

Ant Colony Optimization とニューラルネットワークアルゴリズムによる チャンネル割り当て問題に対するヒューリスティック解法

山本 脩太† 北道 淳司†

† 会津大学大学院コンピュータ理工学研究所

1 はじめに

近年、携帯電話などのモバイル機器の増加に伴い、セルラー無線通信網の需要が増加している。各機器に割り当て可能なチャンネル数は有限であり、セルラー無線通信網を利用するためのチャンネル割り当ては今後より重要な問題となる。チャンネル割り当てにおいては、ユーザからの接続要求に対して、基地局は利用可能なチャンネルをユーザに割り当てる際に、短時間で相互干渉を小さくするように割り当てを行うことが重要である。チャンネル割り当て問題は NP 完全問題であり、最適解を短時間で求めるのは困難なため、多くのヒューリスティック手法が提案されている [1][2][3][4]。本論文では、チャンネル割り当て問題に対して、Ant Colony Optimization(以下 ACO) およびニューラルネットワーク・アルゴリズム(以下 NNA) を組み合わせた解法を提案する。

2 チャンネル割り当て問題

セルラー無線通信網の 1 モデルとして、複数のセルに基づく手法がある。各セルは 1 つ基地局を持つ。セル内のユーザはセル内の基地局に対して接続要求を行い、基地局はそれに対してチャンネルを割り当て、ユーザはセルラー無線通信網を利用できる。接続要求に対するチャンネルの割り当ては相互干渉量の総和が最小になるように行う。相互干渉量は、以下の 3 種類の干渉条件が定義する干渉量の和とする。1) 特定のセル同士に同一のチャンネルが同時に割り当てない共通チャンネル干渉条件、2) 隣接するセル同士に対して隣接チャンネルを同時に割り当てない隣接チャンネル干渉条件、3) 同一セルに隣接チャンネルを同時に割り当てない同一セル干渉条件である。

チャンネル割り当て問題では、セル数 N 、チャンネル数 M 、干渉行列 C 、要求ベクトル D が入力として与えられる。干渉行列 C は干渉量 0 で割り当てのためのチャンネル差 k を表し、要求ベクトル D はセルごとの接続要求数を表す。干渉量を表す行列 E は $N \times N \times M$ の三次元行列で表され、干渉行列 C から式 (1) により定義される。出力は割り当て結果である $N \times M$ の二次元行列 V となる。干渉行列 C の例として式 (2) と要求ベクトル

ル D の例として式 (3)、干渉量行列 E の例の一部を式 (4) および式 (5) に示す。この条件での割り当て例を図 1 に示す。●が、割り当てを表す。

$$e_{ij0} = c_{ij}, \quad e_{ijk} = \begin{cases} 0 & (c_{ij} \leq k) \\ c_{ik} - k & (c_{ij} > k) \end{cases} \quad (1)$$

$$C = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 5 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 5 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \end{pmatrix} \quad (2), \quad D = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$e_{ij1} = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \end{pmatrix} \quad (4), \quad e_{ij2} = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} \quad (5)$$

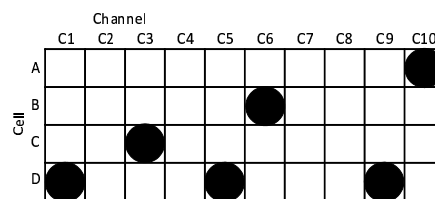


図 1: チャンネル割り当ての例 V_{ij}

3 提案ヒューリスティックアルゴリズム

ACO および NNA を組み合わせた解法を提案する。ACO はヒューリスティックアルゴリズムの 1 つであり、蟻の集団が巣と餌の間の経路を探索する振る舞いをアルゴリズム化したものである [5]。探索の度に経路上へフェロモンを置く。蟻は経路上のフェロモンの強さを考慮しながら探索を行う。よい解が得られた経路はフェロモンを多く残し、以降の探索において利用される。NNA はニューロンの数学モデルであり、脳の機能をアルゴリズム的にシミュレーションする。本研究では、ホップフィールド NNA を採用する。ACO はランダム探索に基づき、広い探索空間を持ち、ホップフィールド NNA は最急降下法により急速に局所最適解に収束する。

提案アルゴリズムは、当初 ACO により探索を行い、ある探索回数以降は ACO で 1 回探索する毎に NNA に切り替え、局所解を探索する。得られた局所解が最善解であれば保存する。ACO で得た解から再度 ACO を行い、NNA に切り替えて局所解を求める処理を指定回数繰り返す。得られた最善解を出力とする。

(a) ACO のみの第一段階

A Heuristic Approach for Channel Assignment Problem using Ant Colony Optimization and Neural Network Algorithm
†Shuta YAMAMOTO †Junji KITAMICHI
†Graduate School of Computer Science and Engineering, The University of Aizu

問題の出力 ($M \times N$ の二次元行列 V の各要素) にフェロモンを割り当てる. フェロモンの値は二次元行列 τ_{ij} に保持する. まず, 最混雑セルに対して予め均等にチャンネルの割り当てを行う. 残りのセルには, 式 (7) によりセルごとのフェロモンの和 $RandMax_i$ を求め, 0 以上 $RandMAX_i$ 以下の乱数を用いて割り当てる. $[\tau_{ij}]$ の初期値は 1 なので, 最初の割り当てはランダムに行われる.

$$f_{ik} = 1 + \frac{M-1}{d_i-1} \cdot k \quad (k = 0, \dots, d_i - 1) \quad (6)$$

$$RandMax_i = \sum_{j=0}^{N-1} \tau_{ij} \quad (7)$$

1 要求に対する割り当て後, 式 (8) によりその割り当てに干渉する箇所のフェロモンを干渉量に比例して低下させる. フェロモンの増加は, 全ての割り当て後に得られた解が最善解の場合は重みを付けてフェロモンを増加させ, そうでない場合は重みを付けずに増加させる (式 (9)). 100 回探索を繰り返す.

