

ナーススケジューリングにおける探索空間のネットワーク表現

秋田博樹^{*1}, 池上敦子^{*2}

A Network Representation of the Search Space for Nurse Scheduling

Hiroki AKITA^{*1}, Atsuko IKEGAMI^{*2}

ABSTRACT : Nurse scheduling is a difficult combinatorial problem. Moreover, it is difficult to evaluate solutions because many of the constraints are subconsciously considered and not specified. Therefore, techniques that can easily grasp the size of the solutions space and the possibility of modifying a schedule are needed. In this work, we consider a subproblem of nurse scheduling to determine the optimal schedule for a nurse. We then represent all the feasible schedules of a subproblem as a network structure. In this structure, each node and each path represent a 7-day schedule and a feasible schedule, respectively. We develop a scheduling algorithm by using the networks created for each nurse and present two types of reduced networks that can help the scheduler create and modify a schedule

Keywords : nurse scheduling, search space, network, dynamic programming

(Received August 31, 2011)

1. はじめに

ナーススケジューリング(病棟ナース勤務表作成)は、実行可能解を見つけることも難しい組合せ問題として知られてきた¹⁾。さらに、どの拘束条件を重視すべきか、何を持って最適な勤務表とするかの定義も難しい。一方、近年の最適化ソルバーの高性能化から、評価尺度(目的関数)を明確に与えれば、厳密最適解を得ることも可能となり²⁾、今後の研究の興味は、暫定利用した目的関数が与える最適解をどう評価するかや、与えられた解の修正可能性をどう把握するかに向かうと考えられる。

本研究では、勤務表作成アルゴリズムの構築だけでなく、ナース毎のスケジュール修正の可能性を把握する仕組み構築のために、1 ナースの最適スケジュールを求め問題(ナーススケジューリングにおける部分問題³⁾)を扱う。動的計画法の考え方にに基づき、ナース毎の部分問題の全実行可能解をネットワーク構造で表すことにより、部分問題の最適解を高速に得ることに加え、部分問題の実行可能解集合の大きさや特徴(偏り等)を把握で

きる仕組みを実現する。また、ネットワークのサイズが大きくなった場合の可視化についても議論する。

本稿では、探索空間が膨大となる3交替制ナーススケジューリングの部分問題ネットワークの構築を示す。

2. ネットワーク表現のための定式化

部分問題の実行可能解(1 ナースの1ヶ月分の実行可能スケジュール)は、各勤務(日勤, 準夜勤, 深夜勤, 休み)の回数の上下限を守り、休み希望やセミナー等の予定を確定しながら、各勤務の連続回数や間隔といった勤務の並びについての条件を満たすものとなる。その数は100万程度と考えられ、陽的な列挙や保持は現実的ではない。

本稿では、列挙可能な程度の長さの実行可能部分スケジュール(以降、パターン)を利用した定式化を提案し、これに基づくネットワークを構築する。パターンの長さは、隣接する週のパターン同士が連結可能か否かで、拘束条件の多くを考慮できるように7日とした。

勤務集合を W , 週数を q , h 週の日の集合を N_h , ナース i の h 週のパターン集合を P_{ih} とし、パターン $p \in P_{ih}$ を δ_{ihpk} (j 日が勤務 k なら1, そうでなければ0)で表す。

*1 : 理工学研究科理工学専攻修士学生

*2 : 理工学専攻教授 (atsuko@st.seikei.ac.jp)

また、ナース i の h 週のパターン p と翌週のパターン p' の間の連結可能性を $\theta_{ihpp'}$ (可能なら 1, 不可能なら 0) で表し、1 ヶ月の各勤務回数の下限を c_{ik} , 上限を d_{ik} とする。意思決定変数は、ナース i の h 週のパターン p を採用するか否かを 1 と 0 で表す λ_{ihp} を利用する。

与えられた試行解でナース i 以外のスケジュールを固定した場合のナース i の各パターンのコスト (全体勤務表作成における、スキルレベルをも考慮した人数過不足の度合い) を f_{ihp} とし、部分問題の定式化を示す。

部分問題 (ナース i) の定式化

$$\begin{aligned}
 (0) \quad & \text{Minimize} \quad \sum_{h=1}^q \sum_{p \in N_h} f_{ihp} \lambda_{ihp} \\
 & \text{subject to} \\
 (1) \quad & \lambda_{ihp} + \lambda_{i(h+1)p'} \leq 1 + \theta_{ihpp'} \\
 & \quad h = 1, \dots, q-1, p \in P_{ih}, p' \in P_{i(h+1)} \\
 (2) \quad & c_{ik} \leq \sum_{h=1}^q \sum_{p \in P_{ih}} \delta_{ihpk} \lambda_{ihp} \leq d_{ik} \quad k \in W \\
 (3) \quad & \sum_{p \in P_{ih}} \lambda_{ihp} = 1 \quad h = 1, \dots, q \\
 (4) \quad & \lambda_{ihp} = 0 \text{ or } 1 \quad h = 1, \dots, q, p \in P_{ih}
 \end{aligned}$$

