

사이버 나이프 주제어 시스템 개념 설계

최유락*, 정경민*

*한국원자력연구원 융합기술개발부

e-mail:gensym@naver.com

Conceptual Design of a Main Control System for CyberKnife

You-Rak Choi*, Gyoeng-Min Jeong*

*Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

사이버나이프 시스템은 독특한 형태의 정위적 방사선 치료를 수행하는 로봇 팔을 이용하는 방사선 수술 시스템으로 치료 중 환자의 호흡 등에 따른 신체의 움직임에도 1mm 이내의 오차 범위에서 정확하게 방사선을 조사해야하며, 여러 병소를 동시에 치료할 수 있다. 사이버나이프 시스템은 로봇 팔, 선형 가속기, 병소 위치 추적 장치, 방사선 조사 스케줄러와 같은 다양한 모듈들이 통합된 시스템으로, 이를 통합 제어하기 위한 주제어 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 본 연구원에서 개발하고자 하는 사이버나이프 주제어 시스템의 설계에 관하여 기술한다.

1. 서론

방사선수술은 병소에 고선량의 방사선량을 집중 조사하는 방법으로 1967년 Leksell에 의해 감마나이프 치료기가 도입된 이래 다양한 종류의 두 개내 종양 및 혈관기형을 비수술적 방법으로 제거하는 효과적인 치료 방법으로 사용되어 왔다. 그러나 침습적인 고정기구를 장착에 따른 환자의 불편감이 크고, 1회에 치료를 끝내야 하는 제한 때문에 다중 병소에 대해서는 매우 제한적으로 사용되었다. 사이버나이프는 이러한 기존 방사선수술의 한계점을 극복한 신 치료법이라고 할 수 있다[1].

사이버나이프의 특징은 선형가속기 말단의 로봇 조사 방법과 영상유도장치이다. 사이버나이프 방사선 수술 장비의 중요 구성요소는 100Kg 이상의 선형가속기를 탑재한 채 자유롭게 움직이는 로봇 매니플레이터와 실시간 치료 영상을 얻을 수 있는 영상촬영기, 그리고 호흡 운동 감지 카메라 등이다[1]. 방사선 조사 스케줄은 전문 의학팀에 의해 제공되며, 사이버나이프는 이 스케줄에 따라 환자의 호흡에 따른 움직임에도 불구하고 병소를 1mm 이내의 오차로 추적하며 방사선 치료를 수행한다.

본 논문에서는 원자력연구원에서 개발을 시도 중인 사이버나이프 시스템의 주제어를 위한 개념적 설계에 대하여 기술한다.

2. 사이버나이프 구성

사이버나이프를 이용한 방사선수술이 활성화되기 위해서는 먼저 병소 주위의 정상 조직 파괴를 최소화하면서 종양을 제거할 수 있도록 고선량의 저분할 치료에 대한

정밀한 계획이 필요하다. 둘째는 호흡 등에 의한 환자의 움직임에 따라 종양과 주변 장기의 움직임이 발생하는 상황에 대한 적절한 조치가 필요하다. 고선량 치료를 수행하면서 정상세포의 피해를 최소화하기 위해서는 병소와 주변 장기의 움직임을 파악하여 정밀하게 병소에만 방사선을 조사해야 하므로 병소의 정밀 추적을 위한 영상유도 방사선 치료 기술도 필요하다[1][2].

사이버나이프 시스템은 로봇 매니플레이터 및 제어 모듈, 방사선 선형가속기 제어 모듈, 병소 및 주변장기 영상처리 모듈, 방사선 조사 스케줄 모듈, 그리고 이 모듈간의 통합제어 모듈로 구성될 수 있으며, 이들은 모두 네트워크로 연결될 것이다.



(그림 1) 기존 사이버나이프 시스템 예

로봇 매니플레이터의 경우 현재는 상용 로봇과 자체 개발 로봇을 이용할 계획으로 방사선 조사 스케줄에 따른 자동 이송 루틴과 마스터제어기와 조이스틱 등을 이용한

수동제어 모듈이 장착된다. 방사선 선형가속기의 경우 150Kg 이내의 모듈을 자체 개발하고 있으며, 이는 매니플레이터의 end-effector에 탑재된다. 선형가속기의 방사선 조사도 방사선 조사 스케줄에 따른다. 병소 영상처리 모듈의 경우 방사선 조사 중에도 병소에 대한 방사선 조사가 오차 없이 수행되는지를 확인하기 위한 X-Ray나 CT 영상처리와 환자의 호흡에 따른 방사선 조사 추적에 위한 영상처리가 포함되는데, 방사선 조사 추적 측정값은 환자의 호흡에 따른 병소의 위치변경을 예견하여 병소 위치를 추정하는 알고리즘의 정확성 제고에 도움을 준다. 현재 개발 중인 사이버나이프 시스템에서는 베드의 이동 기능을 이용하여 매니플레이터의 이동과 최적의 조합을 이룰 수 있는 기능을 적용하고자하는데, 스마트 베드로 명명된 이 장치는 의료계의 조언을 통해 그 움직임 정도가 정의하게 될 것이다.

