

Really-Full-Lookahead と ACO の統合による学校時間割自動編成システム

越野 亮 †

大谷隆浩 ‡

木村春彦 ‡

† 石川工業高等専門学校電子情報工学科

‡ 金沢大学大学院自然科学研究科

1 はじめに

学校時間割自動編成 [1] は制約充足問題 (CSP: Constraint Satisfaction Problems) の一種として定式化でき、これまでに様々な解法が提案されてきた。吉川ら [2] は、まず制約伝播手法を用いた Really Full Lookahead Greedy (RFLG) アルゴリズムで良質な初期割り当てを生成し、その後 Min-Conflict Hill-Climbing (MCHC) を用いて割り当て改善を行う方法を提案した。RFLG では、制約伝播手法により候補集合の絞込みを行いながら、残った候補を順次変数に割り付ける。途中、候補がなくなった変数は後回しにして貪欲法により、違反が最小の値を割り付ける。RFLG の性能は、割り当てを行う変数の順番と割り当てる変数の選択方法に依存している。通常の RFLG では、候補数の少ない変数を優先的に選択し、他の変数への影響の小さい値を優先的に割り付けている。この選択方法は多くの場合優良な解を生成できるが、必ずしも良い割り当てを行えるとは限らない。そこで本研究では、変数の割り当て順番と割り当てる変数の選択方法をアントコロニー最適化 (ACO) によって学習しながら探索を行う、Really Full Lookahead + Ant Colony Optimization (RFL+ACO) を提案する。

2 学校時間割自動編成問題

時間割編成問題の制約には、必ず充足する必要がある絶対制約と、絶対ではないが充足することが望ましい考慮制約がある。

まず、絶対制約としては、

- 複数の授業を同じ曜日時限に割り当てない
- 曜日時限が指定されている授業はその曜日時限に割り当てる
- 合同授業は同じ曜日時限に割り当てる

の 3 つの制約を持つ。

次に、考慮制約としては、

- 教員は 1 つの時限に複数の授業を受け持たない
- 教員の参加できない時限に担当授業を割り当てない

の 2 つの制約を用いる。これら 2 つの制約は、本来は絶対制約として定義する必要があるものである。しかしながら実際の時間割自動編成では、条件が厳しく、これらの制約を全て満たす解が存在しないような問題を扱うことが一般的である。そのため、制約を違反するコマがなるべく少ないような時間割を自動編成手法を用いて作成し、その結果を基に、各コマの修正や制約条件の変更を手作業で行い、最終的な時間割を作成することになる。

3 提案手法：RFLG と ACO の統合

RFLG の性能は、割り当てを行う変数の順番と割り当てる変数の選択方法に依存している。通常の RFLG では、候補数の少ない変数を優先的に選択し、他の変数への影響の小さい値を優先的に割り付けている。この選択方法は多くの場合優良な解を生成できるが、必ずしもうまく働くとは限らない。そこで本研究では、変数の割り当て順番と割り当てる変数の選択方法をアントコロニー最適化によって学習しながら探索を行う、Really Full Look-ahead + Ant Colony Optimization (RFL+ACO) を提案する。この手法は ACO のうち最も精度が良いと考えられている MMAS[3] をベースとして、候補解の生成に RFLG を組合わせたものである。

図 1 に RFLACO の候補解生成の手順を示す。RFLACO では割り当てを行う変数の選択と割り当てる値の選択を、フェロモン量とヒューリスティック関数に基づいて確率的に行う。

まず、 i 番目に変数 v を選択する確率 $p_{var}^i(v)$ を次式で定義する。

$$p_{var}^i(v) = \frac{[\tau_{var}^i(v)]^\alpha [\eta_{var}^i(v)]^\beta}{\sum_{w \in V^i} [\tau_{var}^i(w)]^\alpha [\eta_{var}^i(w)]^\beta} \quad (1)$$

ここで、 $\tau_{var}^i(v)$ は i 番目に変数 v を選択する際のフェロモン量であり、 $\eta_{var}^i(v)$ はヒューリスティック関数である。 V^i は割り当て候補となる変数の集合であり、図 1 において制約伝播手法を用いるループでの Vars に対応する。貪欲法に用いるループでは ExVars から変数を

Integration of Constraint Propagation and ACO for School Automated Timetabling System.

