

УДК 004.048

ПОИСК УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛУЧЕЙ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Гнаткович А.В., Шатохин П.А.

Донецкий национальный технический университет

Лучевая терапия является одним из ведущих методов лечения больных со злокачественными новообразованиями, некоторыми системными и неопухолевыми заболеваниями. Как самостоятельный метод или в сочетании с хирургическим или с химиотерапией лучевая терапия показана и эффективна более чем у 75% больных со злокачественными опухолями.

Выбор оптимальных углов лучей при многопольном облучении в дистанционной лучевой терапии в настоящее время основывается на опыте планирования. Было доказано многими исследователями, что выбор подходящих углов луча является самым важным для плана облучения. В данном алгоритме автоматического выбора углов лучей искомые компланарные углы луча соответствуют самому низкому значению целевой функции (F_{obj}) распределений дозы.

Целью данной работы является разработка способов выбора значений углов облучения при дистанционной лучевой терапии, при которых воздействие облучения на нормальные ткани будет минимально, а на мишень (новообразования) максимально.

Для выбора подходящих значений углов облучения применяется генетический алгоритм.

Генетический алгоритм (ГА) является глобальной техникой оптимизации и представляет естественный процесс развития, в котором самые пригодные решения выживают после множества поколений естественного отбора. Обычно, неизвестная переменная в решении представлена как ген в хромосоме, а решением является хромосома, которая содержит множество неизвестных переменных.

10 о 35 о 50 о 75о 180 о

Рисунок 1 – Хромосома с пятью генами (пятью углами луча):
10 °, 35 °, 50 °, 75 ° и 180 °.

На рис. 1 отображается пример одной из таких хромосом. Этот процесс называют кодирование. Пригодность определяется для каждой особи, для того, чтобы определить насколько она является приспособленной. Во время оптимизации процесс ГА содержит группу особей (решения) в каждом поколении. Через генетические операции, такие как выбор, скрещивание и мутация, особи с лучшей пригодностью будут скрещиваться с более высокой вероятностью. После многочисленных поколений генетики, особь с лучшей пригодностью среди последней популяции определена как оптимальное решение.

Для определения пригодности особи используется целевая функция, которая является суммой функций связанных с органами риска (OAR) и мишенью (PTV) [2].

Целевая формула объективной функции, используемой в этой работе, может быть описана как:

$$F_{obj} = \alpha \cdot F_{PTV} + \beta \cdot F_{OAR}, \quad (1)$$

где α и β - факторы упорядочивания, которые управляют важностью между целью и органами риска (ОР).

Функции, связанные с органами риска и мишенью имеют вид:

$$F_{PTV} = \frac{1}{N_{PTV}} \sum_{j=1}^{N_{PTV}} (D_j - p_j)^2; \quad (2)$$

$$F_{OAR} = \frac{1}{N_{OAR}} \sum_{j=1}^{N_{OAR}} D_j. \quad (3)$$

Здесь F_{OAR} является функцией, связанной со всеми ОР, F_{PTV} является функцией, связанной с целью, N_{OAR} – количество точек в

ОР, N_{PTV} – количество точек в цели, D_j - расчетная относительная доза j-ой точки, p_i – назначенная относительная доза i-ой точки.

Для определения дозы в заданных функциях используется атлас изодозных карт, в котором указано распределение дозы при различных условиях облучения, таких как: расстояние от источника до поверхности (РИП), расстояние от источника до центра облучения (РИЦ), интенсивность излучения и размеры поля облучения.

Например, при РИП=60 см, площади поля $S=20$ см² и глубине 10 см, относительная доза будет равной 46,9 %. Данные взяты из табл. 1, которая отображает зависимость дозы от глубины проникновения луча [1].

Пример. Пусть имеется томографический снимок (рис. 2), по которому мы определяем расположение объекта в теле.

Для поиска лучших углов облучения нам понадобятся такие данные: расстояние от поверхности до объекта (РПО), размер объекта (d), расстояние от объекта до поверхности (РОП).

