤 바인딩 알고리즘은 (그림6)과 같이 전처리, 세그멘테이션과 바인딩의 세 기능 모듈로서 구성된다.

3.1 전처리(preprocessing) 모듈

두 종류의 데이터 파일을 읽어서 알고리즘에서 사용할 수 형태의 데이터 배열을 구성한다. 골격 구조를 관리하는 skeleton 배열과 피부 데이터로서 인체의 각 부분별로 작성된 faceset 배열이 주로 사용된다.

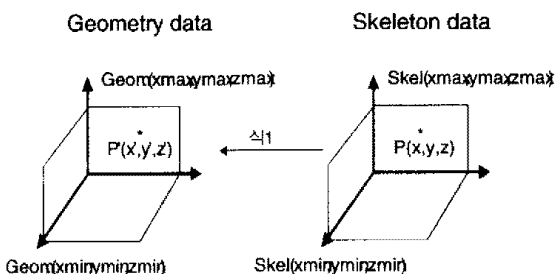
3.2 세그멘테이션(segmentation) 모듈

전처리 모듈에서 구성된 데이터 배열의 각 faceset



(그림 6) 스킨-스켈레톤 바인딩 알고리즘 구성도
(Fig. 6) Block diagram of skin-skeleton binding algorithm

과 skeleton의 바운딩 박스를 계산한다. 바운딩 박스는 각 세그먼트를 감싸는 직육면체의 최대, 최소값과 바운딩 박스의 크기, 중심의 위치정보를 가지고 있으며 바인딩 모듈에서 검사를 위해서 사용된다. 또한 입력된 두 파일 즉 피부 데이터와 골격 데이터는 동일한 좌표계를 사용하지 않으므로 두 데이터의 크기를 보정하기 위한 두 좌표계간의 좌표 보정이 필요하다. 본 논문에서는 (그림7)과 같이 골격 데이터를 피부 데이터로 보정하며, 좌표 보정을 위한 식은 <식1>과 같다.



(그림 7) 두 좌표계간의 좌표 보정
(Fig. 7) Coordinate calibration between two coordinate systems

$$scl_x = \frac{Geom.xmax - Geom.xmin}{Skel.xmax - Skel.xmin}$$

$$scl_y = \frac{Geom.ymax - Geom.ymin}{Skel.ymax - Skel.ymin} \quad \langle \text{식1} \rangle$$

$$scl_z = \frac{Geom.zmax - Geom.zmin}{Skel.zmax - Skel.zmin}$$

$$x = (x - skel.xmin) * scl_x + Geom.xmin$$

$$y = (y - skel.ymin) * scl_y + Geom.ymin$$

$$z = (z - skel.zmin) * scl_z + Geom.zmin$$

3.3 바인딩(Binding) 모듈

앞의 두 모듈을 통하여 준비된 피부의 각 부분을 나타내는 facet 배열과 인체의 골격 데이터인 skeleton 배열을 검사하여 각 골격에 해당하는 피부 데이터를 찾아 연결한다. 이 과정은 데이터의 좌표를 이용하여 계산하는 수학적 방법과 수학적 방법으로 해결되지 않는 부분에 대한 경험적(heuristic) 방법을 함께 사용한다. 인체의 외모를 표현하는 데이터는 매우 복잡하고 내부에 포함되는 뼈대 데이터와 수학적으로 일치하지 않는 경우가 많기 때문이다. 바인딩을 위해서 후보 테이블(Candidate Table)을 이용한다. 후보 테이블은 facet과 skeleton과의 접합관계를 나타내는 테이블로서 <표1>과 같다. 가로 방향의 skeleton과 세로 방향의 facet이 교차하는 항목이 '0'이면 접합 관계가 없는 것을, '1'이면 접합 관계가 있는 것을 의미한다. 또한 많은 수의 facet과 skeleton을 모두 비교하며 알고리즘을 적용하면 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 알고리즘은 분할 해결 (divide-and-conquer) 방식을 적용하여 그룹핑을 세단계의 검사(three-pass test)를 거쳐서 수행한다[15]. 첫 번째 검사는 교차 검사로서 각 facet과 skeleton의 바운딩 박스가 3차원 공간상에서 서로 교차하면 접속의 가능성이 있으므로 후보 테이블에 '1'로 기록한다. 두 번째 검사는 그룹핑 검사로서 후보 테이블에 '1'로 표시되어 있는 facet과 skeleton만으로 실제 접속의 여부를 검사한다. 마지막 검사는 연결 검사로서 두 번의 검사를 통하여 연결된 facet과 skeleton의 연결 상태를 검사하여, 하나의 facet이 두개 이상의 skeleton과 연결되어 있는 경우, 연결된 facet을 각 skeleton에 해당하는 facet으로 분할하여 연결한다.

