PoS型ブロックチェーンにおける ステークの分散化とsybil攻撃検知

先進ネットワーク研究室
屋敷圭太

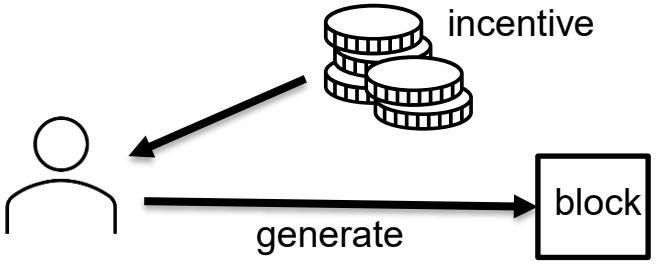
ブロックチェーン

- ブロックチェーン
  - 複数のコンピュータ間の台帳上で共有して管理
  - 取引の改ざんが困難

- コンセンサスアルゴリズム
  - ブロックチェーン内のノード間で合意を形成するためのルール
  - Proof of work
    - 計算能力を競う競争型合意
    - ex. Bitcoin
  - Proof of stake
    - 保有資産を基盤とした選出型合意
    - ex. Ethereum

PoS: インセンティブメカニズム

- バリデータ(ノード)はブロックを生成することでインセンティブ獲得



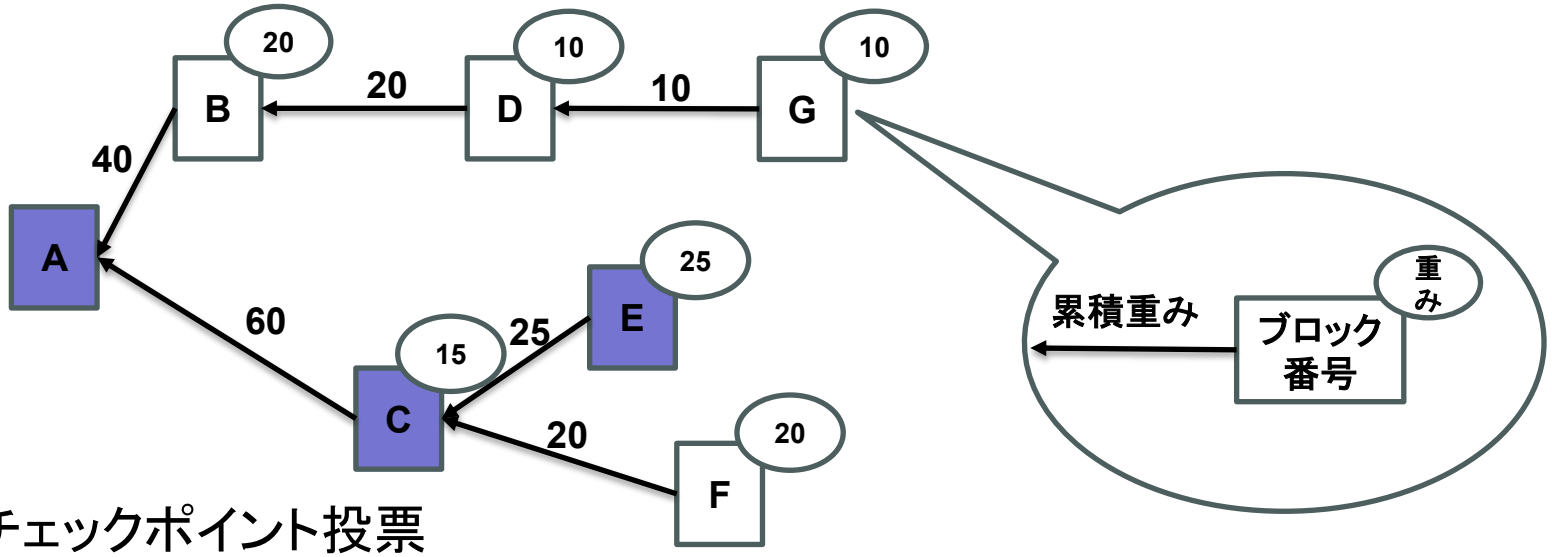
- ステーク(保有資産)量の多いバリデータ
  - ステーク量に応じてブロック生成に伴うインセンティブが増加
  - ブロック生成に指名される確率増加

