L-61

ナーススケジューリングの近似解法の提案

Proposal of Approximate Algorithm for Nurse Scheduling Problem

○長　達彦 [1]，浜松　芳夫 [2]，星野　貴弘 [2]
*Tatsuhiko Cho[1], Yoshio Hamamatsu[2], Takahiro Hoshino[2]

Abstract: We propose a versatile algorithm for combinatorial optimization problems. This study deals with nurse scheduling problem(NSP). This problem is decision problem of work schedules for nurses. Prior requirements are different in each hospital. It is important to consider NSP with variety purposes in order to consider variety scheduling problems. Cooperative genetic algorithm(CGA) is often used to NSP. CGA select individual randomly, so that efficiency is not good. Proposed algorithm selects the most improvement occurs individual. We consider efficiency is better than CGA. We compare computation time and accuracy of proposed algorithm and CGA.

1. はじめに

本研究では組合せ最適化問題の一つであるナーススケジューリング問題 (Nurse Scheduling Problem:NSP) の近似解法を提案する．組合せ最適化問題とは，数ある組み合わせから条件を満たす一番効率が良い解を見つける問題である．組合せ最適化問題では一般的に要素数が増えれば，解の組み合わせ数が指数関数的に増加してしまう．つまり，全ての解を列挙して最適解を得るためには膨大な時間がかかる．したがって，現実的な時間内に高精度の解を求めることが重要である．

本研究の対象である NSP は病院などの医療施設に勤める看護師の勤務スケジュールを決定する問題である．制約は法律や慣習などにより各国で違う場合もあり，医療施設の方針などによっても異なる．NSP は制約条件や目的関数の多様性といった複雑な性質から，最適化問題としてモデル化すること自体が難しく，実際に解くことも非常に難しいとされている．性能を比較するためにモデル化や定式化は一般に公開されているベンチマーク問題を使用する．本研究では他の組合せ最適化問題にも適用できる解法を提案することを目指す．組合せ最適化問題は対象とする問題ごとに目的が異なる．様々な目的を持つ NSP の解法を検討することは他の組合せ最適化問題に適用するために重要であると考える．

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) はスケジューリング問題によく用いられている発見的手法である．NSP では，一人の看護師のスケジュールを一つの個体として表し，個体全部で一つの解を示す共存型遺伝的アルゴリズム (Cooperative Genetic Algorithm:CGA)[1] が用いられる．CGA では，交換する個体を 2 つランダムに選択し，スケジュールの改善を行う．世代を繰り返すにつれて，スケジュールの改善が行われる．しかし，評価がある程度改善され良くなると，改善の余地がほとんどなくなる．つまり，これ以上の探索が困難となってくる．本解法では改善後の解が最も良くなる組み合わせを選択する．既存手法とは違い，改善の余地が少ない組み合わせを選択しないことにより本解法は効率良く改善を行えると考える．

既存手法の CGA と提案手法の精度と計算時間の比較検討を行う．

2. 問題の設定

NSP において，制約条件と目的関数は病院により重要とする項目に差があることから制約条件と目的関数は多様に存在する．本研究ではベンチマークテストとして The University of Nottingham で公開されているベンチマーク問題 [2] を利用する．問題の一例として Valouxis を示す．スケジューリングの対象となる看護師の集合を $i = \{1, \cdots, 16\}$ の 16 人とし，日の集合を $j = \{1, \cdots, 28\}$ の 28 日とおく．$j = 1$ を月曜日とし，月，火，…，日の順で一週間とする．勤務形態の集合を $k = \{D, E, N, -\}$ とし，$D, E, N, -$ はそれぞれ日勤，準夜勤，深夜勤，休暇を示す．各看護師は各日について，上記のいずれかの勤務を行う．勤務時間は日勤が 6 : 00〜14 : 00，準夜勤が 14 : 00〜22 : 00，深夜勤が 22 : 00〜30 : 00 とする．決定変数 x_{ijk} は看護師 i の j 日目に勤務形態 k を割り当てるとき 1，そうでないときに 0 をとる変数とする．

＜2・1＞制約条件　必ず満たさなければならない制約のことをハード制約とよぶ．一般に，医療施設によって各日にそれぞれの勤務形態に必要な看護師の数が定められている．R_{jk} は j 日目の勤務形態 k の必要な看護師の数を表す．これらの変数を用い，ハード制約は次のように表される．

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ijk} = R_{jk} \quad (1) \qquad \sum_{k} x_{ijk} = 1 \quad (2)$$

式 (1) は j 日目の勤務形態 k の勤務人数が指定された人数いることを示す．式 (2) の制約は看護師 i の j 日目にいずれかの勤務形態が一つだけ入っていることを示す．Valouxis の問題では平日の看護師の数は $R_{jD} = 4$, $R_{jE} = 4$