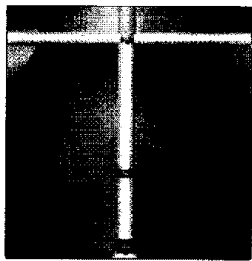
3.3.1 교차 검사(overlapping test)

각 facet 배열과 skeleton 배열의 바운딩 박스를

검사하여 교차하는 후보 테이블의 항목을 '1'로 등록한다. 교차 검사는 <식2>로 검사하며 (그림7)과 같이 상반신을 표현하는 하나의 faceset과 7개의 skeleton이 교차하는 것을 볼 수 있다.

$$T(i, j) = '0' : \text{if } F(i)_{x_{max}} < S(j)_{x_{min}} \text{ or } F(i)_{y_{max}} < S(j)_{y_{min}} \text{ or } F(i)_{z_{max}} < S(j)_{z_{min}} \text{ or } F(i)_{x_{min}} > S(j)_{x_{max}} \text{ or } F(i)_{y_{min}} > S(j)_{y_{max}} \text{ or } F(i)_{z_{min}} > S(j)_{z_{max}} \text{ or } '1' : \text{elsewhere} \quad \langle \text{식2} \rangle$$

where $T(i, j)$: (i, j)th item in Candidate Table
 $F(i)_{x_{min}}, F(i)_{y_{min}}, F(i)_{z_{min}}$: bounding box of ith faceset
 $F(i)_{x_{max}}, F(i)_{y_{max}}, F(i)_{z_{max}}$: bounding box of ith skeleton
 $S(j)_{x_{min}}, S(j)_{y_{min}}, S(j)_{z_{min}}$: bounding box of jth skeleton
 $S(j)_{x_{max}}, S(j)_{y_{max}}, S(j)_{z_{max}}$: bounding box of jth skeleton



(그림 8) 교차테스트
(Fig. 8) Overlapping Test

<표 1> 후보 테이블(Candidate Table)

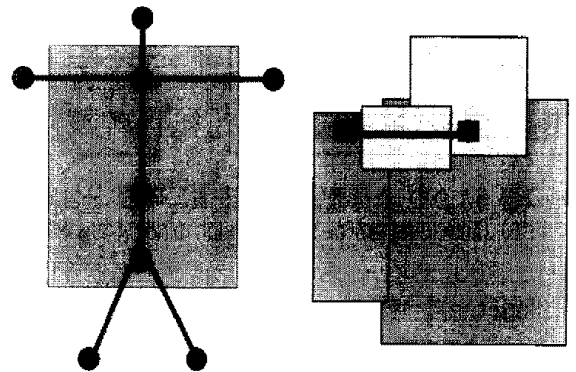
	Skeletons	Total
Faceset(0)	: 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	1
Faceset(1)	: 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3	3
Faceset(2)	: 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0	0
Faceset(3)	: 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2	2
Faceset(4)	: 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2	2
Faceset(5)	: 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	1
Faceset(6)	: 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	1
Faceset(7)	: 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	1
...		
Faceset(26)	: 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1	1
Faceset(27)	: 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 2	2
계	: 2, 2, 2, 6, 3, 2, 2, 4, 2, 3, 3, 3, 2, 3, 3, 1, 0	

3.3.2 그룹핑 검사(grouping test)

교차 테스트를 통하여 작성된 후보 테이블은 (그림

9) (1)과 같이 상반신 faceset의 경우 7개의 skeleton과 교차한다. 또한 상반신 faceset과 교차하고 있는 skeleton중 오른쪽 어깨 골격은 (그림9) (2)와 같이 4개의 faceset과 교차하고 있다. 실제로 상반신 faceset에 연결되어야 할 skeleton은 척추의 두 skeleton뿐이며 또한 오른쪽 어깨 관절도 이 관절에 해당되는 faceset으로 연결되도록 하는 처리가 필요하다.