  - 従来インセンティブ式: $I_i = s_i$
    - I: インセンティブ
    - s: ステーク
    - i: バリデータ
- ブロックチェーンネットワーク内でステーク量の偏りが発生

ステーク量の大小に伴う支配力の差異

- ステーク量でブロック生成バリデータの選出確率が変化

- チェーンの枝分かれ(フォーク)が発生した時累積重みに基づいて正当なチェーンを決定
  - ステーク量に基づいて投票の重みが決定

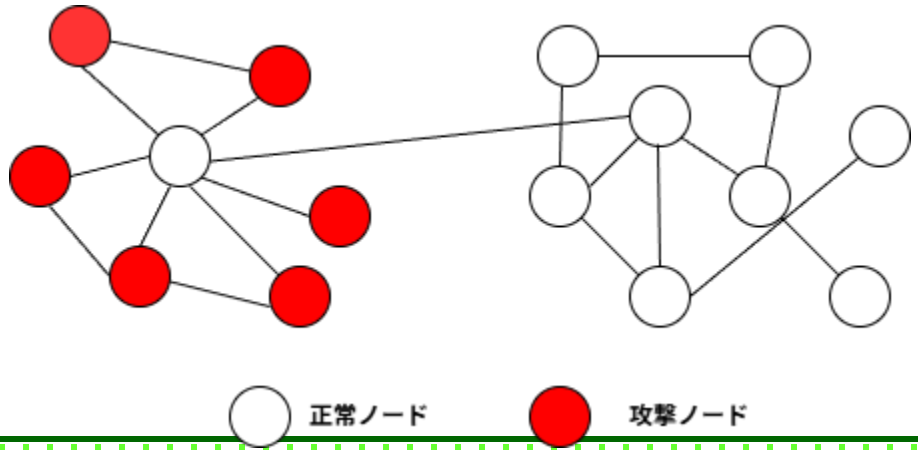


- チェックポイント投票
  - 正当なチェーン決定後, 全体のステーク量2/3以上の投票で最終チェーンを決定
    - ステーク量の多いバリデータは投票の影響力大

Sybil攻撃

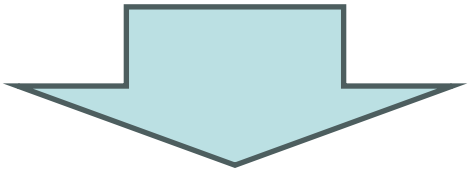
- 単一の攻撃者が複数の偽ノードを生成
  →複数の新規バリデータをネットワークに投入
  →→バリデータを用いてブロック生成，ブロック投票で不正に操作

- 分散化に伴う課題
  - ネットワーク内のステークが分散
    →sybil攻撃に脆弱
    - 新規に参加する攻撃者がsybil攻撃に必要なステークを得やすくなる



研究目的

- ネットワークの中央集権化
  - 特定のバリデータにステークが集中



- ステーク分散を目的としたインセンティブ手法
  - ステークの中央集権化解消によるsybil攻撃耐性弱

- Sybil攻撃バリデータ検知手法の提案

インセンティブ式

- $Incentive = \frac{validator\_stake^{\alpha}}{\sqrt{All\_validator\_stake}} * C$
  - $\alpha = \frac{1}{1 + \beta * \frac{validator\_stake}{All\_validator\_stake}}$
  - $validator\_stake$: バリデータの保有するステーク量
  - $All\_validator\_stake$: ネットワーク全体のバリデータのステーク量
  - C: ブロック生成報酬の基準額
  - β: 調整変数

- 各バリデータのステーク量をαで調整
  - ステーク量の多いバリデータのインセンティブ量を緩和
  - 新規参入者のインセンティブ量増加

クラスタリングを用いた攻撃者検知

- 以下の特徴量を用いてユーザをクラスタリング
  - 特徴量の定義
    - フォーク発生時のブロック投票における投票の偏り度
    - 過去のブロック生成数

- 攻撃者検知ロジック
  - 正常バリデータ
    - ブロック生成者のステーク量，過去のブロック生成履歴に基づいて投票先を選択
  - 攻撃者
    - 自身が生成したブロックに投票
    - 複数の偽バリデータを用いて投票

