

手術に対する看護師の自動割当システムの研究

2018SS042 南星夢

2018SS078 吉岡雅志

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

現在、多くの病院では麻酔科医・看護師のシフトスケジューリングを手作業で作成している。そのため、作成に多大な手間と時間がかかり、作成できたとしても希望通りに行われていないなどの問題がある。これにより、麻酔科医・看護師が本来の業務に専念できない状況を作り出している。このような手術のスケジュール、麻酔科医・看護師のシフト作成などの多くの問題はオペレーションズ・リサーチの技術を利用して解決することができる。こういった問題を解決することで、医療現場の効率化や研修医教育の質の向上を多くの病院で実現することができる [1, 2]。

手術のスケジュールや麻酔科医・看護師のシフトを作成するシステムは既に存在するが、それらのシステムはほとんど利用されていないのが現状である。使われない理由として、それらのシステムは問題の定式化・最適化のみを考慮し、医療現場の要望を十分に反映できず、納得のいくシフトが作成できないといった点が挙げられる。そのため、医療現場で使われるシステムを作成するには、ただ問題を定式化・最適化するだけでなく、現場の要望を出来る限り考慮し、麻酔科医・看護師の知識や経験を取り入れるなどの工夫を施す必要がある。そこで、鈴木研究室で試作した手術への看護師の自動割当システムをある企業に使用してもらい、その企業のソフトウェア開発担当者とのミーティングを通してシステムのフィードバックを受け、その問題を解決し、システムの使いやすさを向上した。また、医療現場で起こり得るあらゆるケースを想定し、それらのケースにも対応できるシステムを作成する必要がある。そのため、それらのケースに該当するサンプルデータを作成して検証を行い、適切なスケジューリングができるようシステムを改善していった。

こういった試行錯誤は昨年度から始まり、昨年度の卒業研究発表後もなお、企業からの要望があり、システムに改善の余地が存在するため、昨年度の研究内容の一部である看護師の自動割当システムの試作内容を引き継いだ。それに伴い、昨年度のシステム内容に加え、医療現場で考慮すべき要素を追加し、更なる使いやすさを実現した。ここまでのシステムの改善・検証を終え、現在では製品化に向かっている。

また、この研究は昨年度の卒業研究「手術への麻酔科医・看護師の自動割付システムの試作」の研究内容を引き継いでいるため、昨年度の試作したシステムの使い勝手、解の品質、有用性の向上を目指し、システムの改善を行う。最終目標は昨年度と同様、実際の医療現場に導入できるよう規模の拡大、スケジュールの負担削減、病院における

手術の効率化の支援である [3]。

本要旨では、私たちが取り組んでいる手術への看護師の自動割当について、問題を解決する方法を紹介する。

2 昨年度からの改善点

ここまでの研究の結果、昨年度のシステムに対して主に以下のような改善を施した。

・手術における看護師の役割の考慮

手術室看護師の主な仕事は器械出しと外回りの2つである。昨年度はどの看護師をどの手術に割り当てるかを最適化していたが、今年度はどの看護師をどの手術のどの役割に割り当てるのかを最適化する。

・目的関数の変更

昨年度はダミー看護師の人数の最小化、執刀医と器械出し看護師の相性の最大化を目的関数で考慮している。ダミー看護師とは、割り当てる実際の看護師が不足した場合に割り当てる仮定の看護師のことである。今年度は割り当てるダミー看護師の番号の最小化、ダミー看護師の人数の最小化、看護師の器械出しと外回りの仕事の割合からの乖離の最小化、看護師間の働く上での公平性の最大化を考慮している。

