

논문 2009-46CI-5-6

k-means++ 기반의 설계도면 워터마킹 기법

(A Watermarking Scheme Based on k-means++ for Design Drawings)

이 석 환*, 권 기 룡**

(Suk-Hwan Lee and Ki-Ryong Kwon)

요 약

벡터 데이터 기반의 CAD 설계도면은 대부분 산업 분야에서 매우 주요한 저작물로, 저작권 보호 기술이 매우 필요한 콘텐츠로 인식되고 있다. 본 논문에서는 k-means++ 기반의 CAD 설계도면 워터마킹 기법을 제안한다. 하나의 CAD 설계도면은 여러 레이어들로 구성되며, 각 레이어는 폴리라인, 원, 호, 폴리곤 등의 다양한 기하학 객체들로 구성된다. 이들 기하학적 요소들 중 폴리라인, 호 및 쿼드폴리곤 객체들은 CAD 설계도면의 기본적인 객체들로 객체 분포의 거의 대부분을 차지한다. 따라서 제안한 기법에서는 설계도면 내에 폴리라인, 쿼드폴리곤 및 호 객체들 중 가장 많은 수를 가지는 객체를 선택한 후, 이들 객체를 많이 분포하는 레이어들을 선택한다. 그리고 선택된 레이어 내에 객체들을 k-means++ 기반으로 그룹화한 다음, 각 그룹 내에 기하학 특징 분포에 워터마크를 삽입한다. 이 때 기하학 특징 분포로는 폴리라인의 정규화된 길이 분포, 쿼드폴리곤의 정규화된 면적 분포 및 호의 각도 분포이다. 실험 결과로부터 제안한 기법이 CAD 도면을 상에서 제공하는 다양한 기하학 편집과 파일포맷변환, 레이어 공격 등에 대하여 강인함을 확인하였다.

Abstract

A CAD design drawing based on vector data that is very important art work in industrial fields has been considered to content that the copyright protection is urgently needed. This paper presents a watermarking scheme based on k-means++ for CAD design drawing. One CAD design drawing consists of several layers and each layer consists of various geometric objects such as LINE, POLYLINE, CIRCLE, ARC, 3DFACE and POLYGON. POLYLINE with LINE, 3DFACE and ARC that are fundamental objects make up the majority in CAD design drawing. Therefore, the proposed scheme selects the target object with high distribution among POLYLINE, 3DFACE and ARC objects in CAD design drawing and then selects layers that include the most target object. Then we cluster the target objects in the selected layers by using k-means++ and embed the watermark into the geometric distribution of each group. The geometric distribution is the normalized length distribution in POLYLINE object, the normalized area distribution in 3DFACE object and the angle distribution in ARC object. Experimental results verified that the proposed scheme has the robustness against file format converting, layer attack as well as various geometric editing provided in CAD editing tools.

Keywords : CAD 설계도면(CAD design drawing), 워터마킹(Watermarking), k-means++(k-means++)

* 정희원, 동명대학교 정보보호학과
(Tongmyong University, Dept. of Information Security)

** 정희원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
(Division of Electronics, Computer and Telecomm. Eng., Pukyong National University)

※ 본 연구는 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업과 중소기업청 산학협력실 지원사업으로 수행된 연구결과임.

접수일자: 2009년7월22일, 수정완료일: 2009년9월4일

I. 서 론

건축, 주택 등의 건설 분야와 전자, 기계, 자동차, 항공, 조선 등의 제조 분야 등 대부분 산업 분야에서 사용되고 있는 CAD 설계도면은 매우 중요한 전문 기술 저작물이다. 최근 개인정보 유출 급증과 더불어 전문 설계도면의 불법 복제 및 배포 등이 빈번히 발생되면서,

설계도면 보안 기술에 대한 관심이 고조되고 있다. 최근 CAD(Computer-Aided Design) DRM(Digital Rights Management) 기술들^[1~3]이 제시되고 있다. 그러나 CAD DRM 기술은 암호화 기반의 보안 기술로 허가된 사용자의 불법 유출, 배포 방지를 위한 워터마킹 기술과의 결합이 필요하다. 그러나 설계도면 워터마킹 기술은 기준 콘텐츠인 영상 및 비디오 워터마킹 기술^[4~7]에 비하여 많이 연구되지 못하고 있다.

설계도면은 레이어 내에 선, 원, 호, 폴리곤 등의 다양한 기하 성분들로 구성되어 있으며, 각 기하 성분들은 꼭지점, 각도, 원주 등의 기본 요소들로 벡터 형식으로 표현된다. 설계도면과 유사한 콘텐츠로는 3D 그래픽 모델과 GIS 벡터맵이 있다. 3D 그래픽 모델에 대한 대표적인 워터마킹 기법에는 꼭지점 좌표 및 메쉬의 위상학적 변형에 기반한 기법^[8], 메쉬 볍선 벡터 분포를 이용한 기법^[9~11], 볼록집합의 반복 투영 기법^[12]과 기하학적 구조 기반의 애니메이션 기법^[13] 등이 있다. 그러나 이와 같은 3D 모델 워터마킹 기법은 메쉬 형상으로 구성된 메쉬 모델과 NURBS 모델에 대한 기법으로 다양한 기하 성분들이 레이어별로 독립적으로 구성된 설계도면에 적용되지 못한다. GIS(Geographic Information System) 또는 웹 기반 맵 서비스 상에 사용되는 벡터맵 워터마킹 기법^[14]에서는 벡터맵을 여러 영역으로 분할한 후, 각 영역 상에 포함된 꼭지점들의 평균 좌표값에 워터마크를 삽입한다. 그러나 이 기법은 벡터맵 내의 폴리라인, 폴리곤 등 도형 특성과 레이어에 상관없이 맵을 구성하는 꼭지점 좌표를 이용함으로, 다양한 도형 성분과 레이어로 구성된 설계도면 상에 적용하기는 어렵다. 또한 이 기법은 워터마크 검출 시 원본 맵 데이터를 필요한 단점을 가진다. 이와 같이 유사한 형태의 콘텐츠인 3D 그래픽 모델과 GIS 벡터맵에 대한 워터마킹 기법들은 CAD 설계도면에 적용하기는 어렵다.

일부 연구되어온 CAD 설계도면 워터마킹 중, 2D CAD 설계도면에 대한 워터마킹 기법으로 Jang 등^[15]이 제안한 2D 선과 호 성분의 꼭지점 기반 대역확산기법이 있다. 그러나 이 기법은 삽입 대상 성분의 인덱스와 순서를 알아야 하며, 여러 기하학 공격에 취약한 단점을 가진다. 또한 워터마크 추출 시 원 데이터의 꼭지점 좌표가 필요하다. Kwon 등^[16~17]은 선, 면 및 호 성분 기반의 3D CAD 도면 워터마킹 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 임의의 선, 면 및 호 성분들을 선택한 후, 연결선과 중심선과의 길이 차이, 호의 반지름 및 기준

면과 변경면의 길이 차이에 워터마크를 삽입한다. 그러나 이 기법은 워터마크 추출 시 삽입 대상 성분의 인덱스 정보를 알아야 하며, 성분들의 순서를 재배열하는 공격에 대하여 취약한 단점을 가진다. Zhao 등^[18]은 Arnold 변환에 의하여 전처리된 워터마크 데이터를 2D 벡터 CAD 도면 상의 선 길이에 삽입하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 회전, 이동, 축척 및 절단 등의 공격에 강인하나, 성분 재배열과 레이어 재배열 공격에 취약하다.

따라서 본 논문에서는 다양한 기하학 공격에 대한 강인성과 은닉(blind)성을 만족하는 3D CAD 기반의 설계도면 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 기법에서는 Kwon 등^[16~17]이 제안한 세 가지 기하 성분인 선과 폴리라인, 쿼드 폴리곤 및 호 성분을 이용하나, 강인성을 만족하기 위하여 폴리라인에서는 각 라인의 길이 분포, 쿼드 폴리곤에서는 면적 분포 그리고 호에서는 각도 분포를 이용하며, 은닉성을 만족하기 위하여 각 성분들을 위의 특징에 따라 그룹화한다. 즉, 제안한 기법에서는 우선 설계도면의 레이어 중 각 성분 분포에 따라 레이어를 선택한 후, 선택된 레이어 내의 모든 성분들을 k-means++ 알고리즘에 따라 그룹화한다. 그리고 각 그룹 내에 속하는 성분들의 분포에 워터마크를 각각 삽입한다. 실험 결과로부터 제안한 기법이 파일 변환, 레이어 공격, 기하학 공격, 성분 재배열 등에 강인하였으며, 또한 워터마크의 비가시성을 확인하였다.

본 논문의 구성을 살펴보면, II장에서는 설계도면의 데이터 구조와 도면 워터마킹 조건에 대하여 설명하고, III장에서는 폴리라인, 쿼드 폴리곤 및 호 성분에 대한 워터마킹 기법을 자세히 설명한다. 그리고 IV장에서는 제안한 기법의 성능 평가를 위한 강인성 및 비가시성 실험 결과 및 분석을 살펴보며, 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 설계도면

대부분 산업체에서 사용되고 있는 CAD 기반의 3D 설계도면은 DXF, DWG, DWT, DWS 및 IGES 등의 다양한 파일 형식으로 표현된다. 본 논문에서는 가장 대표적인 CAD 설계도면 파일 형식인 DXF(Drawing eXchange Format) 기반의 3D 설계도면 워터마킹 기법을 제안한다. 본 장에서는 ASCII DXF 데이터 구조^[19]와 이에 대한 워터마크 삽입 대상 및 3D 설계도면의 공

격 형태에 대하여 차례로 살펴보기로 한다.

1. 설계도면 구조

DXF 데이터는 각 요소들을 정의하는 그룹 코드와 요소값의 쌍으로 구성된 섹션들로 이루어져 있다. 섹션에는 HEADER 섹션, CLASSES 섹션, TABLES 섹션, BLOCK 섹션, ENTITIES 섹션, OBJECT 섹션 및 THUMBNAILIMAGE 섹션 등이 있다. 이들 중 설계도면의 그래픽 객체 정보를 포함하는 ENTITIES 섹션의 객체에 워터마크 삽입이 가능하다. 즉, 3D 설계도면의 주요 정보는 ENTITIES 섹션의 기하학 객체이며, 특히 이를 기하학 객체들 중 3DFACE, ARC, CIRCLE, LINE, POLYLINE 등은 대표적인 기본 객체들로 대부분 설계도면은 이를 객체에 의하여 표현될 수 있다.

