

저작권 보호를 위한 선, 호 및 다각형면 성분 기반의 CAD 설계도면의 워터마킹 기법

문광석[†], 이석환^{**}, 권기룡^{***}, 권성근^{****}

요 약

본 논문에서는 3D CAD 설계도면의 저작권 보호를 위한 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 3D CAD 설계도면의 기본성분인 선, 호 및 다각형면 성분 내에 이진 워터마크를 각각 삽입한다. 삽입 대상 성분은 3개 성분들 중 임의로 선택되거나 도면 내에 각 성분 분포에 따라 선택되어진다. 우선 라인 성분에서는 삽입 대상 라인의 길이와 연결된 라인들의 평균 길이 비율에 워터마크가 삽입된다. 또한 아크 성분에서는 아크의 중점을 기준으로 곡률 반경에 워터마크가 삽입되고, 다각형면 성분에서는 두 면의 길이 비율에 워터마크가 삽입된다. 실험결과로부터 제안한 방법이 파일변환, 회전, 이동, 스케일링, 성분 제거 및 레이어 제거 등과 같은 공격에 대하여 견고하며, 워터마크가 삽입된 각 성분의 SNR이 39.89-42.50 dB임을 확인하였다.

A Watermarking Scheme of CAD Design Drawing Based on Line, Arc, and Polygon Face Components for Copyright Protection

Kwang-Seok Moon[†], Suk-Hwan Lee^{**}, Ki-Ryong Kwon^{***}, Seong-Geun Kwon^{****}

ABSTRACT

This paper proposes a watermarking scheme for 3D CAD design drawing. In the proposed scheme, we embed binary watermarks into line, arc, and polygon face components that are the basic component of 3D CAD design drawing. The embedding target component can be selected randomly among three components or by the component distribution in drawing. In line components, a watermark bit is embedded into the ratio of the length of a target line and an average length of lines that are connected into a target line. Furthermore, a watermark bit is embedded into a curvature radius on the basis of a center point in a arc component and also is embedded into a ratio of two sides in a polygonal face component. Experimental results verified that the proposed watermarking has the robustness against Format conversion, rotation translation, scaling, cropping, and layer cutting and also SNR of watermarked component is about 39.89-42.50 dB.

Key words: 3D CAD Drawing(3D CAD 도면), Watermarking(워터마킹), Line(선), Arc(호), Polygon Face(다각형면)

※ 교신저자(Corresponding Author): 권기룡, 주소: 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지(608-737), 전화: 051)620-6495, FAX: 051)620-6450, E-mail: krkwon@pknu.ac.kr
접수일: 2006년 9월 8일, 완료일: 2007년 3월 16일

[†] 중신회원, 부경대학교 전자공학과
(E-mail: moonks@pknu.ac.kr)

^{**} 중신회원, 동명대학교 정보보호학과

(E-mail: skyleec@tu.ac.kr)

^{***} 정회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

^{****} 정회원, 삼성전자 무선사업부

(E-mail: seonggeunkwon@hanmail.net)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구의 지역대학 우수 과학자 (R05-2003-000-10830-0) 지원연구로 수행되었음.

1. 서 론

정보통신기술 발달로 인한 멀티미디어 정보의 급격한 사용과 더불어, 이들 정보에 대한 지적 재산권 및 저작권 보호 문제가 대두되고 있다. 일반적으로 지적 재산권 및 저작권 보호를 위한 기술에는 암호화 및 워터마킹 기술이 있다. 암호화 기술은 멀티미디어 정보를 암호한 후 인가되지 않은 불법 사용자의 접근을 제한한다. 그러나 이 기술은 인가된 사용자의 불법적인 행위를 방지하지 못하고, 다수의 저작권 소유자가 하나의 콘텐츠에 대한 소유권 주장과 같은 분쟁을 해결하지 못한다. 이와 같은 암호화 기술의 단점을 해결하기 위한 워터마킹 기술 연구가 많이 진행되어 왔다. 이 기술은 정보보호의 최종 단계이며, 멀티미디어 정보에 워터마크를 삽입함으로써 소유자의 저작권 보호한다. 현재 정지영상, 비디오 및 오디오 등의 멀티미디어 정보에 대한 워터마킹 기술이 많이 연구되어 왔다[1,2]. 최근 VRML (Virtual Reality Modeling Language), NURBS (Non Uniform Rational Basis Spline) 및 MPEG-4 와 같은 3D 형상 모델의 관심이 높아지면서, 정지영상 워터마킹 기술의 확장된 3D 형상 모델 워터마킹 기술이 제안되고 있다[3-6]. 3D 형상 모델은 일반적으로 3D 직각 좌표계에서의 꼭지점 좌표와 이들을 연결하는 정보로 구성되는 메쉬들로 표현된다. Ohbuchi 등[3]은 3D 형상 모델의 기하학적 및 위상학적 특징에 기반한 워터마킹 기법을 제안하였다. Mao 등[4]은 삼각형 분할 기법을 이용한 3D 기하학 모델 워터마킹 기법을 제안하였다. Beneden 등[5]은 모델의 기하학적 특징인 법선 벡터 분포에 워터마크를 삽입하는 기법을 제안하였다. 또한 Kanai 등[6]은 3D 다해상도 웨이블릿 변환을 이용한 3D 모델 워터마킹 기법을 제안하였다.

3D 그래픽스 기법이 발달과 동시에 산업 현장에서는 많은 설계도면들을 3D CAD (Computer-Aided Design) 도구에 의하여 작성하고 있다. 그러나 설계도면들의 불법복제 배포에 의하여 산업적 및 경제적인 손실이 커지고 있다. 현재 3D 형상모델에 비하여 3D CAD 설계도면에 대한 워터마킹 연구가 많이 진행되지 못하고 있다. 3D CAD 도면은 선 (line), 호 (arc), 원 (circle) 및 다각형면 (polygon face)의 기본 성분에 의하여 설계되어진다. 여기서 다각형면은 3D