・ダミー看護師を割り当てる際の要素の優先順位

今年度のシステムでは以下の要素を順に優先して考慮し、ダミー看護師を割り当てる。

1. 割り当てるダミー看護師の合計人数を最小化
2. 割り当てるダミー看護師のスキルレベルは必要最低限
3. 午前・午後勤務のダミー看護師を割り当てる

また上記の2,3の考慮は、目的関数で考慮している「割り当てるダミー看護師の番号の最小化」で実現している。

・あらかじめ決められた看護師のシフト状況の考慮

病院では全体のスケジュールを作成する前からあらかじめ一部の看護師のシフトを決めるケースがある。このようなケースにも対応するため、今年度のシステムはあらかじめ決められた看護師のシフトも考慮して最適化する。

3 問題の定式化

本節では、手術室看護師の自動割当問題についての定式化を示す。看護師の不足人数、重複人数のサープラス変数を用いて割り当てた場合とダミー看護師を用いて割り当てた場合を作成したが、本節ではダミー看護師を用いて割り当てた場合を示す。

3.1 記号の定義

定数

- 手術の添え字集合 I , $|I| = m$

- 午前に行われる手術の添え字集合 I_1
- 午後に行われる手術の添え字集合 I_2
- 午前午後に渡って行われる手術の添え字集合 I_3
- 看護師の添え字集合 $K = K_1 \cup K_2 \cup K_3, |K| = n$
- 午前勤務の看護師の添え字集合 K_1 (ダミー看護師を含む)
- 午後勤務の看護師の添え字集合 K_2 (ダミー看護師を含む)
- 全日勤務の看護師の添え字集合 K_3 (ダミー看護師を含む)
- ダミー看護師の添え字集合 K_4
- 看護師の役割 u

$$u = \begin{cases} 1: & \text{器械出し看護師} \\ 2: & \text{外回り看護師} \end{cases}$$

- 手術 i の術式 pr_i
- 看護師 k の手術 i (術式 pr_i) における役割 u としてのスキルレベル $s_{ki}^u \in \{1, 2, 3, 4\}$
- 手術 i の役割 u に必要な看護師のスキルレベル a_i^u
- 手術 i の役割 u に必要な看護師の人数 b_i^u
- 手術 i の所要時間 d_i
- 半日勤務の看護師が残りの半日で行う手術以外の勤務時間 $dtam, dtpm$
- 半日勤務の看護師が残りの半日で行う仮想的な手術件数 $dcam, dcpm$
- 看護師 k が器械出し ($u = 1$) に割り当てられる割合の目標値 $etarget_k$
- 手術 $i, i' \in I$ が同時に行うかどうかをあらわす定数

$$s_{ii'} = \begin{cases} 1: & \text{同時に行う} \\ 0: & \text{行わない} \end{cases}$$

- 手術 i に看護師 k を割り当て可能かどうかをあらわす定数

$$w_{ik} = \begin{cases} 1: & \text{割り当て可能} \\ 0: & \text{割り当て不可能} \end{cases}$$

- 手術 i に看護師 k を役割 u としてあらかじめ割り当てられているかどうかをあらわす定数

$$w1_{ik}^u = \begin{cases} 1: & \text{割り当てている} \\ 0: & \text{割り当てていない} \end{cases}$$

- 手術 i にあらかじめ割り当てられている役割 u の看護師の人数 pr_i^u
- 手術 i (執刀医) と器械出し看護師 k の相性をあらわす定数

$$e_{ik} = \begin{cases} 0: & \text{相性が良い} \\ 1: & \text{相性が悪い} \end{cases}$$

- ダミー看護師の重み wei_d
- ダミー看護師の人数の重み wei_{dn}
- 手術件数の手術時間に対する重み $wei_2, 0 \leq wei_2 \leq 1$
- 看護師の器械出しの割合からの乖離の重み wei_3

変数

- 手術 i に看護師 k を役割 u の看護師として割り当てられているかどうかをあらわす変数

$$z_{ik}^u = \begin{cases} 1: & \text{割り当てる} \\ 0: & \text{割り当てない} \end{cases}$$

- 看護師 k の器械出しの割合からの乖離 γ
- 1人の看護師が担当する手術時間と手術件数の重み付き和の上限 U
- 1人の看護師が担当する手術時間と手術件数の重み付き和の下限 L
- ダミー看護師 $k \in K_4$ が割り当てられているかどうかをあらわす変数

$$v_k = \begin{cases} 1: & \text{割り当てられている} \\ 0: & \text{割り当てられていない} \end{cases}$$