라인 $L = \{v_0, v_1\}$ 객체는 시작 꼭지점 v_0 과 끝 꼭지점 v_1 으로 구성되며, 폴리라인 $PL = \{v_i | i \in [0, N-1]\}$ 은 연속한 꼭지점들을 연결한 라인 세그먼트들로 표현되는 꼭지점들의 시퀀스로 구성된다. 이 때 시작 꼭지점 v_0 과 끝 꼭지점 v_N 이 동일하면, 이 객체는 닫혀진 폴리라인인 폴리곤이 된다. 라인과 폴리라인에 대한 워터마크 삽입 대상 속성으로 라인의 길이 및 기울기, 두 꼭지점들의 벡터 방향 및 두 라인의 각도 등이 될 수 있다. 폴리곤 $PG = \{v_i | i \in [0, N-1]\}$ 객체는 $v_0 = v_N$ 인 라인 세그먼트들의 닫혀진 경로에 의한 평면 형상으로 일련의 꼭지점 시퀀스로 구성된다. 대표적인 폴리곤은 4개의 꼭지점들로 구성된 쿼드 폴리곤 (3DFACE) $PG = \{v_i | i \in [0, 3], v_0 = v_4\}$ 이다. 폴리곤에 대한 워터마크 삽입 대상 속성으로는 폴리곤의 면적, 중점 좌표값, 법선 벡터 및 방향과 각 애지간의 기울기, 길이 및 각도 등이 있다. 호 $Ac = \{c, r, \theta_s, \theta_e\}$ 객체는 호의 중점 c , 반지름 r , 시작 각도 θ_s 와 끝 각도 θ_e 로 구성된다. 호에 대한 워터마크 삽입 대상 성분으로는 구성 요소인 호의 중점 위치, 반지름, 시작 및 끝 각도 뿐만 아니라, 호의 각도 $\theta = |\theta_e - \theta_s|$, 원주, 곡률과 호의 면적 등이 있다.

이상의 라인/폴리라인, 폴리곤 및 호에 대한 워터마킹에서는 장인성과 연약성 및 은닉성과 비은닉성 등의 목적에 따라 삽입 대상인 기하학 속성을 선택하여야 한다. 본 논문에서는 3D 설계도면에 대하여 장인성과 은닉성을 만족하는 워터마킹 기법을 위하여 라인/폴리라인의 정규화 길이 분포, 쿼드 폴리곤의 정규화 면적 분포 및 호의 각도 분포를 워터마크 삽입 대상 속성으로

선택하였다.

2. 설계도면에 대한 공격 형태

3D 설계도면은 AutoCAD, CATIA, TurboCAD, DesignCAD, 3D-MAX 등의 다양한 도면 편집툴에 의하여 편집이 용이하다. 3D 설계도면에 대한 일반적인 편집 공격은 다음과 같다.

파일 포맷 : 3D 설계도면은 CAD 툴을 이용하여 DWG, DWF, DWS 및 IGES, STL 등 다양한 파일 형식으로 변경 및 저장된다. 즉, 3D 설계도면은 각각의 파일 형식으로 출력 및 입력이 가능하며, 다른 파일 형식으로 변경시 원본 데이터들의 손실이 가능하다.

기하학 공격 : 3D 설계도면은 원 품질을 유지하면서 CAD 툴 상의 기하학 편집에 의한 수정이 용이하다. 기하학 편집으로는 객체 삭제 및 추가, 대칭, 간격 띄우기, 배열, 이동/회전/축척, 신축, 길이 변경, 연장, 자르기, 끊기, 결합, 모따기, 모깎기 등이 있다.

레이어 공격 : 3D 설계도면은 여러 개의 레이어로 구성되어 있다. CAD 툴 상에서 레이어들은 쉽게 추가 및 삭제될 수 있으며, 색상, 선 종류 또는 선 가중치 등 레이어 특성들이 변경될 수 있다. 불법 사용자는 임의의 레이어들을 삭제하거나, 중요 레이어들을 불법적으로 도용할 수 있다.

엔터티 공격 : 엔터티 성분들은 각각의 고유 코드인 핸들을 가지며, 이를 핸들에 의하여 엔터티 성분들의 순서를 나타낸다. 그러나 이를 핸들들은 도면의 화질 저하 없이 일괄적으로 재정렬 또는 치환될 수 있다.

이외에도 CAD 툴 상에서는 다양한 편집 기능이 있으며, 이러한 기능에 의하여 도면들을 쉽게 편집할 수 있다. 3D 설계도면 워터마킹에서는 이와 같은 공격에 대한 워터마크 장인성을 만족하여야 한다.

III. 제안한 설계도면 워터마킹

본 논문에서는 기하학 공격에 강인한 3D 설계도면 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 워터마킹 기법에서는 그림 1에서와 같이 3D 설계도면 내에 삽입 대상 성분을 가지는 레이어를 선택한 후, 폴리라인, 폴리곤 및 호 성분들을 각각의 기하학적 특징 분포에 따라 k-means++ 알고리즘에 의하여 그룹화한 다음, 각 그룹 내에 워터마크 비트 $w = \{w_k | k \in [1, N_w]\}$ 를 삽입한다.

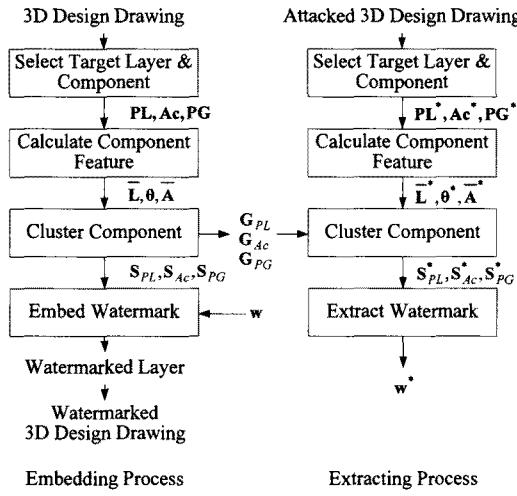


그림 1. 제안한 워터마크 삽입 및 추출 과정
Fig. 1. The proposed watermark embedding and extracting process.

1. 삽입 레이어 및 성분 선택

폴리곤, 폴리라인 및 호 성분에 대한 워터마크 삽입 방법은 각 성분의 기하학적 특성에 따라 다르게 삽입되며, 이에 대한 삽입 과정은 그림 1에서와 같이 기하학적 특징 추출, 그룹화 및 삽입의 단계로 구성된다. 본 논문에서는 선택된 레이어 내에 삽입 성분인 폴리라인 집합 $PL = \{PL_i | i \in [1, N_{PL}]\}$, $PL_i = \{v_{ij} | j \in [1, N_i]\}$, 폴리곤 집합 $PG = \{PG_i | i \in [1, N_{PG}]\}$, $PG_i = \{v_{ij} | j \in [0, 3], v_{i0} = v_{i4}\}$ 또는 호 집합 $Ac = \{Ac_i | i \in [1, N_{Ac}]\}$, $Ac_i = \{c_i, r, \theta s_i, \theta e_i\}$ 을 얻은 후, 이들 성분들의 기하학적 특징을 구한다. 여기서 N_{PL} , N_{PG} 및 N_{Ac} 는 각각 선택된 레이어 내에 폴리라인, 폴리곤 및 호 성분들의 개수를 나타낸다.

폴리라인 집합 PL 내에서는 모든 폴리라인 성분 PL_i 들의 정규화 평균 길이 $\bar{L}_i = \sum_{j=1}^{N_i-1} L_{ij}/\bar{L} (i \in [1, N_{PL}])$ 을 구한다. 여기서 L_{ij} 는 각 폴리라인 내에 인접한 두 꼭지점을 이은 길이이고, \bar{L} 은 모든 폴리라인의 평균 길이다. 그리고 폴리곤 집합 PG 내에서는 쿼드 폴리곤 성분 PG_i 의 정규화 면적 $\bar{A}_i = A_i/\bar{A} (i \in [1, N_{PG}])$ 를 구한다. 여기서 A_i 쿼드 폴리곤 PG_i 의 면적이고, \bar{A} 는 쿼드 폴리곤 성분의 전체 평균 면적이다. 호 집합 Ac 내에서는 모든 호 성분들의 각도 $\theta_i = \theta e_i - \theta s_i (i \in [1, N_{Ac}])$ 를 구한다. 호 성분의 각도는 회전, 이동, 스케일링 등의 공격에 대하여 변경되지 않으므로 제안한 기법에서는 호 각도 분포를 워터마크 삽입 성분으로 선택한다.

2. 그룹화

선택된 레이어 내에 폴리라인 집합, 폴리곤 집합 및 호 집합의 성분들은 폴리라인 정규화 길이, 폴리곤의 정규화 면적 및 호의 각도에 따라 워터마크 비트수 N_w 만큼 그룹화된다. k-means++ 알고리즘^[20]은 특정 확률 분포를 가지는 초기 중심값을 선택함으로써 기존의 k-means 알고리즘에 비하여 향상된 속도 및 정밀도 성능을 가진다. 따라서 제안한 기법에서는 k-means++ 기반으로 폴리라인, 폴리곤 및 호 성분들을 그룹화한다. 각 성분들의 그룹화 과정은 동일하나, 앞 절에서 구한 폴리라인의 정규화 길이, 폴리곤의 정규화 면적 및 호의 각도를 매개체로 사용하여 각 성분들을 그룹화한다. 먼저 폴리라인의 그룹화 과정을 살펴보면, 다음과 같이 세 단계로 구성된다.

1) 초기 중심 벡터 선택

1. $\bar{L}_i (i \in [1, N_{PL}])$ 의 최소값과 최대값 범위 내에 임의의 값을 초기 중심 벡터 $G_{PL}^{(0)}$ 에 추가한다.
2. \bar{L}_i 과 $G_{PL}^{(0)}$ 내에 제일 근접한 초기 중심값과의 거리 $D(\bar{L}_i) (i \in [1, N_{PL}])$ 을 구한다.
3. $[0, \sum_{i=1}^{N_{PL}-1} D(\bar{L}_i)]$ 내에 임의의 값 y 를 선택한다.
4. $\sum_{i=1}^{i-1} D(\bar{L}_i) < y \leq \sum_{i=1}^i D(\bar{L}_i)$ 을 만족하는 유일한 인덱스 i 를 찾는다.
5. \bar{L}_i 를 초기 중심 벡터 $G_{PL}^{(0)}$ 에 추가한다.
6. 초기 중심 벡터 $G_{PL}^{(0)}$ 내에 N_w 개의 값을 구할 때까지 1-5단계를 반복적으로 수행한다.