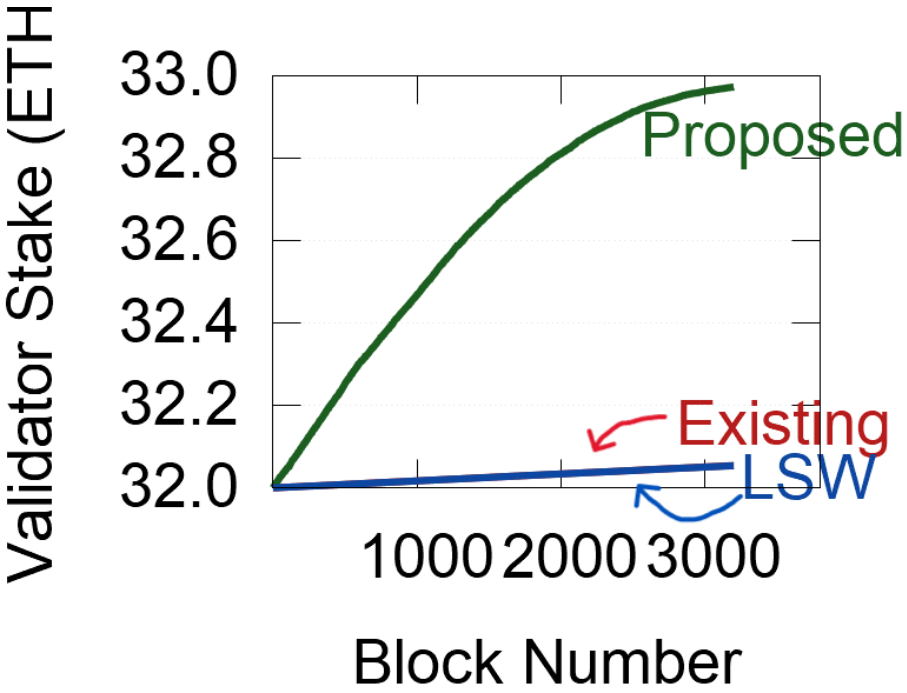
評価条件

- 計算機シミュレーションにより評価
  - ブロック生成数: 3200ブロック
  - バリデータ数: 128

- 新規バリデータステーク量
  - 従来手法, 関連研究(LSW)で比較
    →インセンティブ式: $I_i = \log s_i$
- 攻撃者検知率
  - 攻撃者割合: 全バリデータの10%
  - 新規参入者割合別に評価
    - シナリオA: 17%, シナリオB: 41%, シナリオC: 69%

評価: ステーク量

- ステーク量
  - 提案手法のステーク量が最も増加
    - Existing < LSW < Proposed
  - LSW
    - 保有ステークに比例しないインセンティブを付与

