

SDN を用いた QUIC トラフィック制御の一検討

近藤 智文^{†1} ギリエルイス^{†2} 和泉 諭^{†3} 阿部 亨^{†4,†5} 水木 敬明^{†4,†5} 菅沼 拓夫^{†4,†5}

^{†1} 東北大学工学部電気情報物理工学科 ^{†2} 東北大学電気通信研究所 ^{†3} 仙台高等専門学校
^{†4} 東北大学大学院情報科学研究科 ^{†5} 東北大学サイバーサイエンスセンター

1 はじめに

トランスポート・プロトコルである QUIC が標準化され、実用化されつつある [1]. QUIC は効率的な多重ストリーム通信やコネクション確立の効率化等の機能を有しており、既存の TCP 等のトランスポートプロトコルと比較した際の通信性能の向上が期待できる. 特に災害時等の不安定な環境のネットワークにおいては、通信帯域の枯渇によるパケットロス率の増加や、通信中の経路の断絶などが生じる可能性が通常時よりも高いため、先に述べた QUIC の機能によって通信性能が向上することが期待される.

本稿では、我々がこれまで研究開発してきた Software Defined Network (SDN) を用いた耐災害ネットワーク技術を利用して、QUIC トラフィックを制御することで、災害時通信の性能向上を目指す.

2 関連研究

SDN を用いた耐災害ネットワークに関する研究として、文献 [2] では災害による通信経路の破損や各拠点のバックアップデータ量を考慮したネットワーク制御を提案している. しかし、この研究ではバックアップデータ送信時のトランスポートプロトコルとして TCP のみを検討しており、異なるトランスポートプロトコルを使用した際のバックアップ性能の比較は行われていない. また、この研究ではバックアップ通信の暗号化を行っておらず、第三者が通信中のバックアップデータを盗み見ることが出来るというセキュリティリスクがある.

トランスポートプロトコルを TCP から QUIC に置き換えたことでネットワーク性能が向上した研究の例として文献 [3] がある. この研究では、QUIC のコネクション確立時のオーバーヘッド削減や、コネクションマイグレーションの機能を用いた proactive connection migration によってデータセンター内のネットワーク性能が向上したことが示されている.

以上の関連研究から本稿で対象とする課題を以

下に示す.

- (P1) 耐災害ネットワークは通信が不安定でパケットロスやコネクション切断が多いと考えられるが、その状況に対するトランスポートプロトコルの最適化が行われていない.
- (P2) 従来の耐災害ネットワークでは通信時にデータを暗号化しておらず、セキュリティリスクがある.

3 提案

本研究は文献 [2] の研究を発展させ、耐災害ネットワークのトランスポートプロトコルとして TCP の代わりに QUIC を用いる手法を提案する. 本手法の特徴は以下の 2 点である.

- (S1) パケットロスが生じる状況でのデータ転送の効率化や、コネクション確立の効率化が期待できる QUIC を用いることで、耐災害ネットワークの性能を向上させる.
- (S2) 仕様として TLS が組み込まれている QUIC を用いることで、バックアップ通信時のセキュリティを確保する.

QUIC は TCP における HoL ブロッキングを解消しており、パケットのロスや遅延が発生した時の通信性能の向上が期待できる. また、QUIC は仕様として TLS を使用することが定められており、トランスポート層のハンドシェイクと TLS のハンドシェイクと同時に行うことで、コネクション確立時の RTT を削減している. そのため、暗号化をしない TCP と比べてコネクション確立時の RTT 数を増やさずに、バックアップ通信のセキュリティを向上させることができると考えられる.

特に耐災害ネットワークでは通信が不安定である確立が高いと考えられるため、上記のパケットロス・遅延時の通信性能の向上や、コネクション確立時の RTT 数の削減の効果が高いと考えられる.

4 設計・実装

現在、設計・実装している提案手法の内容と予定している実験内容を説明する. 本研究では文献 [2] に倣い、ネットワークトポロジを以下の手順で生成する. また、それによって生成されるトポロジの概形を図 1 に、SDN による経路制御の概要を図 2 に示す.

1. 30km × 20km の範囲に V 個の拠点をランダム

A Study on QUIC Traffic Control Based on SDN
Tomofumi Kondo^{†1} Guillen Luis^{†3} Satoru Izumi^{†3} Toru Abe^{†2,†3} Takaaki Mizuki^{†2,†3} Takuo Suganuma^{†2,†3}
^{†1}Department of Electrical, Information and Physics Engineering, Tohoku University
^{†2}Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
^{†3}National Institute of Technology, Sendai College
^{†4}Graduate School of Information Sciences, Tohoku University
^{†5}Cyberscience Center, Tohoku University

