

특집원고 1 [2015 학회상 수상자 특집기사]

가현학술상 수상논문 저자 해설

간단한 기구부와 결합한 공간증강실 시스템의 샘플 기반 제어 방법

[글] 이주형
한국전자통신연구원 책임연구원/공학박사
joohaeng@gmail.com

본고에서는 2015가현학술상을 수상한 논문 [1]에 대해서 가현학술상 발표심사에 사용한 자료 [2]를 공유하고 기술의 배경에 대한 해설을 더한다.

최근 마이크로소프트의 HoloLens, 구글이 인수한 Magic Leap 등 글로벌 IT 기업의 참여로 증강현실(augmented reality, AR)에 대한 관심이 어느 때보다 뜨겁다. 증강현실은 실세계 정보에 가상의 정보를 더하여 사용자에게 새로운 경험과 편리함을 주는 상호작용(HCI)기술이다. 카메라로 촬영한 영상을 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 분석하고 여기에 상황에 맞는 정보를 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용하여 생성하여 다시 카메라 영상에 정합하여 디스플레이 장치(예, 모니터, 스마트폰, 글래스)를 통해 사용자에게 제시하게 된다.

논문에서 다루고 있는 공간증강현실(spatial augmented reality, SAR)은 증강현실 기술의 일종으로 프로젝터를 주요한 정보 표시 장치로 사용하는 것이 큰 차이이다. 특히, 물리법칙에 기반한 일상사물과의 사용자 상호작용을 그대로 유지한 채, 가상 세계에 축적된 정보, 경험, 콘텐츠를 실세계 표면에 그대로 표현하여 사물의 사용성(affordance) 자체를 증강하는데 활용할 수 있다. (그림 1.) 따라서, 특별한 장치를 활용하기 어려운 사용자(예, 어린이, 노인)나 실사물을 손으로 직접 다루야 하는 작업(예, DIY, 공작)에 활용하기 좋다 [3].

논문에서는 공간증강현실 분야의 요소기술로서 소형 프로젝터-카메라가 간단한 팬-틸트 기반의 기구부 또는 로봇 장치에 장착되었을 때의 제어 문제를

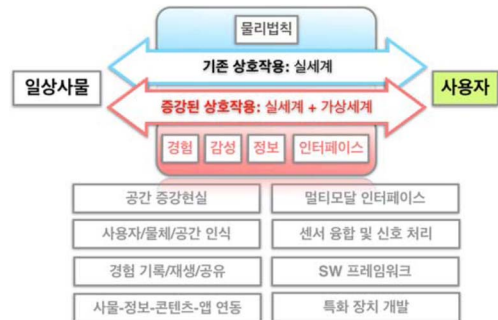


그림 1. 일상사물과의 증강된 상호작용 개념

다루고 있다. 사용자가 작업 환경에 조명을 설치하듯이 ad hoc으로 프로젝터-카메라-기구부 기반의 장치를 설치하는 상황을 상상하면 좋다. 향후 다양한 사용자 제작 로봇(user-created robot, UCR) 기반 장치들이 활성화 될 것이라고 예상되는데, 기존의 산업용 로봇과 달리 링크의 길이, 회전축의 위치를 알 수 있는 CAD 자료가 존재하지 않거나 조립 공차가 발생하여 기존의 기구학 방법을 적용하기가 어려운 문제가 발생할 수 있다. 논문에서는 이러한 상황을 가정하고, 정/역기구학 제어식을 세울 수 없는 경우에도 기구부의 엔드 이펙터에 해당하는 프로젝터-카메라의 위치 계산을 하는 방법을 제시하고 있다.

기구학 식을 세울 수 없기 때문에 선택한 방법은 일종의 데이터 기반 제어 기법이다. 즉, 샘플링 통해 관련 데이터를 수집하고 이를 적당한 형태로 표현하고 응용 단계에서 활용하는 것이다. 공간증강현실에서 가장 중요한 제어 인수는 프로젝터/카메라의 주축(principal axis)이 실세계와 만나는 점이다. 이를 투사의 중심으로 볼 수 있고 평면의 경우 2차원 좌표로 표현된다. 투사의 중심을 원하는 곳으로 배치하기 위해 기구부의 각도를 설정하는 것이 역기구학에 해당한다. 정기구학의 경우는 카메라의 위치만을 고려한다. 그 이유는 프로젝터-카메라는 사전에 캘리브레이션이 되어 있기 때문에, 카메라 위치만 알고 있으면 프로젝터의 위치와 투사 중심을 상대적으로 계산할 수 있다.

샘플링 단계에서는 기구부를 적당한 범위와 간격으로 움직이면서 작업 평면에 배치된 패턴 마커를

촬영한다. 이렇게 하면 각도와 카메라의 위치 관계가 샘플링되어 얻어진다. 실험에서 각도는 2개이고 위치는 6자유도 표현된다. 논문에서는 2각도를 인수로 하고 각 자유도를 데이터로 하는 6개의 B-spline 곡면을 생성하여 정기구학 정보로 활용한다. 여기에 캘리브레이션된 프로젝터 정보를 활용하면 각도와 투사점 사이의 정보가 얻어진다. 이 때, 주축의 위치를 인수로 하고 각도를 데이터로 하는 B-spline 곡면 두개를 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 B-spline 들이 기존의 기구학 방법을 대체하게 되는 것이다.