3. 사이버나이프 주제어 시스템 설계

사이버나이프를 이용한 수술의 경우 방사선 조사의 정확성과 로봇 매니플레이터의 이동에 따른 환자의 안전보호가 최우선되어야 하며, 두 개 이상의 병소를 동시에 수술할 수 있는 기능을 통해 환자의 방사선 조사 시간을 줄여줄 필요가 있다.

사이버나이프 주제어 시스템은 사이버나이프 구성 모듈들을 유기적으로 연결하고, 방사선 수술 스케줄에 따라 정확한 수술을 진행할 수 있도록 각 모듈간의 협업을 수행할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 현재 개발하고 있는 주제어 시스템의 경우 각 모듈을 네트워크를 이용하여 연결한다. 로봇제어, 영상처리, 수술 스케줄 모듈들은 각각의 서비스 루틴을 따라 주제어 시스템과 데이터 송수신을 수행하며, 이들로부터 수신된 데이터를 이용하여 방사선 수술에 필요한 다양한 기능들에 대한 제어를 수행하는 루틴을 포함한다.

두 대 이상의 매니플레이터가 구동되어야 하는 상황이므로, 매니플레이터 간 상호 작업 간섭을 회피할 수 있는 기능과, 매니플레이터가 환자에게 무리하게 접근하는 상황을 예방하는 기능을 탑재해야 한다. 스마트 베드의 움직임과 매니플레이터에 탑재된 선형가속기의 움직임에 따른 상관관계를 해석하여 정확한 방사선 조사가 이루어질 수 있도록 해야 하며, 이와 함께 호흡이나 환자의 움직임에 따른 병소 위치의 추정과 실제 위치 계측을 통한 정밀한 방사선 조사가 이루어질 수 있도록 이송기구들의 움직임을 제어해야 한다.

수술 도중 시스템 에러나 응급 상황에 대한 조치를 위한 사용자 인터랙션 기능은 반드시 포함되어야 한다.

매니플레이터는 임의 거리 이동 후에도 방사선 조사 시 병소와의 위치 오차가 1mm 이내여야 하는데, 이 조건을 만족시키기 위해서는 매니플레이터 자체의 고정밀도 및 제어 기술이 기본적으로 필요하며, 고하중의 선형가속기가 탑재된 매니플레이터의 구조적 변형에 대한 공학적

해석을 통한 실시간 오차 보정 기술이 적용되어야 한다.

4. 결론

병소와 주변 장기의 움직임을 정확하게 추종하면서 병소에만 정밀하게 고선량의 방사선을 조사할 수 있는 사이버나이프 기술을 개발하기 위해서는 병소의 위치 추적 기술과 매니플레이터의 정밀한 제어가 기본적으로 요구된다. 위치추적 기술은 현재 금침을 이용한 방법과 X-Ray, CT 등을 이용한 방법들이 개발되고 있다. 이 외에도 사이버나이프 시스템을 구성하는 다양한 모듈들은 독립적으로 기능을 수행할 수 없으며, 치료 계획과 시스템을 이용한 치료 수행이 정밀하고도 유기적으로 연관되어 안정적으로 진행되어야만 한다. 이러한 기능을 수행하는 모듈이 사이버나이프 주제어 시스템이 될 것이며, 이 시스템은 전체 시스템의 안정성과 치료 시간 축소를 위한 다양한 알고리즘이 적용될 것이다.

참고문헌

- [1] Yeon Sil Kim, "Cyberknife Robotic Radiosurgery System for Cancer Treatment," J Korean Med Assoc, Vol. 51, No. 7, pp. 630-637, 2008.
- [2] Fuller DB, Naitoh J, Lee C, et al. Virtual HDR CyberKnife Treatment for Localized Prostatic Carcinoma: Dosimetry Comparison with HDR Brachytherapy and Preliminary Clinical Observations. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2008; 70:1588-1597.