

방사선 로봇 시스템 통합

최유락*, 정경민*, 최영수*
*한국원자력연구원 융합기술개발부
e-mail:gensym@naver.com

Integration of a Radiotherapy Robot System

You-Rak Choi*, Gyoeng-Min Jeong*, Young-Su Choi*
*Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

방사선 로봇 시스템은 X-Ray를 이용하는 로봇 기반 자동 치료 시스템으로 방사선 치료계획 시스템, 방사선가속기, 방사선 치료 로봇, 호흡 추적 시스템, 스마트베드로 구성된다. X-Ray를 이용하는 치료 시스템인 관계로 안정적인 제어가 요구되며, 환자의 호흡에 의한 병소 위치 변위 발생에도 X-Ray를 병소에 정확하게 정량 조사해야한다. 본 논문에서는 방사선 로봇 시스템을 구성하는 서브시스템 간의 데이터 송수신 동기화와 시스템 안정성 확보, 그리고 시스템 통합을 위한 문서 작업을 획기적으로 줄이면서 시스템 통합을 단시간에 수행한 과정에 대하여 기술한다.

1. 서론

본 논문에서는 방사선 로봇 중 방사선(X-Ray)을 이용한 자동 수술 로봇 시스템의 통합에 관하여 기술한다.

방사선 수술 장비의 중요 구성요소는 100Kg 이상의 방사선가속기를 탑재한 채 자유롭게 움직이는 로봇 매니플레이터와 실시간 치료영상을 얻을 수 있는 영상촬영기, 그리고 호흡 추적 시스템 등이다. 방사선 치료 계획은 전문 의학팀에 의해 제공되며, 방사선치료기는 이 스케줄에 따라 환자의 호흡에 따른 움직임에도 불구하고 병소를 1mm 이내의 오차로 추적하며 방사선 치료를 수행한다[1].

본 논문에서는 자동 방사선 치료 계획 시스템, 2대의 방사선가속기가 탑재된 로봇 매니플레이터, 영상처리 기반 호흡 추적 시스템, 그리고 스마트베드로 구성되는 방사선 치료 시스템의 통합에 대하여 기술한다.

2. 방사선 치료 시스템의 구성

방사선 치료 시스템은 X-Ray를 병소에 조사함으로써 병소를 치료하는 수술 방법을 제공한다. 환자의 경우 항상 호흡을 하고 있어 병소의 위치가 호흡에 따라 움직이는 경우가 발생하는데, 이때에도 X-Ray는 정확한 병소의 위치에 정량 조사되어야한다. 병소에 대한 방사선 조사는 호흡 패턴 데이터와 실제 호흡 추적 및 추정을 통해 결정하는 기술을 적용한다.

X-Ray를 환자의 호흡이 있어도 정확하게 정량 조사하기 위해서는 환자의 호흡을 추적할 수 있는 영상처리 기반 호흡추적 시스템과 방사선가속기가 탑재된 로봇 시스템, 그리고 로봇이 자동으로 치료를 수행할 수 있도록 로봇의 이동 경로와 X-Ray 조사량을 알려주는 치료 데이터

인 치료계획을 계산하여 생성해주는 시스템이 필요하다. 환자의 초기 위치를 상하좌우로 움직이며 치료선상에 맞출 수 있는 스마트베드도 요구된다. 이러한 시스템들은 각각 별도의 제어컴퓨터를 이용하여 제어되며, 치료 과정의 안정적인 제어지시와 시스템 간의 정확한 타이밍에서의 데이터 전달을 수행할 수 있는 서버가 요구된다.



(그림 1) 방사선 치료기

3. 서브시스템 개발

방사선 치료 계획은 전문의학팀의 전문지식과 컴퓨터의 복잡한 계산에 따라 생산되는데, 여기에는 이 방사선 치료 시스템의 좌표계를 인지하여 계산된 로봇의 이동 경로와 X-Ray 조사각도, 그리고 X-Ray 조사량 등의 데이

터가 수록된다.

로봇의 경우 2개의 매니플레이터를 가지고 있으며, 각각의 매니플레이터에는 별도의 방사선가속기가 탑재된다. 2개의 방사선가속기가 동시에 병소에 X-Ray를 조사함으로써 방사선 조사 시간을 단축시킬 수 있도록 하였다. 2대의 매니플레이터가 구 표면을 따라 이동하는 구조이므로 구조물과의 충돌회피 알고리즘이 적용되었다.

