

粒子線治療装置スケジューリングシステム

4W-2

—治療日スケジューラー—

青山功†, 佐藤裕幸†, 浅見廣愛†, 坂本豪信‡, 土谷昌晴‡

† 三菱電機（株）情報技術総合研究所

‡ 三菱電機（株）通信機製作所

1 はじめに

粒子線治療装置スケジューリングシステムは、癌治療に用いられる非常に高価な粒子線治療装置の稼働率を最大限に向上させることを目的に、患者の治療計画に沿った治療スケジュールを自動立案するシステムである[1]。

治療スケジュールの規模は100治療/日×数ヶ月と大規模であり、全ての治療の治療日時、使用治療室、使用加速器を1度に求めることは長時間を要し実用的でないと考えられる。そこで、本システムでは実用的な時間内にスケジュールを立案するために、全ての治療の治療日（以降治療日スケジュールと呼ぶ）の決定と、詳細なスケジュールが必要な期間のみ各日の治療順の決定[2]との2段階の立案を行う。

本稿では、2段階の立案のうち、治療日スケジュールの立案への共存型GA[3]の適用手法について述べる。

2 治療日スケジュールの制約条件及び最適化条件

各患者の治療内容は、治療部位毎に「治療計画」と呼ばれる情報で決まる。更に、治療計画は患部への照射方向毎の「照射」と呼ばれる情報で構成される。各照射には、粒子種、エネルギー強度、治療期間、治療間隔等が含まれ、各治療は、この照射を複数回に分けて実施することである。

治療日スケジュールの制約条件及び最適化条件は以下の通りである。

◆ 制約条件

1. 治療開始予定日以降に治療を開始する。
2. 治療計画毎の1週間当たりの治療回数は指定された回数とする。ただし、治療開始と治療終了の週は指定回数未満でよい。
3. 患者の治療不可能な日に治療を割り当てない。
4. 加速器の1週間の総照射線量/総照射時間は法定上限値以下とする。
5. 治療室の1週間の総照射線量/総照射時間は法定上限値以下とする。

◆ 最適化条件

1. 治療計画毎の実際の治療開始と治療開始予定

日との差を最小にする。

2. 治療計画毎の実際の治療終了日と治療終了予定日との差を最小にする。
3. 治療計画毎の実際の治療日間隔と治療計画から算出される治療日間隔との差を最小にする。
4. 照射毎の実際の治療日間隔と照射から算出される治療日間隔との差を最小にする。
5. 1日に使用する粒子種数を最小にする。
6. 1日に使用するエネルギー強度数を最小にする。
7. 各日の最終治療が終了する時刻と指定された終了時刻との差を最小にする。
8. 同じ週における各日の最終治療が終了する時刻の差を最小にする。

3 治療日スケジュールへの共存型GAの適用

各患者の治療内容は照射毎に決められているので、治療日の決定も照射毎に行う。図1は治療日スケジュールを照射毎に示したものである。図1において、黒丸は治療を実施することを、白丸は治療を実施しないことを表わしている。例えば、2月2日は患者0001/治療計画01/照射02と、患者0002/治療計画01/照射01の治療を実施することを表わしている。

治療日スケジュールは、各照射毎の最適化（制約条件1,2,3と最適化条件1,2,3,4）や、各日毎の最適化（最適化条件5,6,7）や、週毎の最適化（制約条件4,5と最適化条件8）など多目的な最適化を行わなければならない。各照射毎の最適化は図1における横方向の最適化であり、各日毎の最適化は図1における縦方向の最適化である。また、週毎の最適化は1週間単位の縦横両方の最適化である。我々は、この様

患者	治療計画	照射	2/2	2/3	2/4	2/5
0001	01	01	○	●	○	●
		02	●	○	●	●
	02	01	○	●	○	●
		02	○	●	○	●
0002	01	●	●	○	○	

個体

図1 治療日スケジュールと共存型GA

A Radiation Treatment Scheduling System: A Treating Day Schedule

Isao Aoyama, Hiroyuki Sato, Hiroai Asami,
Hidenobu Sakamoto, Masaharu Tsuchiya
Mitsubishi Electric Corp.

