

u-GIS 야외 증강현실 시스템 개발에 관한 연구

(A Study on u-GIS Outdoor Augmented Reality System Development)

김정환* 김신형** 길우성***
(Jeong Hwan Kim) (Shin-Hyoung Kim) (Woo-Sung Kil)

요약 본 논문에서는 3차원 공간정보의 질을 향상시키고, 공간정보만으로 표현하기 어려운 부분을 시각화하는 u-GIS 야외 증강현실 시스템 개발 방법을 제안한다. 이 방법은 증강현실 시스템을 개발하기 위해 세 가지 기술을 사용한다. 첫째, 증강현실을 위한 카메라 영상을 포함한 센서 정보추정 및 보정기술과 둘째, 카메라 연동 센서 기반 트래킹 기술. 마지막으로, 카메라 영상과 3차원 공간 정보의 정합을 위한 3차원 공간정보 합성기술이다. 본 논문에서는 세 가지 기술을 기반으로 실제 공간정보와 3D GIS 모델을 합성하여 증강하는 시스템을 개발하였다.

키워드 : 유비쿼터스, 지리정보서비스, 증강현실, 위치/자세센서.

Abstract In this paper, we present a method for the development of u-GIS outdoor augmented reality(AR) system. The proposed system is consist of three parts. First, sensor acquisition and calibration for AR, Second, camera and sensor based tracking for AR, Third, integration of sensor information and 3D models. We combine spatial information of real and virtual spaces through u-GIS AR system.

Keywords : Ubiquitous, GIS, Augmented Reality, Location and Pose Sensor.

1. 서론

최근 정보통신의 발전은 책상 위의 PC 뿐만 아니라 휴대전화, TV, 게임기, 네이게이션 등을 네트워크에 연결하여 언제, 어디서나, 누구나 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 유비쿼터스 환경을 급속히 진전시키고 있다. 이러한 환경은 모든 국토 공간을 근간으로 구현되고 있으며 공간 및 위치정보를 제공하는 공간정보 기술은 차세

대 핵심 기반 기술로 대두 되고 있다[1]. u-GIS 공간정보는 유비쿼터스 환경을 기반으로 시간에 따라 공간적인 위치가 포함된 동적인 실내의 공간 데이터를 의미한다. 공간정보 만으로 다양한 시각화 서비스를 제공하기엔 어려움이 있기 때문에 u-GIS 공간정보만으로 표현하기 어려운 부분을 증강현실 기술을 적용하여 시각화 하는 기술이 다양하게 연구되어 지고 있다. 특히, 미래의 지능형 국토정보 구축에 필수적인 3차원 공간정보를 유비쿼터스 환경에서 시각화하는 기술은 세계적인 관심사항이며, 건설, 교통, 국방, 방재, 엔터테인먼트, 부동산, 통신 등의 다양한 비즈니스 영역에서 필요로 하는 핵심 기술이다 [2][3][4].

증강현실(Augmented Reality)기술은 실제 환경에 가상의 그래픽 오브젝트를 실시간으로 합성하여 실제 환경에 존재하는 것처럼 보이도록 하는 컴퓨터 기술이다. 이 기술은 현실 세계만으로 얻기 어려운 부가적인 정보들을 보강해 제공해줄 수 있기 때문에 다양한 현실 환경 및 유비쿼터스 환경에 적합한 기술로 기대를 모으고 있다.

본 논문에서는 이러한 u-GIS 공간정보와 증강현실 기술을 이용하여 현장에서 직접 실시간으로 현실공간과 가상공간을 통합하는 차세대 시각화 기술의 일환으로 u-GIS 야외 증강현실 시스템 개발에 관한 내용을 서술한다. 2장에서는 관련 연구에 대해 설명하고, 개발 시스템의 세 가지 주요 기술들을 3장에서 설명하였다. 개발된 u-GIS 야외 증강현실 시스템과 결론은 4장과 5장에서 각각 설명하였다.

