

4D 증강현실시스템(D⁴AR) 4-Dimensional Augmented Reality System



신도형 인하대학교 사회기반시스템 공학부 교수

1. 서론

증강현실(Augmented Reality)란 현실(Reality)과 가상현실(Virtual Reality) 사이의 현실과 가상이 혼재된 공간을 말한다. 증강현실이란 개념은 1960년대에 시작되었으나 본격적으로 연구되기 시작한 건 IT기술이 발전한 1990년대부터이다.

증강현실은 1990년대부터 엔터테인먼트, 의료, 군사, 커뮤니케이션, 디자인 등의 분야에서 활발하게 연구되어 왔다. 특히 스포츠 방송과 군사분야에서는 이미 상용화에도 성공하였다. 건설분야에서도 2000년대 들어서 증강현실의 잠재성을 주목하기 시작하였으나 아직은 관련된 증강현실의 연구들이 초기단계를 지나고 있는 실정이다.

건설을 위한 증강현실의 연구는 도시계획, 설계, 시공, 유지관리 등의 건설사업 전 분야에 걸쳐서 이루어져 왔으나 주로 설계와 유지관리 분야가 많은 관심을 받았었다.

최근 들어서는 증강현실을 시공단계에 적용하는 연구가 꾸준히 나오고 있다. 시공의 단위작업이 가지는 증강현실의 이점분석 (Shin and Dunston 2008), 강기둥 시공검사를 위한 증강현실 시스템 (Shin and Dunston 2009), 증강현실을 이용한 현장에서의 시공법 시뮬레이션 (Kamat and Martinez 2008), 증강현실에 기반한 4D CAD (Golparvar-Fard et al. 2009) 등을 대표적인 사례로 들 수 있겠다.

본 기사에서는 증강현실에 기반한 4D CAD 시스템인 Golparvar-Fard et al. (2009)의 4D 증강현실시스템(D⁴AR)을 소개하고자 한다.

2. D⁴AR 개요

D⁴AR은 정보수집, 분석, 기록, 보고로 구성되어 있는 시공진행상황 감시작업을 자동화하고 수집된 정보를 이해하기 쉽게 시각화하는데 초점을 두고 있다.

현 단계의 D⁴AR 시스템에서는 정보수집의 자동화가 구현되고 있으며 추후 분석과정의 자동화에 연구초점을 둘 것으로 보인다. D⁴AR의 기본개념은 현장의 실제 이미지와 설계 모델인 4D모델을 중첩시키는 것이다. D⁴AR에서 제시한 방법은 별도의 트래킹 시스템을 사용할 필요성을 없앤 대신 증강현실의 실시간 구현은 제한하고 있다. 좁은 의미에서의 증강현실에선 가상 이미지와 실상 이미지의 중첩이 실시간으로 이루어져야 하나 그렇지 않다 하더라도 통상 넓은 의미의 증강현실에는 포함된다. Shin and Dunston (2008)은 시공의 다양한 단위작업들이 증강현실을 통해 갖을 수 있는 이점을 기술적합성에 기반하여 분석하였는데 코디네이트 작업이 비실시간 증강현실을 통해서 이점을 가질 수 있음을 보였다. 이 같은 연구결과가 D⁴AR의 개념을 지지해 준다고 할 수 있다.

D⁴AR은 시공진행상황의 정보수집을 위해서 건설현장의 다양한 모습을 촬영한 디지털 사진 이미지들을 이용하였다. 건설현장의 사진 이미지에서 창틀 모서리나 벽체 모서리와 같은 이미지의 피쳐(Feature)들을 자동적으로 찾아내어 사진들 사이에 공통된 피쳐를 매칭시킨다. 매칭된 피쳐들을 이용하면 사진들끼리 픽셀기반의 2차원적인 연결은 이루어지나 이미지가 3차원으로 재구성되는 것은 아니다. 이를 해결

하기 위해 D⁴AR은 SfM(Structure from Motion)을 이용하여 각 사진을 촬영한 디지털 카메라의 파라미터를 계산하였다. 이것은 사진 속의 매칭된 피쳐들의 3차원 공간위치를 추정할 수 있음을 뜻한다. 이러한 방법으로 현장 사진들을 통하여 시공진행상황을 3차원으로 재구성해 볼 수 있게 된다. 3차원으로 재구성된 이미지를 계획된 4D 모델에 중첩해서 보기 위해서 4D 모델의 좌표기준에 재구성된 이미지의 좌표가 맞추어졌다. 그러면 각 단계별 작업을 좀더 상세하게 살펴 보도록 하겠다.

