

強化学習による最小頂点被覆問題のヒューリスティック解に関する考察

岩本 圭介 福田 龍樹
北九州工業高等専門学校

1. はじめに

組み合わせ最適化問題の最適解及びヒューリスティック解を求めるために、グラフ理論を用いたアルゴリズムが提案されてきた。しかし、近年の情報化社会において情報流通やソーシャルネットワークなどがより複雑さを増しているため、求解の更なる高速化が必要とされている。そこで、本研究では計算時間の削減を目的として、組み合わせ最適化問題の一つである最小頂点被覆問題のヒューリスティック解を、強化学習を用いて解く方法について考察する。

2. 最小頂点被覆問題

頂点の集合を V 、辺の集合を E としたときの重み無し無向グラフ $G = (V, E)$ において、 E に内包する全ての辺が $S(\subseteq V)$ に内包する任意の頂点に接続しているときの頂点の集合 S を頂点被覆という。最小頂点被覆問題[1]とは、頂点被覆の濃度 $|S|$ が最小となる最小頂点被覆 S_{\min} を求める問題である。この問題は NP 困難であり、最適解アルゴリズムの最悪時間計算量は、多項式係数を無視すると $O(2^{|V|})$ である。この問題では、近似解を S^* とすると $|S^*| \leq 2 \times |S_{\min}|$ を満たす近似解アルゴリズムが存在し、その最悪時間計算量は $O(|E| \log |V|)$ である[2]。

3. VGAE (Variational Graph Auto-Encoders)

VGAE[3]とは、グラフ構造を持つデータに対する教師なし学習のためのモデルである。このモデルはオートエンコーダに GCN (Graph Convolutional Networks) を用いることで、無向グラフの各頂点における潜在的な特徴量を学習することができる。VGAE の構造を図 1 に示す。ここで、隣接行列、各頂点の特徴量及び確率的潜在変数をそれぞれ A , X , Z とする。

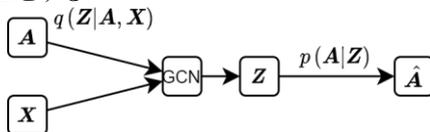


図 1. VGAE の構造

最小頂点被覆問題を求める際は、VGAE で求めた Z を方策勾配法アルゴリズムの一つである PPO (Proximal Policy Optimization) [4]に適用する。

4. 実験

教師あり学習を用いた最小頂点被覆問題の求解精度及び計算時間を評価する。また、VGAE の動作を調べ、最小頂点被覆問題に対する適用可能性について考察する。

4.1. 教師あり学習 (GCN)

頂点数 $|V| = 16, 24$ の場合それぞれについてテストケー

スを作成し、トレーニングデータ 800 個を学習に用いた。学習では GCN モデルを作成し、トレーニングデータの正解ラベルとモデルが出力する予測ラベルのクロスエントロピーを最小化することで学習を行った。テストデータ 200 個で様々な手法において評価を実施した際の、Acc 及び計算時間の平均値を表 1 に示す。

表 1. 様々な手法による評価値の平均値

手法	$ V $	Acc	計算時間 [s]
最適解	16	1.0	3.316
	24	1.0	1317.703
近似解	16	0.755	7.813×10^{-5}
	24	0.759	1.083×10^{-4}
教師あり学習	16	0.727	6.173×10^{-3}
	24	0.773	4.599×10^{-3}

4.2. 強化学習 (VGAE)

頂点数 $|V| = 1024$ であり、辺の生成確率が 0.5 であるランダムな G を作成し、これをデータセットとした。学習では VGAE によるモデルを作成し、データセットの A と学習中モデルが予測する元の A の変分下限 \mathcal{L} を最大化することで学習を行った。学習済みモデルを用いてグラフを復元した際の、復元率を表す AUC 及び AP 値は、0.5 前後であった。

5. 考察及び今後の展望

VGAEを用いた強化学習において、AUC 及び AP が 0.5 前後であり、芳しくない。よって、本研究で用いた G において VGAE が適さないと推測される。即ち、最小頂点被覆問題に PPO を適用することも必然的に困難となる。以上が現時点の限界であるが、VGAE の予測精度が良いといえない状態であった原因として X にランダム値を用いたことが考えられる。 X の有意性の有無と精度の関係性を明確にすることに加え、重みあり最小頂点被覆問題に対する VGAE 及び PPO の適用可能性を調査していくことが重要である。

参考文献

- [1] 秋葉拓哉, 岩田陽一, 北川宜稔, “問題解決のアルゴリズム活用力とコーディングテクニックを鍛える プログラミングコンテストチャレンジブック 第 2 版,” pp.188-224, マイナビ出版, 2012.
- [2] Bar-Yehuda, Reuven, and Shimon Even, “A local-ratio theorem for approximating the weighted vertex cover problem,” Computer Science Department, Technion, 1983.
- [3] Kipf, Thomas N. and Max Welling, “Variational graph auto-encoders,” arXiv preprint arXiv:1611.07308, 2016.
- [4] Schulman J., Wolski F., Dhariwal P., Radford A., and Klimov O., “Proximal policy optimization algorithms,” arXiv preprint arXiv:1707.06347, 2017.