# 객체 지향 개념을 이용한 뇌정위 방사선 수술 계획 시스템

박승훈, **서태석, ***서덕영, *강위생, *하성환, *김일환, *박찬일

건국대학교 의과대학 의학공학과
*서울대학교 의과대학 치료방사선과
**카톨릭 의과대학 치료방사선과
***경희대학교 공과대학 전자공학과

# Object-Oriented Stereotactic Radiosurgery Planning System

S-H Park, **T-S Suh, ***D-Y Suh, *W-S Kang, *S-H Ha, *I-H Kim and *C-I Park

Dept. of Biomedical Eng., Kon Kuk Univ., *Dept. of Radiation Therapy, Seoul National Univ.
**Dept. of Radiation Therapy, Catholic Univ, ***Dept. of Electronics Eng., Kyung Hee Univ.

## ABSTRACT

In this paper, we present an object-oriented stereotactic radiosurgery planning system, which accepts medical images such as CT and angiography, transforms the coordinates to a reference frame coordinate, calculates dose distributions, and finally displays isodose curves over the images. The user finds an adequate one for radiosurgeries after performing computer simulations on different treatment parameter sets. The object-oriented design concept was fully applied to the system composed of seven manager objects of different classes: a patient information manager, a user-interface manager, a coordinate transformation manager, a blackboard manager, a dose calculation manager, an isodose curve display manager, and a report manager. All the user interactions are carried out through the use of mouse buttons. The performance of the system was verifed by four physicians and two medical physicists, and now is being used in two clinical sites.

## 서 론

최근 핵자기 공명 영상장치 및 X-ray CT등과 같은 영상 진단기기들의 발달에 힘입어 뇌의 깊은 곳에 위치한 미세종양과 기형을 조기에 발견할 수 있게 되었다. 그러나, 미세수술등 신경외과 영역의 눈부신 발전에도 불구하고, 두개강내 일부병소에 대한 수술은 많은 위험을 수반하고 있다. 특히, 뇌의 중심부 또는 기능적으로 중요한 부위에 발생한 동정맥 기형이나 종양등은 수술이 불가능하거나, 많은 위험이 따르는 경우, 종래의 외과적인 수술 방법 대신 방사선을 이용한 수술로 대신하고 있다. 1980년대에 선형가속기 (LINAC)를 이용한 뇌정위적 방사선 수술방법이 소개된 이후, 경제적으로 쉽게 이용할 수 있는 수술방식으로 등장하게 되었다 [1, 2].

이러한 방사선 수술방법은 수술하기 전에 미리 치료계획을 정밀하게 수립하여야 하며, 수술시 환부가 아닌 다른 부분에 얼마나 많은 양의 방사선이 조사되는지 미리 확인하여, 치유율을 높이면서 부작용을 최소화하는 것이 매우 중요하다. 방사선 치료 계획 시스템은 이러한 작업을 컴퓨터를 사용하여 미리 모의 실험할 수 있게 해주는 소프트웨어 시스템이다. 본 논문에서는 선형 가속기를 이용한 방사선 수술에 사용할 수 있는 방사선 치료 계획 시스템에 대해 기술하였다.

## 시스템의 구성

선형 가속기를 이용한 방사선 수술은 크게 다음과 같은 3 단계의 작업으로 나누어 진다. 첫째로, 환자 영상으로부터 병소 부위의 위치 및 모양을 정해진 3차원 좌표계에서 정확히 찾아 낸다. 둘째로, 결정된 병소 정보와 방사선량 분포 측정 데이타를 이용하여, 병소 부위 및 주변 정상 조직에 분포되는 방사선량을 계산하여, 최적의 수술계획을 찾는다. 세째로, 정해진 수술 계획에 따라 선형 가속기를 사용하여 방사선 수술을 시행한다. 이 중, 첫번째와 두번째의 작업이 방사선 수술 계획 시스템을 사용하여 이루어 진다.

본 연구에서 개발한 방사선 수술 계획 시스템은 크게 환자 정보를 관리하는 부분, 사용자 입력을 받아 들이는 부분, 뇌정위적 좌표로 변환하는 부분, 선량 분포를 계산하는 부분, 영상 및 선량을 출력하는 부분, 그리고 문제 해결 상태를 저장하는 블랙보드 부분 및 보고서를 작성하는 부분으로 구성되어 있다.

환자 정보를 관리하는 부분은 환자의 인적사항과 영상들을 함께 관리하며, 그 환자에 대한 여러번의 수술 계획들과 결과를 저장하여 나중에 가장

적합한 수술 계획을 선택할 수 있게 한다. 사용자 입력을 받아 들이는 부분은 영상 위에서 병소 부위의 위치나 모양을 찾거나, 좌표 변환에 필요한 기준점들, 머리의 외곽선 및 중요한 기관들의 윤곽선들을 입력할 수 있게 한다. 뇌정위적 좌표로 변환하는 부분은 사용자가 입력한 기준 좌표 기구의 기준점들의 영상에서의 위치 정보를 이용하여, 뇌정위 좌표계의 3차원 좌표로 변환하는 작업을 수행한다.

