

수술로봇 햅틱기능 구현을 위한 슬라이딩섭동 관측기 비교 연구

Study for Sliding perturbation observer to realize Haptic function in surgical robot

*김지연¹, #이민철², 윤성민³, 박민규¹

*C. Y. Kim¹, #M. C. Lee(mclee@pusan.ac.kr)², S. M. Yun², M. K. Park¹,

¹영남이공대학 기계계열, ²부산대학교 기계공학부, ³부산대학교 대학원

Key words : surgical robot, surgical instrument, perturbation observer, haptic

1. 서론

복강경 수술용 로봇에서 의사의 손을 대신하여 수술을 하는 수술용 인스트루먼트(Instrument)는 환자의 몸속에서 동작하므로 환자 체외에 위치한 모터의 제어를 케이블 풀리 방식으로 구동하는 방식을 채택하고 있다. 따라서 체내 로봇 말단부가 수술 동작시 발생하는 작동력을 측정하기 위해서는 정확한 시스템 모델링이나 말단부에 힘센서를 부착하여야만 측정이 가능하기 때문에 경제성이나 기술적으로 어려움이 있다[1].

로봇을 이용한 복강경 수술(Robot assisted endoscopic surgery)은 힘 측정에 대한 어려움 때문에 집도의는 화상정보에만 의존하여 수술을 해야하는 어려움으로 봉합이나 조직 파지시 문제가 발생하기도 하며 이러한 문제를 해결하고자 오랜 숙련과정을 거쳐야하는 문제가 보고되고 있다[2]. 작동력 측정을 통해 햅틱기능을 구현할 수 있다면 촉감 정보까지 의사에게 제공하여 개복 수술과 같은 수술환경을 만들어 줄 수 있고 동시에 로봇 동작의 작동력 안전성도 확보할 수 있게 된다.

이런 목적 때문에 선행 연구에서는 케이블 탄성특성을 위해 반력을 간접적으로 측정하는 기법을 연구해 보았고 케이블 풀리 및 링크 구조에서 장력에 의한 마찰 특성도 분석하였다[1][3]. 복수개의 풀리-케이블 구조의 복잡성 때문에 외란과 시스템 모델 불확실성이 발생하고 이를 위해 선행연구에서는 슬라이딩

섭동관측기를 사용하는 강인제어기를 수술용 로봇 인스트루먼트 구동에 적용하여 보았다[4]. 특히 연구 결과에서 섭동관측기가 측정이 어렵었던 인스트루먼트 말단부 작동력과 유사한 응답을 나타나는 것을 확인하였다. 그래서, 본 연구에서는 복강경 수술용 로봇 인스트루먼트 말단장치 작동력을 섭동관측기로 예측하는 방법을 연구하기 위해 강인 제어기에서 구현한 슬라이딩섭동관측기와 일반적으로 적용과 구현이 간편한 Luenberger 관측기 방식의 Combined perturbation observer 를 적용해 비교평가를 수행한다.

2. 섭동 관측기

섭동은 외란과 시스템 모델링 불확실성 등을 포괄적으로 함축한다. 하지만 선행 연구에서 복강경 수술 로봇의 인스트루먼트 제어시 슬라이딩 섭동 관측기가 시스템의 불확실성 보다는 주로 외란을 추종하는 것을 확인하였다[4]. 케이블 풀리 구조의 복잡한 시스템 특성을 가진 인스트루먼트에서 이러한 결과가 나오는 것이 슬라이딩 관측기의 추종 강인 특성 때문인지 아니면 일반적인 섭동관측기도 유사한 성능을 나타내는지를 본 연구에서는 실험을 통해 비교하였다. 슬라이딩 섭동 관측기는 Olgac 논문에서 제안된 관측기를 사용하였고, 일반적인 섭동관측기로는 이산 시스템 제어에서 쉽게 적용할 수 있는 섭동관측기로 Kwon 의 논문에서 제안한 Combined Perturbation Observer 를 적용해 보았다[5][6].

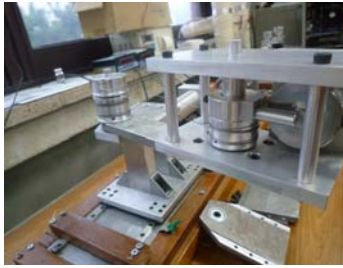


Fig. 1 End-effect torque measuring system

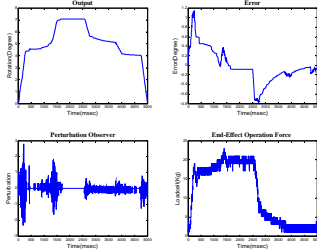


Fig. 2 Result of combined perturbation observer

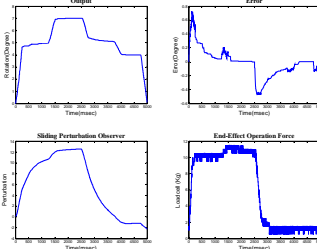


Fig. 3 Result of sliding perturbation observer

3. 시스템 평가

복강경 수술로봇 인스트루먼트의 풀리 구조는 구동부 풀리와 방향 전환연결을 위한 중간 풀리 및 말단부 장치 동작을 위한 중동축 풀리로 구성된다. Fig. 1 는 말단부 장치의 작동력을 측정하는 실험 장치이다. 구동 실험은 말단부에 시간에 따라 각도 입력을 달리하여 위치제어를 하였다. 제어 오차와 섭동관측값은 Fig. 2,3 에 Combined Perturbation 및 슬라이딩 섭동관측결과를 나타내었다. 실험 결과를 보면 Combined Perturbation 의 관측 게인 설정이 중간 풀리구조 때문에 어렵긴 하지만 복합 단성 특성 때문에 섭동이 주로 제어오차에 많은 영향을 받았다. 슬라이딩 섭동 관측기는 외란 특성에 좀더 가깝게 나타남을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 아직까지 측정이 힘든 복강경 수술용 로봇 인스트루먼트의 말단장치 작동력을 섭동관측기로 예측하는 방법을 연구하기 위해 슬라이딩섭동관측기와 적용성 뛰어난 Combined Perturbation Observer 를 비교해 보았다. 복합 케이블 풀리 구조를 가진 시스템 특성상 슬라이딩섭동 관측값이 작동력에 더 근사적으로 나타남을 실험적으로 확인하였다.

후기

"본연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 특수환경 Navigation/Localization 기술 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-(C7000-1001-0004))

참고문헌

1. 김지연, 이민철, 이태경, 최승욱, 박민규, "복강경 수술용 로봇 인스트루먼트의 간접적 작동력 측정법에 관한 연구," 제어로봇 시스템 공학회지, **16(9)**, 840-845, 2010.
2. Bodner, J., Wykypiel, H., Wetscher, G., and Schmid, T., "First experiences with the da Vinci™ operating robot in thoracic surgery," European Journal of Cardio-Thoracic Surgery, **25**, 844-851, 2004.
3. Lee, T., Kim C., Lee, M., "Friction analysis according to pretension of laparoscopy surgical robot instrument," IJPEM, **12**, 251-258, 2011.
4. Lee, M., Kim, C., Yao, B., Penie, W., Song, Y., "Reaction Force Estimation of Surgical Robot Instrument Using Perturbation Observer with SMCSPO Algorithm," AIM2010, 181-186, 2010.
5. Elmali, H., Olgac, N., "Sliding Mode Control with Perturbation Estimation (SMCPE)," International Journal of Control, **56**, 923-941, 1993.
6. Kwon, S., Chung, W., "A Discrete-Time Design and Analysis of Perturbation Observer," ACC2002, 2653-2658, 2002.