CDNを利用したDDoS攻撃のZスコアを用いた検知法の性能評価

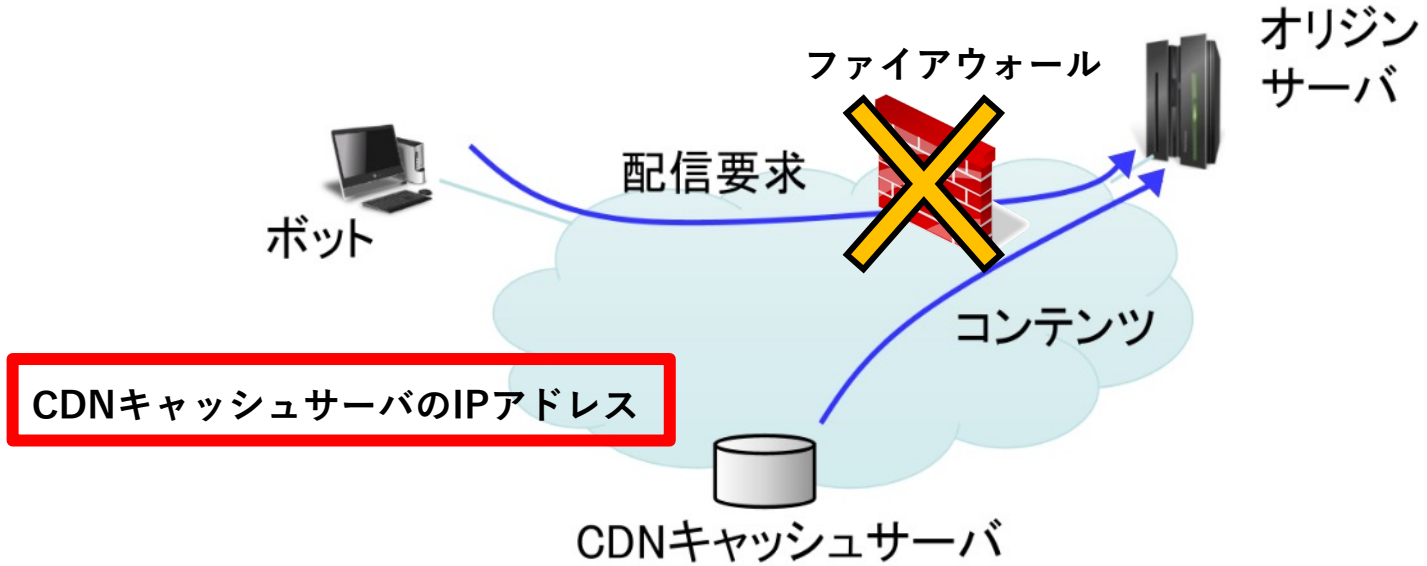
立命館大学
谷口和也　上山憲昭

研究課題

- 攻撃者が標的サーバのIPアドレスを特定
  - DNS(Domain Name System)を用いずに，特定したIPアドレス宛に直接パケットを送信

  ⇒DDoS攻撃が成立
  - CDNキャッシュサーバ以外から到着したパケットはファイアウォールで遮断
- 攻撃者がCDNキャッシュサーバのIPアドレスを発アドレスとして偽った場合

⇒DDoSパケットを送るとファイアウォールで検知不可



DNSの名前解決処理のログの活用

- 検知方法
  - CSからの正常な問い合わせ時:
    - コンテンツプロバイダのDNSサーバに名前解決のログが残る
  - ボットからのOSのIPアドレスを直接用いた要求:
    - DNSの名前解決を用いないため名前解決の履歴が残らない

- DNSの名前解決処理のログの確認により，攻撃を検知
  - 問い合わせが有り: 配信処理を実施
  - 問い合わせが無し: DDoS攻撃と判断し,アクセスを棄却

