

セルラー無線通信の固定チャネル割り当てのための突然変異として ローカルサーチを取り入れた遺伝的アルゴリズムの提案

高橋 咲智 †

† 会津大学コンピュータ理工学部

北道 淳司 ‡

‡ 会津大学大学院コンピュータ理工学研究科

1 はじめに

セルラー無線通信の利用は増加し続けている。1つのセルで利用できるチャネルは有限であるが、チャネル間には干渉を起こさないように割り当てる必要がある。セルラーサービスの需要が増えるにつれてチャネル割当ては難しくなり、効率的なチャネル割当てが求められている。固定チャネル割当て問題 (Fixed Channel Assignment Problem 以下 FCA) は、要求に対して干渉が少なくなるようにチャネルを割当てる問題である。FCA は組み合わせ最適化問題であり、NP 完全問題であり、様々なヒューリスティックが提案されてきた [1-5]

本稿では、FCA に対して遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた方法を提案する。交差方法は Chiu Y Ngo が提案している 2 値交差を採用する [3]。突然変異として、ニューラルネットワークアルゴリズム (NNA)[2] で用いられるマキシマムニューロンを用いた最急降下法を利用する方法とセル内の割当チャネルを入れ替える方法の 2 つを用いる。提案アルゴリズムを実装し、従来手法より良い解を求めることができることを示す。

2 固定チャネル割り当て問題

FCA における干渉量は以下の 3 つからなる。(a) セル同士の必要最小距離が無い限り、同じチャネルを割り当てられないという条件 (co-channel constraint)。(b) セル同士の必要最小距離が無い限り、隣接チャネルを割り当てられないという条件 (adjacent channel constraint)。(c) 同じセル内で、隣接チャネルを割り当てられないという条件 (co-site constraint)。FCA はこれらの総干渉量を最小にすることを目的とする。

FCA の入力は、セル数 N 、チャネル数 M 、 $N \times N$ の干渉行列 C 、 N 列の要求ベクトル D である。 D の要素 d_i は、セル i におけるチャネル要求数である。また、 C から式 (1) により干渉量行列 $E(N \times N \times M)$ を定義する。ここで、 E の要素 e_{ijk} は、チャネル差 k の時のセル i とセル j における相互干渉量であり、上述の 3 つの干渉制約を表している。

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

FCA の出力は $N \times M$ のチャネル割り当て結果 V である。結果 V の各要素は 0 または 1 の値をとる。 $V_{ij} = 0$ ならばセル i のチャネル j が割り当てられていないこと、 $V_{ij} = 1$ ならばセル i のチャネル j が割り当てられていることを表す。総干渉量 SUM は、式 (2) で表される。

$$SUM = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{p=1}^N \sum_{q=1, (i,j) \neq (p,q)}^M e_{ip|j-q} V_{pq} V_{ij} \quad (2)$$

(i, j) ≠ (p, q) は、i=p のとき q≠j であることを表す。

図 1 は、FCA の例である。入力例 (a) に対する 2 つの出力例を示している。(c-1) は、総干渉量 0 であり最適解の 1 つである。一方、(c-2) は、総干渉量が 8 であり悪い解の例である。相互干渉を囲んでいる。(c-1) ではセル 2 のチャネル 5 とセル 3 のチャネル 4 が近接しているが、 $e_{321} = 0$ より干渉は生じない。(c-2) では 3 つの干渉があり、セル 1 のチャネル 4 とセル 2 のチャネル 6 との間で干渉 (F1) が 2 生じている。

$$N = 4, M = 10, C = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

(a) An example of inputs

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

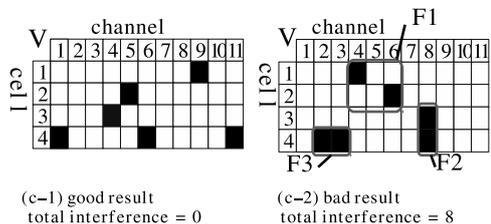
(b) Elements e in Interference matrix E defined by C in (a).

図 1: FCA の例

3 提案アルゴリズム

提案アルゴリズムは GA を採用する。各個体は、出力 V と同じ型の変数である。次世代の個体を交差および 2 種類の突然変異 1, 突然変異 2 によって求める。

初期集団は、最混雑なセルに対して等間隔にチャネルを割り当て、余り分に対して間隔をランダムに広げる。それ以外は要求チャネルをランダムに割り当てる。

A Proposal of Genetic Algorithm using a Local Search as Mutation for a Fixed Channel Assignment Problem in a Cellular Radio Communication
†Sachi TAKAHASHI ‡Junji KITAMICHI
†School of Computer Science and Engineering, The University of Aizu
‡Graduate School of Computer Science and Engineering, The University of Aizu

各個体の適応度 *fitness* は、各個体の干渉量を全個体の干渉量の和で割ったものとする。適応度に比例して交差における親のペアをランダムに選択する。

提案アプローチでは、交差として Chiu Y Ngo らの提案した *fixGA* のスタックを用いた 2 値交差を利用し、2 つの子を得る。2 つの親の干渉量を求め、親 1 のセル *i* の干渉量が、親 2 のセル *i* の干渉量よりも大きければ、親 1 のセル *i* と親 2 のセル *i* を交差させ 2 つの子を得る、総干渉量が小さい方を次世代の個体の候補とする。

