

컴퓨터 비전 기술을 활용한 건설 안전보건 관리¹⁾ (Computer Vision Techniques for Construction Safety and Health)

KICEM



서준호 Hong Kong Polytechnic University, Department of Building and Real Estate, 조교수

I. 서론

최근 들어 자동화된 건설사업관리를 위하여 컴퓨터 비전 (computer vision) 기술을 도입하는 노력들이 많이 시도되고 있다. 이미지 프로세싱 (image processing)을 통하여 비디오 이미지에서 유용한 정보를 추출해 내는 컴퓨터 비전 기술은 RFID나 GPS와 같은 위치 기반 센싱 기술들에 비하여 건설 현장에 대한 보다 다양한 정보들을 제공함으로써 건설 진도관리, 생산성 분석, 품질관리 등 다양한 분야에 적용가능성을 보여주고 있다 (Golparvar-fard and Peña-Mora 2007; Gong and Caldas 2009; Yu et al. 2007; Brilakis et al. 2011; Taneja et al. 2011). 특히, 작업 환경, 장비 및 작업자의 위치, 작업 종류 등 다양한 정보들을 바탕으로 복합적인 의사결정이 필요로 되는 건설 작업자의 안전 및 보건 모니터링에 있어서 컴퓨터 비전 기술의 효용성이 매우 높다. 이에 본 고에서는 컴퓨터 비전 기술을 활용한 자동화된 건설 안전 및 보건 모니터링에 관한 최신 연구 동향에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

II. 건설 안전 및 보건 모니터링에 있어서 컴퓨터 비전 기술의 역할

건설 프로젝트의 복잡성, 불확실성 및 변동성 등으로 인하여, 건설작업자들은 끊임없이 위험한 작업 환경에 노출되어 있다. 이에 따라 보다 안전한 건설 현장 구현을 위해서는 지속적인 모니터링을 통하여 불안정한 현장 상황 (unsafe conditions)과 작업자의 위험 행동 (unsafe acts)의 조기 발견 및 제거가 필수적

이다. 이러한 모니터링은 대부분 소수의 현장에 상주하고 있는 안전관리자나 현장 엔지니어들에 의한 직접 관찰을 통하여 행해지는 경우가 일반적이다. 컴퓨터 비전 기술은 인력에 의한 모니터링 노력을 이미지 센서와 알고리즘으로 대체하는 것을 목표로 한다.

건설 안전 및 보건 모니터링을 위한 컴퓨터 비전 기술은 표1과 같이 이미지에서 추출할 수 있는 정보의 종류에 따라 크게 1) 장면 기반 (scene-based), 2) 위치 기반 (location-based), 및 3) 행동 기반 (action-based) 기술로 구분될 수 있다. 현장의 이미지 정보는 기 설치된 현장 감시용 카메라나 이동식 비디오 카메라, 다양한 3D 이미지 센서 등을 통하여 수집이 가능하다. 획득된 이미지 정보는 이미지 처리 기술을 활용하여 컴퓨터 알고리즘이 처리 가능한 디지털 정보로 변환이 되고, 이를 분석함으로써 건설 안전 및 보건 모니터링을 위한 정보 (장비, 작업자 및 자재 위치, 동작 정보 등)들을 추출해 낸다.

표 1. 건설 안전 및 보건 모니터링을 위한 컴퓨터 비전 기술의 역할

구분	방법론	관련 기술
장면 기반 (Scene-based)	<ul style="list-style-type: none"> 정지된 이미지 분석을 통하여 현장의 불안전 상황 및 행동의 인식 예시: 안전모 미착용 작업자 인식, 불안전 적재 자재 식별 	물체 인식 기술 (Object Detection)
위치 기반 (Location-based)	<ul style="list-style-type: none"> 장비 및 작업자의 위치 및 이동 경로 분석을 통한 불안전 상황 및 행동 분석 예시: 장비 작업 반경 내의 작업자 인식, 위험 지역 내의 작업자 식별 	위치 추적 기술 (Object Tracking)
행동 기반 (Action-based)	<ul style="list-style-type: none"> 장비 및 작업자의 동작 인식을 통한 위험 행동 인식 예시: 장비의 불안정한 움직임 분석, 작업자의 부적절한 자세 분석 	동작 인식 기술 (Action Recognition)

1) 본 원고는 저자의 기 발간된 학술 논문 (Seo et al. 2015)에서 발췌, 요약되었음.