2. 관련 연구

증강현실을 이용한 산업으로는 TV방송에서 적극적으로 도입하여 실용화 하고 있고, 그 외 기업등과 대학 연구소를 중심으로 활발히 연구개발 되고 있다. 일부 군사적인 목적으로 무기체계 시뮬레이션 및 훈련을 위한 내장훈련장치로의 연구개발도 진행되고 있을 뿐만 아니라, 국외의 경우 방송, 게임, 의학, 제품개발 등에 활발히 적용 중에 있다.

특히, 국토 정보 구축과 관련하여 정부 주도의 해외 사례를 보면 영국의 VISTA 프로젝트의 경우 2006년부터 시작하여 지하시설물의 정보를 취합 가공 및 디스플레이에 필요한 알고리즘 기술개발 및 지하시설물의 설치, 수리 및 유지를 신속, 안전, 효과적으로 하기위해 26개 정부기관과 학교 연구기관에서 전담하여 사업을 진행하고 있고[5], 오스트리아 VIDENTE 의 경우 지하 기반시설의 직관적 시각화를 가능케 하는 모바일기반의 휴대용 야외 증강현실 시스템에 대한 연구가 현재 진행 중이다 [6]. 이와 같이 증강현실을 이용한 다양한 산업 및 연구들이 진행되고 있고 데이터의 정확도 및 고품질 가치화 방법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 기존시스템에 비해 상대적으로 고 정밀 센서 및 영상기반 보정 기능을 사용하여 데이터 표현에 정확도를 높인 시스템으로 개발되었다.

† 본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보CO5)에 의해 수행되었습니다.

* 에이알비전(주) 기술연구소 연구소장, kjhnew@ar-vision.com(교신저자)

** 에이알비전(주) 기술연구소 과장, shkim@ar-vision.com

*** 에이알비전(주) 기술연구소 대리, wskil@ar-vision.com

논문접수 : 2009.02.10

수정일 : 2009.03.10

심사완료 : 2009.03.13

3. 시스템 개발 요소 기술

그림 1은 제안하는 u-GIS 야의 증강현실 시스템 흐름도를 보여준다.

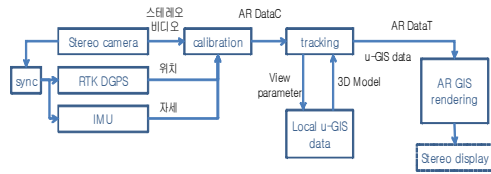


그림 1. 시스템 흐름도

3.1 센서 정보 측정 및 보정

증강현실을 위해서 요구되는 센서는 위치, 자세, 그리고 카메라 센서로 구분된다. 위치 센서는 증강현실에 사용되는 카메라의 절대 또는 상대 위치를 제공한다. 자세 센서는 카메라의 자세를 세 축(X, Y, 그리고 Z 축)에 대한 회전각으로 표현한다. 특히, 자세의 절대 값을 필요로 한다. 카메라 센서는 카메라의 내부 파라미터와 관련이 있으며, 상대 자세와 상대 위치를 하나로 묶어서 트랙커(tracker)로 표현한다. 본 논문에서는 위치와 자세 센서를 이용하여 증강 현실을 위한 센서 정보를 측정 및 보정하였다.

3.1.1 위치센서

위치 센서는 절대위치 또는 상대위치를 측정하게 된다. 절대위치는 GIS 정보와 직접적인 연관성을 제공하여 시스템이 표현하고자 하는 정보를 선택하는 기본입력이 된다. 따라서 본 논문에서는 시각화 시스템을 개발하기 위해 가장 정밀한 GPS 측위 방식인 상대관측 방식의 RTK-DGPS(Real-Time Kinematic Differential GPS)를 사용하였다. RTK-DGPS는 정지 상태에서 수 cm 정밀도를 측위가 가능하여 측량에 많이 활용되는 방식으로 그림 2는 본 시스템에 사용한 RTK-DGPS를 보여준다[7].