최종적으로 N_w 개의 중심값으로 구성된 초기 중심 벡터 $G_{PL}^{(0)} = \{g_{PL,k}^{(0)} | k \in [1, N_w]\}$ 가 구한다.

2) 할당 단계

각 길이 \bar{L}_i 가 t 번째 수행 단계 중심 벡터 $G_{PL}^{(t)}$ 내에 가장 근접한 거리를 가지는 중심 그룹 $S_{PL,k}^{(t)}$ 으로 $S_{PL,k}^{(t)} = \{PL_i : |\bar{L}_i - g_k^{(t)}| \leq |\bar{L}_i - g_l^{(t)}| \forall l \in [1, N_w], k \neq l\}$ 와 같이 폴리라인 PL_i 를 할당한다.

3) 재그룹 단계

각 그룹 $S_{PL,k}^{(t)}$ 내의 정규화된 길이 \bar{L}_i 의 평균을 구한 후, 이를 그룹 중심 벡터 $G_{PL}^{(t+1)}$ 으로 변경한다. 중심 벡터의 변경이 없을 때까지 할당 단계와 재그룹 단계를 반복적으로 수행한다.

이상과 같이 k-means++ 기반의 그룹화 과정에 의하여, N_w 개의 그룹 S_{PL} 과 각 그룹 내의 중심 벡터 G_{PL} 를

$$S_{PL} = \{S_{PL,k} | k \in [1, N_w]\}, \quad (1)$$

$$S_{PL,k} = \left\{ PL_{ki} : |\bar{L}_{ki} - g_{PL,k}| \leq |\bar{L}_{ki} - g_{PL,l}|, i \in [1, N_{S_{PL,k}}] \right. \\ \left. \forall l \in [1, N_w], k \neq l \right\}$$

$$G_{PL} = \left\{ g_{PL,k} = \sum_{i=1}^{N_{S_{PL,k}}} \bar{L}_{ki} / N_{S_{PL,k}} | k \in [1, N_w] \right\}$$

와 같이 구한다. 여기서 $N_{S_{PL,k}}$ 는 각 그룹 $S_{PL,k}$ 내에 속하는 폴리라인의 개수를 나타낸다.

쿼드 폴리곤 성분 및 호 성분에 대한 초기 중심 벡터 선택, 재그룹 단계 및 할당 단계의 그룹화 과정은 앞의 폴리라인 그룹화 과정에서와 같다. 따라서 k-means++ 기반의 그룹화 과정에 의한 N_w 개의 쿼드 폴리곤 그룹 S_{PG} 과 각 그룹 내의 중심 벡터 G_{PG} 는

$$S_{PG} = \{S_{PG,k} | k \in [1, N_w]\}, \quad (2)$$

$$S_{PG,k} = \left\{ PG_{ki} : |\bar{A}_{ki} - g_{PG,k}| \leq |\bar{A}_{ki} - g_{PG,l}|, i \in [1, N_{S_{PG,k}}] \right. \\ \left. \forall l \in [1, N_w], k \neq l \right\}$$

$$G_{PG} = \left\{ g_{PG,k} = \sum_{i=1}^{N_{S_{PG,k}}} \bar{A}_{ki} / N_{S_{PG,k}} | k \in [1, N_w] \right\}$$

와 같고, $N_{S_{PG,k}}$ 는 각 그룹 $S_{PG,k}$ 내에 속하는 쿼드 폴리곤의 개수를 나타낸다. 그리고 N_w 개의 호 그룹 S_{Ac} 과 각 그룹 내의 중심 벡터 G_{Ac} 를

$$S_{Ac} = \{S_{Ac,k} | k \in [1, N_w]\}, \quad (3)$$

$$S_{Ac,k} = \left\{ Ac_{ki} : |\theta_{ki} - g_{Ac,k}| \leq |\theta_{ki} - g_{Ac,l}|, i \in [1, N_{S_{Ac,k}}] \right. \\ \left. \text{for all } l \in [1, N_w], k \neq l \right\}$$

$$G_{Ac} = \left\{ g_{Ac,k} = \sum_{i=1}^{N_{S_{Ac,k}}} \theta_{ki} / N_{S_{Ac,k}} | k \in [1, N_w] \right\}$$

와 같고, $N_{S_{Ac,k}}$ 는 각 그룹 $S_{Ac,k}$ 내에 속하는 호의 개수를 나타낸다.

이상의 방법에 의하여 구한 각 성분들의 그룹 S_{PL} , S_{PG} , S_{Ac} 내에 워터마크 비트 $w = \{w_k | k \in [1, N_w]\}$ 가 차례로 삽입된다.

3. 워터마크 비트 삽입

워터마크 비트 $w_{k \in [1, N_w]}$ 가 그룹 S_k 내에 삽입되기 위하여, 제안한 기법에서는 각 그룹 내의 평균치 m_k 을 그

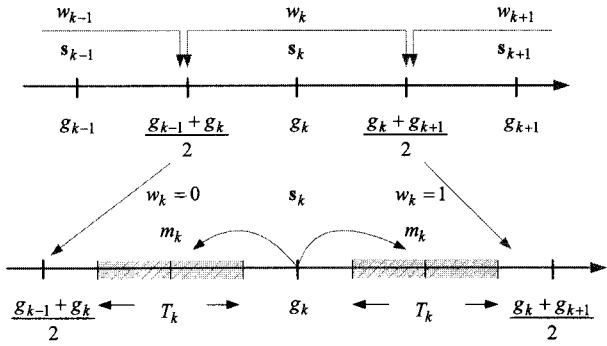


그림 2. 그룹 S_k 내에 워터마크 비트 w_k 삽입

Fig. 2. Embedding a watermark bit w_k in a group S_k .

룹 중심값 g_k 을 기준으로 $w_k = 0$ 이면 $m_k < g_k$, $w_k = 1$ 이면 $m_k > g_k$ 이 되도록 변경한다. 이 때 워터마크 삽입 전에는 $m_k = g_k$ 이다.

이를 만족하기 위하여, 제안한 기법에서는 그림 2에서와 같이 그룹 S_k 내에 속하는 삽입 성분들 중 목표 영역 T_k 외에 속하는 삽입 성분들을 목표치 T_k 을

$$T_k = \begin{cases} \frac{1}{4}(g_{k-1} + 3g_k), & \text{if } w_k = 0 \\ \frac{1}{4}(3g_k + g_{k+1}), & \text{if } w_k = 1 \end{cases} \quad (4)$$

기준으로 선형 보간에 의하여 변경한다. 여기서 목표 영역 T_k 은 워터마크 비트 w_k 에 따라

$$T_k = \begin{cases} [T_k - \Delta k, T_k + \Delta k], & \text{if } w_k = 0 \\ [T_k - \Delta(k+1), T_k + \Delta(k+1)], & \text{if } w_k = 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{where } \Delta k = \frac{g_k - g_{k-1}}{2N_k}, \quad \Delta k + 1 = \frac{g_{k+1} - g_k}{2N_k}$$

와 같다. 여기서 폴리라인 그룹 $S_{PL,k}$ 경우에 평균치 m_k 는 그룹에 속하는 폴리라인들의 정규화 길이 \bar{L}_{ki} 의 평균 $m_{PL,k}$ 이며, g_k 는 $g_{PL,k}$ 이고, 목표 영역 T_k 및 목표치 T_k 는 정규화 길이에 대한 $T_{PL,k}$ 및 $T_{PL,k}$ 이다. 그리고 폴리곤 그룹 $S_{PL,k}$ 경우에 평균치 m_k 는 그룹에 속하는 폴리곤의 정규화 면적 \bar{A}_{ki} 의 평균 $m_{PG,k}$ 이며, g_k 는 $g_{PG,k}$ 이고, 목표 영역 T_k 및 목표치 T_k 는 정규화 면적에 대한 $T_{PG,k}$ 및 $T_{PG,k}$ 이다. 또한 호 그룹 $S_{PL,k}$ 경우에 평균치 m_k 는 그룹에 속하는 호 각도 θ_{ki} 의 평균 $m_{Ac,k}$ 이며, g_k 는 $g_{Ac,k}$ 이고, 목표 영역 T_k 및 목표치 T_k 는 정규화 길이에 대한 $T_{Ac,k}$ 및 $T_{Ac,k}$ 이다. 각 그룹 내의 삽입 성분인 폴리라인의 정 규화 길이 \bar{L}_{ki} , 폴리곤의 정규화 면적 \bar{A}_{ki} 및 호의 각도 θ_{ki} 가 위의 조건을 만족하도록 변경하는 방법은 다음과

같다.