†Makoto KOSHINO ‡Takahiro OTANI ‡Haruhiko Kimura

†Department of Electronics and Information Engineering, Ishikawa National College of Technology

‡Graduate School of Natural Science, Kanazawa University

Solution Construction in RFL+ACO

```

Vars := 全ての変数の集合
ExVars := 除外集合
Var := NULL
// 制約伝播手法 (RFL)
while Vars が空でない do
  DsStore := Vars の全ドメインのコピー
  Vars の全ドメインが Var を含めてアーク整合となるようにする
  if ドメインが空の変数 V が Vars 内にある then
    V を Vars から除外し, ExVars に入れる
    Vars の全てのドメインを DsStore から戻す
  // ACO の確率的選択
  else
    Var := 確率的に選択した Vars 内の 1つの変数
    Value := 確率的に選択した Var のドメイン集合内の 1つの値
    Value を Var に割り当て, Var を Vars から除外する
  end if
end while
// ACO の確率的選択
while ExVars が空でない do
  Var := ExVars 内の 1つの変数
  Value := 確率的に選択した Var のドメイン集合内の 1つの値
  Value を Var に割り当て, Var を ExVars から除外する
end while

```

図 1: RFL+ACO における候補解生成の手順

選択するが, この際は上式に従わずランダムに選択する. α はフェロモン情報の優先度, β はヒューリスティック情報の優先度を示すパラメータである. ヒューリスティック関数 $\eta_{var}^i(v)$ は次式で定義する.

$$\eta_{var}^i = \frac{|C_v|}{|D_v^i| + 1} \quad (2)$$

C_v は変数 v に関与する制約の集合であり, D_v^i は変数 v の取り得る値の候補集合である. この式は関与する制約の数が多く, かつ候補集合の数が少ない変数, つまり, より条件の厳しい変数を優先的に選択することを意味する.

次に, i 番目に選択された変数 v に値 x を割り当てる確率 $p_{val}^{i,v}(x)$ を次式で定義する.

$$p_{val}^{i,v}(x) = \frac{[\tau_{val}^v(x)]^\alpha [\eta_{val}^{i,v}(x)]^\beta}{\sum_{y \in D_v^i} [\tau_{val}^v(y)]^\alpha [\eta_{val}^{i,v}(y)]^\beta} \quad (3)$$

ここで, $\tau_{val}^v(x)$ は変数 v に値 x を割り当てる際のフェロモン量であり, $\eta_{val}^{i,v}(x)$ は次式で定義するヒューリスティック関数である.

$$\eta_{val}^{i,v}(x) = \frac{1}{P^{i,v}(x)} \quad (4)$$

$P^{i,v}(x)$ は i 番目に変数 v に値 x を割り当てる際に発生する制約違反の数である. この式は, なるべく制約違反が起こらないような値を優先的に選択することを意味する.

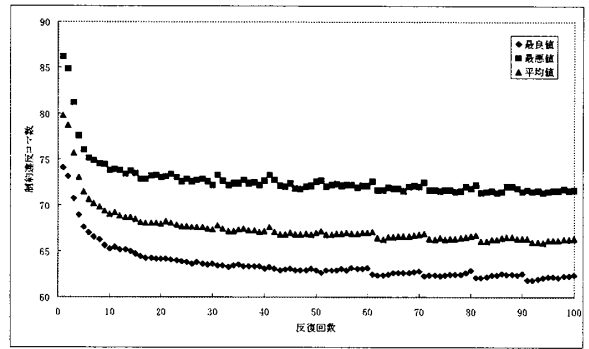


図 2: 性能の推移

4 性能評価実験

中高一貫校 6 学年 48 クラスの時間割データを用いて性能評価実験を行った. 変数の数は 1203 個である.

反復回数 100 回までの制約違反コマ数の推移を調べた. ACO のパラメータは, MMAS[3] において一般的に良く使われている $\alpha = 1.0$, $\beta = 5.0$, $m = 20$ とした. 最良解に対するフェロモンの分泌は, 10 回の反復ごとに行った. 試行は 100 回行い, 各試行の加算平均を取った.

図 2 に性能の推移を示す. 各反復回数で生成する解のうちの, 最良値, 最悪値, 平均値がどのように推移しているかを示している. 反復回数を重ねることにより, 制約違反コマ数が減少しているのがわかる. 最終的には初期の時間割に比べ, 最適化した場合は 10 個程度の制約違反コマを減少させられた.

5 おわりに

本研究では, RFLG における変数の割り当て順番と割り当てる変数の選択方法を, アントコロニー最適化によって学習しながら探索を行う, RFLACO を提案した. 性能評価実験の結果, RFLACO を用いることで制約違反コマのより少ない優良な時間割を自動生成できることがわかった.

参考文献

- [1] 吉川 昌澄: 学校時間割り自動編成, 日本オペレーションズ・リサーチ学会誌, Vol.46, No.9, pp.461-468, 2001.
- [2] M. Yoshikawa, K. Kaneko, T. Yamanouchi, and M. Watanabe, "A Constraint-Based High-School Scheduling System," IEEE Expert, 11(1), pp.63-72, 1996.
- [3] T. Stutzle and H. H. Hoos, "MAX-MIN Ant System," Future Generation Computer Systems, vol.16, no.8, pp.889-914, 2000.