⇒全ての要求に対し，DNSのログを確認するとオリジンサーバの負荷が増大

研究目的

- 要求発生パターンの違い
  - 正常な配信要求: キャッシュミス時に発生
  - DDoS攻撃: 短い時間間隔で膨大な数が連続して発生

⇒到着間隔に閾値を設定し，攻撃を検知

⇒DNSのログの確認が必要な要求を限定

問題点: 単一閾値を用いると見逃し，誤検知が多い

- Zスコアの活用
  - リアルタイムで外れ値検知が可能
  - 動的に閾値を修正可能

二段階検知

- 課題の攻撃方式に対し，DNSの名前解決ログの確認により検知

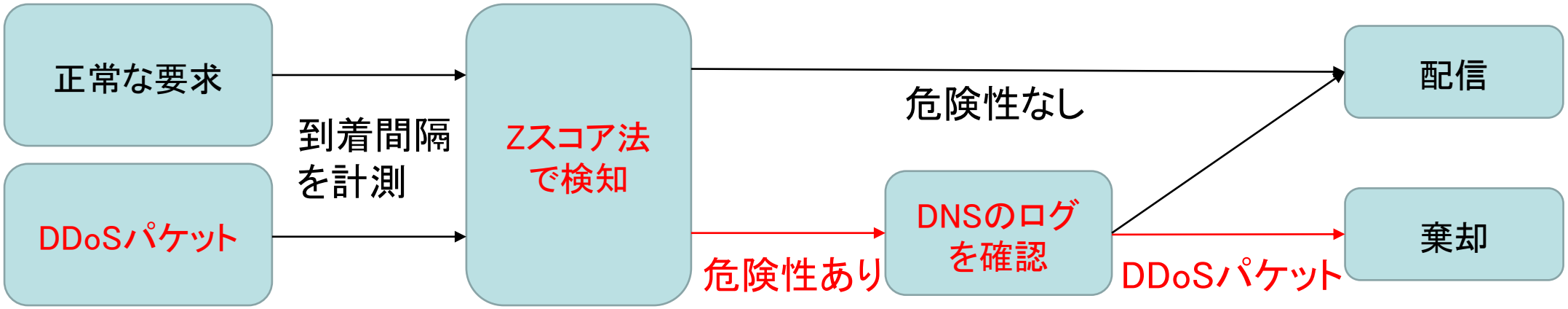
⇒全要求に対し確認を行うと処理負荷の懸念

- オリジンサーバの負荷を軽減する方法を検討

⇒二段階検知を実施

- 要求発生パターンの違いから危険性のある要求を到着間隔より検知

⇒閾値を動的に変更するため，Zスコアを導入



Zスコア法

- データの外れ値を検知するアルゴリズム
- メカニズム
  - 過去のデータより平均を算出
  - 平均から外れ値を検知
  - 外れ値を平均に基づいて編集しデータとして記録
- 3つのパラメタ
  - ラグ(L): 平均値を作成する過去のデータの個数
  - 閾値(η): 信号を検知する際の感度
  - 影響(α): 値を更新する際の過去のデータの影響度

$$S_i = \begin{cases} 1, & \text{if } E_c - \mu_{i-1} > \eta\sigma_{i-1} \\ -1, & \text{if } E_c - \mu_{i-1} < -\eta\sigma_{i-1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$E_i = \begin{cases} E_c, & \text{if } S_i = 0 \\ \alpha \times E_c + (1-\alpha) \times E_{i-1}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\mu_i = mean(E_{i-L+1}, E_{i-L+2}, ..., E_i)$$

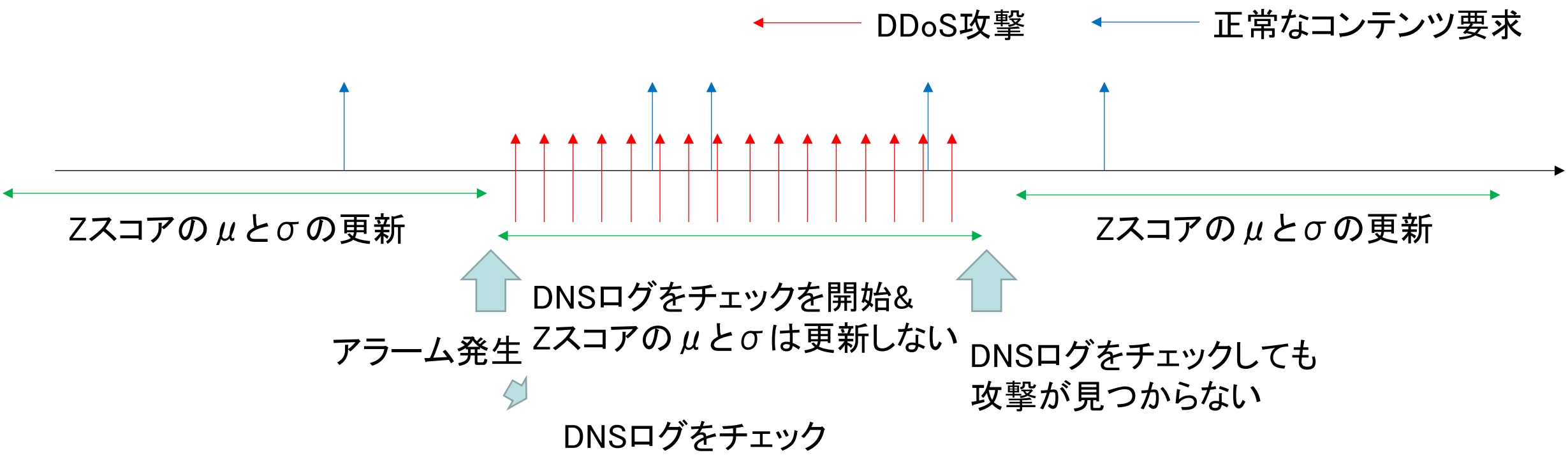
$$\sigma_i = std(E_{i-L+1}, E_{i-L+2}, ..., E_i)$$