5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan

な複雑な多目的最適化を行うために、GA の適用を検討したが、一般的な（1 個体で 1 つの解を表現する）GA モデルでは、致死遺伝子を生成しないためには複雑な交叉が必要になる。

そこで、我々は共存型 GA を治療日スケジュールに適用した。共存型 GA は複数の個体を合わせて 1 つの解を表現し、各個体毎の最適化と個体の集合全体に対する最適化の両方を行うことで解の改善を図るモデルである。図 1 に示したように各治療日毎に実施される治療を 1 つの個体で表現し、個体毎の最適化により日毎の最適化が図られ、全個体を合わせた最適化により照射毎及び週毎の最適化が図られる。

交叉は、1 つの解から 2 つの個体を選択し、2 個体間の同じ遺伝子座の遺伝子をいくつか入れ替えることにより行う。これは各照射毎に治療日を変更することを意味する。図 2 に交叉例を示す。

また、選択された照射（交叉点のこと）の治療日を変更することによりその照射が制約条件に違反する場合は交叉を行わないことで致死遺伝子の発生を防ぐことができる。なお、異なる週の個体間で交叉を行うと、各治療計画毎の 1 週間の治療回数を一定に保つこと（制約条件 2）ができなくなるので、交叉は同一週の個体間で行うこととする。

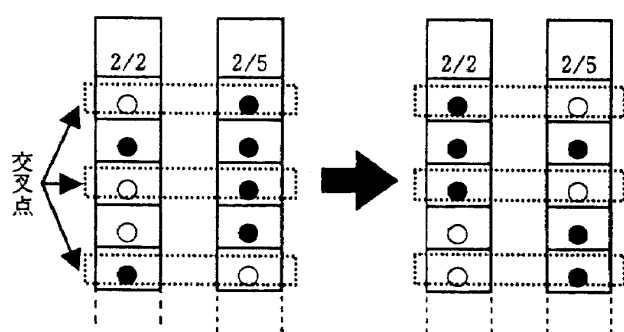


図 2 交叉例

4 適応度計算における終了時刻の見積り

適応度は、前述の最適化条件 1~8 の評価値を求め（最小値を取る時に 0，最大値を取る時に 1 となるように正規化する）、それらを最適化条件の重要度に応じて重み付けした値を足しあわせることで求める。

ここで、最適化条件 7 及び 8 は 1 日に大量の治療が割り付かないようにするためであるが、これらの最適化条件を評価するためには各治療で使用する加速器及び治療室及び治療順が必要である。ところが、これらの項目は後段の治療順スケジュールで決定されるものなので、治療日スケジュールにおいて正確に評価することは難しい。そこで、各治療で使用する加速器及び治療室及び治療順を仮決定し、1 日の最終治療の終了時刻を見積る（以降、終了時刻見積り値と呼ぶ）ことで最適化条件 7 及び 8 の評価を行う。

以下に終了時刻見積り値の算出方法を示す。

1. 粒子種の切り替え回数を最小とするため同じ粒子種を使用する治療が連続し、更に、その中でエネルギー強度の切り替え回数を最小とするため同じエネルギー強度を使用する治療が連続するように 1 日分の全治療の治療順を決める。
2. 同じ治療室に続けて粒子線の照射を行うと患者を入れ替えている間は粒子線の照射が行えないので、できる限り同じ治療室に続けて照射を行わないように各治療の治療室を決める。
3. 粒子種およびエネルギー強度およびビームコースの切り替え時間を考慮して、各治療に使用する加速器は最も早く照射が行えるものを選ぶ。
4. 1~3 で決めた治療順、使用治療室、使用加速器を基に、各治療の治療開始時刻を患者の治療可能時間帯を考慮せずに、前詰めに決めていき、1 番最後の治療の終了時刻を見積り終了時刻とする。

なお、後段の治療順スケジュールの立案では患者の治療可能時間帯を考慮するので、終了時刻見積り値を求める時に比べて粒子種やエネルギー強度の切り替え回数が多くなり、最終治療の終了時刻は見積り終了時刻よりも遅くなる場合が多い。従って、最適化条件 7 において指定する終了時刻はこの事を考慮して、実際に終了して欲しい時刻よりも早い時刻とする。

また逆に、最適化条件 7 において指定する終了時刻を可変とすることで、1 日に割り付く治療数を調整することができる。

5 おわりに

粒子線治療装置の治療日スケジュールへの共存型 GA の適用について提案を行った。今後は、本手法の評価及び他手法との比較などを行う予定である。

参考文献

- [1] 佐藤裕幸他：粒子線治療装置スケジューリングシステム—システム概要一，情報処理学会第 56 回全国大会予稿集，4W-01(1998)
- [2] 浅見廣愛他：粒子線治療装置スケジューリングシステム—治療順スケジュール—，情報処理学会第 56 回全国大会予稿集，4W-03(1998)
- [3] 北野宏明：遺伝的アルゴリズム 2，産業図書 (1995)