무릎관절 수술로봇시스템의 캘리브레이션 알고리즘 개발

Development of Calibration Algorithm for TKA Robot System

*윤유경 [1], #강희준 [2], 노영식 [2]

*Y. K. Yoon[1], #H. J. Kang(hjkang@ulsan.ac.kr)[2] , Y. S. Ro[2]

[1] 울산대학교 전기공학부대학원, [2] 울산대학교 전기공학부

Key words : Robot calibration, TKA, Total Knee Arthroplasty, Surgical Robot, Fixed point calibration

1. 서론

Total Knee Arthroplasty(TKA), 즉 슬관절 전치환 수술이란 관절염이나 특정질환, 외상에 의하여 무릎관절이 기능을 상실하였을 때 손상된 관절을 인공 성형물로 교체하여 정상적인 무릎관절의 기능을 되찾게끔 하는 수술법이다. 2D X-ray 정보를 기반한 수작업 수술 방식을 최근에는 로봇을 이용한 수술 방식으로 전환하고자 많은 연구가 진행되고 있다.

TKA 를 수행하는 무릎관절 로봇 수술에 필요한 과정은 Fig.1 과 같으며, 그것을 요약 기술하면 다음과 같다. 환자 수술 부위의 3D 스캔정보는 3 차원 CAD 정보로 변환되고, 그것을 바탕으로 로봇 수술 경로계획이 작성되어, 로봇의 강점인 강성과 정밀도를 활용하여 수술을 진행하게 된다.

본 논문에서는 상기 로봇 수술시스템에서 반드시 필요한 로봇의 정밀도, 환자의 수술

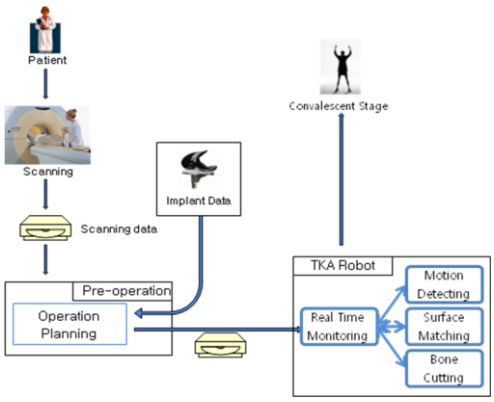

Fig. 1 Overall TKA Robotic System

부위와 CAD 모델 사이의 상대위치 정밀도 그리 고 수술 로봇과 환자의 수술부위의 상대위치 정밀도 등을 보장하는 캘리브레이션 시스템의 구성을 설명하고, 관련 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 비 멸균 캘리브레이션

TKA 를 시술하기 위한 높은 수준의 정밀도를 확보하기 위해 수술로봇은 두 단계의 캘리브레이션 과정을 거치게 되며, 그 첫번째 단계가 비멸균 캘리브레이션 과정이다. 이 과정에서는 로봇 팔의 정밀도를 보정하기 위해 로봇 팔 자체와 3 차원 측정센서(MicroScribe G2 3D 디지타이저) 로부터 각각 엔코더의 회전각과 그 회전각에 해당하는 위치좌표를 얻어낸다. 얻어진 임의의 위치 20 개소의 측정을 반복하여 필요한 자료를 얻어 정방향 기구학에 의해 계산된다. 제작 매뉴얼 상의 파라미터를 적용하였을 경우 도출될 결과는 얻어진 데이터에 의한 결과와 비교되며 발생한 오차는 기존의 로봇 파라미터에 적용되어 오차를 보정하는 과정을 지정한 허용 범위 내에 도달할 때까지 측정 횟수인 20 회 반복하여 구하게 된다.

3. 멸균 캘리브레이션

비 멸균 캘리브레이션에서 보정된 로봇의 파라미터는 의료로봇의 특성인 정밀도의 향상 및 세균에 의한 전염에 대비해 교체된 공구(Tool)에 대하여 수술실 내에서 한번 더 보정 작업을 거치게 되며, 이를 멸균 캘리브레이션 과정이라 한다.

수술 직전에 시행되는 과정이므로 빠르고 간단하게 처리되어야 하므로 임의의 한 기준점

을 정하여 그 특이점을 여러 방향에서 반복하여 측정하는 방식, 즉 고정점 캘리브레이션(Fixed Point Calibration)을 수행하게 된다.