提案方式

- Zスコア導入での検知法
  - 到着間隔の逆数をデータとして活用

  →到着間隔の違いよりDDoSパケットが発生したことを判別
  - 攻撃発生中の誤ったデータを平均に反映しない

  →正常な要求のみが起こっている時とは異なった到着間隔のパターンを検知



オーダ表記での評価

- DNSログの検索処理の時間計算量
  - 線形探索であると想定
  - エントリ数nに対して最悪時間計算量はO(n)

- Zスコアアルゴリズムの時間計算量
  - Z = (X - μ) / σ （ZはZスコア、Xは入力値、μ（ミュー）は平均、σ（シグマ）は標準偏差）
  - 単純な式であるため，平均値と標準偏差を事前に計算することで瞬時に結果を出力可能

  →Zスコアアルゴリズムの時間計算量は入力数に依存しない
  - 時間計算量はO(1)

⇒Zスコア法とDNSのログ検索の計算量の違いにより処理コストの低減が可能

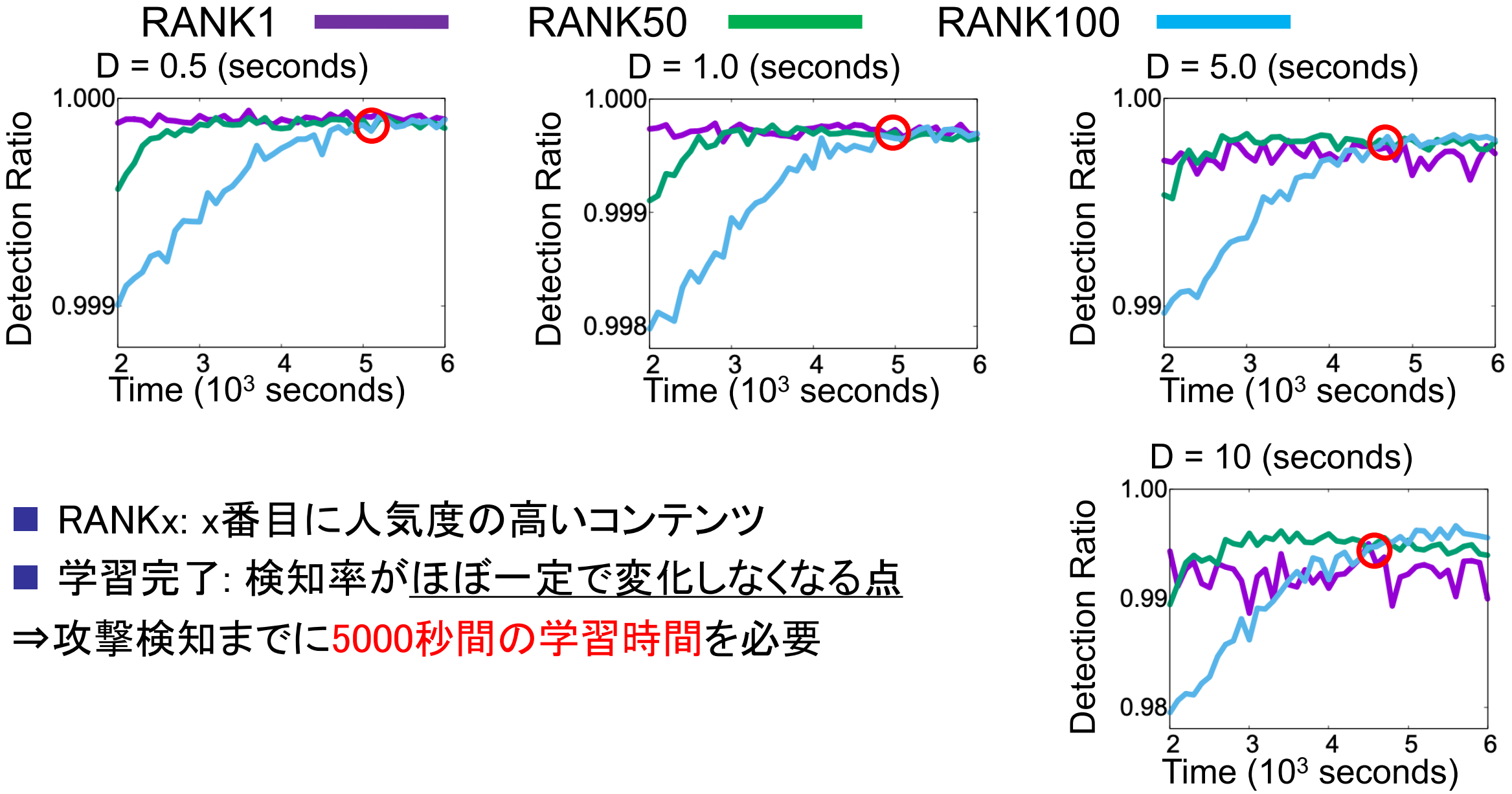
シミュレーション条件

- Zスコアのパラメタ: ラグ(L): 10, 閾値(η): 4.0, 影響(α): 0.5
- コンテンツ要求のシミュレータの設定

項目	設定した値
シミュレーション時間	10000秒
コンテンツの種類	100個
キャッシュ容量	10個
要求の平均発生回数	1回
攻撃を受ける期間	5000秒経過後3000秒間

- 評価項目
  - 検知率の時間変化
  - 人気度の異なるコンテンツに対する評価
  - DDoSパケットの到着レートに対する評価

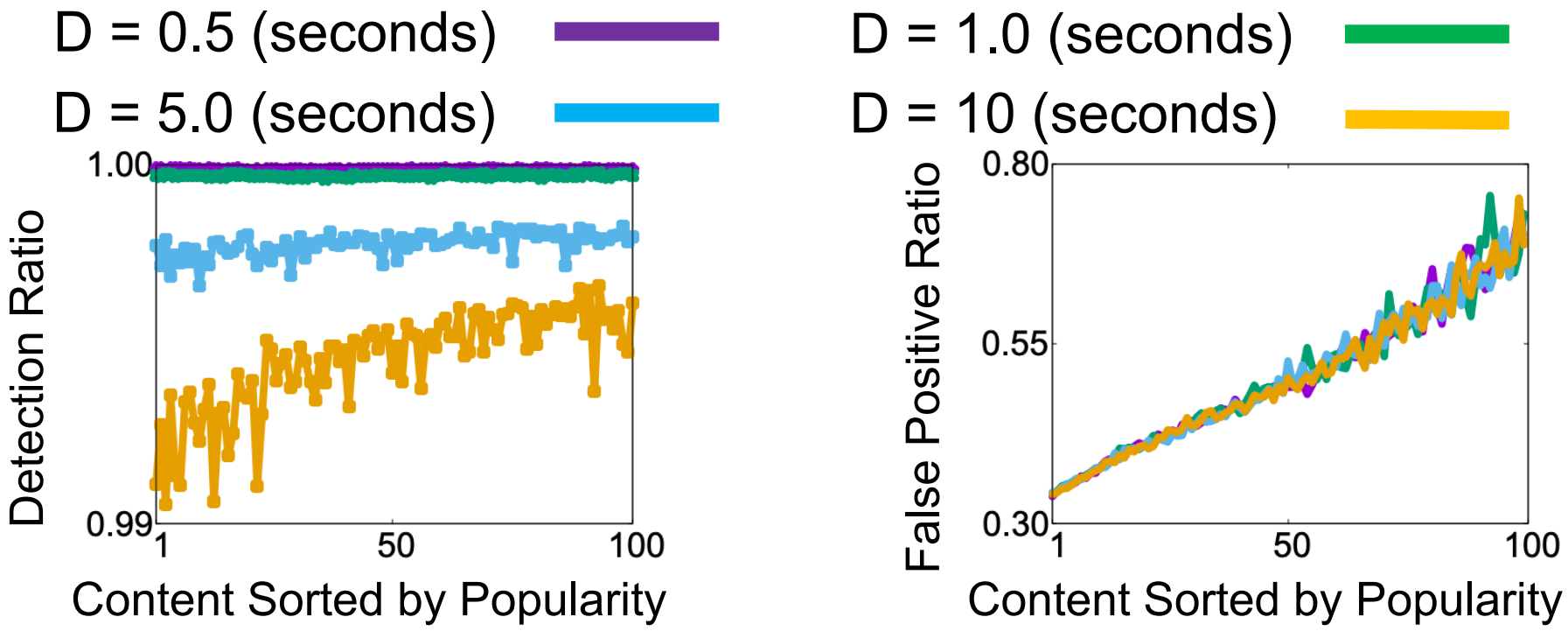
結果(検知率の時間変化)