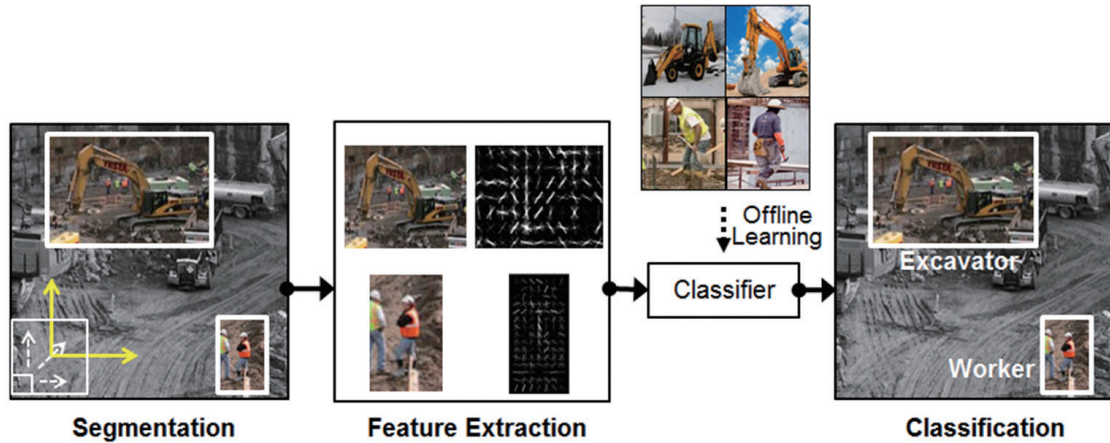


그림 1. 물체 인식 알고리즘

III. 최신 연구 동향

1. 물체 인식 기술 (Object Detection)

컴퓨터 비전 기술을 활용하여 복잡한 건설 현장을 분석하기 위해서는 이미지 상에 어떠한 프로젝트 요소 (장비, 작업자, 장애 등)들이 존재하는지 알아내는 것이 선행되어야 한다. 이 때 활용되는 기술이 물체 인식 기술로서, 기본적으로 기계 학습 (machine learning) 알고리즘을 이용한다. 그림 1과 같이, 이 컴퓨터 비전 기술은 1) 먼저 수집된 현장 이미지를 수많은 작업 이미지들로 구분한 후 (segmentation), 2) 각 세부 이미지를 대표하는 특성 정보를 추출하고 (feature extraction), 3) 기 구축된 이미지 데이터 베이스의 특성 정보를 활용하여 학습된 분류 알고리즘 (learned classifier)을 이용하여 이미지 상에 존재하는 다양한 프로젝트 요소들을 자동으로 분류한다 (classification).

물체 인식 기술은 이미지 상에서 안전모 등 안전장비를 갖추지 않은 작업자들을 자동으로 식별하기 위한 목적으로 활용될 수 있으며 (Du et al. 2011), 건설 장비 운전자에게 사각지대에서 장비에 접근하는 작업자에 대한 정보를 제공해 줌으로써 장비로 인한 사고를 예방하는데 이용될 수 있다 (Chi et al.

2009). 또한 이 기술은 위치 추적 또는 동작 인식 기술 적용을 위한 첫번째 단계로서 모니터링 대상이 될 프로젝트 요소들을 선별해내는 목적으로도 많이 활용된다 (Brilakis et al. 2011; Rezazadeh Azar and McCabe 2012a). 일반적으로 이미지 상의 물체의 형상은 카메라 시점에 따라 달라지는데, Rezazadeh Azar and McCabe (2012b)는 8가지 각기 다른 시점에 따른 장비 이미지를 활용하여 분류 알고리즘을 학습시킴으로써 건설 현장에서의 장비 인식의 성능을 향상시켰다.

2. 위치 추적 기술 (Object Tracking)

위치 추적 기술은 연속된 비디오 이미지 상에서 장비나 작업자의 위치를 지속적으로 추적함으로써 시간에 따른 이동 경로 정보를 추출해내는 것을 목적으로 한다 (그림 2 참조). 이미지 상에서의 위치 추적은 각 물체의 독특한 형상 및 색상 정보 또는 물체의 이동에 따른 이미지 상의 픽셀 정보 변화를 분석함으로써 이루어 진다. 또한 삼각 측량 기법 (triangulation) 이나 3차원 거리 센서 (3D range sensor) 등과 결합하여, 물체의 3차원 위치 추적 또한 가능하다.