가. 폴리라인

그룹 $S_{PL,k}$ 내에 속하는 모든 폴리라인의 정규화 길이 \bar{L}_{ki} ($i \in [1, N_{S_k}]$)들 중 목표 영역 $T_{PL,k}$ 내에 존재하지 않는 정규화 길이들은 목표치 $T_{PL,k}$ 기준으로 선형 보간에 의하여

$$\bar{L}'_{ki} = a_{ki,j} \bar{L}_{ki} + (1 - a_{ki,j}) T_{PL,k}, \text{ if } \bar{L}_{ki} \notin T_{PL,k} \quad (6)$$

for all $i \in [1, N_{S_{PL,k}}]$

와 같이 변경된다.

$$\text{각 폴리라인 } PL_{ki} \text{의 정규화된 길이 } \bar{L}_{ki} = \sum_{j=1}^{N_{ki}-1} l_{ki,j} / \bar{L}$$

가 $\bar{L}'_{ki} = \sum_{j=1}^{N_{ki}-1} l'_{ki,j} / \bar{L}$ 이 되도록 폴리라인을 구성하는 선 길이 $l'_{ki,j} = \|\vec{v}_{ki,j} \vec{v}_{ki,j+1}\|$ ($j \in [1, N_{ki}-1]$)들을 변경하여야 하며, 각 선 길이는 이를 구성하는 꼭지점들의 쌍 $(\vec{v}_{ki,j}, \vec{v}_{ki,j+1})$ ($j \in [1, N_{ki}-1]$)들을 변경하여야 한다. 제안한 기법에서는 그림 3 (a)에서와 같이 폴리라인 PL_{ki} 를 구성하는 꼭지점들 중 중간점 $\vec{v}_{ki, \lceil N_{ki}/2 \rceil}$ 을 기준으로 원

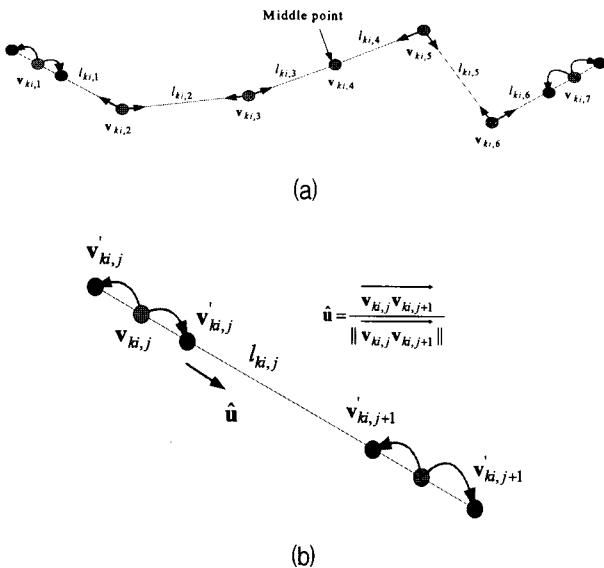


그림 3. (a) 폴리라인 PL_{ki} 의 중간점을 기준으로 워터마크 비트에 따라 선 길이들을 신축 및 팽창 (b) 꼭지점에 의한 선 길이 변경

Fig. 3. (a) Expanding or contracting line lengths on the reference of middle point in a polyline PL_{ki} according to a watermark bit and (b) changing vertices for expanding or contracting a line length.

쪽 및 오른쪽 구간에 속하는 선 길이를

$$l'_{ki,j} = a_{ki,j} l_{ki,j} + (1 - a_{ki,j}) T_{PL,k} \bar{L}, \quad 0 \leq a_{ki,j} \leq 1 \quad (7)$$

for all $j \in [1, N_{ki}-1]$

와 같이 모두 변경한다. 이 때 선 길이 $l'_{ki,j}$ 가 목표 길이 $T_{PL,k} \bar{L}$ 보다 작으면, $l'_{ki,j}$ 으로 팽창되며, 반대인 경우에는 $l'_{ki,j}$ 으로 축소된다. 선 길이 $l_{ki,j}$ 를 $l'_{ki,j}$ 으로 변경하기 위하여 제안한 기법에서는 꼭지점의 쌍 $(\vec{v}_{ki,j}, \vec{v}_{ki,j+1})$ 중 하나의 꼭지점을 선택하여 이를 팽창 및 축소 과정에 따라 변경한다. $\vec{v}_{ki,j}$ 이 선택될 경우에는 $\vec{v}_{ki,j}$ 는

$$\vec{v}'_{ki,j} = \begin{cases} \vec{v}_{ki,j} - t_{ki,j} \hat{\vec{u}}_{ki,j} & \text{if } l_{ki,j} < T_{PL,k} \bar{L} \\ \vec{v}_{ki,j} + t_{ki,j} \hat{\vec{u}}_{ki,j} & \text{if } l_{ki,j} > T_{PL,k} \bar{L} \end{cases} \quad (8)$$

으로 변경되며, $\vec{v}_{ki,j+1}$ 이 선택될 경우에는 $\vec{v}_{ki,j+1}$ 는

$$\vec{v}'_{ki,j+1} = \begin{cases} \vec{v}_{ki,j+1} + t_{ki,j} \hat{\vec{u}}_{ki,j} & \text{if } l_{ki,j} < T_{PL,k} \bar{L} \\ \vec{v}_{ki,j+1} - t_{ki,j} \hat{\vec{u}}_{ki,j} & \text{if } l_{ki,j} > T_{PL,k} \bar{L} \end{cases} \quad (9)$$

으로 변경된다. 여기서 $\hat{\vec{u}}_{ki,j}$ 는 $(\vec{v}_{ki,j}, \vec{v}_{ki,j+1})$ 을 잇는 선의 단위벡터이다. 그리고 $t_{ki,j}$ 는 $\hat{\vec{u}}_{ki,j}$ 방향의 이동되는 세기로 선 길이 $l_{ki,j}$ 를 $l'_{ki,j}$ 가 되도록 선택하여야 한다. 즉, $\vec{v}'_{ki,j}$ 에 의하여 변경된 길이 $l'_{ki,j} = \|\vec{v}'_{ki,j} \vec{v}_{ki,j+1}\|$ 또는 $\vec{v}'_{ki,j+1}$ 에 의하여 변경된 길이 $l'_{ki,j} = \|\vec{v}_{ki,j} \vec{v}'_{ki,j+1}\|$ 가 식 (7)의 $a_{ki,j} l_{ki,j} + (1 - a_{ki,j}) T_{PL,k} \bar{L}$ 으로 되도록 $t_{ki,j}$ 를 풀면 $l_{ki,j} < T_{PL,k} \bar{L}$ 일 때 $t_{ki,j} = \sqrt{4l_{ki,j}^2 - 3l_{ki,j}^2} - l_{ki,j}$ 이고, $l_{ki,j} > T_{PL,k} \bar{L}$ 일 때 $t_{ki,j} = l_{ki,j} - \sqrt{4l_{ki,j}^2 - 3l_{ki,j}^2}$ 이다. 여기서 팽창 조건인 $l_{ki,j} < T_{PL,k} \bar{L}$ 일 경우에는 항상 $l'_{ki,j} > \sqrt{3} l_{ki,j} / 2$ 이므로, $a_{ki,j}$ 에 상관없이 $t_{ki,j} = \sqrt{4l_{ki,j}^2 - 3l_{ki,j}^2} - l_{ki,j}$ 이다. 그러나 축소 조건인 $l_{ki,j} > T_{PL,k} \bar{L}$ 일 경우에는 $l'_{ki,j} > \sqrt{3} l_{ki,j} / 2$ 이 되도록 $a_{ki,j}$ 를 결정한다. 즉, $l'_{ki,j} > \sqrt{3} l_{ki,j} / 2$ 로 두고, 식 (7)를 대입하면 $a_{ki,j}$ 는 $a_{ki,j} > |T_{PL,k} \bar{L} - \sqrt{3} l_{ki,j} / 2| / |T_{PL,k} \bar{L} - l_{ki,j}|$ 이다. 따라서 제안한 기법에서는 선 길이 $l_{ki,j}$ 를 $l'_{ki,j}$ 으로 단계적으로 변경하기 위하여 꼭지점 이동 세기 $t_{ki,j}$ 및 길이 세기 $a_{ki,j}$ 를

$$t_{ki,j} = \begin{cases} (\sqrt{4l_{ki,j}^2 - 3l_{ki,j}^2} - l_{ki,j}) / C_t & \text{if } l_{ki,j} < T_{PL,k} \bar{L} \\ (l_{ki,j} - \sqrt{4l_{ki,j}^2 - 3l_{ki,j}^2}) / C_t & \text{if } l_{ki,j} > T_{PL,k} \bar{L} \end{cases}, \quad (10)$$

$$a_{ki,j} = \begin{cases} C_a^1, & \text{if } l_{ki,j} < T_{PL,k}\bar{L} \\ C_a^2, & \text{if } l_{ki,j} > T_{PL,k}\bar{L} \text{ and } b_{ki,j} > C_a^2 \\ b_{ki,j}, & \text{if } l_{ki,j} > T_{PL,k}\bar{L} \text{ and } b_{ki,j} < C_a^2 \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{where } b_{ki,j} = 1.2 \frac{|T_{PL,k}\bar{L} - \sqrt{3}l_{ki,j}/2|}{|T_{PL,k}\bar{L} - l_{ki,j}|}$$

으로 한다. 본 논문에서는 $t_{ki,j}$ 의 매개변수 C_t 를 5, $a_{ki,j}$ 의 매개변수 C_a^1 및 C_a^2 를 0.6 및 0.9로 결정하였다.

각 폴리라인 PL_{ki} 내의 모든 선 길이 $l_{ki,j}$ ($j \in [1, N_{ki} - 1]$)들을 변경하기 위하여 제안한 기법에서는 우선 첫 번째 꼭지점 $v_{ki,1}$ 에 의한 선 길이 $l_{ki,1}$ 와 마지막 꼭지점 $v_{ki,N_{ki}}$ 에 의한 선 길이 $l_{ki,N_{ki}-1}$ 들을 팽창 및 신축에 의하여 변경한 후, 나머지 꼭지점을 팽창 및 신축에 따라 차례로 변경한다. 이상의 방법으로 각 그룹의 정규화 평균 길이 m_k 가 워터마크 비트 w_k 에 따른 목표 영역 $[T_{PL,k} - \Delta k, T_{PL,k} + \Delta k]$ 에 도달할 때까지 모든 폴리라인의 길이들을 변경한다.