선량 분포를 계산하는 부분은 병소 부위에 대한 위치 정보, 머리 윤곽선, 방사선량 분포 데이타, 방사선의 조사면 수와 방향 및 조사세기 등을 사용하여 특정한 평면에서 받는 방사선 량을 계산한다. 영상 및 선량을 출력하는 부분은 계산된 방사선량 분포에서 방사선의 조사량이 같은 부분들을 선으로 연결한 다음, 영상 위의 정확한 위치에 중첩하여 그린다. 문제 해결 상태를 저장하는 블랙보드 부분은 각 부분에서 처리한 결과 중 다른 부분들이 필요로 하는 정보들과 현재 문재 해결의 상태를 저장하고 있다.

보고서를 작성하는 부분은 치료 계획의 결과로 나온 최적의 방사선 조사 변수들, 즉 조사 중심(isocenter), 조사면의 크기 (collimator size), 조사방향 (arc position), 조사 세기 (arc weighting)등을 보고서로 만들어 출력한다. 이 보고서는 선형가속기를 사용하여 방사선 수술을 시행하는데 필요한 모든 정보를 포함하고 있다. 그림 1은 전체 시스템의 구성을 나타낸 것이다.

## 객체 지향 개념에 의거한 구현

본 연구에서 개발한 방사선 수술 계획 시스템은 객체 지향 개념에 의거하여 구현하였다. 먼저, 위에서 기술한 7개 부분들을 특유한 속성과 방법들을 갖는 독립된 class들로 정의한 다음, 그것들의 객체들을 생성하여 전체 시스템을 구성하였다. 각 부분들 간의 통신은 블랙보드라는 모든 객체들이 접근할 수 있는 객체를 통해 이루어 진다. 즉, 블랙보드라는 객체는 문제의 해결 상황을 나타내는 여러 가지 속성들을 갖추고 있으며, 다른 클래스의 객체들이 이들을 설정, 변경, 참조 변경 사용할 수 있는 공용 방법들을 구비하고 있다. 문제의 해결에 필요한 정보를 얻은 객체들은 이들을 블랙보드에 반드시 게시해야 하며, 문제의 해결에 필요한 경우, 새로운 정보를 생성하기 위해 블랙보드에 게시된 정보를 참조할 수도 있다. 블랙보드의 공용 멤버함수를 호출하여 게시하거나, 참조할 때는 그 내용은 함수의 인자 형태로 전달한다.

전체 시스템은 C++ 언어를 사용하여 구현하였으며, 윈도우 환경에서 동작하도록 개발하였다. 사용자와 통신은 버튼, 스크롤 바, 선택 버튼, 표 상자, 목록상자, 편집 가능한 문자 입력판 및 대화상자등과 같은 형태의 그래픽 접합 요소들을 사용하여, 사용자가 쉽게 입·출력할 수 있도록 개발하였다. 환자의 성명, 생년월일, 병원번호등과 같은 기본적인 신상정보와 좌표 변환 및 머리 윤곽선 정보와 같이 변하지 않는 정보는 환자 정보 화일에 저장하며, 모의 실험에 따라 변하는 조사 변수들은 모의 실험을 할 때마다 새로운 계획 화일을 만들어 별도로 저장한다.

## 성능 검증

방사선 수술 계획 시스템은 실제 임상에 적용하기 전에 반드시 전문가의 검증을 받아야 한다. 본 연구에서는 3차원 위치 결정과 방사선량 분포에 대해 다음과 같이 성능을 검증하였다. 3차원 위치 결정에 대해서는 전문가에게 영상이 담긴 필름을 주고 특정한 곳의 정위 좌표를 구하게 한 다음, 방사선 수술 계획 시스템으로부터 구해진 좌표와 비교하였다. 각 축상에서 가장 큰 경우, 그 차는 약 0.5 mm 정도였다. 방사선 선량 분포에 대해서는 방사선 조사 변수들을 결정하여 필름을 넣은 머리 모양의 팬텀에 방사선을 조사한 다음, 필름으로부터 측정한 방사선의 분포와 방사선 수술 계획 시스템으로부터 구한 분포를 비교하였다.

## 실험 및 결과

본 연구에서 개발한 방사선 수술 계획 시스템을 이용하여 2 명의 환자들을 대상으로 수술을 시행하였다. 수술의 경과는 수술 바로 전에 촬영한 CT 영상과 수술 1 개월 후에 촬영한 CT 영상을 비교하여, 3명의 의사가 병소 부위에 치료 효과가 있음을 확인하였다. 앞으로, 여러 종류의 뇌종양 환자들을 대상으로 임상 시험할 계획이다.