실험 결과는 성능은 꽤 실용적인 편이며, 수행 중인 과제(인간-로봇 상호작용 관련)에서 실제로 잘 활용하고 있다. 향후 연구로는 제어의 일반화 문제들이 남아 있다. 예를 들어, 현재 단일 마커로 작업영역을 지정한 것에서, 마커를 이동하며 작업 공간을 넓히는 문제, 팬-틸트 두개의 자유도를 갖는 자유도에서 좀더 복잡한 기구부로 확장하는 문제, 두대 이상의 장치가 협업하는 문제, 평면 작업 공간이 아닌 입체의 물체로 확장하는 문제를 고려하고 있다. 또한, B-spline 표현에 관련된 CAGD 관점의 이슈도 흥미롭다.

감사의 글

본 연구는 논문의 제1저자이자 제 첫 박사과정 학생인 이아현 군의 졸업연구 결과물입니다. 새로운 분야에 대한 도전과 성실함에 감사를 표합니다. 프로젝터-카메라 시스템과 로봇의 결합이라는 흥미로운 주제를 소개해주고 훌륭한 조언을 해준 리츠메이칸 대학교 이주호 교수님에게 감사를 표합니다. 논문의 심사와 가현학술상 선정과정에서 좋은 조언을 해주신 심사위원분들께 감사를 드립니다. 매년 큰 상으로 연구자를 격려 해주시는 가현학술재단에 감사드립니다. 학회지 지면을 할애하여 논문에 대한 소개를 할 수 있는 기회를 주신 한국CAD/CAM학회 사무국에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이아현, 이주호, 이주형. 간단한 기구부와 결합한 공간증강현실 시스템의 샘플 기반 제어 방법. 한국 CAD/CAM학회논문집. 19권 4호. Pp. 356-367. 2014. DOI <http://dx.doi.org/10.7315/CADCAM.2014.356>.
2. 2015년 가현학술상 발표심사 자료. <http://www.slideshare.net/joohaeng/ss-51041142>.
3. Spatial AR: Toward Augmentation of Ambient but Effective Interaction Channel <http://www.slideshare.net/joohaeng/talk-2014-ace-ar-vssar>.

한국CAD/CAM학회 논문집 Vol. 19, No. 4, pp. 356-367, December 2014
 Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers DOI http://dx.doi.org/10.7315/CAD/CAM.2014.356
 (학술논문) p-ISSN 1226-0606 e-ISSN 2288-6036

간단한 기구부와 결합한 공간증강현실 시스템의 샘플 기반 제어 방법

이아현^{1,2}, 이주호¹, 이주형^{3,4}

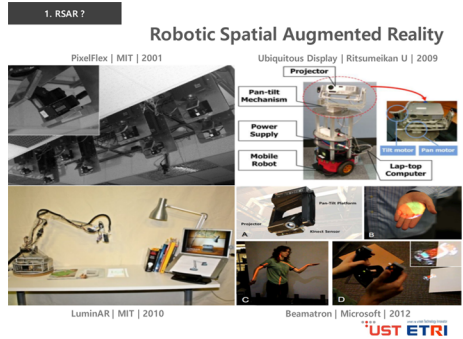
¹과학기술연합대학원대학교원 인공로봇소프트웨어전공, ²한국전자통신연구원 HRI연구팀
³디즈메이칸 대학교 정보이공학부

Sampling-based Control of SAR System Mounted on A Simple Manipulator

Ahyun Lee^{1,2}, Joo-Ho Lee¹, and Joo-Haeng Lee^{3,4}

¹Computer Software, Korea University of Science and Technology
²HRI Lab., Electronics and Telecommunications Research Institute
³College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

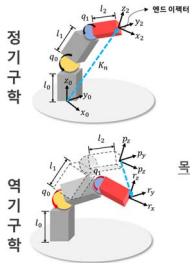
Received 30 July 2014; received in revised form 1 September 2014; accepted 1 September 2014



1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어

기구학 설정 단계

정/역기구학 제어식 생성



엔드이펙터의 위치/자세 계산

$$A_1 = T(p_1, p_1, p_1)R(\theta, \varphi, \psi)$$

$$A(q) = A_1 f(q) A_1$$

$$K_s = A_1(q_0) A_2(q_1) = \begin{bmatrix} R & p \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

목표 위치로 이동하기 위한 관절각 계산

$$\vec{r} = r - p$$

$$r = f(q)$$

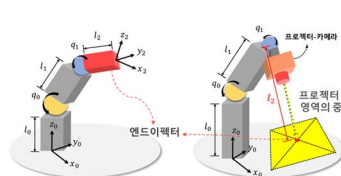
$$\dot{p} = \frac{\partial f(q)}{\partial q} \dot{q} = J(q) \dot{q}$$