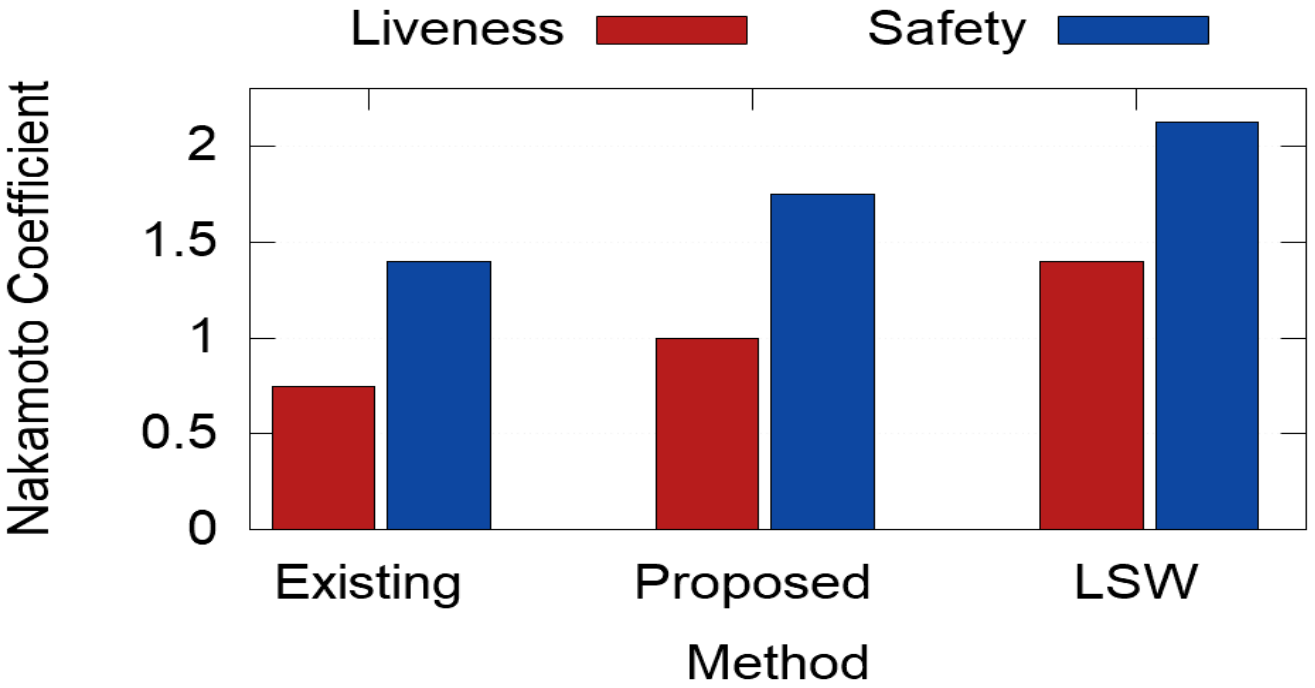


評価指標: Nakamoto係数

- Nakamoto Coefficient for Liveness
  - ブロックを停止させるために必要な最小ノード数
  - $N\_L = min\{|L||L \in N, \sum_{i \in L} w\_i \geq 1/3 \sum_{i=j}^{m} w\_i$
- Nakamoto Coefficient for Safety
  - ブロックの改竄を可能にするために必要な最小ノード数
  - $N\_S = min\{|S||S \in N, \sum_{i \in S} w\_i \geq 2/3 \sum_{i=j}^{m} w\_i$
  - i: バリデータ
  - w_i: バリデータiの保有ステーク