3.2 定式化

目的関数

$$\min \quad wei_d \sum_{i \in I, k \in K_4} \sum_{u=1}^2 k z_{ik}^u + wei_{dn} \sum_{k \in K_4} v_k \quad (1)$$

$$+ wei_3 \gamma + U - L$$

制約条件

$$\sum_{k \in K_1 \cup K_3} z_{ik}^u = \max(b_i^u, pr_i^u), i \in I_1, u = 1, 2 \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K_2 \cup K_3} z_{ik}^u = \max(b_i^u, pr_i^u), i \in I_2, u = 1, 2 \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K_3} z_{ik}^u = \max(b_i^u, pr_i^u), i \in I_3, u = 1, 2 \quad (4)$$

$$\sum_{u=1}^2 z_{ik}^u \leq 1, i \in I, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i'=1, s_{ii'}=1}^m \sum_{k \in K} \sum_{u=1}^2 (z_{ik}^u + z_{i'k}^u) \leq |K_1| + |K_3|, i \in I_1 \quad (6)$$

$$\sum_{i'=1, s_{ii'}=1}^m \sum_{k \in K} \sum_{u=1}^2 (z_{ik}^u + z_{i'k}^u) \leq |K_2| + |K_3|, i \in I_2 \quad (7)$$

$$\sum_{i'=1, s_{ii'}=1}^m \sum_{k \in K} \sum_{u=1}^2 (z_{ik}^u + z_{i'k}^u) \leq |K_3|, i \in I_3 \quad (8)$$

$$\sum_{u=1}^2 (z_{ik}^u + z_{i'k}^u) \leq 1, s_{ii'} = 1, i \neq i'; i, i' \in I, k \in K \quad (9)$$

$$z_{ik}^u \leq w_{ik}, i \in I, k \in K, u = 1, 2 \quad (10)$$

$$z_{ik}^u \geq w_{ik}^1, i \in I, k \in K, u = 1, 2 \quad (11)$$

$$s_{k_{ik}}^u z_{ik}^u \geq a_i^u z_{ik}^u, w_{ik}^1 = 0 \in I, k \in K, u = 1, 2 \quad (12)$$

$$z_{ik}^1 \leq 1 - e_{ik}, i \in I, k \in K \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ik}^1 - etarget_k \sum_{i \in I} \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u \leq \gamma, k \in K \setminus K_4 \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ik}^1 - etarget_k \sum_{i \in I} \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u \geq -\gamma, k \in K \setminus K_4 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u + dtam + wei_2 \left(\sum_{i=1}^m z_{ik}^u + dcam \right) \leq U \quad (16)$$

$$k \in K_1 \setminus (K_1 \cap K_4)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u + dtam + wei_2 \left(\sum_{i=1}^m z_{ik}^u + dcam \right) \geq L \quad (17)$$

$$k \in K_1 \setminus (K_1 \cap K_4)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u + dtpm + wei_2 \left(\sum_{i=1}^m z_{ik}^u + dcpm \right) \leq U \quad (18)$$

$$k \in K_2 \setminus (K_2 \cap K_4)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u + dtpm + wei_2 \left(\sum_{i=1}^m z_{ik}^u + dcpm \right) \geq L \quad (19)$$

$$k \in K_2 \setminus (K_2 \cap K_4)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u + wei_2 \left(\sum_{i=1}^m z_{ik}^u \right) \leq U \quad (20)$$

$$k \in K_3 \setminus (K_3 \cap K_4)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u + wei_2 \left(\sum_{i=1}^m z_{ik}^u \right) \geq L \quad (21)$$

