

アメーバ電子計算システムにおける最大カット問題のマッピングとその求解

Mapping and Solving the Maximum Cut Problem for Amoeba Electronic Computing System

北大大量集センター¹, 慶大環境情報², ○斉藤健太¹, 末藤直樹¹, 葛西誠也¹, 青野真士²
RCIQE, Hokkaido Univ.¹, Fac. Env. Info. Stud., Keio Univ.² ○K. Saito¹, N. Suefuji S. Kasai¹, M. Aono²
E-mail: k-saito@rciqe.hokudai.ac.jp

1. はじめに

膨大なデータの組合せから最適な解を探索する解探索システムの必要性が高まっている[1]。我々は生物粘菌アメーバの高度な計算能力に着想を得たアメーバ型電子解探索システム「電子アメーバ」を開発し、充足可能性問題や巡回セールスマン問題のような既存計算機では計算困難な最適化問題を解けることを実証した[2-5]。本報告では最大カット問題 (MaxCut) をアメーバ計算系にマッピングし、実証実験した結果を述べる。

2. MaxCut のアメーバ計算へのマッピング

アメーバ計算はリカレントニューラルネットワーク計算の一種である。アメーバの形状をニューロン (最適化問題の変数に対応) と見立て、制約に違反したニューロンに対して光照射を行う。アメーバは嫌光反応を持つため、光照射された場所から縮退する。各ニューロンに対する光照射の有無は解く問題から生成されるバウンズバックルール (制約すべきアメーバの形状を定義) によって決定される。アメーバは光照射される面積を最小化し、エサの摂取量を最大化するために変形する。アメーバの変形と光照射の繰返しの後、アメーバの形状は定常状態となり、このときの形状が最適化問題の解となる。電子アメーバはアメーバを電流と見立て、アメーバ解探索を電子回路で表現し実装される。

MaxCut は重み付きグラフのノードを 2 つのグループに分けたときに、それらノード間のエッジ重み合計 (カットと呼ぶ) を最大化する問題である。アメーバ計算で MaxCut を解くためには、MaxCut のバウンズバックルール定式化が必要である。 N ノードの MaxCut において、ノード $i \in 1, 2 \dots N$ へ冗長変数 $X_{i,v} = [0, 1]$ ($v \in 0, 1$) を導入する。ここで、 $X_{i,0} = 1$ かつ $X_{i,1} = 0$ ならば $x_i = 0$ と見なし、ノード i はグループ 0 に属することを意味する。逆の場合はグループ 1 に属する。ノード $X_{i,v}$ への光照射の有無 $L_{i,v}$ は、しきい関数 θ としき

い値 T を用いて $L_{i,v} = \theta(\sum_j w_{i,j} \cdot X_{j,v} - T)$ と表される。ここで $w_{i,v}$ は変数間の重み結合定数であり、変数 i の冗長変数 $X_{i,0}$ と $X_{i,1}$ が同時に 1 になることの制約情報、またカットが大きくなるような制約情報が定義される。 $L_{i,v}$ を計算する回路はクロスバー構造上のしきい積和演算を行うオペアンプとコンパレータを用いて実装できる[5]。

3. 実験結果

試作回路を図 1 に、変数状態の時間発展波形を図 2 に示す。解探索を開始すると各変数は振動したが、後に定常状態へ収束した。このときの冗長変数 $X_{i,v}$ を変数 x_i に再変換すると $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (0, 1, 0, 0, 1)$ となる。これは解いた問題の最適解である。電子アメーバが MaxCut を解けることを確認した。

【参考文献】[1] M. W. Johnson *et al.*, Nature **473** (2011)., [2] L. Zhu *et al.*, R. Soc. Open Sci. **5** (2018)., [3] S. Kasai *et al.*, APL **103** (2013)., [4] K. Saito *et al.*, IEEE 48th ISMVL pp.127 (2018)., [5] 斉藤ら、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、12a-PA4-9 (2019).

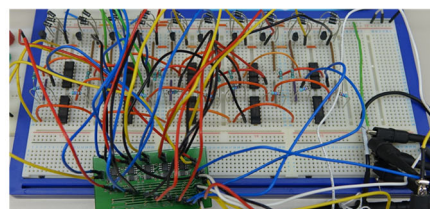


Fig 1: Photograph of fabricated electronic amoeba.

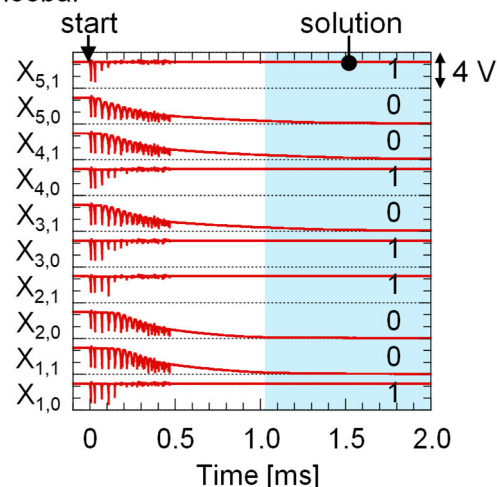


Fig 2: Time evolution of all state variables in fabricated electronic amoeba. Obtained solution, $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (0, 1, 0, 0, 1)$, is optimal.