目的関数式(0)は、各日の各勤務人数の過不足を最小化する。拘束式(1)は、パターン間の連結可能性を考慮し、拘束式(2)は各勤務回数の上下限を考慮する。拘束式(3)は各週に採用できるパターンが 1 つであることを示す。

3. ネットワークの構築

部分問題ネットワークでは集合 P_{ih} の要素 (パターン) をノードとして表す。パターンは、休み希望やセミナー等を確定した下で各週に数 100 から 1000 程度だが、それら同士の連結可能性に従ってアークをつないだだけでは、勤務回数に関わる条件を考慮できない。そこで、勤務回数の条件 (大域的条件) を満たすネットワークを構築した下で、残りの条件 (局所的条件) をも満たすよう変形することにする。具体的には、1 週間の各勤務の回数とその週までの勤務累積回数の情報を持つノードを利用して勤務回数の推移を表すネットワークを構築した後、各ノードの勤務回数と等しくなる全てのパターン (ノード) 群と置き換える。元のネットワークのアークに対応するノード間では、その連結可能性 ($\theta_{ihpp'}$ の値) に従いアークを設定する。最後に、1 週目の各ノードにつなぐ始点ノードと最終週の各ノードからつなぐ終点ノードを加える。

出来上がったネットワーク上の始点・終点間の全経路が対象ナースの実行可能スケジュールであると同時に、全ての実行可能スケジュールがこのネットワークに含まれることになる。

4. ネットワークの利用

部分問題ネットワーク上の始点から終点までの最短路を求めることは、与えられた勤務表に対する「1 ナースにおける最適な修正案」を提示することになる。本研究では、Subproblem-centric Approach³⁾の枠組みにおいて、最短路アルゴリズムを利用した勤務表作成を可能にした。

また、部分問題における最適解だけでなく複数の良解を把握するために k 最短路を求め、 k 個の解に含まれるノードとアークだけで構成した縮小ネットワークを表示して解の修正の可能性を検討できるようにした。さらに、ネットワークサイズが膨大で視覚的に把握できない場合に対し、重要な情報のみに絞ったネットワーク構築を行えるようにした。図 1 は、休みやセミナーを確定した下で準夜勤と深夜勤のみを表現した (残された休みを日勤扱いした 6 日パターンに基づく) 縮小ネットワークを、解可視化ソフトウェア⁴⁾で表示した例 (終点省略) である。

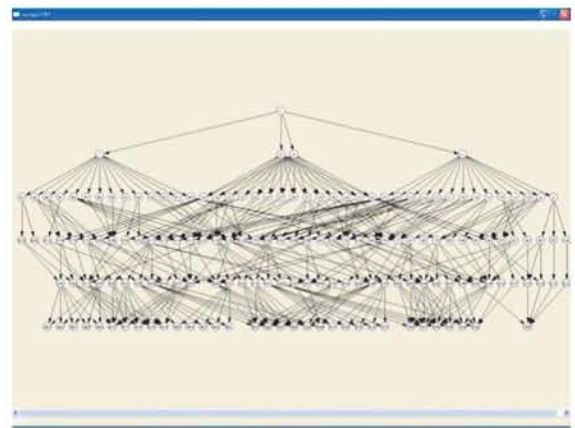


図 1 部分問題縮小ネットワーク

5. おわりに

ナーススケジューリングの実行可能解や修正可能性を把握できるネットワークを構築したこと、これに基づく縮小ネットワークについて報告した。今後は、勤務表作成支援システムにこの技術を適用していく予定である。

参考文献

- 1) E. K. Burke, P. De Causmaecker, G. V. Berghe, H. V. Landeghem, The State of the Art of Nurse Rostering, *Journal of Scheduling*, Vol.7, No.6, 441-499, 2004
- 2) 乾伸雄, 池上敦子, ナーススケジューリング問題における混合整数線形計画問題と充足性判定問題による厳密解法の比較, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.55, No.11, pp.706-712, 2010
- 3) A. Ikegami, A. Niwa, A Subproblem-centric Model and Approach to the Nurse Scheduling Problem, *Mathematical Programming*, Vol.97, No.3, pp.517-541, 2003
- 4) 榎数理システム, 解可視化ソフトウェア, 2010