## 결 론

현재 사용되고 있는 종래의 방사선 계획 시스템은 방사선량 분포를 계산하는데 많은 시간이 걸린다. 본 연구에서 개발한 방사선 수술 계획 시스템은 빠른 선량 계산 방법을 채용하여, 중형 컴퓨터에서만 가능하였던 수술 계획 작업을 개인용 컴퓨터에서도 짧은 시간에 마칠 수 있도록 하였다. 그래픽 인터페이스를 최대한 활용하여, 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 하였으며, 객체 지향 개념을 사용하여 쉽게 확장 및 수정할 수 있는 구조를 갖도록 하였다. 그러나, 1 개의 조사 중심점에 대해서만 수술 계획이 가능하게 되어 있으며, 필름 스캐너를 통해서 영상을 받아 들이고 있다. 따라서, 공 모양에 가까운 종양에 대해서만 수술 계획이 가능하며, 상당히 많은 시간을 환자 영상을 입력하는데 할애하고 있다. 영상의 입력에 걸리는 시간을 단축하기 위해서는 각종 영상 진단 장치들에서 얻은 영상들을 컴퓨터 통신망을 통해 수술 계획 시스템에 직접 입력할 수 있어야 한다. 수술 계획 시스템에서 최종적으로 구한 조사 변수들을 치료 기계 장치들에 직접 전달할 수 있으면, 사람에 실수로 인한 조사 변수의 잘못된 입력을 방지할 수 있을 것이다.

둥근 공 모양과 아닌, 길게 구부러진 형태나 한 쪽으로 찌그러진 공 모양의 종양들을 치료하기 위해서는 여러 개의 조사 중심점들을 사용하여 모의 실험할 수 있어야 한다. 긴 시간동안의 시행착오를 통해 적당한 수술 계획을 찾는 방식에서 벗어나, 컴퓨터를 이용한 최적화 기법등을 적용하여 짧은 시간 안에 최적의 수술 계획을 찾아낼 수 있도록 해야 할 것이다.

## 참고문헌


[1] Colombo, F., Benedetti, A., Casentini, L., et al., "Linear Accelerator Radiosurgery of Arteriovenous Malformations," Applied Neurophysiol. No. 50, pp. 257-261, 1987.

[2] Lutz, W., Winston, K., Maleki, N., "A System for Stereotactic Radiosurgery with a Linear Accelerator," Int. J. of Radiat. Oncol. Biol. Physics, No. 14, pp. 373-381, 1988.

[3] Saw, C. B., Ayyangar, K., Sunthavalingam, N. "Coordinate Transformations and Calculations for the Angular and Depth Parameters for a Stereotactic System," Medical Physics, No. 14, pp.1042-1049, 1987.

[4] Siddon, R. L., Barth, N. H., "Stereotaxic Localization of Intracranial Targets," Int. J. of Radiat. Oncol. Biol. Physics, No. 4, pp. 431, 1987.

[5] 서태석, "LINAC을 이용한 뇌정위적 방사선 수술에 대한 3차원 선량 분포," 의학 물리 2권 2호, pp. 121-128, 1991.

[6] Leksell, L., "Occasional Review: Stereotactic Radiosurgery," Journal of Radiosurgery, vol. 46, pp. 797, 1983.

[7] Podgorsak, E. G., Oliver, A., Pla, M., et al., "Dynamic Stereotactic Radiosurgery," Int. J. of Radiat. Oncol. Biol. Physics, No. 14, pp. 115-126, 1988.

[8] Suh, T-S, "Optimization of Dose Distribution for the System of Linear Accelerator-based Stereotactic Radiosurgery," PhD. Dissertation, University of Florida, 1990.

[9] Suh, T-S, Yoon, S-C, Shin, K-S, et al. "Computer-Aided Design and Optimization for Linear Accelerator-based Stereotactic Radiography (abstract)," Med. Physics, No. 18, pp. 602, 1991.

[10] 서태석, 서덕영 박찬일 외 4인, "IBM Personal Computer를 이용한 3차원적 뇌정위 방사선 수술 계획 시스템의 개발," 대한 치료 방사선 과학회지 제 11권 제 1호, pp. 167-174, 1993.


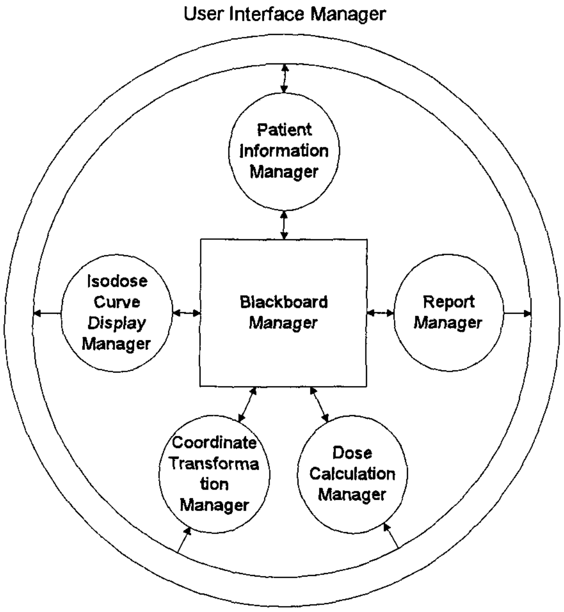


그림 1. 전체 시스템의 구성도