나. 쿼드폴리곤

쿼드 폴리곤에 대한 워터마크 비트 삽입에서는 그룹 $S_{PL,k}$ 내에 쿼드 폴리곤들의 정규화 면적 \bar{A}_{ki} ($i \in [1, N_{S_k}]$)들 중 목표 영역 T_k 내에 존재하지 않는 면적을 목표치 $T_{PG,k}$ 를 기준으로

$$\bar{A}'_{ki} = a_{ki} \bar{A}_{ki} + (1-a_{ki}) T_{PG,k}, \text{ if } \theta_{ki} \not\in T_{PG,k} \quad (12)$$

for all $i \in [1, N_{S_k}]$

변경한다. 쿼드 폴리곤 $PG_{ki} = \{v_{ki,j} | j \in [0, 3], v_{ki0} = v_{ki4}\}$ 의 정규화 면적 \bar{A}_{ki} 이 \bar{A}'_{ki} 으로 되기 위하여 제안한 기법에서는 그림 4에서와 같이 대각선에 해당되는 꼭지점들 간의 벡터 $\overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}}$ 및 $\overrightarrow{v_{ki1}v_{ki3}}$ 를 이용하여 \bar{A}_{ki} 를

$$\begin{aligned} & \overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}} \parallel \overrightarrow{v_{ki1}v_{ki3}} \parallel \sin \theta_{ki}/2 \\ & = a_{ki} \|\overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}}\| \|\overrightarrow{v_{ki1}v_{ki3}}\| \sin \theta_{ki}/2 + (1-a_{ki}) T_{PG,k} \quad (13) \end{aligned}$$

으로 변경한다. 위의 식을 만족하는 각 꼭지점들 $v'_{ki,j}$ ($j \in [0, 3]$)을 구하기 위하여 제안한 기법에서는 쿼드 폴리곤의 형상을 그대로 유지하면서 정규화 면적 \bar{A}_{ki} 를 변경하고자 한다. 이를 위하여 제안한 기법에서는 두 벡터들을

$$\overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}} = \beta_{ki} \overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}}, \quad \overrightarrow{v_1v_3} = \beta_{ki} \overrightarrow{v_1v_3} \quad (14)$$

와 같이 동일한 비율 인자 β_{ki} 에 따라 확장 및 신축한다. 동일한 비율 인자 β_{ki} 에 따라 두 벡터 사이각들이 $\theta'_{ki} = \theta_{ki}$ 와 같이 동일하게 되며, 쿼드 폴리곤의 형상을 유지하면서 \bar{A}_{ki} 의 변경이 가능하다. 여기서 인자 β_{ki} 는 식 (13)과 식 (14)에 의하여

$$\beta_{ki} = \sqrt{a_{ki} + (1-a_{ki}) \frac{T_{PG,k}\bar{A}}{\bar{A}_{ki}}} \quad (15)$$

와 같다. 위 식을 살펴보면,

$$\beta_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{if } \bar{A}_{ki} = T_{PG,k} \\ > 1, & \text{if } \bar{A}_{ki} < T_{PG,k} \\ < 1, & \text{if } \bar{A}_{ki} > T_{PG,k} \end{cases} \quad (16)$$

와 같이 쿼드 폴리곤의 정규화 면적 \bar{A}_{ki} 가 목표치 $T_{PG,k}$ 보다 작으면 $\beta_{ki} > 1$ 가 되어 두 벡터들은 확장되며, 반대로 \bar{A}_{ki} 가 $T_{PG,k}$ 보다 크면 $\beta_{ki} < 1$ 이므로 두 벡터들은 축소된다. 그리고 \bar{A}_{ki} 와 $T_{PG,k}$ 가 같으면 $\beta_{ki} = 1$ 이 되므로, 두 벡터들은 변경되지 않는다. 제안한 기법에서는 변경된 꼭지점을 기존 벡터들로 구성된 선에 포함되도록 각 꼭지점을 이동 세기 t_{ki0} 및 t_{ki1} 에 의하여

$$\begin{aligned} \overrightarrow{v_{ki0}} &= \overrightarrow{v_{ki0}} - t_{ki0} \overrightarrow{u_{ki02}}, \quad \overrightarrow{v_{ki2}} = \overrightarrow{v_{ki2}} + t_{ki0} \overrightarrow{u_{ki02}}, \\ \overrightarrow{v_{ki1}} &= \overrightarrow{v_{ki1}} - t_{ki1} \overrightarrow{u_{ki13}}, \quad \overrightarrow{v_{ki3}} = \overrightarrow{v_{ki3}} + t_{ki1} \overrightarrow{u_{ki13}}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{where } \overrightarrow{u_{ki02}} = \frac{\overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}}}{\|\overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}}\|}, \quad \overrightarrow{u_{ki13}} = \frac{\overrightarrow{v_{ki1}v_{ki3}}}{\|\overrightarrow{v_{ki1}v_{ki3}}\|}$$

으로 둔다. 이 때 이동 세기 t_{ki0} 및 t_{ki1} 는 식 (15)와 식 (17)에 의하여

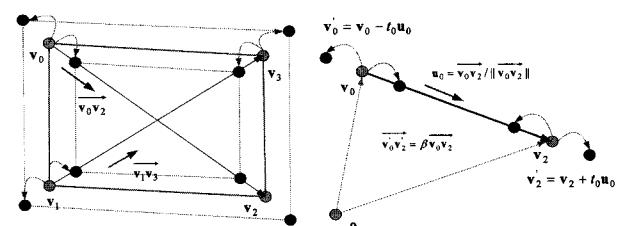


그림 4. (a) 쿼드 폴리곤의 정규화 면적 \bar{A}_{ki} 의 워터마크 비트에 따른 신축 및 팽창과 (b) 두 꼭지점 벡터에 의한 정규화 면적 변경

Fig. 4. (a) Expanding or contracting a 3DFACE area according to a watermark bit and (b) changing two vertices for expanding or contracting of a 3DFACE area.

$$t_{ki0} = \frac{\beta_{ki}-1}{2} \|\overrightarrow{v_{ki0}v_{ki2}}\|, t_{ki1} = \frac{\beta_{ki}-1}{2} \|\overrightarrow{v_{ki1}v_{ki3}}\| \quad (18)$$

와 같다. 이상의 방법으로 각 그룹 내 큐드 폴리곤의 평균 면적 \bar{A}_k 가 워터마크 비트 w_k 에 따른 목표 영역 $[T_{PG,k} - \Delta k, T_{PG,k} + \Delta k]$ 에 도달할 때까지 그룹 내의 모든 큐드 폴리곤의 정규화 면적들을 변경한다.

다. 호

그룹 $S_{Ac,k}$ 내의 모든 호 성분 각도 $\theta_{ki} = \theta_{ki,e} - \theta_{ki,s}$ ($i \in [1, N_{S_{Ac,k}}]$)들 중 목표 영역 $T_{Ac,k}$ 내에 존재하지 않는 호의 각도를 목표치 $T_{Ac,k}$ 를 기준으로 선형 보간에 의하여

$$\theta'_{ki} = a_{ki}\theta_{ki} + (1-a_{ki})T_{Ac,k}, \text{ if } \theta_{ki} \notin T_{Ac,k} \quad (19)$$

for all $i \in [1, N_{S_{Ac,k}}]$

변경한다. 호의 각도 θ_{ki} 가 위 식에 의하여 θ'_{ki} 으로 되기 위하여 제안한 기법에서는 그림 5에서와 같이 시작 각도 $\theta_{s_{ki}}$ 와 끝 각도 $\theta_{e_{ki}}$ 를 증가 조건 $\theta_{ki} < T_{Ac,k}$ 또는 감소 조건 $\theta_{ki} > T_{Ac,k}$ 에 따라 이동량 δ_{ki} 에 의해

$$\theta'_{ki} = \theta_{e_{ki}} + b_{ki}\delta_{ki}, \theta'_{s_{ki}} = \theta_{s_{ki}} - b_{ki}\delta_{ki} \quad (20)$$

$$\text{where } b_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{if } \theta_{ki} < T_{Ac,k} \\ -1, & \text{if } \theta_{ki} > T_{Ac,k} \end{cases}, 0 \leq \theta_{s_{ki}} < \theta_{e_{ki}} < 2\pi$$

와 같이 변경한다. 이 때 이동량 δ_{ki} 는 식 (19)과 식 (20)에 의하여

$$\delta_{ki} = \frac{1}{2\Delta_{ki}} (1-a_{ki}) |\theta_{ki} - T_{Ac,k}| \quad (21)$$

와 같다. 여기서 변수 $\Delta_{ki} \geq 1$ 는 목표치 $T_{Ac,k}$ 에 단계적

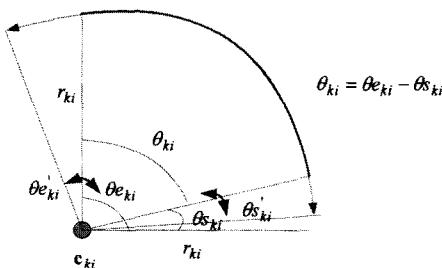


그림 5. 호 성분의 시작 각도 $\theta_{s_{ki}}$ 및 끝 각도 $\theta_{e_{ki}}$ 에 의하여 각도 $\theta_{ki} = \theta_{e_{ki}} - \theta_{s_{ki}}$ 의 증가 및 감소

Fig. 5. Changing an angle $\theta_{ki} = \theta_{e_{ki}} - \theta_{s_{ki}}$ by a start angle $\theta_{s_{ki}}$ and an end angle $\theta_{e_{ki}}$ of a ARC object.

으로 접근하기 위한 값이다. 이상의 기법으로 각 그룹 내 호의 평균 각도 $\bar{\theta}_k$ 가 워터마크 비트 w_k 에 따른 목표 영역 $[T_{Ac,k} - \Delta k, T_{Ac,k} + \Delta k]$ 에 도달할 때까지 그룹 내의 모든 호의 각도들을 변경한다.

라. 워터마크 추출

3D 설계도면의 워터마크 추출 기법에서는 먼저 모든 레이어 상에 폴리라인, 폴리곤 및 호 성분들의 분포 중 가장 많은 분포를 가지는 성분을 선택한다. 그리고 삽입 과정에서 저장된 삽입 성분의 레이어 인덱스 I와 각 그룹의 중심벡터를 이용하여 워터마크를 추출한다.

제안한 추출 기법에서는 레이어 인덱스 I 상에 삽입 성분의 집합 PL^*, PG^*, Ac^* 을 얻은 다음, 각 성분의 기하학 속성 \bar{L}^*, θ^* 및 \bar{A}^* 에 따라 중심벡터 G_{PL}, G_{PG} 및 G_{Ac} 을 이용하여 각 성분의 그룹 $S_{PL}^* = \{S_{PL,k}^* | k \in [1, N_w]\}$, $S_{PG}^* = \{S_{PG,k}^* | k \in [1, N_w]\}$ 및 $S_{Ac}^* = \{S_{Ac,k}^* | k \in [1, N_w]\}$ 과 각 그룹 내의 평균치 $m_{PL,k}^*, m_{PG,k}^*, m_{Ac,k}^* (k \in [1, N_w])$ 을 구한 다음, 중심벡터의 값과 평균치를 비교하여

$$w_k^* = \begin{cases} 0, & \text{if } m_{PL,k}^* < g_{PL,k} \\ 1, & \text{if } m_{PL,k}^* \geq g_{PL,k} \end{cases}, w_k^* = \begin{cases} 0, & \text{if } m_{PG,k}^* < g_{PG,k} \\ 1, & \text{if } m_{PG,k}^* \geq g_{PG,k} \end{cases},$$

$$w_k^* = \begin{cases} 0, & \text{if } m_{Ac,k}^* < g_{Ac,k} \\ 1, & \text{if } m_{Ac,k}^* \geq g_{Ac,k} \end{cases} \quad (22)$$

와 같이 워터마크 $w^* = \{w_k^* | k \in [1, N_w]\}$ 를 추출한다.