이를 위해서는 데이터의 특성을 고려한 경험적인 방법의 처리가 필요하며 후보 테이블의 각 faceset에 대해서 (그림10)의 알고리즘을 적용하여 그룹핑 검사를 행한다.



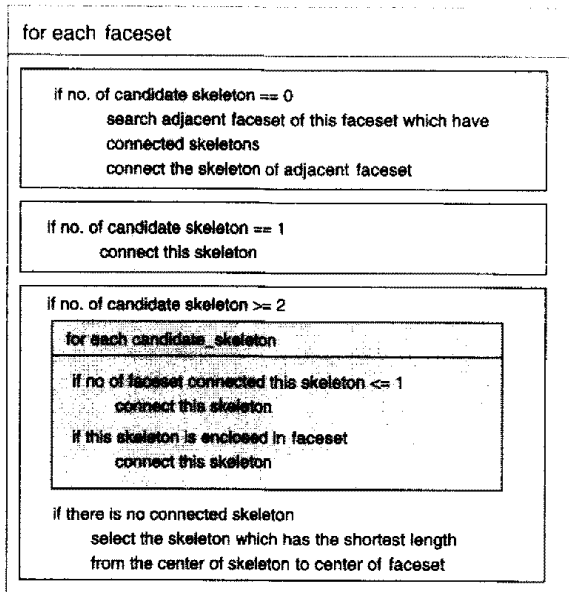
(1)Connected skeletons to one faceset (2)Connected faceset one skeleton

(그림 9) 교차 테스트로 연결된 skeleton과 faceset
(Fig. 9) Connected skeletons and facesets by overlapping test

이상의 알고리즘으로 그룹핑 검사를 수행하면 상반신 faceset에는 두 개의 척추 골격이 연결되고, 오른쪽 어깨 골격에는 오른쪽 어깨의 모양을 표현한 faceset이 연결된다.

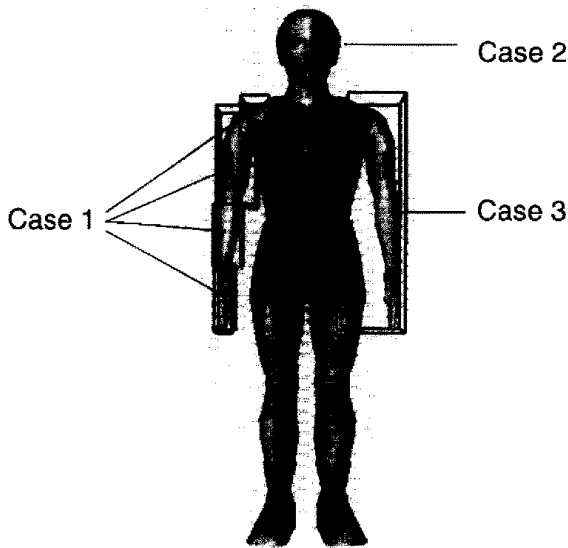
3.3.3 연결 검사(connection test)

인체 모델에서 하나의 뼈대에는 하나의 피부 데이터가 연결되어 있는 것이 이상적이다. 그러나 그룹핑을 거쳐서 작성된 후보 테이블을 살펴보면 하나의 faceset에 2개 이상의 skeleton이 연결되어 있거나 하나의 skeleton에 2개 이상의 faceset이 연결되어 있는 것이 있다. 이것은 (그림11)과 같이 인체의 피부 데이터를 작성하는 사람에 따라서 여러 가지 방법으로 다르게 기하 데이터를 모델링하거나 같은 형태의 데이터도 다르게 표현될 수 있기 때문이다. 여기서 하나의 뼈대에 여