2 種類の突然変異について述べる。突然変異 1 は、単純な $(x \text{ xor } y)=1$ を用いた反転操作である。干渉が生じている箇所に対して操作させるために、干渉量が 0 より多いセル *i* とそのチャンネル *j* の組の集合を求め、その中から 1 つの組を選ぶ。セル *i* の $V_{ik} = 0$ なチャンネル *k* をランダムに探索し、みつけたら交換する。

突然変異 2 は、NNA[2] におけるマキシマムニューロンを用いた最急降下法を利用する。式 (2) を偏微分した式に負数を乗じた式 (3) を利用して V_{ij} を更新する。要求ベクトル *D* を満たすように、式 (3) の値が大きいものから要求チャンネル *d_i* 個の V_{ij} を 1 にする。この更新を 25 回繰り返す。

$$-\frac{\partial SUM}{\partial V_{ij}} = -\sum_{p=1}^N \sum_{q=1, (i,j) \neq (p,q)}^M e_{i|p|j-q|} V_{pq} \quad (3)$$

V_{ij} の更新においては論文 [2] でのヒルクライミング項のようなヒューリスティックは採用していない。

現世代、交差および突然変異 1,2 で得られた個体集合から *fitness* が大きい方から世代数個選択して、次世代の個体集合とする。

終了条件は、世代交代数が指定された値に到達するか、総干渉量が 0 の個体を検出した場合である。

4 提案手法の評価

提案アルゴリズムを C 言語で実装した。実行環境として Intel Core i5-4590 (3.3GHz), GCC 4.8.5, -O2 オプションを用いた。ベンチマークテストとして、HEX1-4[2], Kunz1-3[2] を用いた。10 回プログラムを実行させて、結果を比較する。

2 つの突然変異を実験した。交差のみ、交差と突然変異 1(5%の確率で発生、以下同様) のみ、交差と突然変異 2 のみ、交差と突然変異 1 と 2 を組み合わせた 4 プログラムを比較した。集団の個体数は 100 個とし、100 世代まで実行させた。結果として、交差と突然変異 1 と 2 を組み合わせたものが最良の個体を得ることができ、集団の平均干渉量も小さいものを得た。また、個体数を 100,200,500 と大きくするにつれて総干渉量の小さい解が得られた。突然変異の確率も 1,3,5% として比較した結果、5% の場合に総干渉量の小さい解が得られた。

他手法との比較を行った。集団の個体数 100, 2 つの突然変異の確率をそれぞれ 5%, 100 世代までとし、10 回プログラムを実行させた結果を表 1 に示す。

表 1: 解精度の比較

Test	ExMNA[2]		Ant Colony [5]		GA [4]		Proposed GA	
	Min.	Ave.	Min.	Ave.	Min.	Min.	Ave.	
HEX1	46	46.0	46	47.2	48	46	46.0	
HEX2	16	16.7	18	20.5	19	13	13.9	
HEX3	74	76.2	80	82.5	76	74	74.8	
HEX4	15	17.8	20	23.0	17	15	17.3	
KUNZ1	20	20.9	22	23.2	20	20	20.2	
KUNZ2	30	31.1	32	33.1	29	29	29.9	
KUNZ3	13	13.0	13	13.0	13	13	13.0	

提案手法は、最良解に関して他手法と比べても同等あるいはより良い解 (HEX2) を求めることができる。

5 まとめ

突然変異として NNA で用いられる最急降下法を組み込んだ遺伝的アルゴリズムを提案した。結果として、他手法と比較して良い解精度が得られた。2 つの突然変異が効果があることから、1 つの個体からのランダムサーチがある程度効果があることが示された。今後、高速な実行のための並列処理およびハードウェアアクセラレーション等を検討したい。

参考文献

- [1] N. Funabiki and Y. Takefuji, "A neural network parallel algorithm for channel assignment problems in cellular radio networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, no. No.4, pp. 430–437, 1992.
- [2] 池永勝芳, 船曳信生, 竹中要一, 北道淳司, "セルラー通信網のあるチャンネル割当問題に対するマキシマムニューラルネットワーク解法の提案," 電子情報通信学会技術研究報告, NLP97-172, pp.85-92, 1998.
- [3] C. Y. Ngo and O. K. Li, "Fixed channel assignment in cellular radio networks using a modified genetic algorithm," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 47, no. 1, pp. 163–172, 1998.
- [4] L. Wang, S. Arunkumaar, and W. Gu, "Genetic algorithms for optimal channel assignment in mobile communications," *Neural Information Processing, 2002. ICONIP'02. Proceedings of the 9th International Conference on*, vol. 3, pp. 1221–1225, IEEE, 2002.
- [5] 山本脩太, 北道淳司, "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," 情報処理学会第 75 回全国大会, 1M-3, 2013.