3. 피쳐의 인지와 매칭

디지털 사진 이미지에서 피쳐를 자동적으로 인지하고 매칭하는 알고리즘은 컴퓨터과학 분야의 이미지 프로세싱에서는 보편화 되어있고 연구도 활발히 진행되고 있다. D⁴AR은 피쳐 인지와 매칭을 위해서 Lowe(2004)의 SIFT (Scale Invariant Feature Transforms) 알고리즘을 도입하여 사용하였다.

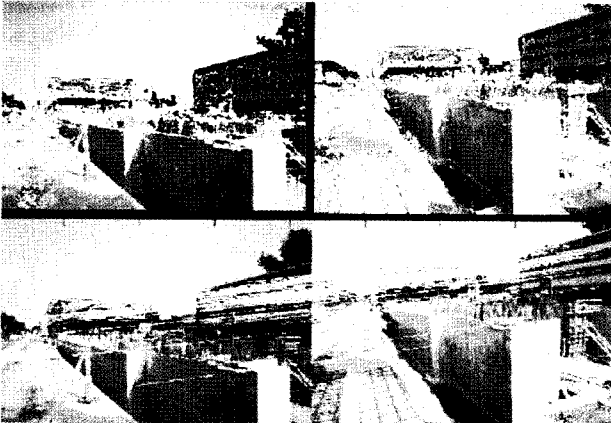


그림 1. SIFT를 사용한 사진 속 장면 피쳐 인지와 매칭 (Pena-Mora and Golparvar-Fard 2009)

D⁴AR의 테스트를 위하여 일리노이 주립대학의 학생기숙사 건설현장 사진 160개를 사용하여 각 사진에서의 피쳐를 인지하고 피쳐들을 매칭해 나갔다. 그림 1은 각기 다른 두 장의 사진에서 SIFT를 이용하여 피쳐를 인지하고 매칭하는 것을 보여주고 있다. 그림 1의 위 사진들은 인지된 피쳐들이 점으로 표현된 것이고 아래 사진은 각 매칭을 직선으로 표현한 것이다. 피쳐의 매칭은 두 장의 사진씩 순차적으로 160개의 사진에 걸쳐서 시행되었다. 만약 전혀 다른 장면을 가진 두 장의 사진을 비교한다면 매칭되는 피쳐가 전혀 없을 것이

다. 이러한 경우는 두 장의 사진 각각의 장면 일부분을 공유하고 있는 또 다른 사진을 통하여 간접적으로 연결되는 것이다. 이러한 방식으로 160개의 사진은 피쳐 매칭을 통하여 직간접적으로 연결되었다.

4. Structure from Motion

위에서 설명한 사진 이미지 속 피쳐의 인식과 매칭을 통하여 160개의 사진을 연결한 이유는 궁극적으로 이를 통하여 시공진행상황을 3차원으로 재구성하기 위함이다. 만약 각각의 사진을 촬영한 카메라의 위치와 방향으로 구성된 외부 파라미터(Extrinsic Parameter)와 초점거리와 렌즈의 Distortion으로 구성된 내부 파라미터(Intrinsic Parameter)를 알 수 있다면 두 장 이상의 사진에서 매칭된 피쳐의 공간 위치를 추정할 수 있게 된다.

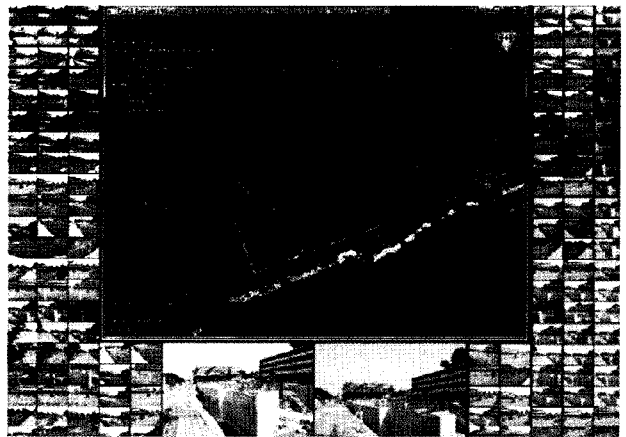


그림 2. D⁴AR에 사용된 160개의 이미지와 이를 통해 재구성된 건설현장의 모습 (Pena-Mora and Golparvar-Fard 2009)

