

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名：次世代コアとBeyond 5G/6Gネットワークのためのプログラム可能なネットワークの研究開発
- ◆副題：Beyond 5Gネットワークのセキュリティ、プライバシーを保護するプログラマブルデータプレーン技術
- ◆受託者：国立大学法人大阪大学、兵庫県公立大学法人 兵庫県立大学
- ◆研究開発期間：令和4年度～令和7年度（36か月間）
- ◆研究開発予算（契約額）：令和4年度から令和7年度までの総額45百万円（令和7年度7百万円）

2. 研究開発の目標

Beyond 5Gネットワークにおいて、テラビット/秒でセキュリティならびにプライバシー攻撃を検出、軽減するフレームワークを、P4スイッチ、スマートNICのプログラマブルデータプレーンを組み合わせて実現する。1) テラビット/秒で10⁶個の通信フローを監視し、セキュリティならびにプライバシー攻撃を検出、軽減するUPF-Uノードのフレームワークを開発する。2)、10⁵ユーザを想定して、ユーザがアクセスするサイト、データなどのプライバシー漏洩を防ぐプライバシー保護術を開発する。3) フレームワーク、プライバシー保護技術ならびにセキュリティ保護技術(米国)を統合したUPF-Uノードを開発し、5Gネットワークを模擬したテストベッド上実証する。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1-1
最適配置技術

- ホストとスイッチを併用した多フローデータの收容
- フローデータの最適配置

5G/6Gトラフィック

Switch

研究開発項目1-2
高速推論技術

- 異種デバイスを統合した高スループットな推論
- 大容量トラフィックのフィルタリング

sNICCPU

CPU

sNICCPU

研究開発項目1:フレームワーク技術

10⁶個の通信フローを監視し、攻撃を検出・軽減するフレームワークの開発

- 10⁶フローかつTbps級の通信が可能なUPFを実現するため、転送ルールなどの情報のホストとP4スイッチへの最適な配置を確立し、それに基づくUPFを設計した
- 10⁶フローかつTbps級のトラフィック中の攻撃検出のため、P4スイッチによる大量のフローのフィルタリング、スマートNICによる攻撃の推論技術、コンピューターによるパケット解析を統合したシステムを設計し、Tofinoスイッチ上に実装した

研究開発項目2-2
フロー変形技術

- スイッチを用いたフロー情報の高速なk-匿名化
- スイッチ上の計算高速化

研究開発項目2-1
IPアドレス隠蔽技術

- 関係匿名性を提供する軽量な匿名通信の設計
- スイッチ上への実装

研究開発項目2-3
DNSプライバシー保護技術

- mixnet型の高速DNS匿名化手法

sNICCPU

CPU

sNICCPU

Switch

Switch

研究開発項目2:プライバシー保護技術

10⁵ユーザに対して、プライバシー保護可能なミドルボックスの開発

- 関係匿名性を提供する軽量な匿名通信プロトコルを設計し、P4スイッチ上に実装し、3Tbpsのスループットを達成した
- Webページにアクセスする際のパケットサイズ、間隔、総量を均等にするトラフィック変形法を設計し、k-匿名性を実現した
- ヘッダとペイロードを分割することでP4スイッチ上の複雑な計算を高速化する計算手法を開発した
- IPアドレス隠蔽とリレー・リゾルバの結託防止を実現するmixnet型高速DNS匿名化手法を設計し、低遅延（劣化が100ms以下）を達成する実用性を有することを証明した

研究開発項目3-1
Beyond 5Gテストベッド技術

- UPF（1-1）の実装、軽量匿名通信（2-1）のグローバルテストベッドでの実証、DNS匿名化手法（2-3）の受託者実ネットワークへの配置

高速テスト

5G コアテストベッド

研究開発項目3-2
セキュリティ評価技術

- 軽量匿名通信の安全性検証とプライバシー保護性能の向上

攻撃プログラム/テスト

gNB

UPF

AMF

研究開発項目3 統合技術

UPF、セキュリティならびにプライバシー保護技術を組み合わせた実証で有効性を検証

- ローカルテストベッドとJGNなどを接続した大陸間テストベッドを用い、日米間588.4 Gbpsの軽量匿名通信を達成した
- DNSプライバシー保護技術を受託者間に配備し実運用を開始した
- 軽量匿名通信プロトコルが関係匿名性を提供することを理論的に証明した
- 軽量匿名通信プロトコルにおいて通過する経路を検証するプロトコルを実装し、コードに基づいて安全性を検証した

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
0 (0)	0 (0)	6 (2)	28 (0)	0 (0)	2 (0)	1 (0)	4 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) トップ会議・トップ論文誌への採録

ハイレベルな場での研究成果発表に務め、トップ論文誌2件（IEEE Transactions 1件、Elsevier Computer Networks 2件）、トップ会議（IEEE INFOCOM）へ採択された。

(2) 米国側研究機関との協調

日本側のP4スイッチ上の実装技術、米国側のスマートNIC上のトラフィック監視技術に加え、新たに日米共同で開発したP4スイッチによるフィルタリング技術を統合した攻撃モニタリングシステムを設計し、プロトタイプ実装による実証をした。この成果は3件の共著論文を発行し、プロジェクト期間後も継続して研究を推進している。

(3) 受賞

SC24 Spirit of Innovation Award をはじめとする4件の賞を受賞した。

(4) オープンソース化

高速推論技術のスマートNICコード、IPアドレス隠蔽技術、フロー変形技術の計算高速化技術、DNSプライバシー保護技術の4件の成果をGitHub上でオープンソース化した。

(5) 実証実験

受託者間でDNSプライバシー保護技術を実運用を開始した。また、ローカルテストベッド、JGN、国内外のネットワーク事業者や研究機関の協力により構成された広域テストベッドと接続したテストベッド上で、IPアドレス隠蔽技術の実証実験を実施し、アトランタ・東京間で588.4 Gbpsの通信を実現した。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- (1) 開発したUPFのオープンソース5GコアネットワークソフトウェアやNICT B5Gテストベッドとの接続による実証により、実用性を検証する。
- (2) 米国研究機関と継続的に研究開発を実施し、学会で発表することで、学術的な貢献を図る。
- (3) プライバシー保護技術の普及にむけ、OSやソフトウェアなどユーザーソフトウェアの拡充と、それらのGitHub上でのオープンソース化により、技術普及に取り組む。

6. 外国の実施機関

カリフォルニア大学リバーサイド校、ジョージワシントン大学