호흡추적 시스템은 환자의 병소 위치와 가까운 피부에 부착된 3개의 마커 좌표를 영상처리에 의해 추적하며, 습득되는 마커 좌표는 방사선 가속기에 전달된다. 로봇 매니플레이터에 탑재된 방사선 가속기는 수백라인의 치료계획 중 한 라인(스텝)의 시작부터 종료 시까지 고정되어 있으며, X-Ray 조사각에 병소의 위치가 포착될 때에만 X-Ray를 조사한다. 그러나 영상처리로 습득된 마커의 위치는 영상취득 시점에서부터 시간차가 발생하게 되므로, 이를 보정하여 병소의 위치를 추정할 수 있는 호흡추정 기법이 적용된다. 호흡추적과 추정 시스템에 의해 방사선 가속기의 X-Ray 조사와 정지가 반복되며, 방사선가속기 제어시스템에서는 치료계획에 정의된 X-Ray 조사량을 조사하였는지 확인한다.

4. 시스템 통합

본 시스템의 동작에서 가장 중요한 이슈는 정확성과 안정성이다. X-Ray 라는 방사선을 이용하는 치료이기 때문에 방사선이 환자의 병소에만 조사되어야함은 물론, 구성 시스템들의 오류 발생 상황에서도 안정적으로 대처할 수 있어야만 한다.



(그림 2) 방사선 치료 시스템 구조

서버는 로봇, 치료계획시스템(RTP), 방사선가속기, 호흡추적시스템, 그리고 스마트베드의 유기적 동작을 연결하고 감시하면서 치료계획을 자동으로 수행한다. 또한 구성 시스템들 상태를 지속적으로 판단하여 치료 흐름을 제어한다. 서버는 로봇과 방사선가속기 시스템에 대해 지터 1.5ms 이내의 주기제어 쓰레드를 통한 데이터 흐름 제어를 수행하며, 호흡추적시스템으로부터는 62.5ms/Frame의 속도로 마커 위치를 전송 받아 호흡추정 알고리즘을 통해

방사선의 조사 시작과 종료 명령을 방사선가속기에 전송한다. 방사선 조사량과 조사각도는 치료계획시스템에 의해 결정되며, 치료계획 데이터는 서버로 전송되어 자동 검사를 수행한다. 이 데이터를 기준으로 방사선가속기는 방사선 조사량을 계산하여 하나의 조사각에서 조사해야하는 방사선 조사량의 조사가 끝났음을 서버에 알려준다.

서버는 5개의 서브시스템들과 TCP/IP로 통신하는데 각 시스템들의 고유 통신 포트를 정의하였으며, 서브시스템들의 접속과 해지가 자유롭도록 구현하였다. 안정성 확보를 위해 통신케이블의 unplug에 의한 통신 오류를 1초 이내에 감지할 수 있는 기능을 구현하였으며, 통신을 비롯한 다양한 오류에 대해서 방사선 조사와 로봇 제어에 대한 오류시나리오를 구현하였다. 이 기능은 서버와 서브시스템들에 동시에 구현함으로써 안정성을 향상시켰다.

5개의 서브시스템들은 각각의 기능에 대한 캘리브레이션을 수행해야할 필요가 있다. 캘리브레이션은 단순 혹은 복수의 서브시스템들의 조합으로 이루어지는데, 이를 위해 서버에는 이 조합에 따른 동작제어 시나리오를 구현하였다.

5. 시스템 통합 실험

정읍 첨단방사선연구소에 방사선 로봇을 설치하여 통합실험을 수행하였다. 이 결과 각 서브시스템간의 주기제어 통신을 이용한 완벽한 데이터 송수신 상태, 호흡추적에 따른 방사선 조사 위치 1mm 이내 확인, 오류 발생 시 방사선 치료의 안정성 확보를 모두 확인할 수 있었다. 데이터는 송수신하는 모든 데이터를 프로그램을 통해 직접 비교하였으며, 방사선 조사 위치는 방사선 디텍트 센서를 이용하여 확인하였다. 안정성의 경우 임의의 오류를 발생시켜, 오류 시나리오에 따른 안정적인 치료 수행이 진행됨을 확인하였다.

6. 결론

방사선 로봇 시스템을 개발함에 있어 5개의 기관이 서로 협업하는 과정에서 시스템 통합을 위한 방안으로 통신 프로토콜과 송수신 데이터 세트를 먼저 정의하고, 실시간 제어를 위한 최소 시간 데이터 송수신 주기를 정확하게 수행해줄 수 있는 쓰레드 기술을 구현하여 공유하였다. 서브시스템의 데이터는 서버를 통해 전달하도록 하였고, 서버에서는 자동 치료계획 수행과 오류처리를 수행할 수 있도록 함으로써 시스템 통합을 위한 문서 작업을 획기적으로 줄이면서도 단시간에 안정적인 시스템 통합을 완료하였다.

참고문헌

[1] 최유락, 정경민 “사이버나이프 주제어 시스템 개념 설계,” 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집, pp. 1763-1764, 2015.