IV. 실험

본 실험에서는 제안한 기법의 성능 평가를 위하여 그림 6의 3D 설계도면들을 이용하였다. 본 실험에 사용된 3D 설계도면들은 표 1에서와 같이 다수의 레이어에 다양한 엔티티 성분들을 가지고 있다. 표 1를 살펴보면, 건물 도면에서는 라인/폴리라인과 큐드 폴리곤의 분포가 가장 많으며, 시계와 같은 곡선이 많은 도면에서는 라인/폴리라인과 호의 분포가 많음을 볼 수 있다. 따라서 본 실험에서는 건물 도면에 대하여 라인/폴리라인과 큐드 폴리곤을 삽입 대상으로 선택하였고, 시계 도면에 대하여 라인/폴리라인 및 호를 삽입 대상으로 선택하였다. 이 때, 선택된 삽입 성분을 가지는 레이어들은 워터마크 추출시 필요한 정보로 사용된다. 그리고 레이어 내에 삽입 성분들은 k-means++ 알고리즘에 의하여 워터마크 비트수와 동일한 개수만큼의 집합으로 그룹화된

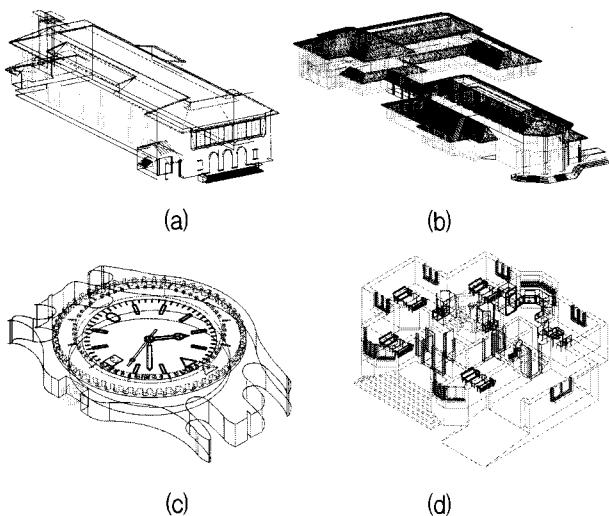


그림 6. 테스트 3D 설계도면인 (a) 2층 건물, (b) 캠퍼스 건물, (c) 시계 및 (d) 3층 건물

Fig. 6. Test 3D design drawings; (a) 2nd. building, (b) Campus building, (c) Watch and (d) 3rd. building.

표 1. 본 실험에 사용된 설계도면의 엔티티

Table 1. Entities in test design drawings.

설계 도면	레이어 개수	라인/ 폴리라인	쿼드 폴리곤	호	원
2층건물	9	962	173	8	1
캠퍼스건물	12	4,272	231	7	0
시계	3	3,475	0	1,768	131
3층건물	11	382	8	16	97

다. 본 실험에서 사용된 워터마크는 가우시안 랜덤 시퀀스로 생성된 비트열이다. 본 실험에서는 객관적 및 주관적 화질에 대한 비가시성과 AutoCAD 툴 상의 다양한 공격에 대한 장인성을 평가하였다.

표 2에서와 같이 2층건물 도면에서는 라인/폴리라인 성분과 쿼드폴리곤 성분들을 정규화된 길이 및 면적 분

표 2. 각 설계도면의 삽입 대상 성분과 워터마크 비트 수 및 PSNR (워터마크 비트수 N_w 와 클러스터 그룹 개수와 동일)

Table 2. The embedding object, the number N_w of watermark bit and PSNR in each 3D design drawing.

설계 도면	삽입성분	레이어 개수	워터마크 비트수	PSNR [dB]
2층건물	라인/폴리라인	5	20	34.61
	쿼드폴리곤	2	7	34.81
캠퍼스 건물	라인/폴리라인	5	78	38.32
	쿼드폴리곤	3	18	36.71
시계	라인/폴리라인	1	57	36.88
	호	1	23	39.81
3층건물	라인/폴리라인	1	9	33.59

포에 의하여 각각 20개 및 7개의 그룹으로 그룹화되며, 각 그룹 내에 워터마크 비트가 삽입된다. 그 이외의 도면에서 라인/폴리라인, 쿼드폴리곤 및 호에 대한 그룹 개수는 표 2에서와 같다. 설계도면에서는 다양한 기하 성분들이 자주 반복되어 사용되며, 반복 횟수는 도면에 따라 다르다. 제안한 그룹화 과정은 이동, 회전 및 축척 등과 같은 기하학적 공격에도 강인하기 위하여, 성분의 위치 또는 영역이 아닌 객체의 기하 특징을 이용하여 그룹화를 수행한다. 따라서 그룹 내의 성분 분포는 비균일하나, 각 그룹 내에는 최소 15개 이상의 성분들을 가진다. 이는 설계도면 품질을 훼손하는 공격을 수행하여야 각 그룹 내의 객체 성분들을 제거할 수 있음을 나타낸다.

1. 비가시성 평가

최근 3D 모델 워터마킹 기법에 대한 연구가 진행되면서, 3D 모델의 평가 방법에 대한 관심이 많아지고 있다. 그러나 기존의 3D 모델의 비가시성 평가 방법은

표 3. 각종 공격에 대하여 추출된 워터마크의 BER
Table 3. BER of extracted watermark in various attacks.

공격	도면	2층건물		캠퍼스건물		시계		3층건물	평균	
		라인	폴리곤	라인	폴리곤	라인	호			
기하학공격	레이어 공격	1개 레이어 삭제	0.10	0.14	0.10	0.16	0.12	0.15	0.11	0.13
		2개 레이어 삭제	0.25	0.42	0.26	0.33	0.31	0.33	0.44	0.33
	객체 삭제(25~40% 객체)	0.15	0.14	0.16	0.16	0.17	0.19	0.23	0.17	
	대칭 복사(모든 객체)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	배열 생성(30% 이상 객체)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	이동/회전/축척	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	신축(50% 이상 모든 객체)	0.20	0.42	0.25	0.33	0.23	0.24	0.33	0.27	
	길이변경(30% 라인/폴리곤 객체)	0.20	0.28	0.15	0.27	0.23	-	0.22	0.21	
비비트율공격	객체끊기(30% 모든 객체)	0.15	0.28	0.16	0.27	0.19	0.19	0.33	0.22	
	모깎기(25% 라인/폴리곤 객체)	0.05	-	0.06	-	0.07	0.27	0.00	0.10	

3D 메쉬 모델에 대한 평가^[21~23]로서 다양한 엔터티 성분을 가지는 벡터 기반의 3D 설계도면에는 적용되지 못한다. 따라서 본 실험에서는 워터마크된 엔터티 성분에 대한 PSNR을 사용하였다. 여기서 워터마크된 엔터티 성분인 폴리라인, 폴리곤 및 호에 대하여 각각 PSNR을 구하여야 한다. 이를 위하여 본 실험에서는 폴리라인 집합 PL 및 폴리곤 집합 PG의 구성요소인 꼭지점 좌표 v_{ij} 에 대한 PSNR과 호 집합 Ac의 구성요소인 각도 θ_i 에 대한 PSNR를 사용하였다.

삽입 성분에 대한 각 설계도면의 PSNR은 표 2에서와 같다. 표 2를 살펴보면, 폴리라인의 경우 약 33.59~38.32dB이고, 폴리곤의 경우 약 34.81~38.53dB, 호의 경우 37.14~39.81dB으로 호 성분보다 폴리라인과 폴리곤 내의 꼭지점 이동량이 보다 많음을 볼 수 있다. 그리고 제안한 기법에서는 각 집합 내의 평균치를 이웃하는 집합의 중심값을 기준으로 목표치를 설정한 후, 이 목표치에 근접하도록 평균치를 워터마크 비트에 따라

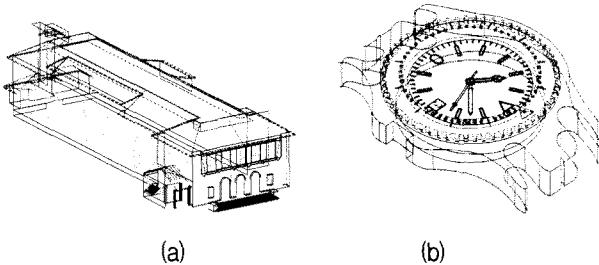


그림 7. 워터마크된 (a) 2층 건물 및 (c) 시계 도면
Fig. 7. Watermarked (a) 2nd. Building and (c) Watch design drawings.

표 4. 각종 공격에 대한 제안한 기법과 기존 기법과의 강인성 비교 (○:강인, △:특정조건에서 강인 또는 준연약, ✕:연약)

Table 4. Robustness Comparison of the proposed scheme and the conventional schemes.

공격		제안한 기법	Kwon ^[16~17]	Zhao ^[18]
레이어 삭제		○	△	✗
기하학 공격	객체 삭제	○	○	○
	객체 삭제+재정렬	○	✗	✗
	대칭복사	○	○	○
	대칭복사+재정렬	○	✗	✗
	배열생성	○	○	○
	배열생성+재정렬	○	✗	✗
	이동	○	○	○
	회전	○	○	○
	축척	△	○	○
	신축	○	✗	✗
길이변경		○	○	✗
객체 끊기		○	✗	✗
객체모愆기		○	△	○

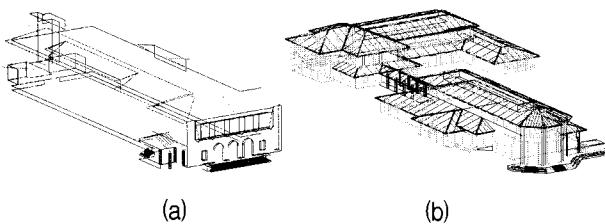
변경한다. 따라서 클러스터 집합의 개수가 많을 경우에는 집합의 중심값들과의 간격이 작으므로 클러스터 집합 개수가 작은 경우보다 목표치에 대한 변경량이 작다. 따라서 클러스터 집합의 개수가 많은 PSNR이 집합 개수가 작은 PSNR보다 높음을 볼 수 있다. 그러나 각 성분에 대한 PSNR은 약 33.59~39.81dB으로 이는 워터마크의 비가시성을 보여준다.