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} \times W_{dec}^{e_{ijk}}, \quad (0 < W_{dec} < 1) \quad (8)$$

$$\tau_{lm} \leftarrow \begin{cases} \tau_{lm} + W_{inc} \times W_{bet} & (\text{干渉量が最少}) \\ \tau_{lm} + W_{inc} & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (9)$$

(b)NNA を加えた第二段階

手順 (a) を一定回行った後, ACO で得られた解から NNA を用いて解探索を行う. $M \times N$ の二次元行列 V にニューロンを対応させる. $M \times N$ の二次元行列にてニューロンの入出力を表現する. 入力 U_{ij} , 出力は ACO と同様 V_{ij} とする. ホップフィールド NNA を採用する.

式 (10) の動作方程式をニューロン入力の更新に用いる. 出力は, 文献 [1] で用いられているマキシマムニューロンを用いて求める. 提案アルゴリズムでは, ヒルクライミングなど動作方程式以外の手法は組み合わせていない. ACO 1 回の探索後, NNA 25 回探索を行う. これを 200 回繰り返し, その間に得た最善解を出力とする.

$$\frac{dU_{ij}}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial V_{ij}} = -A_1 \sum_{p=1}^N \sum_{q=1, (i,j) \neq (p,q)}^M e_{ip|j-q} V_{pq} \quad (10)$$

4 評価実験と考察

文献 [1] にて用いられているインスタンスによる評価を行った. インスタンスに対して導かれた解の相互干渉量を求め, 実行時間を計測した. C 言語にて実装されたプログラムを 10 回実行し, 最小, 平均の相互干渉量および実行時間を表 1 に示す (Ins. はインスタンス名, 時間は実行時間の平均, 池永は文献 [1] に記載のある平均相互干渉量である). 実行環境は Intel Xeon CPU X5450 3.00GHz, メモリ 16GB, Linux 2.6.18, GCC 4.1.2 を用いた. 文献 [1] の池永らアルゴリズムの結果を表 1 の最右に示す. 提案アルゴリズムは, 蟻 1 匹の実行である. 求めた干渉量の平均は KUNZ3,4 ではよい値であるが,

それ以外は池永らの結果に劣る. 最小の干渉量は蟻 10 匹による実行結果と同じであり, その場合は, 同等と言える. さらに蟻の数を増やし並列度をあげることにより, 池永らの結果より良くなることが予想される.

| Ins. | 時間 (平均) | 最小 | 平均 | 池永 (平均) |
|-------|----------|----|------|---------|
| EX1 | 0.00 sec | 0 | 0 | 0 |
| EX2 | 1.07 sec | 0 | 2.9 | 0.1 |
| HEX1 | 123 sec | 46 | 47.2 | 46.2 |
| HEX2 | 756 sec | 18 | 20.5 | 16.7 |
| HEX3 | 36.3 sec | 80 | 82.5 | 78.6 |
| HEX4 | 258 sec | 20 | 23.0 | 17.0 |
| KUNZ1 | 15.7 sec | 22 | 23.2 | 20.8 |
| KUNZ2 | 75.1 sec | 32 | 33.1 | 31.2 |
| KUNZ3 | 265 sec | 13 | 13 | 13.0 |
| KUNZ4 | 640 sec | 0 | 0 | 0.6 |

表 1: 提案アルゴリズムの評価実験結果

5 まとめ

チャンネル割り当て問題に対するヒューリスティックアルゴリズムを提案した. ACO と ANN を組み合わせ, 並列度 10 程度において既存手法と同等の解精度を得た. 今後, 並列度を増やしマルチスレッドなどを用いた実装あるいはハードウェア実装により, より解精度のよい高速な割り当て機構の実装を行いたい.

参考文献

- [1] K. Ikenaga, Y. Takenaka, and N. Funabiki, "An expanded maximum neural network algorithm for a channel assignment problem in cellular radio networks," *Trans. of IEICE A*, 82(5), pp.683–690, 1999.
- [2] K. Smith and M. Palaniswami, "Static and dynamic channel assignment using neural networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 15(2), pp.238–249, 1997.
- [3] F. Luna, C. Blum, E. Alba, and A.J. Nebro. "Aco vs eas for solving a real-world frequency assignment problem in gsm networks", In *Proc. of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, pp. 94–101, 2007.
- [4] P. Crescenzi, G. Gambosi, and P. Penna, "On-line algorithms for the channel assignment problem in cellular networks," In *Proc. of the 4th ACM International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing*, pp. 1–7, 2002.
- [5] M. Dorigo and T. Stützle, "Ant Colony Optimization," Bradford Company, 2004.