

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

Становская Т.П., Трофименко Е.Г.

В современной медицине часто встречаются процедуры, требующие нагрева относительно крупных поверхностей. К ним, прежде всего, относятся физиотерапевтическое воздействие на участки кожи, дезинфицирующая обработка хирургических полостей, термообработка в офтальмологии и др.

Из-за относительно больших площадей, зачастую сложной конфигурации, такой нагрев не может производиться по всей поверхности одновременно, и приходится прибегать к сканирующей обработке подвижным источником тепла, например, лазером.

Лазерный луч как источник тепла не имеет четких границ обработки, что в соединении с его подвижностью создает немало проблем при отпуске процедур. Управление таким процессом носит, к тому же, оптимизационный характер, т.к. любая процедура нагрева имеет отрицательные для здоровья пациента побочные действия, и экономия от уменьшения времени обработки очевидна.

Пусть необходимо обработать некоторый участок кожи пациента размером $a \times b$ сканирующим движением луча лазера. Произвольная траектория, как правило, неоптимальна с точки зрения времени процедуры, поскольку значительное количество энергии при этом рассеивается впустую. Для полного описания процесса обработки необходимо выбрать начальную точку, вычислить скорость перемещения источника из начальной точки как вектор-функцию времени $V(\tau)$ и точку окончания обработки, которая определяется, исходя из заданного критерия ее полноты. Целевой функцией оптимизации является время.

В работе были приняты такие допущения. Непрерывное движение источника заменили прерывистым: с позиции на позицию, с выдержкой времени τ_{ij} над каждой точкой O_{ij} , которая является геометрическим центром соответствующей позиции, и мгновенным перемещением из точки в соседнюю ортогонально расположенную точку.

Перемещение источника позволено только вдоль ортогональных направлений, параллельных сторонам обрабатываемого прямоугольника (рис. 1). Окончанием обработки считали неодновременное нагревание всех точек A_{ij} , которые находятся на одной нормали к обрабатываемой поверхности на глубине z под точками O_{ij} ($O_{ij} - A_{ij} = z \forall i, j$), до $T_{обр}$.

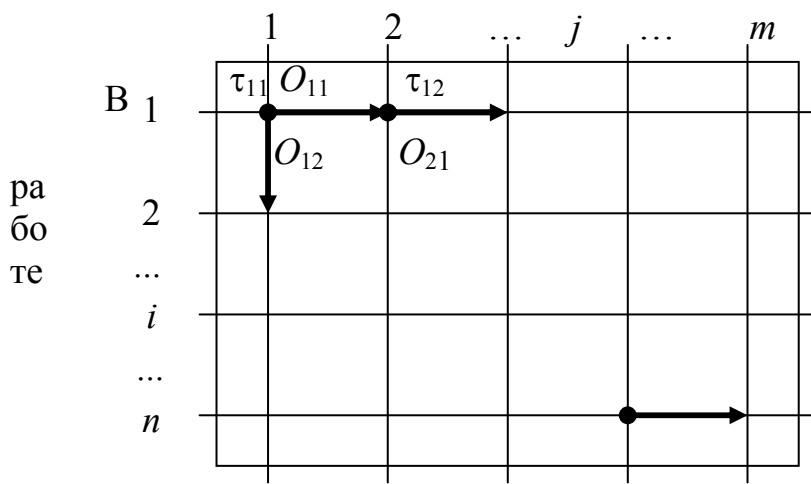


Рис. 2. Схема к выбору траектории перемещения источника тепла.

принимали также, что независимо от расположения и времени работы источников, температурное поле имеет вид бесконечного множества концентрических эквitemпературных полусфер с центрами в точках обработки O_{ij} . Любое текущее состояние поля температур под любой точкой O_k рассматривали как результат нагревания при прочих равных условиях тем же точечным источником тепла, который постоянно находится над точкой O_k , за период от некоторого прошедшего момента τ_{0k} до текущего τ_{nk} .

У каждой точки в общем случае (кроме крайних и угловых) есть четыре ортогонально расположенные «соседки». Это количество уменьшается, если точка расположена на краю ли в углу обрабатываемой поверхности или если некоторые из соседних точек уже обработанные. После отбрасывания таких точек критерием дальнейшего выбора направления в предлагаемом методе является перемещение на ту соседнюю позицию, у которой температура контрольной точки *на момент выбора максимальна*, что позволяет эффективно использовать для термообработки этой позиции тепло, накопленное за счет теплообмена теплопроводностью при обработке предшествующих позиций.

Рассмотрим тепловой баланс обработки. «Полезная» часть тепла, переданного телу, идет на обработку зоны под источником. При этом остальная часть тепла рассеивается в соседние зоны и становится утраченной. Если же некоторую часть утраченной доли успеть использовать в будущем при обработке соседних зон до того, как она окончательно рассеется, то такая часть «возвращается» в полезную, становится «псевдоутраченной». Чем больше такого «псевдоутраченного» тепла удастся сохранить для общей обработки, тем меньшим будет время облучения пациента.

Разобьем подлежащий термической обработке фрагмент объекта на элементарные объемы $\Delta x \Delta y \Delta z$ в декартовой системе координат, полагая температуру внутри каждого такого элементарного объема зависящей только от времени $T_{ijk} = T_{ijk}(\tau)$, где i, j, k – адреса элемента по x, y и z , соответственно.

Алгоритм решения задачи оптимизации следующий:

- создается трехмерный массив, количество элементов в котором отвечает количества элементарных объемов в объекте, который нагревается;
- каждому элемента массива соотносятся два атрибута: температура T_B на текущей временной итерации и параметр булевого типа, принимающий значение 0, если установленные условия завершения обработки еще не выполнены, и значение 1, в случае, если эти условия выполнены;
- принимается, что начальная температура T_{ijk0} всех элементарных объемов равняется температуре окружающей среды;
- выбирается точка начала обработки и устанавливаются (для первой временной итерации) исходные параметры;
- выполняется теплофизический расчет температуры в элементарных объемах до конца временной итерации. Соответствующие значения температур T_{ijk1} присваиваются элементам массива;
- проверяется уровень обработки для каждого элемента; те элементы, в которых обработка завершена, из дальнейшего рассмотрения исключаются;
- выбирается оптимальный режим обработки для следующей временной

итерации;

– предыдущие три шага повторяются до тех пор, пока для всех элементов объекта параметр обработки не примет значения 1.