형상모델의 다각형 성분과 유사하다. Kim 등[7]은 2D CAD 도면의 저작권 보호를 위하여 선 및 호 성분을 구성하는 꼭지점의 좌표에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 워터마크 추출시 원 꼭지점의 좌표가 필요하며, 2D 데이터를 3D 데이터로 확장되어야 한다. Park 등[8]은 3D CAD 도면에서 선 및 3DFACE 성분 내에 가우시안 분포를 가지는 실수형의 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 선 성분에서는 대상선 성분의 길이와 임의의 선 성분의 길이 차이에 3DFACE 성분에서는 임의의 면 길이에 워터마크를 삽입하였다. 그러나 이 방법에서는 워터마크 검출시 길이 차이와 원도면에서의 선 성분의 좌표값이 필요하다. 그리고 워터마크 삽입시 간단한 더하기 연산 $C'_i = C_i + \alpha w_i$ 을 사용하여 각 성분 내의 주위 분포를 고려하지 않았다. 여기서 C_i 는 삽입 대상체이고, w_i 는 워터마크 성분 그리고 α 는 삽입 강도이다. 따라서 3D CAD 도면 워터마킹에서는 도면을 구성하는 기본성분들의 기하학적 성질을 이용하여야 하며, 워터마크 추출시 원도면의 좌표값이 필요없어야 한다.

본 논문에서는 3D CAD 도면에서 선, 호 및 다각형면 성분의 기하학적 성질을 이용한 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 3D CAD 도면 상에서 선, 호, 및 다각형면 성분들의 분포에 따라 워터마크를 삽입할 성분을 결정한다. 그리고 결정된 성분 내의 삽입 대상체를 임의로 선택한 다음, 각 성분의 기하학적 성질을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 우선 선 성분에서는 중심선과 연결선들의 집합을 선택하여, 연결선들의 평균 길이를 기준으로 중심선의 길이에 워터마크를 삽입한다. 호 성분에서는 중점의 이동 방향에 따라 반지름을 변경함으로써 워터마크를 삽입한다. 마지막으로 다각형면 성분에서는 4개 이상의 면을 가지는 다각형면을 선택하여 공유되지 않은 두 개의 면을 선택하여 기준면과 변경면으로 나눈다. 그리고 기준면의 길이 기준에 따라 변경면의 길이를 변경함으로써 워터마크를 삽입한다.

워터마크 추출시 각 성분의 좌표는 필요없으나, 삽입되는 대상체의 인덱스는 필요하다. 실험결과로부터 제안한 방법이 비가시성 및 파일변환, 이동, 스케일링, 회전, 성분 및 레이어 절단 등에 대한 견고성이 우수함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는

3D CAD 설계도면의 구조 및 공격 형태에 대하여 살펴본 후, 3장에서는 이를 기반으로 선, 호 및 다각형면에 대한 워터마킹 방법에 대하여 살펴본다. 그리고 4장에서는 여러 가지 설계도면에 대하여 견고성 및 비가시성에 대한 실험결과를 살펴보고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 3D CAD 설계도면

본 장에서는 3D CAD 설계도면 데이터 중 DXF (Drawing Exchange Format) 데이터 구조에 대하여 간략히 살펴보기로 한다[9]. DXF는 범용 3D CAD 툴인 AutoCAD에서 지원하는 개방형 데이터 교환 포맷으로 도면 파일 내용을 ASCII 텍스트 파일로 표현한 것이다. DXT 설계도면의 기본 구조로는 헤더 (Header), 테이블 (Table), 블록 (Block), 엔터티 (Entity)의 섹션 (section)으로 그림 1에서와 같이 구성된다. 헤더 섹션은 AutoCAD 데이터베이스의 버전과 시스템 변수로 구성되어 있으며 도면에 대한 일반적인 정보를 표현한다. 테이블 섹션은 선종류 테이블, 도면층 테이블, 문자유형 테이블, 뷰 테이블, 사용자 좌표계 테이블 등 기호 테이블에 대한 정보를 표현한다. 블록 섹션은 도면의 각 블록 참조를 구성하는 블록정의와 도면요소를 표현한다. 엔터티 섹션은 도면의 그래픽 객체를 표현한 것으로 선, 호, 원 및 다각형면 성분들로 구성된다.

설계도면의 형상은 그림 1에서와 같이 본체 섹션 내에 벡터 데이터 기반인 선, 호, 원 및 다각형면의 기본성분에 의하여 설계되어진다. 선 성분은 시작점 v_1 과 끝점 v_2 으로 구성되며, 호 성분은 두 점들 v_1 및 v_2 , 원주의 중점 C , 원주 반경 R , 각도 θ_1, θ_2 및 각의 기준점 P 로 구성된다. 여기서 θ_1 은 v_1 및 P 와의 각도이고, θ_2 는 v_2 및 P 와의 각도이다. 원 성분은 반지름 R 및 중점 C 으로 구성되며, 다각형면은 3D 표면을 나타내는 꼭지점들로 구성된다.

3D 설계도면에서 위의 네 가지 기본성분들의 구성요소들은 워터마크 삽입 대상체로 선택될 수 있다. 즉, 선 성분에서는 두 점 v_1, v_2 들의 좌표값들에 워터마크가 삽입될 수 있다. 호 성분에서는 선 성분에서와 같이 두 점 v_1, v_2 들의 좌표값에 워터마크가 삽입될 수 있다. 이 때 워터마크에 의한 두 점들의 좌표값 변경에 따라 기준점 P 에 대한 두 점들의 각도 θ_1, θ_2 들

이 같이 변경되어진다. 또한 원주의 중점 C 에 워터마크가 삽입될 수 있으며, 이 때 워터마크에 의한 원주의 중점 변경에 따라 원주 반경 R 이 같이 변경되어진다. 원 성분에서는 반지름 R 또는 중점 C 에 워터마크가 삽입될 수 있다. 반지름 R 이 워터마크에 의하여 변경되면, 원래 원의 크기가 변경될 것이다. 그리고 중점 C 가 워터마크에 의하여 변경되면, 원래 원의 위치가 변경될 것이다. 다각형면 성분에서는 면을 구성하는 각 꼭지점들의 좌표값에 워터마크가 삽입될 수 있다. 이 때 변경된 꼭지점 좌표값에 의하여 다각형면의 형태가 변경되어진다.

3D CAD 도면들은 범용적인 CAD 도구들에 의하여 의도적 또는 비의도적으로 편집이 가능하다. AutoCAD 툴 상에서 3D CAD 데이터에 대한 공격으로는 다음과 같다.