동일한 내부 파라미터를 가진 카메라로 공통된 피쳐들을 가진 다수의 사진을 찍은 후 SfM 알고리즘을 적용하면 카메라의 초점거리와 Distortion과 각 사진의 카메라의 위치와 방향을 추정할 수 있게 된다. SfM 알고리즘은 컴퓨터과학 분야에서 많은 연구가 진행되고 있는데 Snaveely et al. (2008)이 제안한 알고리즘이 대표적인 사례라 할 수 있다. 문제는 내부 파라미터가 서로 다른 카메라들로 촬영한 사진들이 혼재되면 변수가 너무 많아져서 수렴된 카메라 파라미터를 얻을 수 없다는 것이다. 이를 해결하기 위해 D⁴AR은 각각의 카메라에서 촬영된 사진파일에 카메라의 인식번호(ID)를 알려주는 고유의 태그(Tag)를 붙였다. 이를 통하여 160개의 사진파일 중에 각각 카메라에서 얻은 사진을 추려내어 카메라들의 파라

미터를 계산하는 방법을 고안하였다. 이는 하나의 카메라만 사용하기 힘든 건설현장에 대응한 실용적인 접근법이라 할 수 있겠다.

이러한 방법으로 160개의 사진에 포함된 카메라들의 내부 파라미터와 각 사진의 카메라 외부 파라미터가 계산되고 매칭된 피쳐들의 공간적인 위치가 추정되는 것이다. 여기서 유의할 점은 피쳐들의 추정된 위치는 절대적 좌표에 기준한 것이 아닌 상대적인 위치라는 것이다. 그림 2는 D⁴AR의 테스트를 위해 사용된 학생기숙사 건설현장의 160개 사진 이미지와 이를 통하여 재구성된 건설현장의 모습이다. 재구성된 건설현장의 모습은 매칭된 피쳐들을 기반으로 하기 때문에 레이저 스캐닝을 통해서 구성된 것처럼 점으로 이루어진 것을 알 수 있다.

그럼 여기서 한가지 의문점이 들 수도 있을 것이다. 이렇게 사진들을 통해서 시공진행상황 이미지를 재구성한다면 왜 레이저 스캐너를 사용하여 재구성하지 않는가? Goparvar-Fard et al. (2009)는 이에 대한 이유를 설명하였다. 우선 레이저 스캐너는 고가이고 숙련된 기술자가 필요하다는 것이다. 또한 시공 중 발생하는 장비, 자재, 인력의 이동에 의하여 시야에 장애가 생기고 이는 많은 노이즈를 수반하게 한다는 것이다. 이를 피하려면 결국 충분한 시야확보를 위해 레이저 스캐너를 자주 옮기는 수 밖에 없는데 이는 장비 세팅에 많은 시간을 요구하게 된다. 마지막으로 현장사진은 현장관리를 위하여 기존에도 많이 촬영되고 있다는 것이다. 어차피 기존에도 촬영되고 있는 현장사진들을 사용한다면 훨씬 효과적이라는 논리인 것이다.

5. 지리적 등록

앞서 설명했듯이 SfM은 각 사진을 찍은 사진기의 상대적 위치를 기반으로 매칭된 피쳐의 공간적 위치를 추정하기 때문에 피쳐의 위치는 상대적인 위치가 된다. D⁴AR의 궁극적인 목적인 현장의 이미지(As-built Scene)와 계획모델(As-planned Model)을 비교하기 위해서는 기준좌표를 가지고 있는 계획모델에 재구성된 현장의 이미지를 변형 매트릭스를 적용하여 맞추어 줄 필요가 있다.

D⁴AR은 재구성된 현장의 3차원 이미지에 변형 매트릭스

를 적용하여 계획모델과 비교하면서 현장이미지의 피쳐들과 그에 상응하는 계획모델상의 점들의 위치 차이가 최소화 되는 변형 매트릭스를 선택하였다. 이렇게 실제의 이미지와 가상의 이미지를 결합하는 것을 증강현실에서는 등록(Registration)이라고 부른다.