그림 2. RTK-DGPS 시스템

3.1.2 자세 센서

자세 센서는 현재 위치에서 카메라가 바라보는 방향을 측정해주는 센서로서, 그림 3과 같이 세 축의 회전각을

측정한다. 기본 운영모드인 GEOS(Gyroscopic Earth-stabilized Orientation Sensing) 모드에서, 참조 프레임은 X축이 북쪽방향, Y축이 동쪽, Z축이 아래로 향하도록 설정된다. 트랙커는 참조 프레임을 기준으로 트랙커의 자세 변화를 일련의 오일러(Euler) 각으로 표현한다. 오일러 회전각 표현 순서는 Z축에 대한 +yaw, 변화된 새로운 Y축에 대한 +pitch, 끝으로 변화된 X축에 대한 +roll이다. 식(1)처럼 세 축의 오일러 회전각으로부터 3x3 회전 행렬을 만들게 된다.

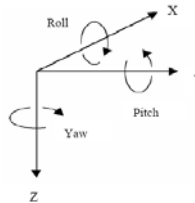


그림 3. 세 축의 회전각 측정

$$\begin{bmatrix} \cos P \cos Y & \sin P \sin P \cos Y - \cos P \sin Y & \cos P \sin P \cos Y + \sin P \sin Y \\ \cos P \sin Y & \sin P \sin P \sin Y + \cos P \cos Y & \cos P \sin P \sin Y - \sin P \cos Y \\ -\sin P & \cos P \sin R & \cos P \cos R \end{bmatrix} \quad (1)$$

일반적으로 오일러 회전각은 Gimbal Lock[8]이라는 문제를 발생시킨다. Gimbal Lock은 자세의 특정 상황에서 한 축의 회전 자유도를 상실하는 현상을 말한다. 식(1)에서 파라미터 $P = \pi/2$, 즉 90도가 되는 경우 식(1)은 식(2)처럼 된다. 이때 식(2)는 오직 하나의 각(R-Y)에만 종속되어 있으므로 결과적으로 하나의 자유도를 상실하게 된다.

$$E\left(Y; \frac{\pi}{2}, R\right) = \begin{bmatrix} 0 & \sin R \cos Y - \cos R \sin Y & \cos R \cos Y + \sin R \sin Y \\ 0 & \sin R \sin Y + \cos R \cos Y & \cos R \sin Y - \sin R \cos Y \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & \sin(R-Y) & \cos(R-Y) \\ 0 & \cos(R-Y) & -\sin(R-Y) \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Gimbal Lock의 문제를 해결하기 위해서 사원수(Quaternion)를 사용할 수 있다. 사원수는 복소수를 확장한 것으로 회전이나 방향지정에 뛰어난 성능을 발휘한다. 사원수는 $\hat{q} = a + bi + cj + dk$, 단 $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$ 로 표현된다. 사원수 $q = [w, x, y, z]$ 를 이용하여 식(3)과 같은 변환행렬(Transformation Matrix)을 만들 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 1 - 2y^2 - 2x^2 & 2xy - 2wz & 2xy + 2wy \\ 2xy + 2wz & 1 - 2x^2 - 2z^2 & 2yz - 2wx \\ 2xz - 2wy & 2yz + 2wx & 1 - 2x^2 - 2y^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

자세센서는 고정밀 팬(Pan)/틸트(Tilt) 센서와 IMU(Inertial Measurement Unit)로 구성되어 있다. 고정밀 팬/틸트 센서는 카메라 헤드의 팬, 틸트 센서 및 카메라 렌즈의 줌(Zoom), 포커스(Focus) 센서의 사용 관점의 요구사항과 카메라가 연결되어 자료를 획득(SPU: Signal Processor Unit) 및 전송(SDR: Sensor Data

Receiver)하는 장치로, 시스템이 수신할 수 있는 형태의 신호로 변환하는 인코더 역할을 한다. 이 인코더는 절대적인 위치를 출력시키는 Absolute 형과 상대적인 위치 초기 값에 비하여 증가 또는 감소된 위치의 양만 출력시키는 Incremental 형이 있다. 본 논문에서는 절대적인 위치를 측정하기 위해서 Absolute 형을 사용하였다.