- 1) 파일 포맷 변환 : CAD 도면은 AutoCAD 상에서 DXF (Drawing Exchange Format), DWG, DWT (Drawing Web Format) 및 DWS (AutoCAD Drawing standard)등과 같은 파일 포맷으로 쉽게 변환이 가능하다.
- 2) 기하학적 공격 : 이동, 스케일링, 회전 및 절단 등과 같은 공격이 있다.
- 3) 레이어 절단 : AutoCAD 상에서의 도면들은 다수의 레이어들로 구성되어 있다. 불법 사용자들은 몇몇 레이어들을 제거하거나, 중요한 부분 레이어들을

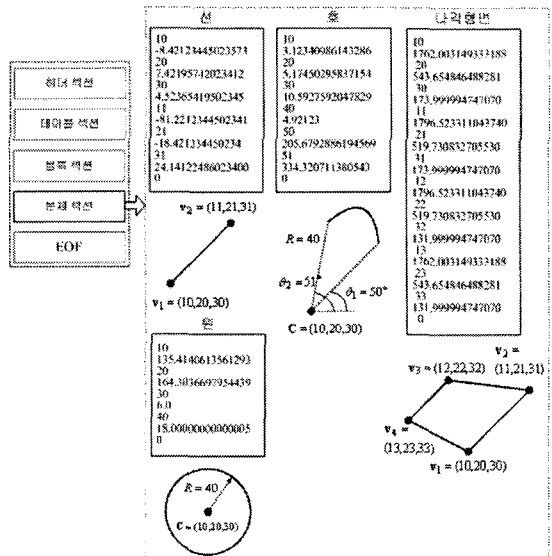


그림 1. 3D CAD 설계도면의 데이터 구조

불법적으로 도용할 수 있다.

3D CAD 도면 워터마킹 기술에서는 이상과 같은 공격에 대하여 강인성을 가져야 한다. 실제적인 범용 CAD 툴 상에서는 많은 편집 기법들이 제공한다. 본 논문에서는 파일 포맷 변환, 기하학적 공격 및 레이 어 절단에 강인한 3D CAD 도면 워터마킹 기법을 제안한다.

3. 제안한 3D CAD 설계도면 워터마킹

제안한 방법에서는 그림 2에서와 같이 워터마크를 선, 호 및 다각형면 성분에 각각 삽입한다. 우선 세 성분들은 3D CAD 데이터의 엔터티 섹션에서 획득된다. 여기서 워터마크 삽입 대상 성분은 3D CAD 도면의 성분분포 또는 사용자의 기호에 따라 결정된다. 각 성분에 대한 삽입 대상체로는 선 성분에서는 길이, 호 성분에서는 원주 반경 그리고 다각형면 성분에서는 두개의 면에 대한 길이 비율이다. 각 도면 내의 워터마크 삽입 대상체 인덱스는 워터마크 추출을 위한 키로서 사용된다. 그림 2에서 원, 호 및 다각형면 성분에 대한 워터마크 삽입 방법은 다음 절에 각각 설명되어진다.

3.1 선 성분에 대한 워터마크 삽입

3D CAD 파일 내 선 노드에서는 시작점 및 끝점으로 구성된 다수의 쌍으로 열거되어 있다. 점의 쌍이 하나의 선 성분을 나타낸다. 하나의 선은 그림 3

(a)에서와 같이 다른 선과 연결되거나 또는 연결되어 있지 않다. 선 성분 내에 한 점을 워터마크에 의하여 바뀌어질 때, 이 점에 연결된 다른 선 성분들도 함께 바뀌어진다. 따라서 워터마크가 삽입되는 선에 연결된 선들은 삽입 대상에서 제외되어야 한다. 제안한 방법에서는 연결된 선들을 워터마크 삽입을 위한 기준선으로 사용한다. 즉, 하나의 워터마크 비트를 삽입하기 위한 대상체 $e_i = \{l_i, l_{ik}, k \in [1, N_i]\}$ 는 임의로 선택된 선 l_i 와 l_i 에 연결된 선 l_{ik} 로 구성된다. 여기서 N_i 는 연결된 선의 개수이다.

우선, 그림 2의 선 성분에 대한 워터마크 삽입 흐름도에서와 같이 N 개로 구성된 삽입 대상체의 집합 $E_i = \{c_i | i \in [0, N]\}$ 을 임의의 한 점에서부터 시작하여 획득한다. 그리고 $n \leq N$ 비트 길이의 워터마크 $W = \{w_i | k \in [1, n]\}$ 는 집합 E에서 랜덤하게 선택된 삽입 대상체에 각각 삽입된다. 예를 들어, i 번째 워터마크 비트 $w_i = \{1, n\}$ 는 삽입 대상체의 중심선 l_i 에

$$\begin{aligned} & \text{If } w_i = 1, \text{ then } l_i \geq \bar{l}_i \\ & \text{Otherwise, } l_i < \bar{l}_i \\ & \text{where, } \bar{l}_i = \sum_{k=1}^{N_i} l_{ik} / N_i \end{aligned} \tag{1}$$

와 같이 삽입된다. 여기서 \bar{l}_i 는 연결된 선 l_{ik} 의 평균 길이이다.

중심선 l_i 의 길이가 워터마크 비트에 따라 변경되기 위하여 l_i 의 꼭지점 좌표가 변경되어야 한다. 그러나 l_i 의 꼭지점 좌표가 변경되면 이에 연결된 선들의 길이도 변경된다. 따라서 제안한 방법에서는 l_i 의 연

