



오스트리아 빈 공과대학 자동화 제어 연구소의 Advanced Mechatronic Systems (AMS) 그룹 소개

유 한 응
(TU Wien)

1. 소개

오스트리아 빈은 유럽의 고도로 신성로마제국의 번영했던 미술과 음악의 문화가 살아있는 유명한 관광도시이지만, 한편으로 제어와 자동화 분야에 있어서는 국제자동제어연맹(International Federation of Automatic Control, IFAC)의 상임 사무국이 위치한 곳이기도 하다. 그 빈 시내 중심부에 위치한 빈 공과대학(TU Wien)은 1815년 신성로마제국 황제 프란츠 2세가 세웠던 대학으로 유럽 내 공대로서도 역사가 깊은 대학이다. 자동화 제어 연구소(Automation and Control Institute, ACIN)는 빈 공과대학 전기공학부에 소속된 연구소 중 하나로서 Andreas Kugi 교수와 Georg Schitter의 두 교수가 각각 Complex Dynamic Systems (CDS) 그룹과 Advanced Mechanical Systems (AMS) 그룹을 운영하며 자동화와 엔지니어링 과학에 있어 학생들을 지도하며 다양한 주제의 연구를 수행하고 있다. 그 중에서도 Schitter교수의 AMS 그룹은 자연과학 연구와 하이테크 생산 기술에 사용되는 정밀 메카트로닉스 시스템을 기본 테마로 정밀 이미징과 측정 시스템 설계, 고성능 메카트로닉 시스템 설계, 정밀 모션 제어, 그리고 산업자동화와 제어 시스템 등의 연구를 Micro Epsilon, Infineon, ASA Astrosysteme, 오스트리아 연구 진흥청, 오스트리아 방위청, 오스트리아 과학 기금 등 다양한 산업체와 정부 파트너들과 협력하여 수행하고 있다.

2. 연구분야

2.1. 나노미터 수준의 정밀 측정 시스템

기계적인 이미징 기술로서의 원자간력 현미경(Atomic Force Microscopy, AFM) 등의 주사 프로브 현미경(Scanning Probe Microscopy, SPM)은 나노미터 레벨에서의 보상 기반 이미징의 기본적인 예시로서 고성능 제어를 포함한 고속 AFM의 메카트로닉 설계는 Schitter 교수의 박사와 포닥과정의 주제이기도 했었다. 고속 AFM 설계에는 고속 측정이 가능한 구동기의 설계와 광대역 센서 기술, 그리고 모델기반 제어기의 통합적인 설계로 가능했었다. 현재 연구는 산업 제반에서의 AFM을 사용

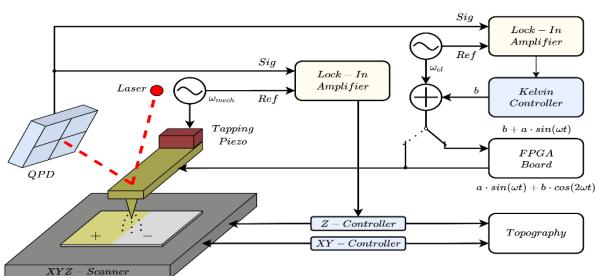


그림 1. 표면 전하 측정을 위한 텔빈 프로브 현미경 시스템의 블록 다이어그램(Poik et al, IEEE Trans. Inst. Meas., 70, 2021).

하기 위한 진동 보상기술과 새로운 물리량을 나노미터 수준에서 측정하는 기술, 예컨대 생체 표면의 표면 전하를 고해상도로 측정하는 텔빈 프로브 현미경(Kelvin Probe Force Microscopy, KPFM)이나 고성능 레이더등의 RF 발생기에서의 전자기파의 나노미터 스케일 측정을 위한 기술들이 진행되고 있다(그림 1).

2.2. 광메카트로닉스의 고정밀 타이밍 측정 및 제어

고정밀 타이밍 기반 메카트로닉스 기술은 고성능 광측정 기술에서의 자동차 산업이나 항공 산업용에 대해서도 연구가 진행되고 있다. 유럽 내의 차량용 반도체 기업인 Infineon 과 함께 자율주행 자동차 산업에서의 고성능 광센서 기술로서 MEMS 광학 거울의 동역학적 분석과 이를 바탕으로 하는 타이밍 제어 기술을 개발하여 가혹한 차량내외의 환경에도 안정