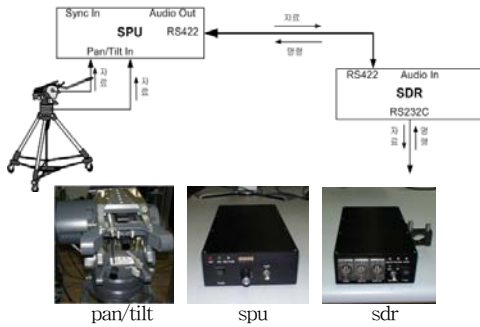


그림 4. 카메라 센서시스템 구성도

IMU는 3-자유도(DOF; Degree Of Freedom)를 표현할 수 있는 관성 오리엔테이션 기준 시스템으로, 본 논문에서는 상대 또는 절대 자세를 제공하는 InterSense InertiaCube3 시스템[9]을 사용하였다. 이 시스템은 모든 축에서 360도 소스리스(sourceless) 트래킹과, 9개의 소형 센서로 구성되어 있으며 칼만 필터링(Kalman filtering) 알고리즘을 이용한다. InertiaCube3는 절대자세를 생성하기 위해서 GEOS알고리즘을 사용한다. 처리 흐름은 그림 5와 같다. 기본적으로 자이로(gyroscopic)로부터 회전각(그림 5에서 파라미터 w_x, w_y, w_z)을 계산한다. 이것은 매우 빠르고 고휘상도로 제공된다. 가속도계(accelerometer)(그림 5에서 파라미터 a_x, a_y, a_z)와 자기력계(magnetometer, 그림 5에서 파라미터 m_x, m_y, m_z)는 지구 중력과 자기장에 대하여, 자이로의 드리프트 에러 누적을 제거하여 회전 값을 안정화하는데 사용된다. 칼만 필터는 가속도계의 측정치에서 중력을 제외한 실제 동작을 찾는 알고리즘을 사용한다.

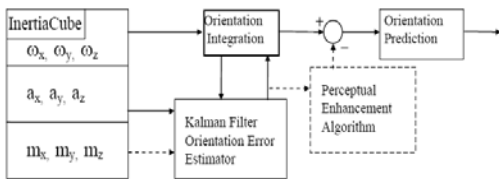


그림 5. InertiaCube3 시스템 처리 흐름도

3.2 카메라 연동 센서 기반 트래킹

3.2.1 카메라 영상 데이터 획득 및 보정기술

실사 공간이 카메라에 의해 평면인 영상으로 맺혀지는 과정은 렌즈의 광학적 성질과 카메라의 기계적인 성질로

설명된다. 이러한 렌즈의 광학적 성질과 카메라의 기계적인 성질을 과정을 수학적 모델에 적용하여 해석함으로써 영상에 가상의 물체를 그려 넣을 수 있다. 이렇게 카메라의 성질을 수학적 모델로 해석하는 과정을 카메라보정(camera calibration) 이라고 한다. 카메라의 성질은 3차원 공간의 한 점이 영상에 어떻게 맺혔는가를 해석함으로써 얻어진다. 그러므로 3차원공간의 한 점에 대응하는 영상의 한 점을 결정할 필요가 있으며, 이 같은 과정을 용이하게 하기위해 격자무늬 또는 원형 패턴정보를 이용한다. 격자무늬 또는 원형 패턴 영상으로부터 정확한 점을 추출하기 위해 Corner 점 및 Blob 검출기술이 필요하다. 이렇게 얻어진 영상에서의 정보와 실제 3차원 공간사이의 관계로부터 카메라의 성질을 얻어낸다[10][11].