(그림 10) 그룹핑 검사 알고리즘
(Fig. 10) Pseudo code of grouping test

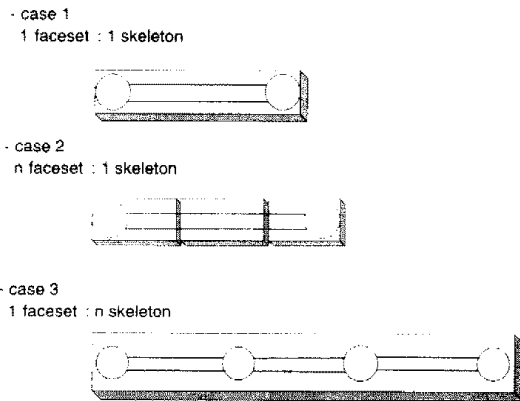
러개의 faceset이 연결되어 있는 경우는 문제로 삼지 않는다. 왜냐하면 하나의 skeleton이 움직일 때 여러 개의 faceset이 같이 붙어서 움직이도록 하면 움직임에 이상이 없기 때문이며 때에 따라서는 하나의 skeleton에 여러개의 faceset이 붙어야 할 때도 있기 때문이다. 위의 예에서 얼굴 부분의 skeleton은 얼굴뿐만이 아닌 머리, 눈, 입술 등의 faceset을 포함하는 것을 예로 들



(그림 11) 다양한 형태의 faceset
(Fig. 11) Facesets which is modeled differently

수 있다. 그러나 (그림11)의 왼쪽 팔과 같이 하나의 faceset에 여러개의 skeleton이 연결되어 있는 경우는 독립적으로 움직이는 각 skeleton의 움직임을 처리할 수 없으므로 하나의 faceset을 연결되어 있는 skeleton들에 맞도록 잘라서 각 skeleton에 연결해야 한다. 이를 위해서 각 faceset과 skeleton의 연결 형태를 조사하는 연결 테스트(connection test)와 연결 테스트에서하나의 faceset에 두 개 이상의 skeleton이 연결되어 있는 경우의 처리를 수행한다. 연결 테스트는 다음의 3경우로 조사하며 각 경우에 대한 처리는 다음과 같다.

Faceset과 skeleton의 연결 상태는 (그림12)와 같이 3경우로 구분된다.



(그림 12) 연결 테스트
(Fig. 12) Connection test

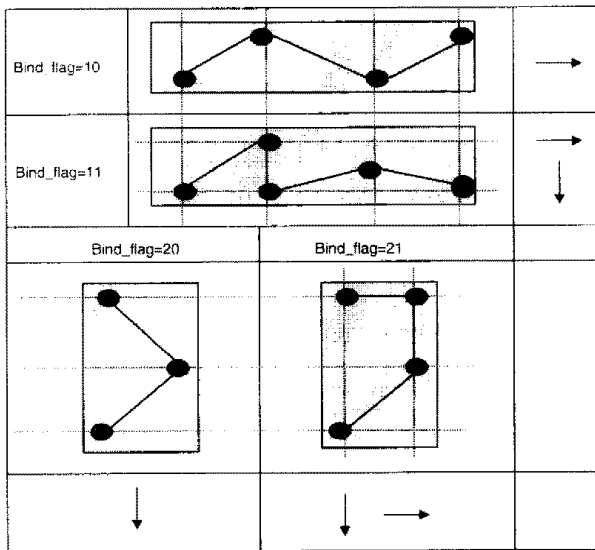
3.3.4 Faceset의 분할(split)

위의 연결 테스트에서 “case 3”에 해당하는 faceset은 연결되어 있는 skeleton의 각 관절의 위치를 기준으로 분할되어 각 skeleton에 연결되어야 한다. 이를 위해서 faceset과 skeleton의 형태를 검사하여 bind_flag를 정하고 faceset의 각 polygon의 위치를 검사하여 polygon이 위치하는 skeleton에 polygon이 연결될 수 있도록 faceset을 분할한다. faceset과 skeleton의 모양에 따른 bind_flag는 (그림 13)과 같다.

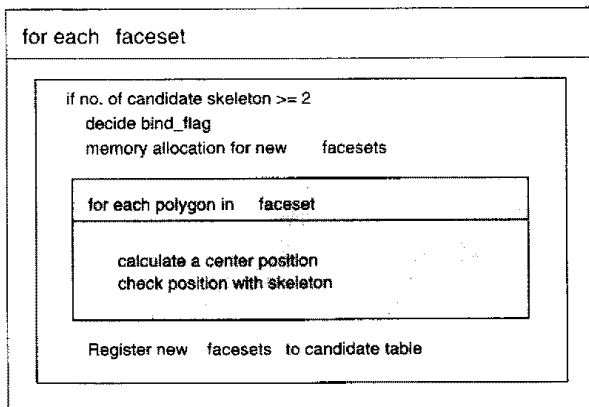
각 polygon의 위치에 대한 검사는 polygon의 중심의 위치를 구한 후, (그림13)에서 bind_flag가 10 또는 20인 경우는 각각 X축 또는 Y축 방향으로만 polygon의 중심의 위치로 검사하여 해당하는 skeleton을 찾는다. 그러나 bind_flag가 11 또는 21

인 경우는 각 검사축에 일치하는 skeleton에서는 반대 방향으로의 검사를 다시 실행해야 한다. Faceset의 분할을 위한 알고리즘은 (그림14)와 같다.