Допустим, что РИП и площадь облучаемой поверхности (СП) для всех углов облучения одинаковы. РИП = 60 см, СП = 20 см².

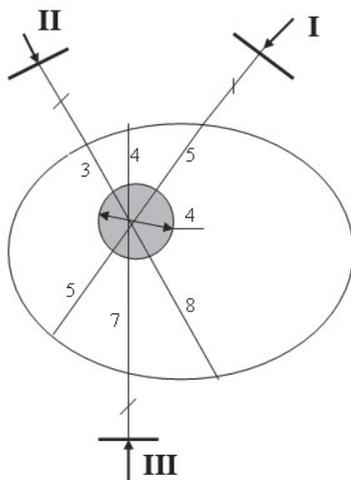


Рисунок 2 – Томографический снимок с указанием расположения объекта

Таблица 1

Процентные глубинные дозы. РИП=60 см

Глубина, см	Площадь поля СП, см ²		
	1	20	50
0,5	100,0	100,0	100,0
1	95,1	96,7	97,1
2	86,0	90,1	91,2
3	77,9	83,7	85,4
4	70,7	77,6	79,7
5	64,2	71,7	74,2
6	59,3	66,1	68,9
7	53,0	60,8	63,7
8	49,2	55,8	58,8
9	43,9	51,2	54,2
10	39,9	46,9	49,9
11	36,3	43,0	46,0
12	33,1	39,4	42,4
13	30,2	36,1	39,1
14	27,5	33,1	36,0
15	25,1	30,4	33,2

Для примера возьмем три угла с параметрами:

- I. РПО=5 см, d =4 см, РОП=5 см;
- II. РПО=3 см, d =4 см, РОП=8 см;
- III. РПО=7 см, d =4 см, РОП=4 см.

Затем с шагом 1 см с помощью табл. 1 вычисляем функции для ОАР и РТВ, для этого мы используем формулы (2) и (3).

I. $F_{oar} = (1/10) * (0.967 + 0.901 + 0.837 + 0.776 + 0.717 + 0.469 + 0.43 + 0.394 + 0.361 + 0.331) = 0.6183$;

$F_{ptv} = (1/4) * ((1 - 0.661)^2 + (1 - 0.608)^2 + (1 - 0.558)^2 + (1 - 0.512)^2) = 0.1755$.

II. $F_{oar} = 0.5513$;

$F_{ptv} = 0.1059$.

III. $F_{oar} = 0.6857$;

$F_{ptv} = 0.2601$.

Пользуясь формулой (1) и допуская, что α и β равны 0.5 мы получим:

I. $F_{obj}=0.5*0.6183+0.5*0.1755=0.3969$;

II. $F_{obj}=0.3268$;

III. $F_{obj}=0.4729$.

Исходя из сделанных вычислений делаем вывод, что лучшим для облучения является угол под номером II.

В данном примере было рассмотрено лишь три угла облучения объекта. Для поиска лучших углов из всех возможных применяется генетический алгоритм, который позволяет упростить нахождение решения.

Литература

- [1] Ратнер Т.Г., Фадеева М.А. Техническое и дозиметрическое обеспечение дистанционной гамма-терапии. – М.: Медицина, 1982, 176 с., ил.
- [2] Yongjie Li, Jonathan Yao and Dezhong Yao. Automatic beam angle selection in IMRT planning using genetic algorithm. Electronic recourse. Access mode: <http://www.accelatronics.com/docs/32AutoBeam2004.pdf>
- [3] Michael Lahanas, Kostas Karouzakis, Natasa Milickovic, Stavroula Giannouli and Dimos Baltas. Multiobjective optimization with evolutionary algorithms
- [4] Multiobjective optimization with evolutionary algorithms. Michael Lahanas, Kostas Karouzakis, Natasa Milickovic, Stavroula Giannouli and Dimos Baltas. Electronic recourse. Access mode: <http://www.mlahanas.de/MOEA/moeas.htm>