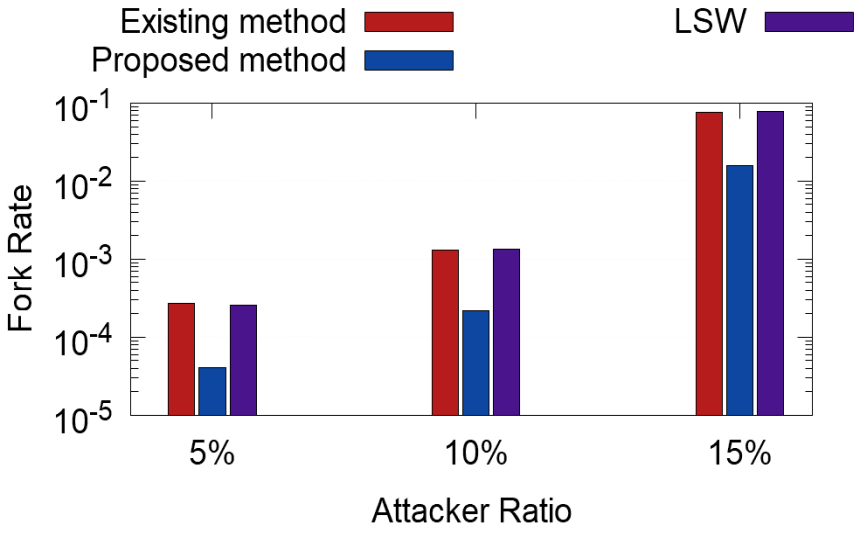
評価: Nakamoto係数

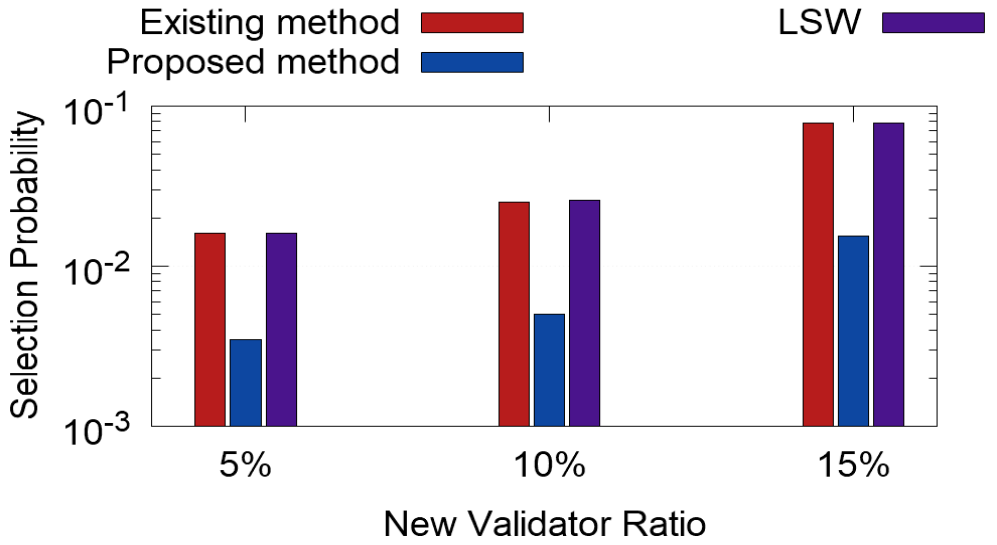
- Nakamoto Coefficeint
  - 従来手法＜提案手法＜LSW
  - 従来手法
    - ステークに比例したインセンティブ設計によりステークの分散生が低い
  - LSW
    - 保有ステークに関わらないインセンティブ設計によるもの



評価: フォーク発生・新規参入者選出確率

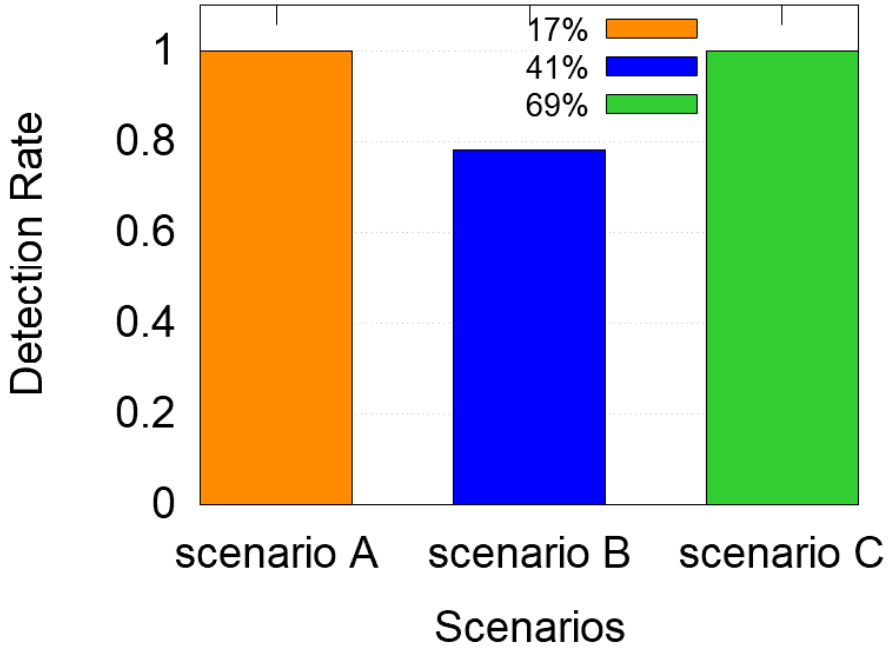
- 提案手法
  - どの攻撃者割合においても発生確率低
  - 選出確率の抑制によるもの
- 従来手法・LSW
  - どの割合においても同程度の確率
  - 両手法において選出確率式は変わらない





評価: 攻撃者検知率

- 攻撃者検知
  - シナリオBの検知率78%
    - ブロック生成率の低い新規バリデータと攻撃者の投票行動が類似→誤検知発生



まとめ

- ネットワークの中央集権化を解消するインセンティブ式, sybil攻撃検知手法

- 今後の予定
  - Sybil攻撃時の獲得報酬を各手法で比較・評価