그림 2. 위치 추적 알고리즘

Brilakis et al. (2011)은 컴퓨터 비전 기반 위치 추적 기술을 이용하여 대형 토목 공사에 있어서 장비와 작업자의 실시간 위치 정보를 획득함으로써, 생산성 및 작업 동선 분석, 현장 안전 모니터링 등에 활용하였다. 또한 3차원 위치 추적 기술을 이용하여 작업자가 장비의 위험 반경내에 접근할 경우, 사전 경고를 함으로써 건설 장비로 인한 안전사고 예방에 활용이 가능하다 (Memarzadeh et al., 2013). Yang et al. (2011)에 따르면, 컴퓨터 비전 기반 위치 추적은 RFID 기반 위치 추적의 정확도에 필적할만한 성능을 보여주고 있다.

3. 동작 인식 기술 (Action Recognition)

동작 인식 기술은 정지된 이미지 또는 연속된 이미지들을 분석함으로써 현재 장비 또는 작업자가 어떠한 작업을 수행하고 있는지에 대한 정보를 제공해 준다. 이에 따라 단순히 위치 정보만으로 판단이 불가능한 현장에서의 다양한 위험 요소에 대한 모니터링을 가능하게 해준다. 동작 인식은 물체 인식 기술과 같이 주로 기계 학습 알고리즘을 활용한다. 예를 들어, 그림3와 같이 굴삭기가 땅을 파는 동작이나 회전하는 동작은 이미지 상에서 각기 다른 형상의 변화를 보여주는데, 동작 인식 기술은 이러한 형상 변화를 분석한 후, 컴퓨터 알고리즘이 이를 학습함으로써 동작의 종류를 구분한다. 특히, 건설 현장에서의 잠재적인 위험 행동에 대한 데이터베이스를 구축하고 이를 학습함으로써, 해당 행동의 발생 여부를 이미지 상에서 실시간으로 모니터링이 가능하다.

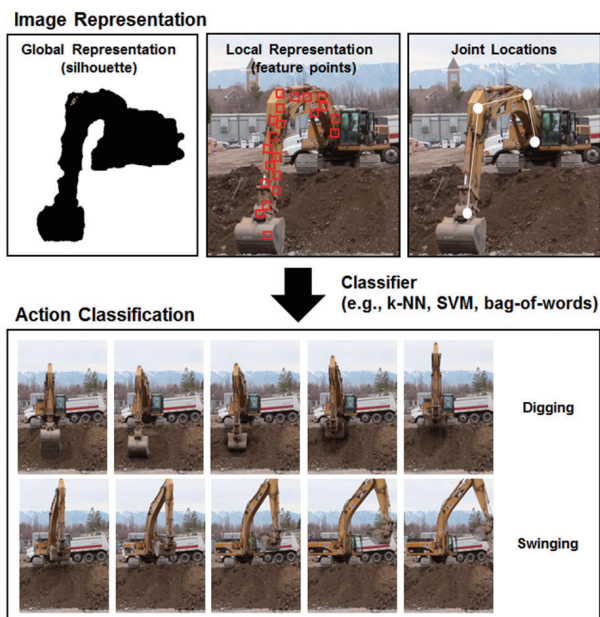


그림 3. 동작 인식 알고리즘

하지만 복잡한 동작의 경우, 장비 또는 작업자의 형상의 변화만으로는 식별이 불가능한 경우가 많다. 이러한 경우, 이미지 상에서 추출된 장비 또는 작업자의 3D 뼈대 모델 (skeleton model)을 이용한 분석이 필요하다 (Poppe 2010). 예를 들어, Han et al. (2012)는 컴퓨터 비전 기반 모션 캡처 기술을 이용하여 이미지 상에서 작업자의 3D 뼈대 모델을 생성하고, 작업자의 위험 행동시 뼈대 모델의 자세 변화를 분석함으로써 위험 동작을 모니터링 하는 방법을 제안하였다. Ray and Teizer (2012)는 작업자의 뼈대 모델에서 얻어진 신체 부위별 각도 정보를 활용하여 불안정한 작업자세로 인한 근골격계 질환 리스크를 분석하였다.