이러한 과정을 거쳐서 하나의 faceset이 연결되어 있는 skeleton의 수로 분할되면, 후보 테이블에서 원래의 faceset 열은 '0'으로 reset되고 분할된 faceset들의 열만큼 후보 테이블에 등록되어야 한다. 따라서 이과정에서 후보 테이블의 faceset 수가 늘어나게 된다.



(그림 13) Faceset 분할을 위한 bind_flag
(Fig. 13) Bind_flag for splitting faceset



(그림 14) Faceset 분할 알고리즘
(Fig. 14) Pseudo code of splitting faceset

3.3.5 바인딩(binding)

지금까지의 알고리즘을 수행하여 형성된 후보 테이블은 <표2>와 같다. 최종 후보 테이블을 기준으로 각

skeleton에 해당하는 faceset을 연결한다.

<표 2> 최종 후보 테이블

Skeleton ()	Total
Faceset(0) : 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(1) : 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(2) : 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(3) : 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(4) : 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(5) : 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(6) : 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(7) : 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	
Faceset(36) : 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1	
Faceset(37) : 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1	
Total : 1, 1, 1, 8, 2, 1, 2, 1, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 1, 3, 4	

4. 실험

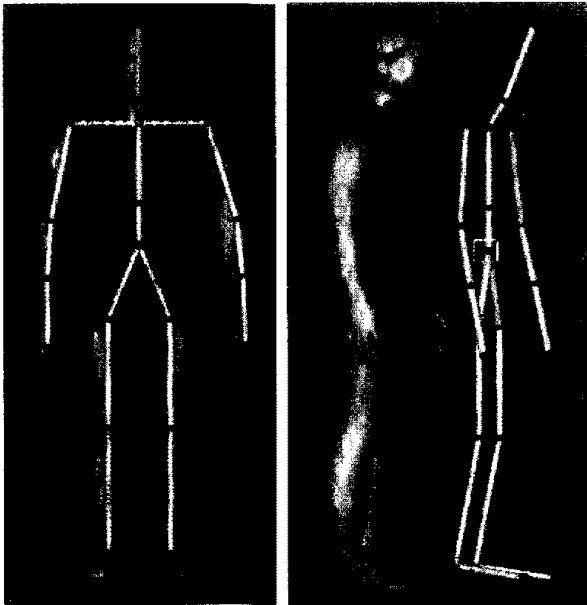
알고리즘의 실험을 위한 작업 순서는 다음과 같다.

- ① 인체의 외양을 모델링한 3차원 기하 데이터를 입력하여 display 한다.
- ② 기하 데이터의 위에서 관절을 정의한다.
- ③ 스킨-스켈레톤 알고리즘을 수행시킨다.
- ④ 관절을 조작하여 동작을 생성한다.

스킨-스켈레톤 바인딩 알고리즘의 실험을 위해서 다관절체의 골격구조를 정의, 편집할 수 있는 다관절체 편집 시스템을 구현하고, 물체의 외양을 표현하는 기하 데이터는 Open Inventor의 iv 포맷을 이용하였다. (그림15)와 같이 인체의 기하 데이터위에 관절 데이터를 입력하고 두 데이터를 접합하여 애니메이션에 사용할 수 있는 관절과 피부가 접합된 모델을 생성한다. (그림16)은 접합된 인체 모델의 관절을 제어하여 동작을 생성한 예이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 컴퓨터 애니메이션에서 등장하는 인체의 모델링을 위한 방법을 제안하였다. 다관절체 물체를 생성하고 관리하기 위한 다관절체의 데이터 구조를 설계하였으며 키프레임 애니메이션으로 동작을 처리하

