

물리 엔진을 이용한 수술 로봇의 동작 범위 분석 시스템 개발

김도윤*, 박현근**, 서재용***, 조영호****

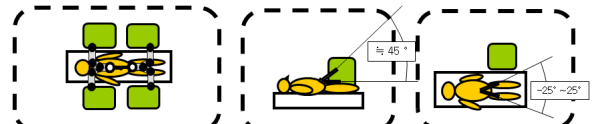
위드로봇 임베디드 시스템 팀*, 위드로봇 소프트웨어 팀**, 마이크로로봇***, 국립암센터 기초실용화연구부****

Development of the Workspace-Analysis System of Invasive Robot using Physics Engine

Do-Yoon Kim*, Hyun Keun Park**, Jae Yong Seo***, JO Yung-ho****

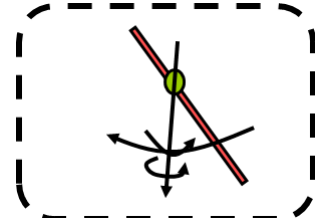
WITHROBOT Embedded System Team*, WITHROBOT Software Team**, Microrobot***, National Cancer Center****

Abstract - 환자의 환부를 최소한으로 절개하여 시술하는 최소 침습 수술 수술은 많은 장점을 가지고 있어 그 활용도가 점차 확대되고 있다. 하지만 조작하는 조직으로부터 눈과 손이 분리되어 있기 때문에 많은 문제점들이 발생한다. 그 중 하나는 수술 영역과 시각 영역이 분리되어 발생하는데, 최적의 위치조정을 위한 자동 복강경 수술 로봇 팔 시스템 도입으로 이러한 문제를 해결하고 있다. 본 연구에서는 복강경 수술 로봇 팔을 설계하는데 있어 동작 범위를 빠르게 시각화하여 설계 단계에서 다양한 파라미터를 적용하여 보다 보다 효율적인 복강경 수술 로봇 팔의 설계 방법을 제시한다. 제안된 물리 엔진을 이용한 동작 범위 분석 방법은 역기구학을 계산할 필요가 없으며, 설계가 바뀌어도 추가로 산출해야 하는 수식 없이 바로 수정된 기구학만으로 동작 범위 분석이 가능하다.



〈그림 2〉 복강경 수술 로봇 팔이 작업해야 하는 상황과 최소한의 요구 동작 범위

또한 복강경 로봇의 마지막 링크는 환자 복부에 의해 특정 위치가 고정되어 자유도가 제한되는 특성을 가지고 있다. 따라서 단순히 역기구학을 푸는 것만으로는 실제 수술 로봇 팔이 가질 수 있는 동작 범위를 계산할 수 없게 된다.



〈그림 3〉 환자의 복부를 통해 마지막 링크가 삽입되므로 링크의 특정 부위에서 피벗 효과가 발생한다.

기존의 연구 [1]에서는 이러한 문제점을 Quantitative method를 이용하여 해결하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 복강경 수술 로봇의 동작 범위를 체계적으로 계산하는 방법을 제시하지만 계산 과정이 복잡하고, 로봇이 움직이는 전체 영역을 시각화하기에는 어렵다는 단점이 있다. 따라서 설계 초기 단계에서 로봇의 링크 파라미터를 결정하기 위해 여러 번 다양한 시뮬레이션을 수행해야 하는 경우에는 이 방법은 그다지 적절한 해결책이 안된다. 본 연구팀은 물리 엔진을 시뮬레이터에 적용하여 링크 끝단을 끌고 움직이는 개념으로 구성하여 보다 직관적인 동작 범위를 계산하는 방법을 제안한다.

2.2 물리 엔진 소개

물리 엔진(Physics Engine)이란 질량, 속도, 마찰 등의 수치를 이용하여 자연계의 물리 현상을 컴퓨터상에서 시뮬레이션 해 주는 소프트웨어 라이브러리이다. CPU 연산 능력에는 한계가 있기 때문에 모든 물리 현상을 그대로 구현하는 것은 어렵지만 로봇 팔과 같은 다양한 강체(rigid body)에 가해지는 힘과 운동 상태를 뉴턴 역학(Newtonian mechanics)에 적용하면 실제 환경과 유사한 정역학, 동역학적 특성을 주어진 시간 안에 계산해 낼 수 있다. 이러한 물리 엔진은 최근 3D 게임 열풍과 함께 많은 연구가 진전되어 강체의 역학 뿐만 아니라 파티클(particle), 유체(fluid) 및 변형 물체(deformable body)의 동역학적 특성도 실시간으로 계산이 가능하다. 뿐만 아니라 충돌 검출 기능을 가지고 있어 다른 강체와의 접촉을 쉽게 파악할 수 있다. 물리 엔진은 논리적으로만 공간을 구성하기 때문에 물리 엔진이 연산한 움직임을 화면에 그려주는 작업은 흔히 그래픽 엔진이라 부르는 렌더링 엔진이 수행한다. 본 연구에서는 렌더링 엔진은 Direct 3D를 사용하여 시각화하였다.