1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어

기구학 설정 단계

정/역기구학 제어식 생성



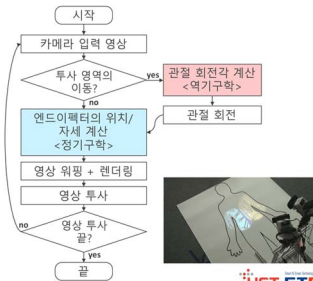
RSAR

엔드이펙터 = 투사영역의 중심점



1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어

RSAR 시스템의 흐름도



1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어

UCR 사용자 제작 로봇
 User Created Robot



1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어
샘플 기반의 기구학 제어

관절의 회전각



1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어
샘플 기반의 RSAR 제어

프로젝터-카메라 캘리브레이션
 PCU (Projector Camera Unit)

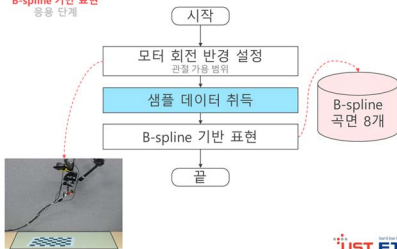
샘플 데이터 취득 및 B-spline 기반 표현

응용단계

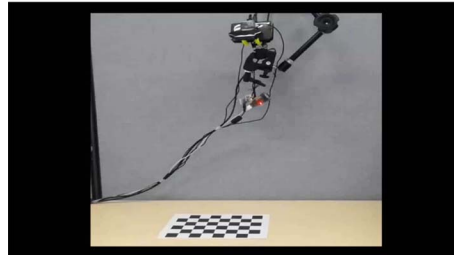


1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어

PCU 캘리브레이션
 샘플 데이터 취득 및
 B-spline 기반 표현
 응용 단계

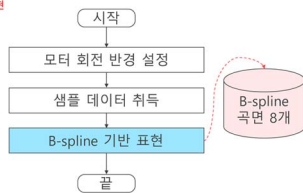


1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어
샘플 데이터 취득 방법

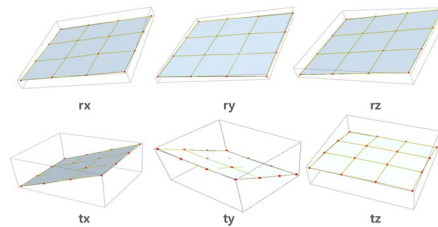


1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어

PCU 캘리브레이션
 샘플 데이터 취득 및
 B-spline 기반 표현
 응용 단계



1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어
B-spline 곡면 표현 결과
 정기구학 샘플 데이터



특집원고 1 [2015학회상 수상자 특집기사]

1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어

B-spline 곡면 표현 결과

역기구학 샘플 데이터

pan tilt

1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어

B-spline 기반 제어

출력 데이터 계산 방법

정기구학 제어 방법의 예

출력 데이터

$\{\theta, \varphi\}$ → pan tilt → 입력 데이터

카메라 위치/자세

$$\begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4}$$

정기구학 제어 곡면 6개 x 6

1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어

샘플 기반의 제어

PCU 캘리브레이션 샘플 데이터 취득 및 B-spline 기반 표현 응용 단계

```

    graph TD
      Start([시작]) --> Cam[카메라 입력 영상]
      Cam --> Thrust{투사 영역의 이동?}
      Thrust -- yes --> Calc[관절 회전각 계산 <역기구학: B-spline 전개>]
      Calc --> Rot[관절 회전]
      Thrust -- no --> Pos[엔드이펙터의 위치/자세 계산 <정기구학: B-spline 전개>]
      Pos --> Proj[영상 워핑 + 렌더링]
      Proj --> Thrust
      Thrust --> Thrust2{영상 투사 끝?}
      Thrust2 -- yes --> End([끝])
      Thrust2 -- no --> Thrust
  
```

1. RSAR ? 2. CAD 모델 기반의 기구학 제어 3. 샘플 기반의 기구학 제어 4. 구현 및 실험 결과

UCR-based RSAR 응용의 예(1)

실험 결과 영상

프로젝터 이동

투사 영상의 왜핑+렌더링

영상 투사 결과

요약

UCR-based RSAR의 한계점

CAD모델이 없는 경우 or 조립 오차 > 허용공차

샘플 기반의 기구학 제어 방법

샘플 데이터 취득
-> B-spline 곡면 8개 (정/역) 생성
-> 곡면을 사용해 기구학(출력) 데이터 계산

구현 및 실험 결과

엔드이펙터 이동을 위한 관절각 계산 -> 역기구학
엔드이펙터 위치/자세 계산 -> 정기구학

향후 연구 계획

다중 영역에서 샘플 데이터 취득
관절 가용 범위를 확장

다축의 로봇 팔에 적용

다중 RSAR 시스템의 협업

다면체/곡면에 투사



▲ 2015동계학술대회 가연학술상 수상 (이아현, 과학기술연합대학교대학원/이주행 박사, 한국전자통신연구원)