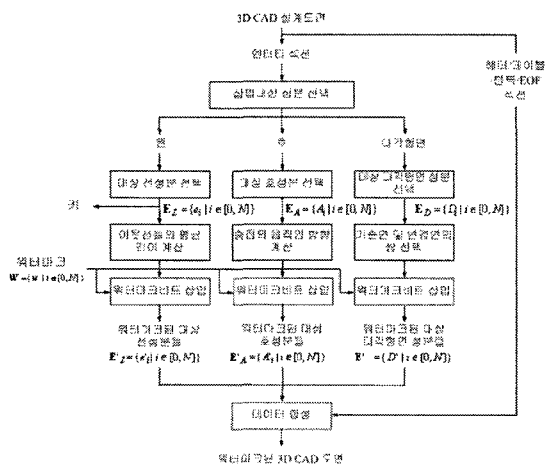


그림 2. 제안한 3D CAD 워터마크 삽입 기법

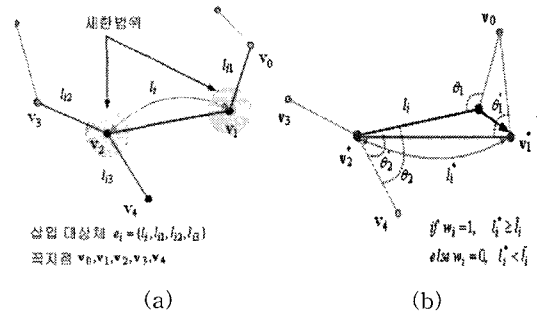


그림 3. (a) 중심선 l_i 및 연결선 $\{l_{i1}, l_{i2}, l_{i3}\}$ 으로 구성된 삽입 대상체 $e_i = \{l_i, l_{i1}, l_{i2}, l_{i3}\}$ 및 (b) 워터마크 비트 w_i 에 따라 중심선 l_i 의 길이와 연결선의 평균 길이 \bar{l}_i 의 비율 변경

결선들을 고려하기 위하여 l_i 의 꼭지점 좌표를 두 가지 제한조건에 따라 변경한다.

첫 번째 조건으로는 l_i 의 꼭지점 좌표들이 이에 연결된 선들의 좌표값을 벗어나지 않도록 설정된 제한범위 내에 변경되어야 한다는 것이다. 즉, 꼭지점 $v=(x,y,z)$ 이 변경될 제한범위는 각 좌표값별로 $[x-\Delta x, x+\Delta x]$, $[y-\Delta y, y+\Delta y]$, $[z-\Delta z, z+\Delta z]$ 이며, 각 좌표값에 대한 조정인자 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 는

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{1}{2} \min |x - x_k|_{x_k \in C(x)}, \quad \Delta y = \frac{1}{2} \min |y - y_k|_{y_k \in C(y)}, \\ \Delta z &= \frac{1}{2} \min |z - z_k|_{z_k \in C(z)} \end{aligned} \quad (2)$$

이다. 여기서 x_k, y_k, z_k 는 k 번째 연결된 꼭지점들의 각 좌표값을 나타내며, $C(x) = \{x_k | k \in [1, N_c]\}$, $C(y) = \{y_k | k \in [1, N_c]\}$, $C(z) = \{z_k | k \in [1, N_c]\}$ 는 꼭지점 v 에 연결된 꼭지점들 $C(v) = \{v_k | k \in [1, N_c]\}$ 의 각 좌표값 $\{x, y, z\}$ 들의 집합이고, N_c 는 v 에 연결된 꼭지점들의 개수이다. 식 (2)를 살펴보면, 각 좌표값들은 연결된 꼭지점들의 좌표값들 중 최소값의 1/2 이내에 변경되어짐을 나타낸다. 그림 3 (a)에서는 워터마크 삽입 대상체인 중심선 $l_i = \{v_1, v_2\}$ 에 3개의 선들 $l_{i,j} \in [1, 3]$ 이 연결되어 있으며, v_1 에 v_0 가 연결되어 있고, v_2 에 v_3, v_4 가 연결되어 있다. 따라서 v_1 의 좌표값 제한범위는 v_0 의 각 좌표값의 1/2 이내이며, v_2 의 좌표값 제한범위는 v_3, v_4 좌표값 중 최소값의 1/2 이내이다.

두 번째 조건으로는 원래의 중심선과 워터마크에 의하여 변경된 중심선이 연결선들과의 사이각 차이가 크지 않아야 한다는 것이다. 이 조건을 만족하기 위하여 중심선 l_i 를 기준으로 두 꼭지점 v_1, v_2 들에 연결된 선들과의 사이각들 중 최소각들을 각각 구한다. 즉 두 꼭지점 v_1, v_2 들과 이에 연결된 꼭지점들 $C(v_1) = \{v_{1k} | k \in [1, N_{1c}]\}$, $C(v_2) = \{v_{2k} | k \in [1, N_{2c}]\}$ 와의 사이각들 중 최소 사이각 θ_{1k}, θ_{2k} 이 각각

$$\begin{aligned} \theta_{1k} &= \arg \min_{k \in [1, N_{1c}]} \cos^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{v_1 v_2} \cdot \overrightarrow{v_1 v_{1k}}}{\|v_1 v_2\| \|v_1 v_{1k}\|} \right), \\ \theta_{2k} &= \arg \min_{k \in [1, N_{2c}]} \cos^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{v_1 v_2} \cdot \overrightarrow{v_2 v_{2k}}}{\|v_1 v_2\| \|v_2 v_{2k}\|} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

일 때, 두 번째 조건으로는 θ_{1k}, θ_{2k} 와 워터마크에 의하여 변경된 중심선의 최소 사이각 $\theta'_{1k}, \theta'_{2k}$ 와의 차이가

$$|\theta_{1k} - \theta'_{1k}| < \epsilon, \quad |\theta_{2k} - \theta'_{2k}| < \epsilon, \quad (4)$$

와 같이 문턱치 ϵ 보다 작아야 한다. 여기서 문턱치 ϵ 는 실험적으로 2°로 결정하였으며, N_{1c} 및 N_{2c} 는 v_1, v_2 에 연결된 꼭지점의 개수를 나타낸다.

이를 정리하면, 워터마크 비트 $w_i \in [1, n]$ 에 따라 중심선 l_i 이 연결선들의 평균길이 \bar{l}_i 보다 작게 또는 크게 하기 위하여 l_i 의 두 꼭지점 v_1, v_2 들을 $v'_1 = v_1 + a_1 \cdot \alpha$ 및 $v'_2 = v_2 + a_2 \cdot \alpha$ ($a_1, a_2 \in Z$)와 같이 위의 두 조건을 만족할 때까지 교대로 a_1 및 a_2 를 변경한다. 여기서 α 는 10^{-5} 이다.