2.2 물리 엔진의 종류와 특징

여러 종류의 물리 엔진이 공개 또는 상용 제품으로 판매되고 있지만 상대적으로 많은 사용자층을 가지고 있는 물리 엔진을 간추려보면 ODE(Open Dynamic Engine), Ageia PhysX, Havok, Newton Game Dynamics, 등으로 정리할 수 있다. ODE는 이점에서 유추할 수 있듯이 무상으로 사용할 수 있는 무료 소프트웨어이다.

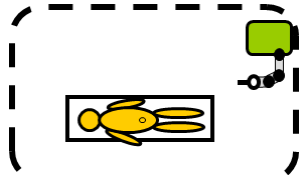
1. 서 론

기존의 외과 수술은 의사가 작업할 수 있는 공간을 확보하기 위해 환부의 절개 부위가 두 손이 들어갈 정도가 되어야 했다. 이는 환자의 회복을 더디게 하고, 많은 후유증도 유발시킨다. 복강경을 이용한 최소 침습 수술(Minimal Invasive Surgery)는 환부의 절개 부위를 소형 카메라가 달린 가느다란 링크가 들어갈 정도로 줄이고, 의사가 카메라의 영상을 통해 외부에서 수술 도구를 이용해서 집도한다. 이 경우 절개 부위가 최소한으로 제한되어 출혈이 적고 수술 후 회복이 빠르다는 장점이 있어 점차 그 적용 범위가 확대되고 있다[2].

이러한 복강경 수술 로봇 팔은 주로 해외에서 제작된 시스템을 이용하였으나 최근 국내에서도 이러한 복강경 수술 로봇 팔의 제작에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[3][4]. 수술 로봇 팔을 제작하는데 있어 중요한 설계 요소 중에 하나는 로봇 팔의 동작 범위이다. 제한된 시각을 가지는 카메라를 통해 환부를 보기 때문에 수술 작업 내용에 따라서는 카메라 위치를 바꿔주어야 할 필요가 있고, 이 때 로봇 팔의 동작 범위를 넘어서는 경우라면 수술이 원활히 진행되기 어렵기 때문이다. 또한 수술 위치에 따라 로봇 팔이 가지고 있어야 할 동작 범위가 제각각이기 때문에 설계가 어려워진다. 따라서 설계 초기에 수술용 로봇 팔이 움직일 수 있는 동작 반경을 확인하고, 다시 설계에 적용해야 하는 과정을 거쳐야 한다. 기존의 역기구학을 푸는 방식의 동작 범위 분석은 자동화를 위해 역기구학을 closed form으로 구성해야만 하며, 설계 파라미터가 변경되는 경우 다시 역기구학을 계산해야 한다. 따라서 빈번하게 설계 파라미터가 변경되는 설계 초기 단계에서 매번 역기구학을 계산하여 동작 반경을 확인하기란 매우 어렵다.

2. 본 론

2.1 동작 범위 분석 방법 조사



〈그림 1〉 복강경 수술 로봇 팔과 수술대 환자

복강경 수술 로봇 팔은 위 그림과 같이 환자의 복부에 위치하는 구멍을 통해 마지막 링크를 집어넣어 환부를 카메라로 비춘다. 이 때 환자의 수술 위치에 따라 로봇 팔이 위치하는 공간은 다르고, 집도하는 의사의 작업 공간을 확보해야 하기 때문에 복강경 수술 로봇 팔의 동작 범위는 매우 중요하다. 그림 2의 좌측 그림은 상황에 따라 복강경 수술 로봇이 위치하는 곳을 표시한 그림이며, 나머지 우측 그림은 수술 중에 로봇이 최소한 확보해야 하는 동작 범위를 도시한 그림이다.