주관적 화질 평가를 위하여 원본 설계도면과 워터마크된 설계도면을 비교하였다. 그림 7은 워터마크된 2층 건물 및 시계 도면이다. 이 그림들을 살펴보면, 워터마크된 폴리라인, 폴리곤 및 호에 대한 비가시성을 확인할 수 있다.

2. 강인성 평가

본 실험에서는 AutoCAD 툴 상의 다양한 공격을 이용하여 워터마크의 강인성을 평가하였으며, 평가 척도로는 추출된 워터마크의 BER(Bit error rate)를 사용하였다. 이 때 실험에서 사용된 공격 형태로는 기하학 공격 및 레이어 공격이다. 이들 공격에 대하여 추출된 워터마크의 BER는 표 3에서와 같다. 기존의 기법인 Kwon의 기법^[16~17]과 Zhao의 기법^[18]은 적용된 워터마크의 종류와 데이터량이 다르므로, BER로 평가하기 어렵다. 따라서 기존 기법과의 강인성 평가 실험에서는 표 4에서와 같이 각 공격에 대한 워터마크의 추출 확인 여부만 비교하였다.

먼저 레이어 삭제 실험에서는 워터마크된 중요 레이어를 1개 또는 2개를 선택하여 이를 삭제하였다. 그림 8 (a)는 5개의 워터마크된 레이어를 2개의 창문 레이어와 지붕 레이어가 삭제된 2층 건물 도면을 보여주고 있다. 각 도면에서 중요 레이어 1개를 삭제하였을 때, 약 20% 정도의 객체가 삭제되었으며, 이에 대한 워터마크 BER은 표 3에서와 같이 폴리라인 경우 0.10~0.15이고 쿼드폴리곤 경우 0.14~0.16이며, 호 경우 0.15~0.16으로 약 84% 이상의 워터마크 비트를 추출함을 확인하였다. 그러나 중요 레이어 2개를 삭제하였을 때, 약 40% 이상 객체가 삭제되었으며, 이에 대한 워터마크 BER은 폴리라인 경우 0.25~0.44이고, 쿼드폴리곤 경우 0.30~0.42이며, 호 경우 0.33으로 약 56~70% 정도의 워터마크 비트를 추출함을 확인하였다. 기존 Kwon 기법은 레이어 삭제에 의하여 삭제되지 않은 객체 핸들코드들의 치환이 없으면 이를 객체에 삽입된 워터마크 비트만 추출할 수 있다. Zhao 기법은 레이어를 고려하지 않으므로, 삭제



(a) (b)

그림 8. (a) 중요 레이어 2개가 삭제된 2층 건물 도면, (b) 라인/폴리라인이 35%와 쿼드폴리곤이 43% 삭제된 캠퍼스건물

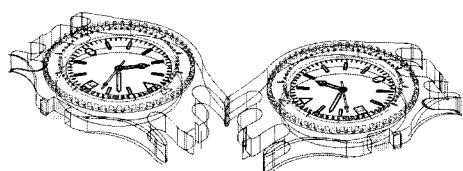
Fig. 8. (a) 2nd. building that two layers are eliminated and (b) campus that 35% LINE/POLYLINE and 43% 3DFACE are eliminated.

된 레이어 내의 워터마크를 추출할 수 없다.

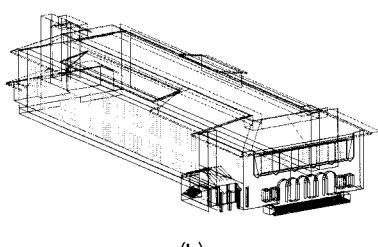
객체 삭제 실험에서는 설계도면의 전체 형상을 유지하면서 레이어 내에 기하 성분들을 약 250~40% 정도를 삭제하였다. 그림 8 (b)는 약 35%의 라인/폴리라인과 약 43%의 쿼드 폴리곤이 삭제된 도면들을 보여주고 있다. 객체 삭제된 도면에서 추출된 워터마크의 BER은 표 3에서와 같이 라인/폴리라인에서는 약 0.15~0.23이며, 쿼드폴리곤에서는 약 0.14~0.16이고, 호에서는 약 0.16~0.19이다. 따라서 레이어에 상관없이 전체 성분이 약 30% 정도 삭제되어도 약 80% 정도의 워터마크 비트가 오류없이 검출됨을 알 수 있다. 그러나 Kwon 및 Zhao의 기법에서는 삭제된 객체 데이터량에 따라 워터마크 비트가 추출되나, 객체 재정렬이 동시에 수행될 경우 워터마크를 추출하지 못함을 표 4에서 확인할 수 있다.

사용자들은 설계도면 틀 상에서 대칭 복사 또는 배열 생성에 의하여 객체 사본들을 쉽게 생성할 수 있다. 먼저 대칭 복사 실험에서는 그림 9 (a)에서와 같이 임의의 기준선에 대하여 대칭된 객체 사본들을 생성하였다. 그러나 두 도면이 같이 공유하더라도 워터마크된 삽입 성분들의 기하 특징은 변함이 없으므로, 워터마크는 오류없이 검출됨을 확인하였다. 배열 생성 실험에서는 그림 9 (b)에서와 같이 약 30% 객체를 선택하여, 이를 객체의 다중 사본을 직사각형 패턴으로 생성하였다. 그러나 워터마크된 객체들이 배열 생성되더라도 객체들의 기하 특징은 변함이 없으므로, 워터마크는 오류없이 검출됨을 확인하였다. Kwon 및 Zhao의 기법에서는 대칭 복사와 배열 생성에 대하여 워터마크가 추출되나, 객체 재배열이 동시에 수행될 경우 워터마크가 추출되지 못한다.

이동, 회전 및 축척 실험에서는 설계도면을 임의의



(a)



(b)

그림 9. (a) 임의의 기준선으로 대칭 복사된 시계 도면과 (b) 임의 객체를 직사각형 패턴으로 배열 생성된 2층건물 도면

Fig. 9. (a) Watch drawing that is mirrored to arbitrary reference point and (b) 2nd building drawing that a multiple copied ones of arbitrary 3DFACE objects are arranged to rectangular pattern.

거리로 이동, 또는 임의의 방향으로 회전 그리고 임의의 비율로 축척하였다. 임의의 거리 및 방향으로 이동 및 회전된 설계도면들의 폴리라인, 쿼드폴리곤 및 호 성분들의 기하 특징들은 변함이 없으므로 추출된 워터마크 비트의 오류는 없다. 그러나 폴리라인 길이와 쿼드폴리곤 면적은 도면의 축척 비율에 따라 변경된다. 제안한 기법에서는 선택된 레이어 내의 전체 폴리라인 길이 평균과 쿼드폴리곤의 면적 평균을 기준으로 정규화된 길이 분포와 면적 분포에 워터마크를 삽입한다. 즉, 정규화된 길이 분포와 면적 분포는 축척 비율에 상관없이 동일함으로 표 3에서와 같이 추출된 워터마크의 비트 오류는 없다. Kwon 기법은 폴리라인 및 폴리곤의 길이 비율과 호의 곡률 반경에 워터마크를 삽입하고, Zhao 기법은 폴리라인 길이에 워터마크를 삽입하므로 이동, 회전 및 축척된 설계도면에서 워터마크를 모두 추출함을 확인하였다.

신축(Stretch) 실험에서는 그림 10 (a)에서와 같이 50% 정도 객체들을 임의로 선택한 후, 선택된 객체들의 교차 내에 있는 꼭지점들을 이용하여 객체들을 신축하였다. 신축된 도면에서 추출된 워터마크 BER은 표 3에서 같이 폴리라인 경우 0.19~0.25이고, 쿼드폴리곤 경우 0.22~0.45이며, 호 경우 0.24~0.33이다. 즉, 쿼드폴리곤의 워터마크 비트가 작은 2층건물 도면을 제외하고,

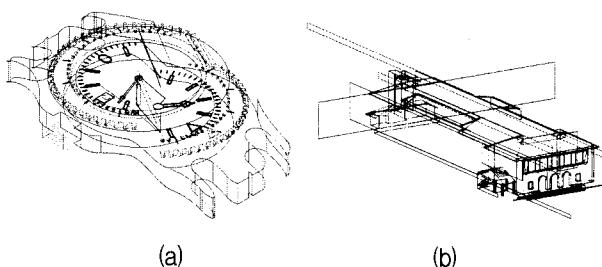


그림 10. (a) 50% 이상의 객체들이 신축된 시계 도면 및 (b) 30% 정도 객체들의 길이 변경된 2층 건물
Fig. 10. (a) watch drawing that over 50% objects are stretched and (b) campus designs with about 30% lengthened objects.

모든 도면에서 70~80% 정도 워터마크 비트가 오류없이 검출됨을 볼 수 있다. 기존 Kwon 및 Zhao 기법에서는 신축되는 객체수와 신축세기에 따라 다르나 대부분의 워터마크 비트에서 오류가 발생됨을 확인하였다.

길이 변경 실험에서는 그림 10 (b)에서와 같이 약 30% 정도의 폴리라인 및 쿼드폴리곤 객체들의 꼭지점들을 조정하여 길이를 한 방향으로만 길게 또는 짧게 하거나, 일정 비율로 크게 또는 작게 변경하였다. 길이 변경된 도면에서 추출된 워터마크의 BER은 표 3에서와 같이 폴리라인의 경우 0.15~0.22이며, 쿼드폴리곤의 경우 0.18~0.28으로, 약 72~85%정도의 워터마크 비트가 오류없이 검출된다. Kwon 기법에서는 길이 변경된 객체 데이터량에 따라 워터마크 손실이 발생되나, 원 도면 화질을 유지하면서 길이 변경을 수행할 경우, 대부분의 워터마크가 검출됨을 확인하였다. 그러나 Zhao 기법에서는 폴리라인의 길이가 변경시 대부분의 워터마크가 검출되지 못하였다.