고정점 캘리브레이션은 먼저 정방향 기구학을 통해 얻어진 특징점의 좌표에 대한 행렬식을 이용하여 필요로 하는 변수를 얻어내는 것부터 시작한다. 이 때 공구의 파라미터의 값을 알 수 없고, 그에 따라 특징점의 좌표 또한 알 수 없으므로 이 값들은 모두 변수로 두고 계산한다. 이렇게 얻어진 공구의 파라미터와 특징점의 위치 값은 허용 범위 내에 들어오게 될 때까지 비 멸균 캘리브레이션과 같이 반복 작업을 통해 보정되어 최종적으로 실제 파라미터와 매우 근접한 결과를 얻을 수 있게 된다.

4. 로봇과 수술부위의 상대위치 캘리브레이션

TKA 수술로봇은 수술 전 계획된 과정에 따라 스스로 수술을 진행하는 능동형 수술로봇이다. 그러므로 로봇과 환부의 상대위치를 파악하는 것이 필요하다. 우선, 환자의 CAD 모델과 환부의 상대위치를 구하여야 한다. 이 과정을 Registration 과정이라 하며 그 과정은 대상표면을 정합(Surface matching)하는 과정으로 설명할 수 있다. 표면정합과정은 대상 표면을 구성하는 점들에 대하여 ICP(Iterative Closest Point) 알고리즘을 적용하여 회전/변환 행렬을 구하므로 상대위치를 파악하게 된다. CAD 모델과 로봇 사이에는 정해진 상대위치를 정의할 수 있으므로, 로봇과 환부 사이의 상대위치도 결정할 수 있다. 이에 따라 Offline Programing 방법과 같이 수술경로 수정명령을 생성하게 된다.

5. 결론

이 연구에서 우리는 의료용 로봇이라는 사람의 몸에 직접적으로 영향을 미치는 특수성에 의해 기존의 산업용 로봇에 적용해 오고 있던 정밀도 향상 알고리즘에 더하여 한 번 더 캘리브레이션 작업을 거침으로 인해 보다 높은 정밀도를 얻을 것으로 예상하고 있다. 본 논문은 현대중공업에서 개발 중인 5DOF 의료로봇을 대상으로 구성이 되었다,

현재 실제 로봇의 파라미터와 실험적으로 얻은 회전각 자료 그리고 위치값 자료를 이용하여 위에서 설명한 비 멸균 캘리브레이션 과정을 거쳐 보정된 로봇 파라미터까지 얻어진 상태이며, 멸균 캘리브레이션 과정의 경우 고정점 캘리브레이션 알고리즘에 의해 멸균된 공구의 위치인자를 구할 수 있다. 차후에는 구성 시스템에 필요한 알고리즘을 바탕으로 로봇 수술 시스템에 대한 실제 실험을 수행하고 검토하고자 한다.

후기

본 연구는 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구 센터와 지식경제부 융복합형 로봇전문인력양성사업의 지원을 받아 수행하였습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Anderson, K. C., Buehler, K. C. and Markel, D. C., "Computer Assited Navigation in total Knee Arthroplasty: Comparison With Conventional Method," The Journal of Arthroplasty, 20, 132-138, 2005.
2. 박종오, “국내외 의료로봇 현황과 발전방향,” 한국정보과학회지, 26, 49-54, 2008.
3. Decking, R., Markmann, Y., Fuchs, J., Puhl, W., and Scharf, HP., “Leg axis after computer-navigated total knee arthroplasty: a prospective randomized trial comparing computer-navigated and manual implantation," The Journal of Arthroplasty, 20, 282-288, 2005.
4. Gregory Z. Grudic, “Iterative Inverse Kinematics with Manipulator Configuration Control.” Robotics and Automation, 9, 476-483, 1993.
5. H. J. Kang, “Autonomous Kinematic Calibration of the Robot Manipulator with a Linear Laser-Vision Sensor.” Lecture Notes in Computer Science, 4682, 1102-1109, 2007
6. Jost, T., Hugli, H., “Fast ICP algorithms for shape registration”, Lecture Notes in Computer Science, 2449, 91-99, 2002