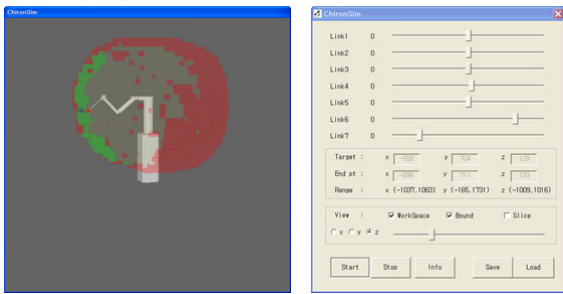
트웨어이며, 다른 물리 엔진보다 일찍 만들어져 비교적 구조가 간단하다. OS에 종속되지 않아 장치 독립적으로 구현할 수 있다는 장점도 가지고 있다[5]. Ageia PhysX는 병렬 컴퓨팅 환경을 지원하여 매우 복잡한 구조를 가지는 강체의 시뮬레이션에 적합하다. 또한 유체, 기체에 대한 동역학 계산도 지원할 뿐만 아니라 이러한 연산이 하드웨어와 맞물려 가속 기능이 있기 때문에 여러 물리 엔진 중에서 가장 강력한 기능을 가지고 있다고 볼 수 있다. 최근 NVIDIA사와 병합되어 NVIDIA PhysX로 명칭이 변경되었다. 기능이 많은 만큼 사용법이 복잡하고, 동작시키기 위해 필요한 환경이 까다롭다는 단점이 있다[6]. Havok은 상용 게임 물리 엔진으로 많은 3D 게임에서 이 엔진을 사용하고 있어 안정성, 성능은 널리 검증이 된 유명한 물리 엔진이다. 하지만 가격이 가여서 연구용으로 사용하기에 어려움이 있다.

Newton Game Dynamics는 OS에 종속적이지 않아 다양한 크로스 플랫폼에서 동작이 가능하고, 무료로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 잘 정리된 매뉴얼과 사용 예제를 이용하면 쉽게 작업할 수 있다는 장점이 있다[7].

본 연구에서는 강체의 동역학 분석에만 국한되므로 굳이 많은 기능이 필요 없으며, 시뮬레이터를 구성하는데 필요한 최소한의 기능만 가지고 있는 편이 작업하기에도 편리하므로 ODE를 선택하였다.

2.3 동작 범위 분석 시스템 구성

아래 그림은 물리 엔진을 적용하여 구현된 로봇 팔의 작업 반경 분석 시뮬레이터의 모습이다. 각 링크의 관절을 사용자가 직접 움직여가며 동작 범위를 분석할 수도 있으며, 자동으로 가상 목표점을 지정한 후 로봇 말단 장치(end effector)가 그 위치에 도달하는지 분석할 수도 있다. 후자의 방법을 구현할 때 앞서 설명한 바와 같이 기존의 방식에서는 역 기구학을 계산하는 것이 이전까지의 방법이었으나, 구현된 시뮬레이터에서는 각 관절은 서로 연결되어 있고, 토크는 풀어져 있는 상태를 유지하여 로봇의 말단 장치에 목표점을 향한 외력을 가해 목표점으로 이동시키는 방법을 사용하므로 복잡한 역기구학을 풀 필요가 없고 직관적으로 시각화된다.



〈그림 4〉 물리 엔진을 적용한 작업 반경 분석 시뮬레이터

따라서 시뮬레이터에서는 로봇 주변의 일정 공간을 분석하고자 하는 최소 단위의 육면체로 나누고, 각 육면체 방향으로 로봇 말단 장치를 끌고 오는 힘을 가해 해당 위치에 도달하면 로봇의 동작 반경에 속하는 부분으로 표시한다. 만일 로봇의 기구학적으로 도달하지 못하거나 동작 반경 외에 속하는 부분이라면 외력을 가해도 로봇이 도달하지 못하므로 이 부분은 로봇의 동작 반경이 아닌 곳으로 표시한다.

구현된 시뮬레이터는 카메라 뷰포인트를 임의의 위치로 옮겨 동작 반경을 확인할 수 있다. 따라서 관심있는 특정 위치만 동작시켜 확인할 수 있으며, 이는 수술용 로봇에서 중점적으로 움직이는 부분만 확인할 때 유용하다.

