

# 未知のグラフにおけるレジリエンス向上のための アンカーノード探索手法に関する一検討

A Study on Identifying Anchor Nodes for Maximizing Resilience on Unknown Graphs

37022497 石本 哲郎

関西学院大学 工学部 情報工学課程  
2025 年度 卒業研究 審査資料

## 1 はじめに

現代の高度情報化社会において、通信ネットワークや社会基盤システムは不可欠な存在であり、そのロバスト性、すなわちレジリエンスを確保することは極めて重要な課題である。

ネットワークレジリエンスを向上させるための一つのアプローチとして、ネットワークの機能維持のために固定するアンカーノードの戦略的配置が提案されている[?]。Teng らの研究では、ネットワークのレジリエンス向上を目的としたアンカーノードの戦略的配置をフォロワー最大化問題として定式化し、限られたコストでレジリエンス向上に最も寄与するノードを逐次的に選択する貪欲アルゴリズム AdvGreedy の有効性を示している。

既存研究ではネットワーク全体のトポロジとノードの状態が既知であることを前提としている。本研究では、単一エージェントがランダムウォークにより未知のネットワークを局所的に探索し、その部分的な情報のみを用いてアンカーノードを選定するシナリオを想定し、不完全情報下におけるアンカー選定戦略の有効性を明らかにすることを目的とする。

## 2 フォロワー最大化問題

フォロワー最大化問題は、ネットワークのレジリエンスを定量的に評価し、その向上策を最適化するための理論的枠組みである[?]。

本問題では、ネットワークを構成するノードを「アンカー」と「フォロワー」の2種類に分類している。アンカーとは、障害の影響を受けない特別なノード群を指す。一方、フォロワーとは、アンカー以外のすべての一般ノードであり、これらは潜在的な障害のリスクに晒されている。あるフォロワーノードが保護されている状態とは、そのノードから少なくとも一つのアンカーノードに対して、障害のない安定した経路上で到達可能であることを意味する。

本問題の目的は、限られた予算内で保護されるフォロワーの総数を最大化するアンカーノード集合を発見することにある。形式的には、グラフ  $G = (V, E)$  とアンカー設置の総予算  $b$  が与えられたとき、 $|A| \leq b$  を満たすアンカー集合  $A \subseteq V$  のうち、保護されるフォロワーノードの総数、すなわちレジリエンス利得を最大化するものを求める組合せ最適化問題として定式化される。

## 3 ランダムウォークによるアンカーノード探索

本研究では、未知のネットワークにおいて、その構造情報を獲得する現実的な手段としてランダムウォークを用いる。ランダムウォークは、エージェントが現在位置するノードの近傍情報に基づき、次に遷移するノードを確率的に選択するプロセスであり、訪問したノードとエッジは部分グラフとして記録される。

アンカーノードの選定は、ランダムウォークで得られた部分グラフ上で行う。具体的には、探索エージェントがステップ数  $k$  の探索後、その軌跡から構築された部分グラフ  $G_k^* = (V_k^*, E_k^*)$  に、フォロワー最大化問題を解く AdvGreedy アルゴリズム[?]を適用する。これにより、不完全な情報に基づくアンカー候補集合  $A_k$  を得る。

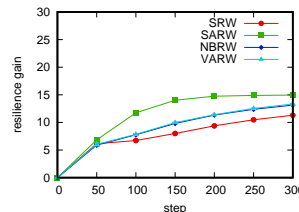


図1 ランダムグラフでのレジリエンス利得

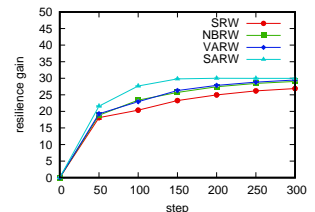


図2 BAグラフでのレジリエンス利得

## 4 実験

ランダムウォークによるアンカーノード探索の有効性を検証するため、構造的特徴が異なる2種類のグラフモデル(ランダムグラフ、BA: Barabási-Albert グラフ)を用い、それぞれについてグラフを一つずつ生成してシミュレーションを実施した。それぞれのグラフは、ノード数を100、平均次数を約4.5として生成し、アンカー選定の予算  $b$  は全ノード数の5%、すなわち5とした。

本実験では、アンカー選定の前提となる探索戦略として、単純ランダムウォーク(SRW)、非後退ランダムウォーク(NBRW)、近傍回避ランダムウォーク(VARW)、そして自己回避ランダムウォーク(SARW)を用意し、それぞれのグラフに対し、10個の異なる始点から各ランダムウォークを10回ずつ実行し、探索ステップ数  $k = 50, 100, 150, \dots, 300$  ごとに得られた部分グラフからアンカー集合  $A_k$  を決定した。決定したアンカーノードを元グラフに適用したときに得られるレジリエンス利得の平均値と95%信頼区間を計測した。信頼区間は極めて小さく、プロットから識別できなかったため、図示を省略した。

評価指標として元のグラフで得られるレジリエンス利得を計測した。元のグラフに対して AdvGreedy を用いて得たアンカーノードによるレジリエンス利得は、ランダムグラフで15、BAグラフで30である。

図1および図2に示す実験結果から、本研究で設定した条件下においては、いずれのグラフモデルにおいても、より広い範囲を効率的に探索できるランダムウォーク戦略ほど、早期に高いレジリエンス利得を達成する傾向が見られた。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 24K02936 の助成を受けたものである