1:日大理工・院 (前)・電気　2:日大理工・教員・電気

, $R_{jN} = 2$ とし，$j = \{6, 7, 13, 14, 20, 21, 27, 28\}$ は土日であり，必要な看護師の数を $R_{jD} = 3$, $R_{jE} = 3$, $R_{jN} = 2$ としている．

＜2・2＞目的関数　ハード制約とは異なり，なるべく満たすことが望ましいが必ずしも満たさなくてもよい制約をソフト制約という．ソフト制約を満たしていない場合にはそれぞれの看護師 i に対しペナルティ P_i を与える．ペナルティ値は制約の強弱により決定する．重要としたい制約はペナルティ値を多くする．ペナルティが小さいほど看護師や病院等の希望に沿ったシフトとなる．したがって，ペナルティの合計を最小化することが目的関数となる．

Valouxis のソフト制約と対応するペナルティの一部を以下に示す．

1. 看護師の 1ヶ月の休暇日数が 13 日を超過する (100)
2. 以下の勤務パターンを含む
   - 深夜勤→深夜勤→深夜勤→深夜勤 (1000)
   - 休暇→仕事→仕事→休暇 (40)

3. 共存型遺伝的アルゴリズム

GA は個体を解候補に，選択，交叉，突然変異に対応した演算を実行することにより，目的関数値のより良い解候補に次々と進化させて最適解を求めようとする解法である．

NSP では一人の看護師のスケジュールを一つの個体で表し，全ての個体で一つの解を示す CGA がよく用いられる．CGA の交叉方法は 2 つ個体をランダムに選択し，2 点交叉を行う．突然変異は使用しない．

4. 提案手法

看護師の数を N，スケジュール日数を M としたとき，提案手法のアルゴリズムを以下に示す．

1. 全ての勤務予定を休暇にする．
2. スケジュールの 1 日目に対して，全体のペナルティが最小となる看護師に日勤を割り振る．この操作を日勤の必要人数を満たすまで繰り返す．
3. 準夜勤，深夜勤も同様に割り振る．
4. M 日目まで手順 2，3 を繰り返す．
5. 交換する日数を $k = (M - 1)$ とする．
6. 交換する看護師 $i = 1$，交換を開始する日を $j = 1$ とする．
7. 看護師 i の j〜$j + k$ 日のスケジュールと他の看護師の j〜$j + k$ 日のスケジュールの交換をしたときに，全体のペナルティが最も良くなる看護師とのスケジュールの交換を行う．
8. j に $j + 1$ を代入し，手順 7 に戻る．$j + k$ が M と等しいとき，手順 9 に進む．
9. i に $i + 1$，j に 1 を代入し，手順 7 に戻る．i が N と等しいとき，手順 10 に進む．
10. k に $k - 1$ を代入し，手順 6 に戻る．k が 1 に等しいとき，手順 5 に戻る．ペナルティが改善されなくなったら終了する．

CGA では交叉する 2 つの個体をランダムに選択するのに対し，提案手法では手順 7 において改善するペナルティが最も大きい個体を選択する．CGA は世代が進むにつれて改善させる交叉パターンが少なくなる．一方，提案手法は改善が生じる可能性のある個体全てとの部分的なスケジュールの交換を行うことで精度を改善している．

5. 性能評価

Table.1 にベンチマーク問題 Valouxis，Millar，BCV-4.13.1 に対して，提案手法 (PA) 及び CGA を用いた結果を示す．CGA は 10000 世代の間に改善が起きなかったとき解が収束したと判断し，計算を終了した．提案手法の計算時間は計算が終了した時間，CGA の計算時間は解が収束した時間としている．提案手法の計算時間は CGA より長いが，ペナルティは良くなっている．CGA は個体と入れ替える日付をランダムに決めているのでペナルティの改善が起こりにくいことに対し，提案手法は効率良く改善を行うためペナルティが良くなったと考えられる．

Table. 1: Computation Results

	Penalty		Computation Time[ms]	
	PA	CGA	PA	CGA
Valouxis	1620	3940	2911	1711
Millar	100	1000	47	30
BCV-4.13.1	17	26	3356	2920

6. まとめ

本研究では NSP に対して，近似解法を提案した．その結果，ペナルティ値を 35% 以上改善することができた．今後の課題として，他のスケジューリング問題への本手法の適用の可能性を検討したい．

参考文献

[1] 山村雅幸，小林重信，山岸誠，阿瀬始：”遺伝的アルゴリズムによるナーススケジューリング”，北野宏明：”遺伝的アルゴリズム”，Vol.2，pp.89-125，1995

[2] ”Personnel Scheduling Data Sets and Benchmarks”：http://www.cs.nott.ac.uk/~tec/NRP/