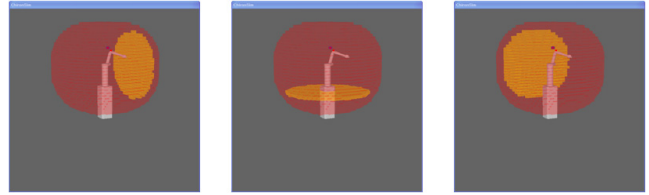
2.4 실험 결과

가상의 공간에 목표점이 지정되면 로봇 팔은 각 관절에 토크가 없는 상태에서 외력에 의해 끄는 힘 방향으로 움직인다. 3차원 공간에서 지정된 위치에 도달하면 색상을 달리하여 도달한 공간임을 표시하여 시각화하였다.



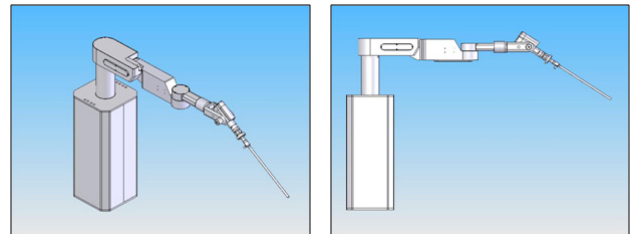
〈그림 5〉 가상의 목표점으로 로봇팔이 이동하여 로봇이 움직일 수 있는 공간을 시각적으로 표현한다.

로봇의 동작 반경은 3차원 공간에 해당하기 때문에 단순히 도달한 곳의 색상을 달리하는 것만으로는 내부 공간을 분석하기가 어렵다. 따라서 공간 분석 시뮬레이션이 끝난 후에는 사용자가 원하는 위치에서 X, Y, Z 축 방향으로 분할한 평면을 다시 시각화하여 분석할 수 있도록 하였다.



〈그림 6〉 주어진 공간에 대해 분석이 완료되면 특정 X, Y, Z 평면에 대해 동작 범위를 시각적으로 표시할 수 있다.

이와 같은 작업은 복강경 로봇팔의 설계 초기에 반복적으로 수행되었고, 동작 반경 시뮬레이터를 통해 복강경 수술에 적합한 동작 반경을 가지는 로봇 팔을 설계할 수 있었다.



〈그림 7〉 작업 공간 분석을 통해 최적의 동작 반경을 가지는 로봇 팔의 설계 완료 모습

3. 결 론

구현된 물리엔진을 이용한 수술 로봇의 작업 반경 분석 시스템은 수술용 로봇 뿐만 아니라 일반 산업용 매니퓰레이터에도 그대로 확장 적용이 가능하며, 복잡한 역기구학을 계산할 필요가 없어 자유도가 높은 시스템에도 계산량에 구애받지 않고 적용할 수 있다. 특히 병렬 매니퓰레이터와 같이 기구학 식이 복잡한 경우에도 캐드 도면의 수치만으로 작업 공간의 분석이 가능하므로 그 적용 분야는 매우 넓다고 볼 수 있다. 또한 설계 초기 단계에서 시스템의 사양이 자주 변경되는 상황에도 유연하게 대처할 수 있어 빠른 결과를 얻을 수 있다. 마지막으로 공간의 분해능은 사용자의 필요에 따라 적절히 선택할 수 있으므로 원하는 상세한 레벨(Level of Detail)을 선택할 수 있다는 장점이 있다. 다양한 경우에 대한 시뮬레이션 동영상은 [8] 사이트에서 확인할 수 있다.

【참 고 문 헌】

- [1] M. C. Cavusoglu, I. Villanueva, F. Tendick, "Workspace Analysis of Robotic Manipulators for a Teleoperated Suturing Task," *Proc. of the Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2001*
- [2] 이우정, "외과 영역에서의 Robotic Surgery", 대한내시경복강경 외과학회지, Vol. 8, No. 2, pp.41-47, 2005
- [3] Yun-Ju Lee, Jonathan Kim, Seong-Young KO, Woo-Jung Lee, Dong-Soo Kwon, "Design of a Compact Laparoscopic Assistant Robot : KaLAR," ICCAS, 2003
- [4] 조영호, "복강경 수술 로봇 시스템", 대한민국 특허 등록 10 - 0585458, 2005
- [5] Eric Vaughan, "Open Dynamics Engine for Evolutionary Robotics," University of Sussex, 2007
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/PhysX>
- [7] <http://www.newtondynamics.com/>
- [8] <http://www.withrobot.com/entry/Invasive-Robot>