$$k \in K_3 \setminus (K_3 \cap K_4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{u=1}^2 z_{ik}^u \leq Mv_k, k \in K_4 \quad (22)$$

$$z_{ik}^u \in \{0, 1\}, i \in I, k \in K, u = 1, 2 \quad (23)$$

(1) ダミー看護師の重み $d \times$ ダミー看護師 (前詰め) + ダミー看護師の人数の重み $dn \times$ ダミー看護師の数 + 器械出しの目標割合からの乖離の重み \times 器械出しの目標割合からの乖離 + 看護師に割り当てられる手術時間と手術件数の重み付き和の上限と下限の差 (ダミー看護師は番号の小さい順に割り当て)

(2) ~ (4) 役割別看護師の必要人数制約、ただし予め割り当てられた看護師の人数がこれを超える場合は、その人数

(2) の場合、午前に行われる手術について

(3) の場合、午後に行われる手術について

(4) の場合、全日に行われる手術について

(5) 看護師は、1つの手術に1つの役割でしか割り当てない制約

(6) ~ (8) 手術が同時に行われるとき、割り当てられる看護師が手術に参加できる看護師の合計をこえない制約

(6) の場合、午前に行われる手術について

(7) の場合、午後に行われる手術について

(8) の場合、全日に行われる手術について

(9) 手術が同時に行われているとき、看護師はそのうちの1つにしか割り当てられない制約

(10) 手術には割り当て可能な看護師を割り当てる

(11) 手術にあらかじめ割り当てられる看護師を必ず割り当てる

(12) 手術に割り当てられる看護師のスキルレベルは手術に必要なスキルレベル以上、ただし、あらかじめ割り当てられた看護師はスキルレベルが手術に必要なスキルレベル以下でも割り当てる

(13) 執刀医と看護師の相性が悪い組み合わせを除外する制約

(14) 看護師の器具出しの割合が乖離以下の制約 (プラスの方向)

(15) 看護師の器具出しの割合が乖離以下の制約 (マイナスの方向)

(16) ,(18),(20) 1人の看護師に割り当ててる手術時間と手術件数の重み付き和 (器械出し・外回り合わせて) は上限以下

(16) の場合、午前勤務について

(18) の場合、午後勤務について

(20) の場合、全日勤務について

(17) ,(19),(21) 1人の看護師に割り当ててる手術時間と手術件数の重み付き和 (器械出し・外回り合わせて) は下限以上

(17) の場合、午前勤務について

(19) の場合、午後勤務について

(21) の場合、全日勤務について

(22) ダミー看護師に手術が1つでも割り当てられていたら

式の説明

v_k は 1 になる

(23) バイナリ制約

4 自動割当システムの実行結果の例

この節では、手術への看護師の自動割当システムをサンプルデータを使って計算した結果の一例を示す。計算環境は OS : Microsoft Windows10, プロセッサ : Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz 2.70GHz, RAM : 8GB. また、ソフトウェアは Python と Python-MIP を使用して CSV ファイルからデータを読み込み、それを用いて実行を行った。一例として紹介するデータは、図 1,2 に沿って計算を行った。

図 1 の一例として、手術 1 は器械出し看護師が 2 名、外回り看護師が 2 名必要でどちらも必要なスキルレベルが 1 の手術である。また、手術は午前に行われることを示している。

図 2 の一例として、看護師 1 は全日勤務であり、手術 1 ~3 における器械出し、外回りとしてのスキルレベルは 1 であることを示している。

[手術]	器械出し	外回り	器械出し	外回り	AM	PM
	必要人数	必要人数	必要レベル	必要レベル		
手術1	2名	2名	1	1		
手術2	2名	2名	1	1		
手術3	1名	1名	1	1		