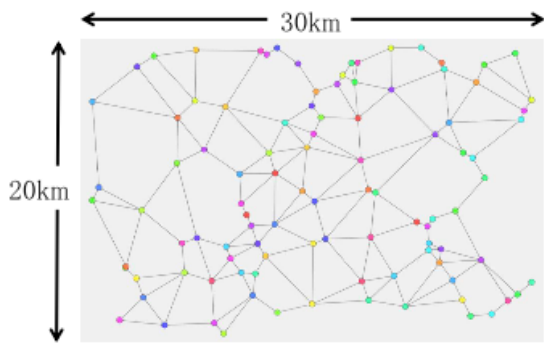


図 1: 耐災害ネットワークのトポロジ ([2] より引用)

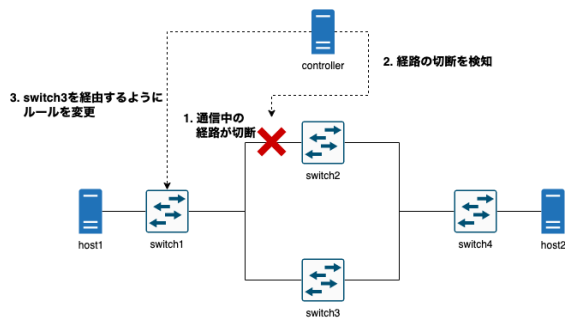


図 2: SDN による経路制御の概要図

表 1: 実験環境

OS	Ubuntu 20.04
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-8700B CPU @ 3.20GHz
メモリ	2GB
ネットワークシミュレータ	Mininet 2.3.0
SDN コントローラ	Ryu 4.3.4
実装言語	Python, Go
QUIC 実装	quic-go 2.4.0

ムに配置

2. 拠点間を Gabriel モデル [4] に従って E 本のリンクで接続
3. B 個の拠点組をバックアップのペアとして決定

実験は仮想的なネットワーク環境で行い、使用するシミュレーション環境を表 1 に示す。実験におけるバックアップ通信の手順を以下に示す。

1. ネットワークトポロジを生成する。
2. 時間 $t = 0$ において災害予報が発信され、バックアップ通信を開始する。この際、災害による被害の影響予報と各バックアップ通信のデータ量を考慮して通信の優先度を決定する。
3. 時間 $t = T_{start}$ において地点 $P(p_x, p_y)$ で災害が発生し、以後速度 v で地点 P を中心とする同心円上に被害が広がっていく。この同心円内に入ったノードとリンクを故障したと見なす。
4. 被害の状況に合わせて T_{update} の時間間隔で各ネットワーク機器の経路情報を更新し、その都度各バックアップ通信の優先度を再決定する。

5. 時間 $t = T_{end}$ において被害の拡大が停止する。
6. 通信可能なバックアップペアが残っていれば、そのバックアップ通信が終わるまで待つ。全てのバックアップ通信が終了したら、総データバックアップ量を記録する。

この実験をバックアップ通信のトランスポートプロトコルを変更して実施し、それぞれの総データバックアップ量を比較する。トランスポートプロトコルとしては TCP と QUIC を採用し、TCP 通信には Go の標準パッケージである net, QUIC 通信には OSS の QUIC 実装である quic-go を用いる。

以上の手順で実験を実施し、提案手法を用いた耐災害ネットワークの性能評価を行う。性能評価の結果を既存手法と比較し、どの様に性能が変化したのか、またその要因について考察する。性能の指標としては、[2] に倣いバックアップを完了できた総データ量を用いる。

5 おわりに

従来の耐災害ネットワークではトランスポートの最適化やセキュリティに関する課題があった。本研究では対災害ネットワークのトランスポートプロトコルに QUIC を用い、不安定なネットワーク化での通信の効率化やセキュリティ確保といった QUIC の特徴により、課題の解決を目指す。

今後は、耐災害ネットワーク向けに QUIC プロトコルを改良することや、QUIC プロトコルの他の適用事例などを検討していく。

参考文献

- [1] Iyengar, J., Fastly, E., Thomson, M. and Mozilla, E.: RFC 9000 QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport, Internet Engineering Task Force (IETF) (online), available from <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9000.html> (accessed 2021-01-03).
- [2] 高平寛之, 畑美純, ギリエルイス, 和泉諭, 阿部亨, 菅沼拓夫: 災害発生直後における被災の影響とデータ伝送量を考慮したネットワーク制御手法の提案とその評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 3, pp. 738–749 (2019).
- [3] Tan, L., Sua, W., Liu, Y., Gao, X. and Zhang, W.: DCQUIC: Flexible and Reliable Software-defined Data Center Transport, *IEEE INFOCOM 2021 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pp. 1–8 (2021).
- [4] Çetinkaya, E. K., Alenazi, M. J., Cheng, Y., Peck, A. M. and Sterbenz, J. P.: On the fitness of geographic graph generators for modelling physical level topologies, *2013 5th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, pp. 38–45 (2013).