그림 6. 카메라 파라미터 추정 실험 결과

3.2.2 카메라 영상과 센서 데이터 연동

카메라로 입력된 영상과 위치/자세 센서로부터 입력된 데이터를 이용해 카메라 자세를 계산한다. 본 논문에서는 Perspective Projection Camera Model을 사용한다. 그림에서 공간상의 3D 점 $M = [X, Y, Z]^T$ 는 유클리드 세계 좌표계로 표현되고 대응하는 이미지의 2D 점 $m = [u, v]^T$ 는 $s = P$ 로 표현된다. s 는 배율, homogeneous 좌표 표현으로 $s = [u, v, 1]^T$, $s = [X, Y, Z, 1]^T$ 그리고 P 는 3×4 투영 매트릭스이다. P 는 원근투영 매트릭스로서 다음과 같이 분해될 수 있다:

$$P = K[R|t] \tag{4}$$

여기서 K 는 3×3 카메라 내부 파라메타와 관련된 캘리브레이션 매트릭스이고 $[R|t]$ 는 3×4 외부 파라메타이며 세계좌표계에서 카메라중심 좌표계로의 변환이다. R 은 3×3 회전 매트릭스이며 t 는 이동 매트릭스이다.

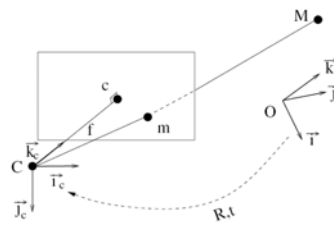


그림 7. Perspective Project Camera Model

카메라 캘리브레이션 매트릭스는 카메라의 내부 파라메타(intrinsic camera parameters)를 포함하고 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$K = \begin{bmatrix} a_u & s & u_0 \\ 0 & a_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 a_u 와 a_v 는 각각 u-와 v-좌표 방향의 배율이다. $c = [u_0, v_0]$ 는 카메라의 광학원점 (Principal Point)이다. s 는 기울임(skew) 값으로 일반적으로 0이 된다. 카메라 모델을 실제 영상과 일치시키기 위해서는 일반적으로 렌즈왜곡을 보정해야 한다. 렌즈왜곡 중에 radial distortion를 측정한다. 왜곡 보정에는 1차 항까지 적용하여 영상을 복구한다[12].

본 논문에서 사용하는 지리 공간 좌표계는 기준좌표계임으로 위치/자세 센서를 통하여 카메라의 기준좌표계 좌표를 획득하고 방향의 절대 값을 얻는다. 또한 표현하고자 하는 3D GIS 모델 역시 동일한 좌표계를 사용한다. 따라서 카메라 내부 파라메타를 적용한 가상 카메라와 3D 모델을 기준좌표계 상에 배치할 수 있다. 이렇게 함으로써 영상과 중첩(또는 증강)되는 3D 렌더링된 모델을 생성할 수 있게 된다. 센서를 이용한 가상카메라는 몇 가지 에러를 내포하고 있다. 첫째, 위치에 에러가 있다. 아무리 정밀한 RTK-DGPS를 사용한다 하더라도 몇 cm의 오차는 발생하며 이동하는 상황에는 에러가 커지게 된다. 본 논문에서는 위치에러를 고려하지 않는다. 몇 cm의 오차는 영상에서 3D 모델의 위치에 크게 영향을 미치지 않는다. 하지만 해결해야 할 것은 위치 값의 지속적인 변동이다. 정밀 측량과 같은 고정위치 상황에서는 위치의 누적 값을 이용한다. 고정 또는 이동하는 상황에서 위치 값의 지속적인 변동은 가상카메라를 미세하게 떨리게 하고, 따라서 영상에 중첩된 3D 모델이 떨리게 된다. 이를 해결하기 위하여 위치 값을 필터링하여 부드러운 움직임이 되도록 한다. 둘째는 자세의 에러이다. Digital compass의 제한에 의하면 ±0.5도의 변동이 있을 수 있다. 위치

에러와는 달리 자세의 에러는 큰 시각적 불일치를 가져올 수 있다. 수평해상도 640 픽셀과 수평시야각이 50도인 카메라의 경우 0.5도의 변동은 대략 6.4 픽셀에 해당한다. 우리는 이것을 비전기반 트래킹방법으로 보정하였다[13].

