

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

石本 哲郎

関西学院大学 工学部 情報工学課程

2025 年 9 月 18 日

研究の背景：ネットワークレジリエンスの必要性

- ▶ 現代社会と通信ネットワーク
 - ▶ 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
 - ▶ 生活・経済・産業・医療など、あらゆる活動が依存している
 - ▶ 災害・故障・サイバー攻撃などのリスクに備える必要がある

レジリエンスを確保することは極めて重要な課題

- ▶ レジリエンス：障害や攻撃を受けても、機能を維持し続けられる能力

研究の動機：先行研究と課題

- ▶ 既存のレジリエンス向上のアプローチ
 - ▶ 障害や攻撃を受けても機能を維持するためにはどのノードを保護すれば良いかを考える
 - ▶ 既存研究では、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 が提案された
- ▶ しかしながら、ネットワーク全体のトポロジカルな構造が完全に既知であり、任意のノードの状態を即座に把握できるという仮定に基づく

未知のネットワーク上では利用できない

研究の目的

- ▶ 本研究の想定
 - ▶ ネットワーク全体の構造は未知
 - ▶ 未知のネットワークを **ランダムウォーク** により探索
 - ▶ グラフの頂点を確率的に遷移していくプロセス
 - ▶ 訪問したノードを「探索済み」として記録
 - ▶ ランダムウォークで得られる **部分的な情報** のみが利用可能
- ▶ 本研究の目的
 - ▶ このような条件で、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

フォロワー最大化問題 (1/2)

- ▶ 先行研究では、レジリエンス向上をフォロワー最大化問題として定式化することで解いている

フォロワー最大化問題の概要

- ▶ レジリエンス利得を最大化するアンカーノードの組合せを求める
 - ▶ レジリエンス利得：保護されるノードの総数
 - ▶ ノードの保護：ある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
 - ▶ アンカーノード：障害を受けない特別なノード

どのようにアンカーノードを設定すれば、最大のフォロワーを得られるかを解く

フォロワー最大化問題 (2/2)

フォロワー最大化問題の定義

- ▶ 入力
 - ▶ 無向グラフ G
 - ▶ アンカー設置の総予算 b
- ▶ 出力
 - ▶ アンカーの集合 A
- ▶ 制約条件
 - ▶ 設定したアンカーノードの数が予算内であること： $|A| \leq b$
- ▶ 目的
 - ▶ 保護されるノードの数を最大化する

ランダムウォークによるアンカーノード探索の概要

- ▶ 未知グラフでのアンカーノード探索を行なうアイデア
 - ▶ ランダムウォークによってグラフを探索する
 - ▶ ランダムウォークで探索した部分グラフを入力として、フォロワー最大化問題を解く
 - ▶ その際のフォロワー最大化問題は既存の手法を用いて解く
- ▶ 具体的なアンカーノード選定方法
 1. 探査エージェントがランダムウォークを開始する
 2. 探索エージェントが訪問したノード、リンクを記録する
 3. ある探査ステップ k 経過後、記録したノードとリンクから構築されたグラフ $G'(k)$ を取得する
 4. 既存手法で提案されたアンカーノード決定手法 **AdvGreedy** を $G'(k)$ に適用する
 5. グラフ $G'(k)$ におけるアンカーノードの集合 A_k を得る

ランダムウォークによるアンカーノード探索

► 具体的なアンカーノード選定方法

1. 探査エージェントがランダムウォークを開始する
2. 探索エージェントが訪問したノード、リンクを記録する
3. ある探査ステップ k 経過後、記録したノードとリンクから構築されたグラフ $G'(k)$ を取得する
4. 既存手法で提案されたアンカーノード決定手法
AdvGreedy を $G'(k)$ に適用する
5. グラフ $G'(k)$ におけるアンカーノードの集合 A_k を得る

実験の目的と設定

- ▶ 実験の目的
 - ▶ 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
- ▶ 実験の設定
 - ▶ グラフの種類：ランダムグラフ、BA グラフ
 - ▶ 使用したランダムウォーク戦略：
SRW,NBRW,VARW,SARW
 - ▶ ランダムウォークの開始地点：10 個
 - ▶ ランダムウォークの試行回数：100 回
 - ▶ ステップ数：0 から 300
- ▶ 評価指標
 - ▶ シミュレーション結果のフォロワー数とネットワーク全体を入力値としたときのフォロワー数の比較
 - ▶ ネットワーク全体を入力としたときのネットワークレジリエンスはそれぞれランダムグラフでは 15、BA グラフでは 30 であった

結果

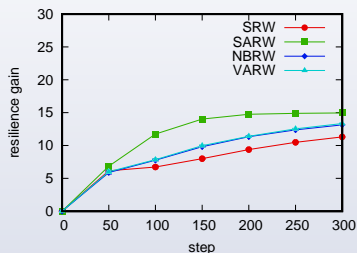


Figure: ランダムグラフの結果

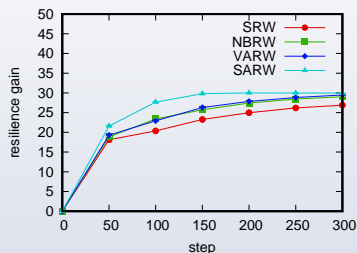


Figure: BA グラフの結果

- ▶ ランダムグラフにおいても BA グラフにおいても SARW が最も高いレジリエンスゲインを早期に達成できる

まとめと今後の課題

▶ まとめ

- ▶ 既知ネットワークにおけるフォロワー最大化問題を未知ネットワークに適用
- ▶ 未知ネットワークに対して高いレジリエンスゲインを早期に発見できるランダムウォーク戦略を検証

▶ 今後の課題

- ▶ 他のトポロジ構造の場合では探索手法ごとにどのような変化があるかを検証する
- ▶ より大規模なグラフに対しても有効性を検証する