3.2 호 성분 워터마크 삽입

n 비트 길이의 워터마크 $W = \{w_i | i \in [1, n]\}$ 를 호 성분에 삽입하기 위하여 제안한 방법에서는 그림 2의 워터마크 삽입 흐름도에서와 같이 n 개 랜덤하게 선택된 호 성분 $E_A = \{A_i | i \in [1, n]\}$ 내에 $\{v_0, v_1, C\}$ 을 이용하여 반경 R 에 워터마크 비트를 그림 4 (a)에서와 같이 삽입한다. 예를 들어, i 번째 워터마크 비트 $w_i \in [1, n]$ 는 i 번째 랜덤하게 선택된 호 성분 내에서의 R_i 에

$$R'_i = R_i + (2w_i - 1)\alpha \quad (5)$$

와 같이 삽입한다. 여기서 α 는 삽입 강도를 나타내는 변수이다. α 가 크면 반경 R_i 의 이동이 매우 커지므로 견고성이 우수하나, 원 도면과 다르게 보여질 수 있다. 제안한 방법에서는 호 성분의 곡률 $\kappa_i = 1/R_i$ 과 워터마크된 호 성분의 곡률 $\kappa'_i = 1/R'_i$ 와의 차이 $\Delta\kappa$ 를 이용하여 α 를 결정하였다. 즉, 곡률 차이 $\Delta\kappa$ 가

$$\Delta\kappa_i = |\kappa_i - \kappa'_i| = \left| \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R'_i} \right| = \left| \frac{(2w_i - 1)\alpha}{R_i(R_i + (2w_i - 1)\alpha)} \right| < \epsilon, \quad (6)$$

와 같이 문턱치 ϵ 보다 작은 범위 내에 있도록 설정하였다. 위 식을 다시 전개하면

$$|(2w_i - 1)\alpha| < \epsilon R_i (R_i + (2w_i - 1)\alpha) \quad (7)$$

와 같다. 여기서 $\alpha > 0, R > \alpha$ 가 일 때, α 의 범위는 $0 < \alpha < \epsilon R^2 / (1 + \epsilon R)$ 이다. 따라서 제안한 방법에서는 α 를 이 범위의 중간값 $\epsilon R^2 / (2(1 + \epsilon R))$ 으로 결정하였다.

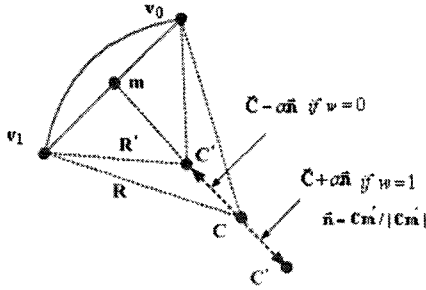


그림 4. 호 성분 내에 워터마크 비트 w 에 따라 중점 C 의 이동함으로써 반지름 R 변경

식 (5)에서와 같이 워터마크 비트에 따라 R_i 를 변경하기 위하여 호의 중점 C 를 그림 4 (a)에서와 같이 변경하여야 한다. 제안한 방법에서는 호 성분 내에 두 꼭지점 v_0, v_1 의 중점 $m=(v_0+v_1)/2$ 을 구한 다음, 호의 중점 C 을

$$\vec{C} = \vec{C} + (2w_i - 1) \frac{\epsilon R^2}{2(1+\epsilon R)} \vec{n} \quad (8)$$

와 같이 워터마크 비트 $w_{i \in \{1, n\}}$ 에 따라 중점 m 의 방향 또는 반대 방향으로 이동한다. 여기서 방향벡터 \vec{n} 은 C 과 m 의 단위벡터 $\vec{n} = \overline{Cm} / \|\overline{Cm}\|$ 이다.

3.3 다각형면 성분 워터마크 삽입

n 비트 길이의 워터마크 $W = \{w_i | i \in [1, n]\}$ 를 다각형면 성분에 삽입하기 위하여 제안한 방법에서는 그림 2의 워터마크 삽입 흐름도에서와 같이 n 개 랜덤 선택된 4면 이상의 다각형면 성분 $E_i = \{D_i | i \in [1, n]\}$ 내의 두 면 길이 비율을 이용한다.

우선 i 번째 워터마크 비트 $w_{i \in \{1, n\}}$ 를 삽입하기 위하여 i 번째 선택된 다각형면 성분 내에 길이 집합 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_{N_i}\}_{N_i > 1}$ 을 구한다. 여기서 N_i 는 길이 개수로 다각형면 성분 내에 꼭지점 개수와 동일하다. 그리고 $l_{i \in \{1, N_i\}}$ 는 두 꼭지점 v_i 및 v_{i+1} 와의 길이 $|v_i v_{i+1}|$ 이다. 길이 집합 중에서 공유되는 꼭지점이 없는 임의의 길이 쌍 $\{l_i, l_j\}$, $l_i, l_j \in L$ 을 그림 5 (a)에서와 같이 랜덤하게 선택한 다음, 워터마크 비트 w_i 에 따라 길이 비율 l_i/l_j 이

$$\begin{aligned} &\text{If } w_i=1, \text{ Then } l_j > l_i \\ &\text{Otherwise, } l_j < l_i \end{aligned} \quad (9)$$

와 같이 되도록 한다. 워터마크 비트에 따라 길이 비율을 위와 같이 변경하기 위하여 제안한 방법에서는 임의의 길이 $l_i = |v_i v_{i+1}|$ 를 기준 길이로, 나머지 길이 $l_j = |v_j v_{j+1}|$ 를 변경 길이로 선택한다. 그런 다음 변경될 길이 l_j 내에 두 꼭지점 v_j, v_{j+1} 들을 두 변위벡터 α, β 에 의하여

$$\begin{aligned} &\text{If } w_i=1, \text{ then } \vec{v}'_j = v_j + \alpha, \vec{v}'_{j+1} = v_{j+1} - \beta \\ &\text{Otherwise, } \vec{v}'_j = v_j - \alpha, \vec{v}'_{j+1} = v_{j+1} + \beta \end{aligned} \quad (10)$$

와 같이 변경한다. 여기서 변위벡터 α, β 는

$$\alpha = \alpha \vec{n}, \beta = \beta \vec{n}, \vec{n} = \frac{\overline{v_j v_{j+1}}}{\|\overline{v_j v_{j+1}}\|} \quad (11)$$