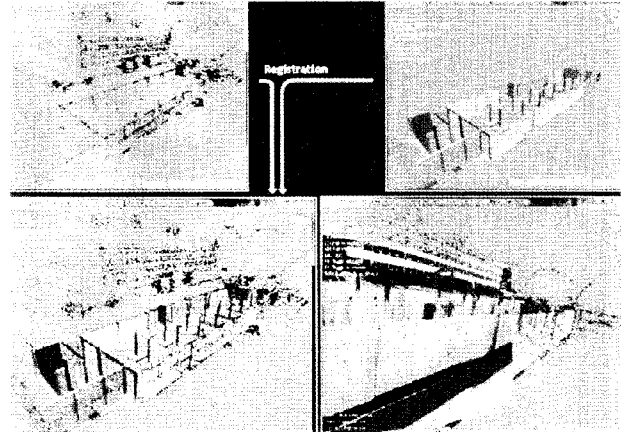


그림 3. 재구성된 현장 이미지와 설계모델의 등록 (Pena-Mora and Golparvar-Fard 2009)

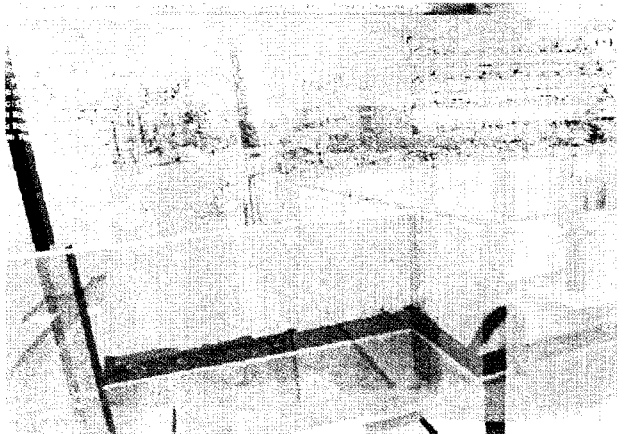


그림 4. 현장사진과 설계모델의 중첩된 이미지 (Pena-Mora and Golparvar-Fard 2009)

D⁴AR에서는 계획모델로서 공정과 연동된 3D 모델인 4D 모델을 사용하였다. 이는 4D 모델이 공정에 따라 계획된 시공상황을 3차원으로 보여주므로 시공진행상황을 비교하는 공간적·시간적 기준으로서 적합하기 때문이다.

재구성된 현장 이미지와 설계모델의 등록이 완료된 후 등록된 모델의 관측지점을 바꿀 때 관측지점과 매칭되는 카메라 외부 파라미터가 있으면 그에 해당되는 현장사진을 재구성된 현장 이미지와 설계모델의 합성 이미지 위에 중첩시킨다. 그림 3은 등록의 단계를 보여주고 있다. 4는 현장사진과

설계모델의 중첩 이미지 (D⁴AR 이미지)를 보다 상세히 보고 여주고 있다.

6. 적용분야

Goparvar-Fard et al. (2009)는 D⁴AR의 적용가능분야를 크게 3가지로 정리하였다.

첫째는 원거리 시공감독을 위한 의사결정이다. D⁴AR를 이용하여 프로젝트 관리자나, 공사담당자 또는 다른 프로젝트 참여자가 실제 현장에 있는 것처럼 시공현장을 가상으로 둘러보고 시공감독을 위한 적합한 의사결정을 내릴 수 있을 것이라고 보았다.

둘째는 시공상황 설명을 위한 시간이 줄 것이라는 것이다. 이미 재구성된 현장 이미지와 거기에 중첩된 현장사진들이 있으므로 시공상황을 설명할 필요가 줄어든다. 대신 이러한 자료를 이용하여 어떻게 감독을 할 것인가에 대한 의사결정에 더 많은 시간을 할애할 수 있을 것이라고 보았다.

셋째는 프로젝트의 담당임원과 건축사의 출장시간과 여비가 감소할 것이라는 것이다. 프로젝트의 담당임원과 건축사는 D⁴AR을 사용하여 시공진행상황을 판단할 수 있으므로 이를 위하여 직접 건설현장을 방문하기 위한 출장이 줄어들 것이라고 보았다.

7. 추후과제

현재까지 D⁴AR의 연구는 정보수집의 자동화 구현에 초점을 두었다. 하지만 시공진행상황 감독작업을 자동화하기 위해서는 정보수집뿐만 아니라 분석, 기록, 보고단계의 자동화도 필요하다. Goparvar-Fard et al. (2009)는 추후 분석 단계의 자동화에 초점을 둘 것이라고 밝혔다. 그들이 제시한 방법은 재구성된 현장 이미지와 설계모델의 비교를 자동화해서 달성된 상황 정도를 색상으로 구분하겠다는 것이다.