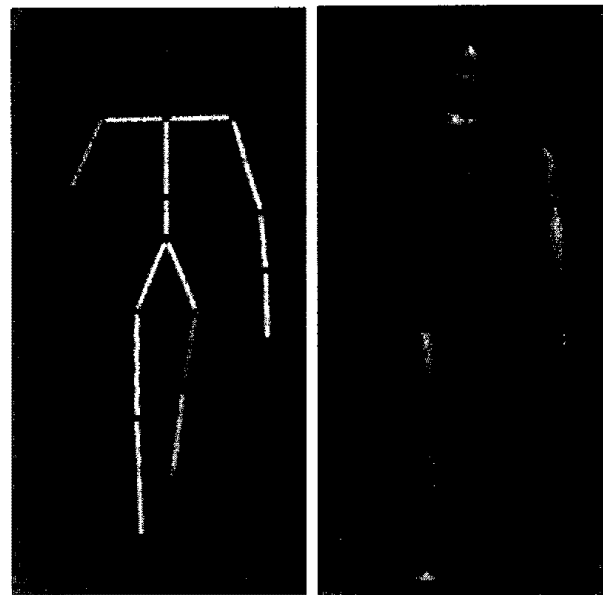
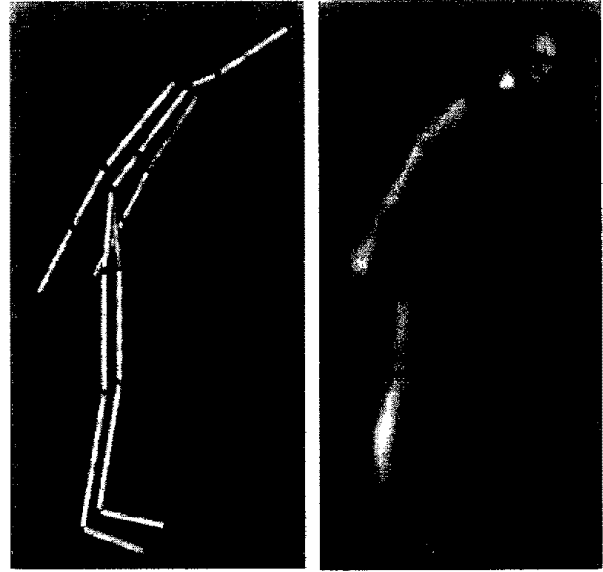


(그림 15) 인체의 기하 데이터와 골격 데이터
(Fig. 15) Skeletal and Geometrical data of human body

였다. 이와 함께 인체의 사실적인 표현을 위해서 다관절체 골격 구조에 피부 표면의 기하 데이터를 접합하는 스킨-스켈레톤 바인딩 (skin skeleton binding) 알고리즘을 설계하였다. 제안된 알고리즘은 20개의 관절로 구성된 인체의 골격 모델과 Open Inventor 포맷의 기하 데이터와의 접합에 대하여 실험하였다.

본 논문에서 제안한 스킨-스켈레톤 바인딩 기법은 3차원 애니메이션에서 가장 복잡하고 어려운 문제로 대두되고 있는 인체의 모델링을 쉽게 할 수 있도록 한 것에 의미가 있다. 현재 구현된 시스템은 기하 데이터로서 Inventor 포맷의 데이터를 사용하고 있으며 관절 데이터의 크기와 기하 데이터의 크기가 날라도 접합이 가능하다. 그러나 3차원 기하 데이터가 관절체 구조에 맞지 않게 작성된 경우에는 접합이 되지 않으며, 이를 위해서 3차원 기하 데이터를 관절 구조에 맞도록 편집하는 기능이 추가되면 일반적으로 작성된 3차원 모델 데이터를 쉽게 애니메이션에 사용할 수 있는 데이터로 변환 할 수 있다. 또한 설계한 다관절체 데이터의 구조는 인체 모델만이 아닌 일반적인 다관절체 구조를 관리할 수 있도록 설계되었으므로 네다리를 가진 동물이나 기계와 같은 형태의 모든 다관절체 모델링에 적용할 수 있다.

본 논문에서는 피부의 변형에 대해서는 다루지 않았다. 현재 골격 구조와 연결된 피부 데이터 구조를 피부



(그림 16) 접합된 인체 모델의 동작 생성 예
(Fig. 16) Apply motions to bound human model

변형이 가능한 형태의 데이터로 바꾸고 두 데이터가 결합된 인체 모델에 동작이 적용될 때의 피부 변형을 위한 연구가 진행중이다.