- RANKx: x番目に人気度の高いコンテンツ
- 学習完了: 検知率がほぼ一定で変化しなくなる点

⇒攻撃検知までに5000秒間の学習時間を必要

結果(人気度の異なるコンテンツに対する評価)



- 到着間隔に着目しているため，高人気コンテンツの方が検知困難と推測

⇒人気度に関わらず99%以上の高い検知率を記録

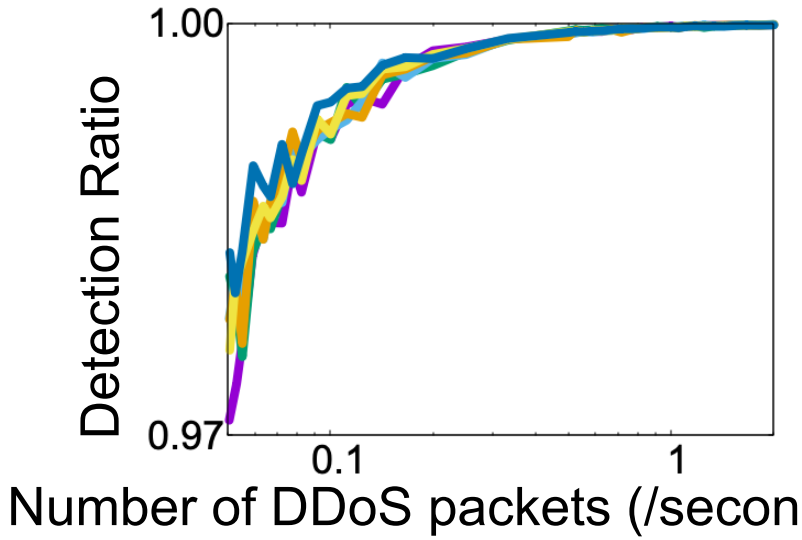
- 誤検知率: 30～80%

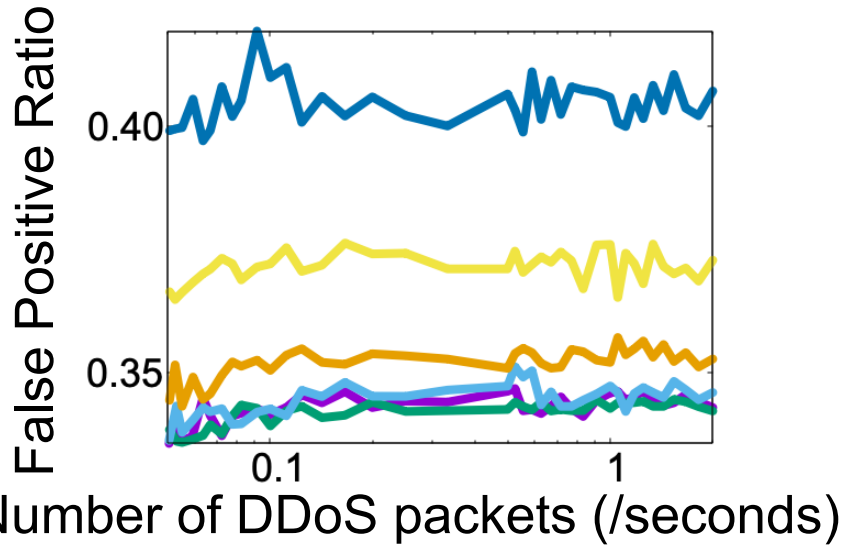
⇒DNSのログを確認することで，CSからの正常な要求パケットを棄却することは防げる

結果(DDoSパケットの到着レートに対する評価①)