D⁴AR의 한계점으로는 현장의 이미지 재구성을 위해서는 많은 수의 현장사진이 필요하다는 것이다. 비록 기존에도 시

공상황의 기록을 위해서 현장사진을 촬영해왔지만 현장전반의 이미지를 구성하기 위해서는 훨씬 포괄적이고 다수의 사진이 필요할 것이다. 이번에 시행된 D⁴AR의 테스트에도 160장이라는 적지 않은 개수의 현장사진을 사용하였다. 매일 바뀌는 시공진행상황을 제대로 반영하기 위해서는 그와 유사한 개수의 사진을 매일 촬영하여 업데이트할 필요가 있을 것으로 보인다. 다수의 사진을 매일 촬영한다는 것은 분명 실용화에 장애물이 될 가능성이 크다.

이러한 문제점의 대응 방안으로 디지털 카메라 대신 디지털 캠코더를 이용하는 것을 고려해 볼 수 있을 것이다. 캠코더는 정적 이미지 대신 동적 이미지를 제공함으로써 적당한 관측점들을 선정한다면 훨씬 용이하게 현장 이미지의 재구성에 필요한 다수의 자료를 제공할 수 있을 것이다. 실제로 디지털 캠코더를 사용한 실제 구조물의 이미지 재구성 알고리즘들이 컴퓨터과학 분야에 존재하는 만큼 이를 도입하여 적용하는 데에는 큰 어려움이 없을 것으로 생각된다.

8. 결론

D⁴AR은 기술적인 제약에도 불구하고 시공진행상황 감독을 위한 증강현실의 가능성을 실제 시스템을 통하여 보여준 데에 큰 의의가 있다. 또한 아직 건설분야에서는 생소한 Structure from Motion 알고리즘을 도입하여 복잡한 트래킹 시스템 없이 증강현실을 구현한 새로운 아이디어를 제시하였다. 트래킹 시스템이 증강현실 시스템의 실용화에 가장 큰 장애물이 되고 있는 만큼 실용 가능성에 큰 진전을 이뤄낸 것으로 보인다. 물론 이러한 방법으로는 실시간 증강현실을 구현할 수 없다는 제한이 있지만 시공진행상황 감독을 위해서는 굳이 실시간 증강현실이 필요 없다고 판단되는 만큼 의미가 있는 접근이라고 본다.

추후 D⁴AR은 재구성된 현장 이미지와 설계모델을 비교하여 공정에 따른 시공진행상황 분석의 자동화에 초점을 둘 것으로 보인다. 자료수집에서 다수의 사진촬영으로 인한 한계점이 해결되고 분석의 자동화가 구현된다면 D⁴AR의 실용화는 가까운 미래에 이뤄질 것으로 보인다. 이는 시공진행상황 감독작업을 훨씬 용이하게 할 뿐만 아니라 건설분야의 증강현실 연구에도 중요한 이정표가 될 것이라고 생각한다.

참고문헌

Golparvar-Fard, M., Pena-Mora, F., Arboleda, C., and Lee, S. (2009). "Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs." *Journal of Computing in Civil Engineering*, In press.

Kamat, V., and Martinez, J. (2008). "Software mechanisms for extensible and scalable 3D visualization of construction operations." *Advances in Engineering Software*, 39(8), 659~675.

Lowe, D. (2004). "Distinctive image features from scale-invariant keypoint." *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91~110.

Pena-Mora, F., and Golparvar-Fard, M. (2009). "Interactive Visualization and Automation of Construction Progress Monitoring using D⁴AR." Keynote Speech of ICCEM-ICCPM 2009, Jeju, Korea.

Snavely, N., Seitz, S., and Szeliski, R. (2008). "Modeling the world from internet photo collections." *International Journal of Computer Vision*, 80(2), 189~120.

Shin, D., and Dunston, P. S. (2008). "Identification of Application Areas for Augmented Reality in Industrial Construction Based on Technology Suitability." *Automation in Construction*, 17(7), 882~894.

Shin, D., and Dunston, P. S. (2009). "Evaluation of Augmented Reality in Steel Column Inspection." *Automation in Construction*, 18(2), 118~129.

· 신도형 e-mail : dshin@inha.ac.kr