와 같이 변경 길이에 평행한 벡터이며, 인자 α, β 에 의하여 조정된다. 인자 α, β 는 두 가지 조건을 만족하는 범위 내에 결정된다. 우선 첫 번째 조건은 식 (9)의 워터마크 비트에 따른 길이 비율을 만족하도록 α, β 는

$$\begin{aligned} &l'_j = |\overline{v'_j v'_{j+1}}| = l_j + \alpha + \beta > l_i, \alpha + \beta > l_i - l_j, \text{ for } w_i = 1 \\ &l'_j = |\overline{v'_j v'_{j+1}}| = l_j + \alpha + \beta < l_i, \alpha + \beta < l_i - l_j, \text{ for } w_i = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

와 같이 범위 내에 있어야 한다. 두 번째 조건은 워터마크된 다각형면 성분의 형상이 원래의 형상을 유지하여야 한다. 이를 위하여 제안한 방법에서는 변경 길이와 이에 연결된 두 면과의 사이각을 이용한다. 원래의 다각형면 성분에서 변경 길이의 두 꼭지점 v_j, v_{j+1} 들과 이에 연결된 두 꼭지점 v_i, v_{i+1} 와의 사이

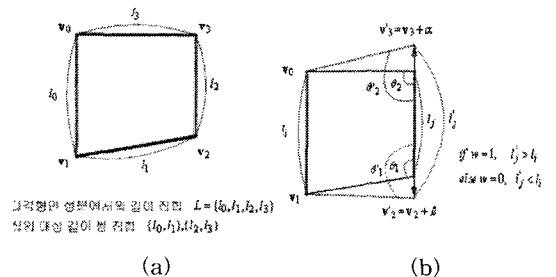


그림 5. (a) 4개의 면을 가지는 다각형면 성분 내에 길이 집합 $L = \{l_0, l_1, l_2, l_3\}$ 및 (b) 임의의 길이 쌍 $\{l_i, l_j\}$ 내에 기준 길이 l_i 와 변경길이 l_j 의 비율에 워터마크 비트 w 삽입

각 θ_j, θ_{j+1} 이

$$\theta_j = \cos^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{v_i v_j} \cdot \overrightarrow{v_{j+1} v_j}}{\|v_i v_j\| \|v_{j+1} v_j\|} \right),$$

$$\theta_{j+1} = \cos^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{v_{i+1} v_{j+1}} \cdot \overrightarrow{v_{j+1} v_j}}{\|v_{i+1} v_{j+1}\| \|v_{j+1} v_j\|} \right) \quad (14)$$

와 같고, 워터마크에 의하여 변경된 길이의 두 꼭지점 v_j, v_{j+1} 들과 v_i, v_{i+1} 와의 사이각 θ'_j 및 θ'_{j+1} 는

$$\theta'_j = \cos^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{v_i v_j} \cdot \overrightarrow{v_{j+1} v_j}}{\|v_i v_j\| \|v_{j+1} v_j\|} \right),$$

$$\theta'_{j+1} = \cos^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{v_{i+1} v_{j+1}} \cdot \overrightarrow{v_{j+1} v_j}}{\|v_{i+1} v_{j+1}\| \|v_{j+1} v_j\|} \right) \quad (15)$$

와 같다. 위의 식은 식 (10)에 의하여 다음과 같이 전개된다.

$$\theta_j = \cos^{-1} \left(\frac{(-\alpha \vec{n}) \cdot \overrightarrow{v_i v_j}}{\alpha \|v_i v_j\|} \right),$$

$$\theta'_{j+1} = \cos^{-1} \left(\frac{(-\beta \vec{n}) \cdot \overrightarrow{v_{i+1} v_{j+1}}}{\beta \|v_{i+1} v_{j+1}\|} \right) \quad (16)$$

두 번째 조건으로는 원래의 다각형면 성분 내에 사이각 θ_j, θ_{j+1} 및 α, β 에 의하여 변경된 다각형면 성분 내에 사이각 θ'_j 및 θ'_{j+1} 의 차이가

$$|\theta_j - \theta'_j| < \epsilon, |\theta_{j+1} - \theta'_{j+1}| < \epsilon \quad (17)$$

를 만족하여야 한다. 위의 식을 정리하면,

$$\theta_j - \epsilon < \cos^{-1} \left(\vec{n} \cdot \frac{\overrightarrow{v_i v_j}}{\|v_i v_j\|} \right) < \theta_j + \epsilon,$$

$$\theta_{j+1} - \epsilon < \cos^{-1} \left(\vec{n} \cdot \frac{\overrightarrow{v_{i+1} v_{j+1}}}{\|v_{i+1} v_{j+1}\|} \right) < \theta_{j+1} + \epsilon \quad (18)$$

와 같다. 이를 정리하면, 식 (10)에 의하여 워터마크 비트 w_i 에 따라 변경 길이 내의 두 꼭지점들을 α, β 에 의하여 변경된다. 이 때 α, β 는 위의 두 가지 조건에 만족하여야 한다.

3.4 워터마크 추출

워터마크된 3D CAD 도면의 각 성분들로부터 삽입 과정에서 저장된 키를 이용하여 워터마크를 추출한다. 키 정보는 삽입된 선 성분의 인덱스 및 모든 선 성분의 평균 길이 \bar{l} , 호 성분의 반경, 삽입된 다각형면 성분의 인덱스이다. 추출 과정은 삽입 과정과 유사하다.

임의의 인자로 스케일링된 3D CAD 도면일 경우에는 워터마크 추출하기 전 \bar{l} 을 이용한 전처리 과정을 수행한다. 즉, 전처리 과정에서는 \bar{l}/l' 이 1일 때까지 모든 성분들을 확대 및 축소한다. 여기서 l' 은 스케일링된 3D CAD 도면에서 선 성분들의 평균 길이이다.