3.3 3차원 공간정보 합성

증강현실을 위한 3차원 공간정보 합성을 위한 데이터 구조를 AR data라고 정의 하였다. AR data는 스테레오 카메라 영상과 카메라의 위치, 자세, 보정 정보를 포함하는 구조로 되어 있고 3D GIS 모델은 AR data에 증강되어 렌더링 되어 진다. 렌더링 모드에는 모노 및 입체영상을 제공함으로써 사용자가 현장에서 사실감 있는 영상을 볼 수 있게 하였다.

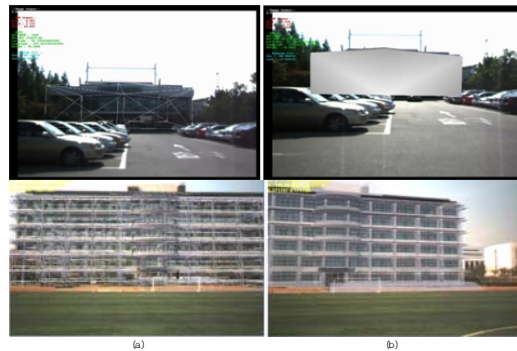


그림 8. AR Data와 3D GIS 모델 합성 결과 :

- (a) wire frame
- (b) solid(상: 엑스포 시네마타운, 하: ETRI 7동)

4. u-GIS 야외 증강현실 시스템

4.1 u-GIS 증강현실 시스템 설계

본 논문에서 개발한 시스템의 설계 및 구성은 그림 9와 같고 표 1에서 각각에 대해 설명하였다.