객체 끊기 실험에서는 그림 11 (a),(b)에서와 간격을 두거나 또는 간격을 두지 않은 상태에서 폴리라인, 쿼드폴리곤 및 호의 객체들을 두 객체로 나누거나 객체들의 일정 구간을 끊었다. 원 도면의 화질을 유지하면서 객체 끊기를 수행한 경우, 추출된 워터마크의 BER은 표 3에서와 같이 폴리라인의 경우 0.15~0.19이고, 쿼드폴리곤의 경우 0.20~0.27이고, 호의 경우 0.19~0.25이므로, 약 73~85% 정도 워터마크 비트가 오류없이 검출된다. Kwon 및 Zhao의 기법에서는 객체 끊기에 의하여 분할된 두 객체의 핸들코드가 변경 및 추가되므로 워터마크된 삽입 객체를 탐색하지 못한다. 따라서 기존 기법들은 객체 끊기된 도면에 대하여 워터마크를 추출하지 못한다.

객체 모각기 실험에서는 그림 11 (c),(d)에서와 같이

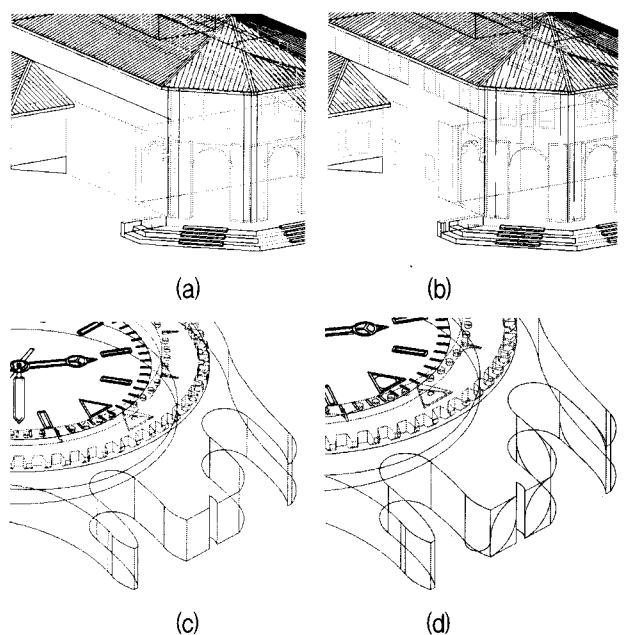


그림 11. (a) 원 캠퍼스 건물 및 (b) 30% 정도 객체들이 끊긴 캠퍼스 건물의 일부 도면들, (c) 원 시계 도면 및 (d) 25% 객체들이 모각기된 시계 도면
Fig. 11. (a) Watermarked campus design, (b) (a) design with 30% broken objects and (c) Watermarked watch design and (d) (c) design with 25% filleted objects.

폴리라인 및 호의 모든 객체에 대하여 두 객체를 선택한 후, 지정된 반지름을 가지는 호로 두 객체를 연결하였다. 표 3에서와 같이 폴리라인의 경우 90% 이상의 워터마크 비트가 검출되었으나, 호의 경우 70% 정도의 워터마크 비트가 검출되었음을 확인하였다. 기존 기법에서는 객체 모각기에 의하여 두 객체가 분할되면, 삽입된 객체가 없어지고 핸들코드가 재수정되므로 워터마크 추출이 어렵다.

이상의 장인성 실험 결과로부터 제안한 기법이 각종 기하학 공격뿐만 아니라 중요 레이어 삭제에 대해서도 워터마크의 장인성을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 건축, 기계, 자동차, 부품 등 다양한 산업 분야의 전문 디자인 기술 저작물인 설계도면 데이터의 저작권 보호를 워터마킹 기법을 제안하였다. 최근 설계도면 데이터의 저작권 관리를 위한 DRM 기술들이 제안 및 적용되고 있으나, 이들 대부분은 암호화 기반의 기술로 워터마킹 기술과의 결합이 필요하다. 제안 기법에서는 설계도면 데이터의 가장 주요한 객체인 폴

리라인, 쿼드폴리곤 및 호 객체에 대하여 워터마크를 각각 삽입한다. 우선, 설계도면 내에 많은 분포를 가지는 객체들을 선택한 다음, 이들 객체들을 k-means++ 알고리즘에 의하여 그룹화한다. 예를 들어, 폴리라인 경우에서는 정규화 길이에 따라 그룹화한 다음, 각 그룹에 속하는 폴리라인들의 평균 길이에 워터마크 비트를 삽입한다. 그리고 쿼드폴리곤 경우에는 정규화된 면적에 따라 그룹화한 다음, 각 그룹에 속한 쿼드폴리곤의 평균 면적에 워터마크 비트를 삽입한다. 마지막으로 호 경우에는 각도에 따라 그룹화한 다음, 각 그룹에 속한 호의 평균 각도에 워터마크 비트를 삽입한다.

제안한 기법의 평가를 위한 비가시성 실험에서는 각 객체 성분에 대한 PSNR이 평균 33.59~39.81dB으로 객관적인 비가시성을 확인하였고, 또한 워터마크된 도면으로부터 주관적인 워터마크의 비가시성을 확인하였다. 장인성 평가 실험에서는 제안한 기법이 레이어 삭제 및 각종 기하학 공격에 대하여 평균 BER이 0.10~0.33으로 대부분의 워터마크비트가 검출됨을 확인하였다. 다양한 형태의 객체를 가지는 설계도면에서는 두 개 이상의 객체들에 워터마크가 다중으로 삽입될 수 있으므로, 다양한 공격에 대한 장인성을 높일 수 있을 것이다. 제안한 기법은 벡터맵으로 구성된 설계도면 데이터에 대한 워터마킹 기법으로, GIS의 지리도면 데이터와 같은 벡터맵으로 구성된 콘텐츠에 대하여 적용이 가능할 것이다.

현재 본 연구진들은 산업 분야에서 사용되는 모든 설계도면에 대하여 적용이 가능하도록 제안한 기법과 암호화 기술이 결합된 DRM 기술로 확장하고 있으며, 또한 k-means++ 알고리즘 기반으로 설계도면 데이터 해싱 기술에 대하여 연구가 진행 중이다.

참 고 문 현

- [1] DRM One for CAD, <http://www.fasoo.com>,
- [2] S-Work for CAD/CAM, <http://www.softcamp.co.kr>
- [3] AutoCAD OwnerGuard, <http://www.armjissoft.com>
- [4] M. Barni, C.I. Podilchuk, F. Bartolini and E.J. Delp, "Watermark embedding: hiding a signal within a cover image," *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, issue 8, pp. 102-108, Aug. 2001.
- [5] M. Alghoniemy and A.H. Tewfik, "Geometric invariance in image watermarking," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, issue 2, pp. 145-153, Feb. 2004.
- [6] E. T. Lin and E. J. Delp, "Temporal synchronization in video watermarking," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 52, issue 10, part 2, pp. 3007-3022, Oct. 2004.
- [7] Z. Jing, A.T.S. Ho, Q. Gang and P. Marziliano, "Robust video watermarking of H.264/AVC," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 54, issue 2, pp. 205-209, Feb. 2007.
- [8] 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.
- [9] O. Benedens, "Geometry-based watermarking 3D models," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 19, no. 1, pp. 46-55, Jan./Feb. 1999.
- [10] S.H. Lee and K.R. Kwon, "A watermarking for 3D mesh using the patch CEGIs," *Digital Signal Processing*, vol. 17, no. 2, pp. 396-413, Mar. 2007.
- [11] 이석환, 권기룡, "패치 CEGI를 이용한 메쉬 워터마킹," 대한전자공학회논문지, 제42권 CI편 제1호, pp. 67-78, 2005년.
- [12] S.H. Lee and K.R. Kwon, "Mesh watermarking based projection onto two convex sets," *Multimedia Systems*, vol. 13, no. 5-6, pp. 323-330, Feb. 2008.
- [13] 이석환, 권기룡, "기하학적 구조 및 위치 보간기를 이용한 3D 애니메이션 워터마킹," 대한전자공학회 논문지, 제43권 CI편 제6호, pp. 71-82, 2006년.
- [14] R. Ohbuchi, H. Ueda, and S. Endoh, "Robust watermarking of vector digital maps," *Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, vol. 1, pp. 577-580, 2002.
- [15] B.J. Jang, K.R. Kwon, K.S. Moon, and Y. Huh, "A new digital watermarking for architectural design drawing using LINEs and ARCs based on vertex," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2939/2004, pp. 544-557, 2004.
- [16] K.R. Kwon, S.H. Lee, E.J. Lee, and S.G. Kwon, "Watermarking for 3D CAD drawings based on three components," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4109/2006, pp. 217-225, 2006.
- [17] K.R. Kwon, H.J. Chang, Gwang S. Jung, K.S. Moon, S.H. Lee, "3D CAD drawing watermarking based on three components", *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 1385-1388, Oct. 2006.

- [18] H. Zhao, W. Yuan, and Z. Wang, "A new watermarking Scheme for CAD engineering drawings," 9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, CAID/CD, pp. 518-522, 2008.
- [19] AutoCAD 2010 dxf Reference, <http://www.autodesk.com>.
- [20] D. Arthur and S. Vassilvitskii, "k-means++: the advantages of careful seeding". *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, pp. 1027-1035, 2007.
- [21] N. Aspert, D. Santa-Cruz, and T. Ebrahimi, "MESH: measuring errors between surfaces using the Hausdorff distance," *IEEE International Conference in Multimedia and Expo (ICME2004)*, vol. 1, pp. 705-708, Aug. 2002.
- [22] M. Corsini, E. D. Gelasca, T. Ebrahimi, and M. Barni, "Watermarked 3-D mesh quality assessment," *IEEE Trans. on Multimedia*, vol. 9, no. 2, pp. 247-256, Feb. 2007.
- [23] E. D. Gelasca, T. Ebrahimi, M. Corsini, and M. Barni, "Objective evaluation of the perceptual quality of 3D watermarking," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2005)*, vol. 1, pp. I-241-4, Sep. 2005.

저자 소개



이석환(정회원)
1999년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업.
2001년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.
2004년 경북대학교 전자공학과
박사 졸업.
2005년~현재 동명대학교 정보보호학과 조교수
<주관심분야 : 워터마킹, DRM, 영상신호처리>



권기룡(정회원)-교신저자
1986년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업.
1990년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.
1994년 경북대학교 전자공학과
박사 졸업
2000년~2001년 Univ. of Minnesota, Post-Doc
1996년~2005년 부산외국어대학교 디지털정보
공학부 부교수
2006년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신
공학부 교수
<주관심분야 : 멀티미디어 정보보호/통신>