4. 실험 결과

제안한 방법의 성능 평가를 위하여, 본 실험에서는 그림 6에서와 같이 AutoCAD 2002 틀에서 설계된 Campus, Watch, 및 Office 도면들을 사용하였다. 워터마크는 가우시안 (Gaussian) 랜덤 시퀀스로 생성된 비트열이다. 워터마크의 비트 길이는 3D CAD 도면의 성분 분포에 따라 결정된다. Campus1 도면 내에서는 선 성분이, Watch 도면 내에서는 호 성분이, Campus2 도면에서는 다각형면 성분이, Office 도면 내에서는 선 및 다각형면 성분이 많이 분포함을 그림 6에서 볼 수 있다. 본 실험에서는 도면의 각 성분들 중 500 개의 성분을 워터마크 삽입 대상으로 선택하였다. 제안한 방법에 의하여 워터마크가 삽입된 3D CAD 도면은 그림 7에서와 같다. 이 그림을 살펴보면 워터마크가 비가시적으로 삽입되었음을 확인할 수 있다. 또한 본 실험에서는 객관적인 화질 평가를 위하여 워터마크가 삽입된 각 성분들의 SNR (Signal to Noise Ratio)을

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{var(\|v - M\|)}{var(\|v - v'\|)} \quad (19)$$

사용하였다. 여기서 v 는 선 및 다각형면 성분에서 꼭지점 좌표값 그리고 호 성분에서 반경을 나타내며, M 은 v 의 평균값이다. $var(v)$ 는 v 의 분산을 나타낸다. 워터마크가 삽입된 도면들의 SNR은 표 1에서와 같이 약 39.89-42.50dB이며, 이는 좋은 화질을 나타내고 있음을 나타낸다.

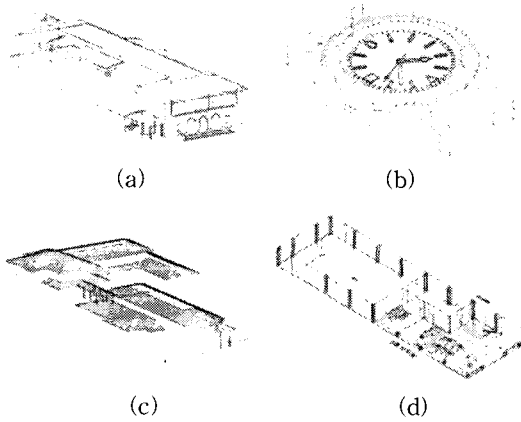


그림 6. AutoCAD 툴 상에서 3D CAD 도면들; (a) Campus1, (b) Watch, (c) Campus2, and (d) Office.

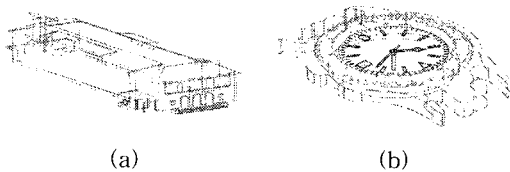


그림 7. 워터마크가 삽입된 (a) Campus1 및 (b) Watch 도면들

견고성에 대한 실험에서는 워터마크된 3D CAD 도면들에 파일 포맷 변환, RST (translation, scaling, rotation), 성분 제거 및 레이어 절단 등의 공격을 수행하였다. 각 공격에 대하여 추출된 워터마크의 BER (Bit Error Rate)은 표 2에서와 같다. Floor 도면은 선 및 다각형면의 두 성분에 워터마크가 삽입되었다. 여기서 BER은 두 성분에 추출된 워터마크 BER의 평균이다.

파일 포맷 변환 실험에서는 AutoCAD 툴을 이용한 DXF, DWG, DWT 및 DWS으로 변환하였다. 그러나 어떠한 파일 포맷 변환에도 워터마크가 오류없

표 1. 워터마크가 삽입된 3D CAD 도면 내에 각 성분들의 SNR

3D CAD 도면	Campus1	Watch	Campus2	Floor
삽입 성분 및 성분의 개수	선 1,130개	호 1,770개	다각형면 551개	선(8,738) 다각형면 (3,927)
SNR	40.12 dB	41.05 dB	39.89 dB	42.50dB, 41.33dB

표 2. 추출된 워터마크의 BER

공격 \ 3D CAD 도면	Campus1	Watch	Campus2	Floor
파일 포맷 변환 (DXF,DWG, DWT,DWS)	-	-	-	-
RST	-	-	-	-
30% 절단	0.13	0.08	0.22	0.03
레이어 절단	0.24	0.15	0.28	0.07

이 추출됨을 알 수 있다. 기하학적 공격에 대한 실험에서는 워터마크된 도면들을 임의의 위치로 이동, 임의의 스케일링 인자로 확대 및 축소 및 임의의 각으로 회전하였다. 제안한 방법에서는 선 성분에서 길이, 호 성분에서 곡률의 반지름, 및 다각형면 성분에서 두 면의 길이 비율에 워터마크를 각각 삽입하므로, 이동 및 회전 공격에 대하여 무관하다. 그러나 스케일링된 도면에서는 원래의 스케일로 변경하는 전처리 과정을 수행한 후 워터마크를 추출한다. 표 2에서와 살펴보면, RST 공격에 대하여 모든 워터마크가 오류없이 추출됨을 볼 수 있다. 절단 실험에서는 도면의 임의의 레이어 상에서 각 성분들을 약 30%정도 제거하였다. 절단된 도면에서 추출된 워터마크의 BER는 약 0.08-0.22이다. 이는 제거되는 성분의 비율에 따라 추출된 워터마크의 BER가 달라진다. 또한 본 실험에서는 워터마크된 도면 내에 임의

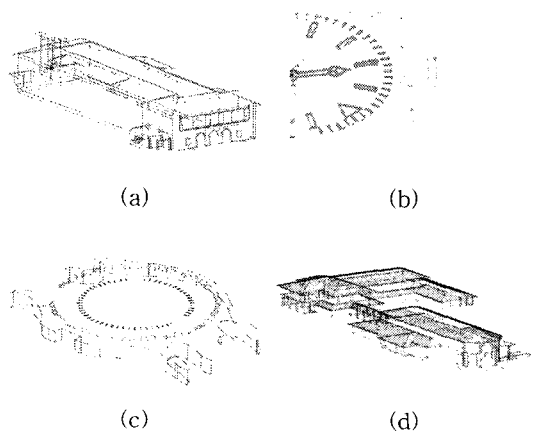


그림 8. (a) 30% 정도 선 성분이 제거된 Campus1, (b) 3배 확대된 Watch, 임의의 레이어가 제거된 Watch 및 (d) Campus2 도면들