이러한 기술은 컴퓨터 그래픽스와 가상 현실 시스템의 다양한 응용 시스템에 활용할 수 있다. 예를 들어 과학 기술용 시뮬레이션 시스템을 비롯하여, 3차원 대화식 게임이나 최근에 부상하고 있는 네트워크를 이용한 공유 가상 환경에 등장하는 아바타나 에이전트(agent) 등의 처리를 위한 기반 기술로 활용 가능하다.

참 고 문 헌

[1] Norman I Badler, "Human body models and animation". IEEE Computer Graphics and Applications Vol.2, No.9, pp.6-7, 1982.

[2] Frederic I. Parke, "Parameterized models for facial animation". IEEE Computer Graphics and Applications Vol.2, No.9, pp.61-68, 1982.

[3] Ekman P, Friesen W, "Manual for the facial action coding system". Consulting Psychologist Press, Palo Alto, USA, 1978.

[4] H.Rijpkeman, M.Girard, "Computer Animation of Knowledge-Based Human Grasping". Computer Graphics, Vol.25, No.4, July 1991.

[5] 최혜옥, 송만균, 전병민, "구속조건 기반의 손 모델", 한국컴퓨터그래픽스학회 논문지, Vol.3, No. 1, pp.1-7, June 1997.

[6] Watt A, Watt M, "Advanced Animation and Rendering Techniques", pp.384-394, Addison Wesley, 1995.

[7] James K Hahn, "Realistic Animation of Rigid Bodies", Computer Graphics, ACM SIGGRAPH, Vol.22, No.4, pp.299-308, Aug. 1988.

[8] Hyungseok Ko, Norman I. Badler, "Animating Human Locomotion Using Inverse Dynamics", IEEE Computer Graphics and Applications, pp.50-59, March 1996.

[9] Hyungseok Ko, "Kinematic and Dynamic Techniques for Analyzing, Predicting and Animating Human Locomotion", dissertation for PhD, University of Pennsylvania, 1994.

[10] J. Wilhelms, "Aniamls with Anatomy", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 17, No.3, pp.22-30, May 1997.

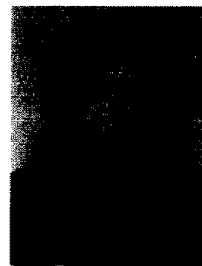
[11] F. Schfepers, R.R. Parent, W.E. Carson, S.F. May, "Anatomically-Based Modeling of the Human Musculature", Computer Graphics, SIGGRAPH'97, pp.163-172, Aug. 1997.

[12] 한두석, "국소해부학", 1996, 정문각.

[13] 정진우, 손영하 편역, "그림으로 보는 근골격 해부학", 1996, 대학서림.

[14] 최혜옥, 송만균, "STEP2000 CG/VR기술개발 제 2단계 1차년도 기술이전 세미나 자료", 시스템공학 연구소, 1997.

[15] Sara Baase, "Computer Algorithms, Introduction to Design and Analysis, 2ed", pp. 53-65, Addison-Wesley Publishing Company, 1988.

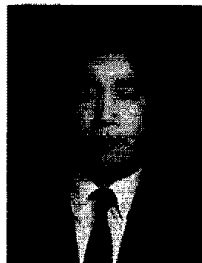


최 혜 옥

1989년 한국방송통신대학교 전자계산학과(학사)
 1991년 연세대학교 산업대학원 전자계산학과(공학석사)
 1998년 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)

1975년~현재 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어연구소 선임연구원

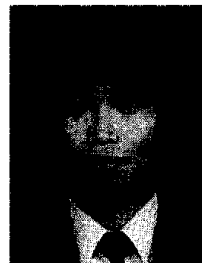
관심분야 : Computer Graphics, Virtual Reality, Artificial Agent, Image Processing



유 태 선

1977년 한국항공대학교 전자공학과(학사)
 1982년 연세대학교 산업대학원 전자공학과(공학석사)
 1981년~현재 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 신호처리, 시뮬레이션, 전자전자공학



전 병 민

1976년 한국항공대학교 전자공학과(학사)
 1978년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1988년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1978년~1982년 공군사관학교 교수부 전임강사
 1982년~1986년 동양공업전문대학 통신과 조교수
 1986년~현재 충북대학교 컴퓨터공학과 교수
 1996년~현재 한국통신학회 평회원

관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 영상처리 및 패턴 인식