RANK1 RANK2 RANK3

RANK5 RANK10 RANK20





- 検知率: DDoSパケットの到着レートが高い方が検知が容易

⇒検知レートの増加に伴い検知率は増加し，検知率はほぼ100%

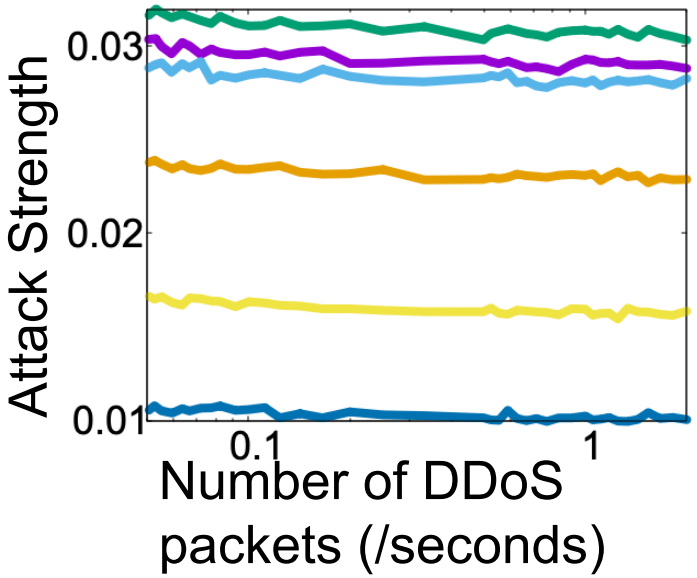
- 誤検知率: DDoSの発生レートに依存しない
  - 攻撃対象コンテンツの人気度により値が異なる

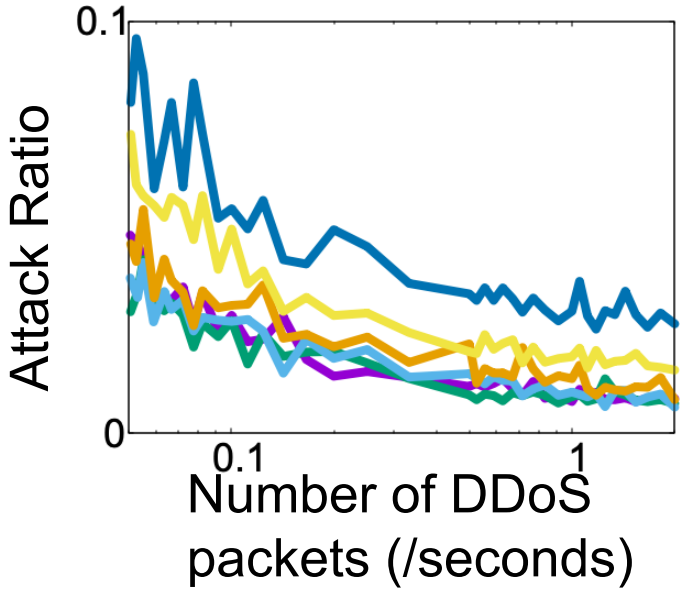
⇒ランダムで発生する要求の中には一定数の短い間隔の要求が存在

結果(DDoSパケットの到着レートに対する評価②)

RANK1 RANK2 RANK3

RANK5 RANK10 RANK20





- 攻撃強度: 単位時間あたりの配信回数

⇒DDoSパケットを棄却→キャッシュミスの発生間隔を反映した結果に

- 攻撃率: 配信した要求に含まれるDDoSパケットの割合
  - 配信要求中にDDoSパケットが含まれる割合が低い

⇒DDoSパケットの検知の見逃しは少なく，ボリューム攻撃の危険性を大幅に低下

まとめ

- CDNキャッシュサーバのIPアドレスを騙ったOSへの直接攻撃を想定

⇒ファイアウォールでの検知が困難

- Zスコア法を用いて動的にDNSログを確認する必要のある要求を絞る検知方式を提案
  - 正常パケットとDDoSパケットの発生パターンの違いから発生する到着間隔の差異に着目

⇒Zスコア法とDNSのログ検索の計算量の違いにより処理コストの低減が可能

- 提案方式によるDDoSパケットの検知精度は高いことを確認

- 今後の方針
  - 送信元IPアドレスの種類に着目することで，危険性のあるCDNキャッシュサーバを絞りこむ方式を実現

⇒多大なCDNキャッシュサーバ全てに提案方式を適応する必要がなく，検知を行うコストを低減可能と予想