의 레이어를 제거하였다. 레이어 제거는 임의의 레이어 내에 모든 성분들을 제거하는 것과 동일하다. 이 때 추출된 워터마크의 BER은 0.15-0.28이다. 이는 한 레이어 내에 워터마크가 삽입된 성분들의 개수에 따라 BER이 달라진다. 이상의 결과로부터 제안한 방법에 의하여 삽입된 워터마크는 위의 공격에 대하여 약 80% 이상 오류없이 추출됨을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 선, 호, 및 다각형면 성분의 기하학적 성질을 이용한 3D CAD 도면 워터마킹 기법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 도면 내에 각 성분들의 분포에 따라 이진 워터마크가 삽입될 성분을 결정한다. 결정된 성분 내의 워터마크 삽입 대상체를 임의로 선택한다. 여기서 워터마크 삽입 대상체로는 선 성분의 길이, 호 성분의 반지름 및 다각형면 성분 내 두 면의 길이 비율이다. 우선 선 성분에서는 기준선과 연결선으로 이루어진 대상 집합을 선택하여, 기준선 길이와 연결선의 평균 길이 비율에 워터마크 비트를 삽입한다. 호 성분에서는 워터마크 비트에 따라 중심의 이동을 변경함으로써 반지름의 값을 변경한다. 마지막으로 다각형면 성분에서는 4면 이상을 가지는 다각형면을 임의로 선택하여, 공유되지 않은 면의 쌍을 구하여 기준면과 변경면으로 나눈다. 그리고 기준면의 길이와 변경면의 길이 비율에 워터마크 비트를 삽입한다. 실험 결과로부터 제안한 방법이 우수한 주관적 화질을 가지며, 객관적 화질 측면에서 성분 SNR이 39.89-42.50dB임을 확인하였다. 또한 파일 포맷 변환, RST, 성분 제거 및 레이어 제거 등과 같은 공격에 대하여 80% 이상의 워터마크가 오류없이 추출됨을 확인하였다.

본 실험에서는 성능 평가를 위하여 4개의 3D CAD 도면을 테스트하였다. 그러나 대부분 3D CAD 도면이 상업적으로 이용되므로, 공개되지 못하여 여러 테스트 모델을 구하기가 어려웠다. 그리고 비가시성 평가 척도를 위하여 각 성분값에 대한 SNR비를 사용하였다. 최근 3D 형상 모델 워터마킹에서는 METRO[10] 및 MESH[11]등과 같은 3D 기하학적 및 위상학적 비가시성 척도가 사용되고 있다. 그러나

3D CAD 도면에서는 이와 같은 비가시성 척도가 연구되지 않고 있다. 따라서 3D CAD 도면의 상업적 활용도와 더불어 저작권 문제 해결을 위한 워터마킹 기법에 대한 연구가 활발히 진행되기 위하여 다음과 같은 문제가 해결되어야 할 것이다. 우선 다양한 테스트 모델이 제시되어야 할 것이며, 견고성 평가를 위한 다양한 공격 형태 및 비가시성 평가를 위한 화질 척도가 개발되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [2] C. Podilchuk and W.Zeng, "Image Adaptive Watermarking Using Visual Models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol. 16, No. 4, pp. 525-539, 1998.
- [3] R. Ohbuchi, H. Masuda, and M. Aono, "Watermarking Three-Dimensional Polygonal Models Through Geometric and Topological Modification," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 16, No. 4, pp. 551-560, May 1998.
- [4] X. Mao, M. Shiba, and A. Imamiya, "Watermarking 3D Geometric Models Through Triangle Subdivision," *Proc. of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents*, Vol. 4314, pp. 253-260, Aug. 2001.
- [5] O. Benedens, "Geometry-Based Watermarking of 3D Models," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 19, No. 1, pp. 46-55, Jan./Feb. 1999.
- [6] S. Kanai, H. Date, and T. Kishinami, "Digital Watermarking for 3D Polygons Using Multiresolution Wavelet Decomposition," *Proc. Sixth IFIP WG 5.2 GEO-6*, pp. 296-307, Dec. 1998.
- [7] B.J. Jang, K.R. Kwon, K.S. Moon, and Y. Huh, "A New Digital Watermarking for Architec-

tural Design Drawing Using LINEs and ARCs Based on Vertex," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2939/2004, pp. 544-557, Oct. 2003.

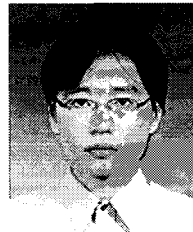
- [8] H.K Park, S.H Lee, and K.R. Kwon, "Blind Watermarking for Copyright Protection of 3D CAD Drawing," *The 8th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2006*, Vol. 1, pp. 253-256, Feb. 2006.
- [9] 강민구, 최원식, 나혜숙, 김성식, 최명선, 도면정보 표준화에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 연구보고서, 1999년 12월.
- [10] P. Cignoni, C. Rocchini, and R. Scopigno, "Metro: Measuring Error on Simplified Surfaces," *Computer Graphics Forum*, Vol. 17, No. 2, pp. 167-174, 1998.
- [11] N. Aspert, D. Santa-Cruz, and T. Ebrahimi, "MESH: Measuring Errors Between Surfaces Using the Hausdorff Distance," *IEEE International Conference in Multimedia and Expo, ICME 2002*, Vol. 1, pp. 705-708, Aug. 2002.



문 광 석

1979년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1989년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1988년 1월~12월 일본 동경대학교 공학부 연구원

1997년 8월~1998년 7월 미국 Jackson State University 객원교수
 2006년 1월~2007년 2월 미국 North Carolina State University 객원교수
 1990년 3월~현재 부경대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 영상신호처리, 적응신호처리 등

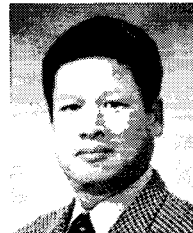


이 석 환

1999년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 2004년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
 2005년~현재 동명대학교 정보

호학과 조교수

관심분야 : 워터마킹, DRM, 영상신호처리



권 기 룡

1986년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업(공학사)
 1990년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업(공학석사)
 1994년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업(공학박사)
 2000년~2001년 Univ. of Minne-

sota, Post-Doc

1996년~2005년 부산외국어대학교 디지털정보공학부 부교수
 2006년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
 2005년~현재 한국멀티미디어학회 논문지 편집위원장
 관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 멀티미디어 영상처리, 웨이브릿 변환



권 성 근

1996년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1998년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2002년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)
 2002년~현재 삼성전자 무선통신

사업부 연구원

관심분야 : 영상처리, 영상통신, 정보보호