IV. 결론

본 고에서 소개한 바와 같이 컴퓨터 비전 기술을 이용한 건설 안전 및 보건 모니터링을 위한 많은 연구들이 진행되어 왔지만, 실무 적용을 위해서는 몇가지 기술적 및 실무적 한계점들의 극복이 필요하다. 예를 들어, 많은 컴퓨터 비전 기술들이 기계 학습에 의존함에 따라 불안정한 상황이나 위험 행동에 대한 사전 정의 및 데이터 베이스 구축이 선행되어야 한다. 또한 복잡한 작업 환경으로 인하여 이미지 상에서 모니터링 대상이 타 장비 또는 자재 등에 의하여 가려지는 경우가 빈번히 발생하기 때문에, 복수의 카메라를 이용하는 등의 대책이 요구된다. 특히, 비디오 카메라를 이용하여 작업자들을 실시간으로 관찰함으로써 발생하는 사생활 침해나 작업 능률 저하 등의 역효과에 대한 면밀한 사전 분석이 필요하다.

하지만 현재의 기술적인 진보 수준을 고려해 볼 때, 여러 기술적 한계점들은 머지 않은 미래에 극복이 가능하리라 예상된다. 컴퓨터 비전 기술은 무한한 잠재력으로 인하여 현재 급격히 성장하고 있는 분야이며, 건설 산업에서의 활용성 또한 매우 크다. 특히, 소수의 안전관리자에 현장 및 안전 보건 관리를 의존하는 현 실정을 고려해 볼 때, 컴퓨터 비전 기술을 활용할 경우 보다 안전한 건설 현장 구현이 가능하다.

참고문헌

Brilakis, I., Park, M. W., & Jog, G. (2011). Automated vision tracking of project related entities. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 713-724.

Chi, S., Caldas, C. H., & Kim, D. Y. (2009). A methodology

for object identification and tracking in construction based on spatial modeling and image matching techniques. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24(3), 199–211.

Du, S., Shehata, M., & Badawy, W. (2011). Hard hat detection in video sequences based on face features, motion and color information, 2011 3rd International Conference on Computer Research and Development (ICCRD), vol. 4, IEEE, pp. 25–29.

Golparvar-Fard, M., & Peña-Mora, F. (2007). Application of visualization techniques for construction progress monitoring. *Computing in Civil Engineering 2007*, 27.

Gong, J., & Caldas, C. H. (2009). Computer vision-based video interpretation model for automated productivity analysis of construction operations. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(3), 252–263.

Han, S., Lee, S., & Peña-Mora, F. (2012). Vision-Based Detection of Unsafe Actions of a Construction Worker: Case Study of Ladder Climbing. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(6), 635–644.

Memarzadeh, M., Golparvar-Fard, M., & Niebles, J. C. (2013). Automated 2D detection of construction equipment and workers from site video streams using histograms of oriented gradients and colors. *Automation in Construction*, 32, 24–37.

Poppe, R. (2010). A survey on vision-based human action recognition. *Image and vision computing*, 28(6), 976–990.

Ray, S. J., & Teizer, J. (2012). Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), 439–455.

Reese, C. D., & Eidson, J. V. (2006). *Handbook of OSHA construction safety and health*, CRC Press.

Rezazadeh Azar, E., & McCabe, B. (2012a). Automated visual recognition of dump trucks in construction videos. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(6), 769–781.

Rezazadeh Azar, E., & McCabe, B. (2012b). Part based model and spatial-temporal reasoning to recognize hydraulic excavators in construction images and videos. *Automation in construction*, 24, 194–202.

Ringen, K., Seegal, J., & England, A. (1995). Safety and health in the construction industry. *Annual review of public health*, 16(1), 165–188.

Seo, J., Han, S., Lee, S., & Kim, H. (2015). Computer vision techniques for construction safety and health monitoring. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 239–251.

Taneja, S., Akinci, B., Garrett, J. H., Soibelman, L., Ergen, E., Pradhan, A., ... & Anil, E. B. (2011). Sensing and field data capture for construction and facility operations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), 870–881.

Yang, J., Cheng, T., Teizer, J., Vela, P. A., & Shi, Z. K. (2011). A performance evaluation of vision and radio frequency tracking methods for interacting workforce. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 736–747.

Yu, S. N., Jang, J. H., & Han, C. S. (2007). Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel. *Automation in Construction*, 16(3), 255–261.

■ 서준오 E-mail: joonoh.seo@polyu.edu.hk