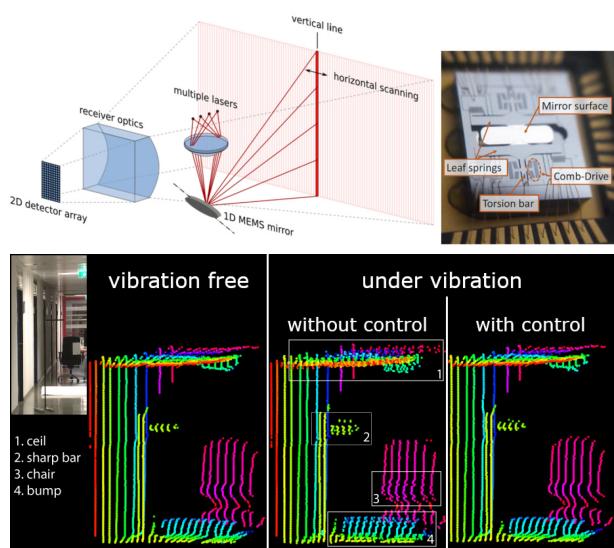


그림 2. (왼쪽) 선상 스캐닝 기술을 이용한 원거리 라이더 컨셉 (Yoo et al, E&I, 135(6), 2018) (오른쪽) MEMS 광학 거울 소자, (Brunner et al, IEEE Trans. Ind. Electron., 68(4), 2021) (아래) MEMS 기울 제어를 통한 외부 진동환경에서의 안정적인 3D 라이다 측정의 실행 예시(Yoo et al, J. Opt. Microsyst., 2022).

적인 3D 사물 측정과 인식을 가능하게 하는 MEMS 스캐닝 라이다 기술을 연구하고 있다(그림 2). 한편 항공기에서의 난류를 앞서 측정하는 기술로서의 도플라 라이다 기술을 통해 측정된 난류를 보상함으로서 비행기의 혼들림과 동체나 날개의 스트레스를 줄여 기체 피로를 줄이고 탑승자들의 안전을 보장하는 기술도 연구되고 있다. 레이저와 고속 회전 거울을 이용한 고정밀 고속 대형 3D 프린팅 기술도 정밀 제어와 시스템 통합 설계의 관점에서 사용자의 다양한 요구에 대응하면서도 대량 생산을 가능하게 하는 기술로서 연구되고 있다.

2.3. 스캐닝 3D 광측정 시스템

산업용 광학 센서 기술로서의 광학 스캐너의 고성능 메카트로닉 제어 설계에 관해서는 압전 구동계(Piezoelectric actuation)나 하이브리드 자기저항 구동계 기술(Hybrid reluctance actuation)을 이용한 고성능 고속 조정 거울(Fast Steering mirror, FSM)들이 설계 및 제작되었다(그림 3). 설계된 고성능 FSM은 가볍고 작은 사이즈로서 독일의 Micro Epsilon과의 산학 협력을 통해 산업용 광센서, 예컨대 삼각 측정 거리 센서, 공초점 거리 센서, 컬러 센서 등에 쉽게 통합되어 확장된 소형 2D 나 3D센서로 고성능 산업라인 측정기술로서 이용되고 있다. 특히 대형 혹은 비정형 광학계의 정밀 측정 방법으로서의 광파면 측정기(Wavefront sensor, WFS)도 구동기와 결합하여 대형 표면의 소규모의 정밀한 측정과 그 부분 측정을 모아 신뢰도 있게 연결하는 방법에 대해서 연구가 진행되고 있다.

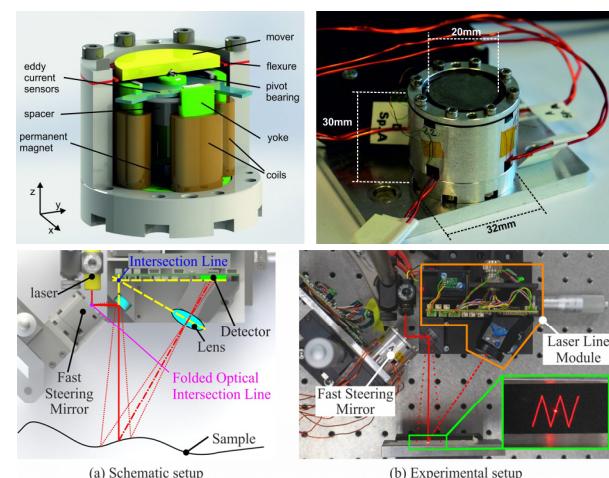


그림 3. 자기저항 구동계를 이용한 소형 고속 조종 거울(FSM)의 설계 (Csencsics et al, IEEE ASME Trans Mech., 23(5), 2018)와 이를 이용한 3D 삼각 측정 센서 설계(Schlarp et al, Mechatronics, 72, 2020).

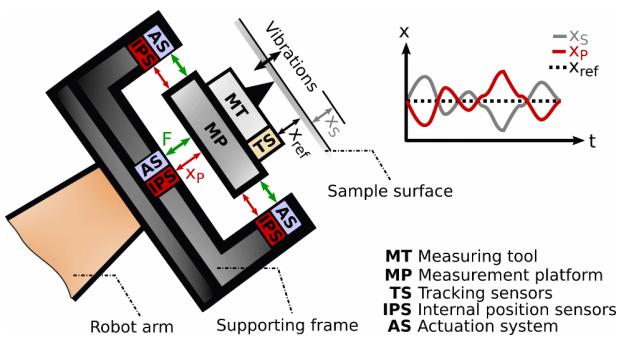


그림 4. 로보틱스에서의 능동 진동 보상의 개념도. 로봇 끝에 위치한 측정 플래폼(MP)은 각 구동계에 연결되어 샘플의 진동에 따라 움직여 측정 툴과 샘플 표면과의 거리가 일정하게 유지되도록 하여, 각종 정밀 측정을 가능하도록 한다(Wertjanz et al., IEEE Trans. Ind. Electron, 69(1), 2021).