図 1 手術に関するサンプルデータ

	午前勤務	午後勤務	全日勤務	器械出し レベル	外回り レベル
	看護師1	0	0	1	1
看護師2	0	0	1	1	1
看護師3	0	0	1	1	1
看護師4	0	0	1	1	1
看護師5	0	0	1	1	1
看護師6(ダミー)	1	0	0	1	1
看護師7(ダミー)	1	0	0	2	2
看護師7(ダミー)	1	0	0	3	3
看護師8(ダミー)	1	0	0	4	4
看護師9(ダミー)	0	1	0	1	1
看護師10(ダミー)	0	1	0	2	2
看護師11(ダミー)	0	1	0	3	3
看護師13(ダミー)	0	1	0	4	4
看護師14(ダミー)	0	0	1	1	1
看護師15(ダミー)	0	0	1	2	2
看護師16(ダミー)	0	0	1	3	3
看護師17(ダミー)	0	0	1	4	4

図 2 看護師に関するサンプルデータ

実行結果

サンプルデータを使って計算した結果、手術時間が重複し、看護師が足りないところにダミー看護師が割り当てられた。また、計算にかかった時間は 0.289 秒だった。

この例の他にも 23 通りのテストデータを実行し、現場で受入可能な結果を得た。また、実際の規模の問題(手術件数 25 件、看護師人数 46 名)も解き、約 20 秒の計算時間で解を得ることができた。

[手術]	器械出し	外回り	器械出し	外回り	AM	PM
	必要人数	必要人数	必要レベル	必要レベル		
手術1	2名	2名	1	1	(器)看護師1,4 (外)看護師2,3	
手術2	2名	2名	1	1		(器)看護師3,4 (外)看護師1,2
手術3	1名	1名	1	1	(器)看護師14 (外)看護師5	

図 3 看護師の自動割当システムの実行結果

5 システムの工夫点

中間発表時点でのシステムと同様、働く上での公平性の最大化、スキルレベルを満たしていない看護師をあらかじめ割り当てるケースの考慮といった工夫が施されている。それに加え、現在のシステムではダミー看護師の考え方を採用している。これにより看護師不足の場合、その原因を具体的に把握することができ、どのような看護師が何人必要なのか、その看護師をどのように割り当てるのかを可視化することができる。また、ダミー看護師を割り当てる場合に考慮する要素の優先順位は、作成したダミー看護師の順番、重み「 wei_d 」・「 wei_{dn} 」の値を用いて実現している。

6 おわりに

今回の研究では現実の中規模病院を想定したデータを使用し、システムの検証を行った。このデータは手術件数 25 件、看護師人数 46 名の規模であった。検証を行う際、各手術のスケジュール内容や各看護師の勤務状況・スキルレベルなどを整理し、表にまとめるのだが、これらの内容を自力で整理することは非常に困難だった。このことから、膨大なデータを整理し、かつ麻酔科医・看護師が納得できる最適な割当を人間の力だけで作成することは極めて困難であると考え、問題の深刻さを改めて感じた。

システムの改善の結果、昨年度のシステムに条件を追加したため、システムの規模が拡大した。この拡大により、中規模病院を想定したデータで検証したところ、解の出力に長時間かかった。また、システムで設定した目的関数の重みに関しても試行錯誤の余地があり、調整する必要がある。そのため、制約条件の短縮化と目的関数の重みの調整が今後の課題である。

ここまでの研究を終え、考慮する要素の追加によるシステムの洗練化やシステムの製品化などにより、病院の抱えるスケジュールリング課題の解決に大きく前進したと考える。

参考文献

- [1] 鈴木敦夫、藤原祥裕：手術のスケジュールリング支援システムについて. 日本オペレーションズ・リサーチ学会、経営の科学, Vo. 58, No. 9, pp.515-523, 2013.
- [2] 大西愛乃：医療機関におけるスケジュールリング支援システムの試作. 南山大学大学院 理工学研究科 2015 年度 修士論文, (2016)
- [3] 丹羽亮介、杉本涼：手術への麻酔科医・看護師の自動割付システムの試作. 南山大学理工学部システム数理学科 2020 年度卒業論文,(2021)