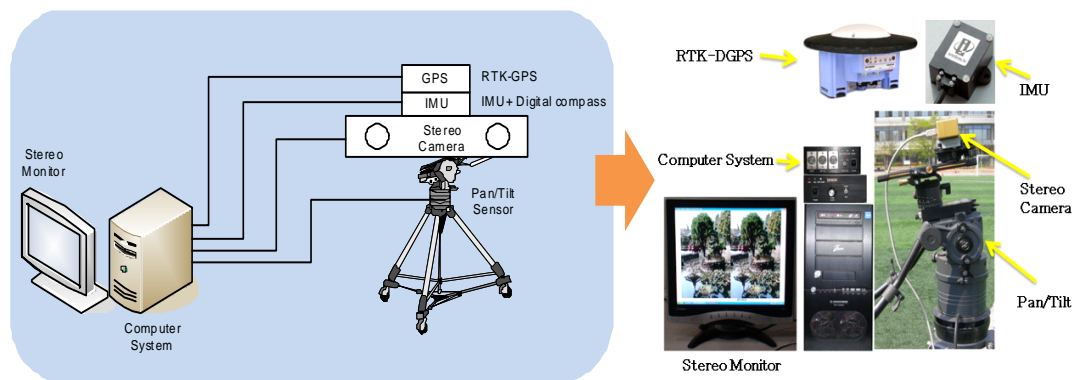


그림 9. 제안하는 u-GIS 증강현실 시스템 구성도

표 1. 시스템 구성항목

품 목	내 용
Computer system	영상 및 센서 정보를 수신하여 처리하고 u-GIS자료를 u-GIS data service system으로부터 획득하여 영상에 u-GIS 정보를 표현한다.
StereoMonitor	입체 영상 표현이 가능하고 실제 영상 및 증강된 u-GIS 정보를 입체로 디스플레이 한다.
Pan/Tilt Sensor	삼각대와 카메라 헤드에 장착된 센서이다. 카메라의 자세를 Pan과 Tilt 모션으로 인식하여 기준 자세로 부터의 변화를 수치화 하여 전송한다.
Stereo Camera	2시점 스테레오 영상을 제공한다. (영상사이즈 640X480)
IMU+Digital Compass	카메라의 자세를 pitch/yaw/roll 모션으로 인식하여 수치화한다. digital compass는 자북방향을 알려준다. (오차범위 yaw 1 도, pitch & roll 0.25도)
RTK-DGPS:	정밀한 카메라 위치를 월드 좌표계로 제공한다. (오차범위 1~2cm)

4.2 u-GIS 증강현실 시스템

그림 9의 시스템을 구성하는 장비들을 하나의 장착치구에 결합한 프로토타입을 그림 10에서 보여주고 있다. 팬/틸트 센서를 기준으로 하단은 컴퓨터 시스템이 들어가고 상단은 GPS 및 스테레오 모니터 그리고 스테레오 카메라와 IMU 센서가 들어간다. 최종 개발된 시스템은 그림 11에 보여주고 있다.



그림 10. 증강현실 디스플레이 프로토타입



그림 11. u-GIS 야의 증강현실 시스템

5. 결 론

본 논문에서는 u-GIS 공간정보와 3D GIS 모델을 합성 또는 증강하여 시각화하는 u-GIS 야의 증강현실 시스템 개발에 관한 연구를 소개하였다. 정밀 위치/자세 센서와 스테레오 영상, 3D 모델을 이용해 공간정보만으로 표현하기 어려운 시각화 부분의 부가정보를 제공해 줌으로써 건설현장의 공정관리 및 기타 증강현실로 표현해 줄 수 있는 다양한 정보 가시화를 통해 기존의 GIS 기반 가시화의 한계를 극복하고 현장성과 실시간성을 필요로 하는 다양한 프로젝트에 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 센서정보의 정밀도를 유지하면서 사용자 휴대 편의성을 고려한 시스템 소형화 및 경량화가 필요하고 다양한 3D GIS 모델 및 건물 BIM(building information modeling) 데이터 구축이 선행되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] D. Sonnen, "Worldwide Spatial Information Managenemt 2005-2009 Forecast and 2004 Vendor Shares," IDC Market Report, 2005.
- [2] 정문섭, 최용복, "국가 GIS 증장기 정책방향에 관한 연구," 한국공간정보시스템학회 논문지, 제8권 제3호, 2006.
- [3] 하수옥, "국가 GIS 표준화분과 운영 방안 및 증장기 표준화 세부 추진계획 수립을 위한 연구," 한국정보사회진흥원 연구보고서, 2006,
- [4] 류근원, 김근한, 김혜영, 전철민, "3차원 GIS를 활용한 도시소음 시각화에 관한 연구," 한국공간정보시스템학회 논문지, 제9권 제3호, 2007.
- [5] <http://www.vistadtproject.org/site/vista/public/home>
- [6] <http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/vidente/>
- [7] <http://www.navcomtech.com/>
- [8] D.Hoag, "Considerations of Apollo IMU Gimbal Lock," MIT Instrumentation Laboratory

- Document E-1344. April 1963.
- [9] <http://www.isense.com/>
- [10] Gou-Qing Wei, Song De Ma, "Implicit and Explicit Camera Calibration Theory and Experiments," Proc. IEEE PAMI, Vol.16, No.5, 1994
- [11] Z.Zang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," Technical Report, Microsoft Research, 1998.
- [12] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge University Press. 2000.
- [13] M. Pollefeys, "Tutorial on 3D Modeling from images, Lecture notes," In conjunction with ECCV 2000, Dublin Ireland, 2000.