2.4. 산업용 로봇의 고정밀 측정 시스템

생산 라인에서의 상기의 고정밀 측정을 도입하기 하기 위해서 산업용 로봇에서의 진동 감쇄 기술도 연구되고 있다. AFM이나 공초점 3D 센서 같은 마이크로 혹은 나노미터 수준의 고정밀 산업 센서들이 실제 공장의 생산 라인 등의 산업 현장에서 사용되면 상품의 질을 정밀하게 지속적으로 모니터할 수 있어 수율과 성능의 향상을 꾀할 수 있다. 하지만 위해서는 생산 과정에서 발생하는 각종 진동들에 의한 측정 샘플의 변위에 대한 보상이 절대적으로 필요하다. 능동 진동 보상 기술(Active vibration isolation & compensation)이 산업 로봇 기술과 연계되어 실제 각종 진동이 있는 환경에서의 샘플의 변위를 추적하여 생산 라인에서의 샘플의 마이크로미터보다 작은 단위의 정밀 측정을 가능하도록 연구가 진행되고 있다(그림 4).

2.5. 고정밀 로봇 망원경과 위성과의 광통신 시스템

지상과 수백 km거리에 있는 위성과의 광통신은 대량의 위성 데이터의 고속 전송을 가능하게 하지만 그 광대역 연결을 안정적으로 동작시키기 위해서는 고속으로 움직이는 위성을 정밀하게 추적하는 기술이 요구된다. 그 요구에 부응하기 위해서 망원경의 메카트로닉스 설계 및 정밀 광학 제어 기술이 연구되고 있다(그림 5). 고성능 로보틱 망원경 제조사인 ASA Astrosysteme과의 협업으로 단순히 망원경의 추적 기능뿐 아니라 각종 수차를 보상하기 위해서 능동 혹은 적응 광학 제어 기술, 그리고 효과적인 구동을 위한 경량 망원경 제작을 위한 능동 광학 제어가 연구되고 있다. 또한 적기 드론을 수 km바깥의 원거리에서 정밀 추적하기 위한 광학 측정 기술로서 딥러닝 기반 고속 이미지 프로세싱과 고속 망원경 메카트로닉스의 연구가 현재

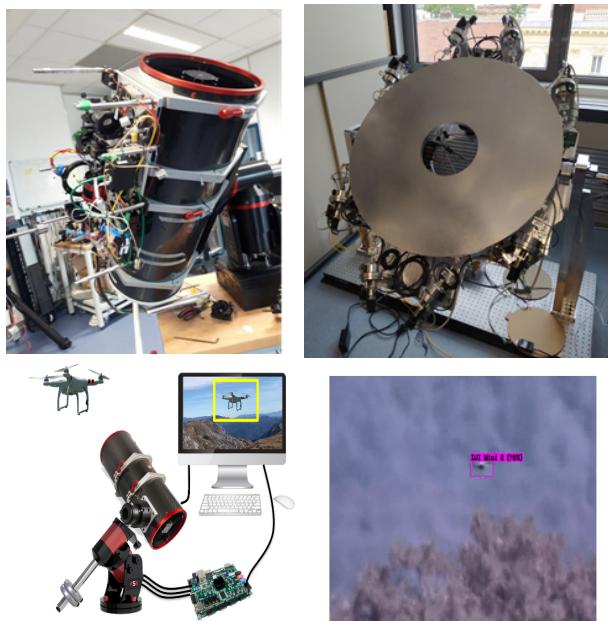


그림 5. (왼쪽 위) ASA 12 인치 뉴턴 천체망원경에 설치된 능동/적응 광학 보정을 위한 모바일 광학 벤치(Sinn et al., Proc. IFAC Mech., 2019) (오른쪽 위) 능동 광학 보정기를 이용한 경량 1미터 주경 설계 (Schwaer et al., J. Astro. Telescopes Inst. Syst. 6(4), 2020) (아래) 광학 망원경을 이용한 원거리 드론 추적 시스템(Ojdanic et al., Proc. Adv. Int. Mechatronics Conf., 2021).

진행 중에 있다.

3. 마치며

빈 공과대학 자동제어 연구소의 AMS 그룹에서는 정밀 측정에 관한 단순히 고성능 제어기의 설계뿐만이 아닌 구동계와 센서를 포함한 통합적인 메카트로닉스 설계의 관점에서 성능의 향상을 꾀하는 연구가 주로 이루어지고 있다. 원자간력현미경 같은 기존의 정밀 공학 응용뿐만 아니라 천체 망원경이나 차량용 라이더 같은 정밀 광학 센서, 그리고 산업용 센서나 로보틱스에 관한 응용도 연구되어 그 결과들을 각종 저명한 학회지에 발표하고 있다. 유럽 대학에서의 강소 연구소라는 관점에서 한국에서의 관련 분야의 학생들과 연구자들의 관심과 교류가 이루어졌으면 하는 희망에 이 소개글을 맺고자 한다.