

オーバーレイネットワークプロトコルにおける可観測性を備えたスケーラブルクラウドシステムの研究

B23713 鈴木誉写 指導教員 内藤克浩

キーワード: Peer-to-Peer, Overlay Network Protocol, Observability

1 はじめに

Peer-to-Peer (P2P) モデルは、システム全体におけるトラフィックや負荷の分散が可能である [1]。一方で、P2P モデルを活用したシステムの実装に際しては、煩雑なネットワーク環境やデバイス移動時の接続維持を考慮した上で、安全な端末間通信が必要となる。そこで筆者らは、通信接続性と移動透過性を兼ね備えたセキュア端末間通信を実現する技術である、CYber PHysical Overlay Network over Internet Communication (CYPHONIC) を提案している [2]。

CYPHONIC には、CYPHONIC クラウドと呼ばれるクラウドシステムが存在する。CYPHONIC クラウドは、高可用性を実現するため、水平スケールを前提としたマイクロサービス設計を採用している。故に、多数のサービスインスタンスが並列稼働し、個別分散的にログを出力する。加えて、従来の素朴なログ情報では、動態把握能力に限界がある。以上の背景より、管理者が甚大な運用負担に直面した。

そこで本研究では、CYPHONIC クラウドの運用負担を低減するロギングスキームを提案する。従来のシステムでは、管理者が個々のインスタンスにアクセスし、所望のログ情報を保有しているか調査する必要があった。この労力を削減するため、分散ログを集約する機構を導入する。また、従来のログ情報はメタデータが欠如しており、集約後の適切な活用が困難であった。具体的には、ログ情報が互いの関連性を示さず、一連の処理に関する複数のログを追跡することが困難であった。さらに、所望するログが埋没し、適切な情報に対する解析が困難であった。この事態に対処するため、メタデータとなる各種識別子を設計し、ログ情報に導入する。これにより、複数ログの関連付けおよびログフィルタリングを実現する。その後、検証に基づいて、提案スキームの導入による運用負担の軽減とシステムの性能への影響を評価する。

2 CYPHONIC

図 1 に CYPHONIC の概要を示す。CYPHONIC は、暗号化された End-to-End (E2E) 通信を実現するとともに、通信接続性と移動透過性を提供する。そのために、通信端末である CYPHONIC ノードとクラウドシステムである CYPHONIC クラウドが協調し、実ネットワークの影響を受けない仮想 Internet Protocol (IP) アドレスを用いたオーバーレイネットワークを構築する。オーバーレイネットワークは、CYPHONIC ノードと CYPHONIC クラウド間でのシグナリング処理を経て構築される。シグナリング処理には、端末認証やクラウドに対するネットワーク情報の登録が含まれる。また、端末移動時には、ネッ

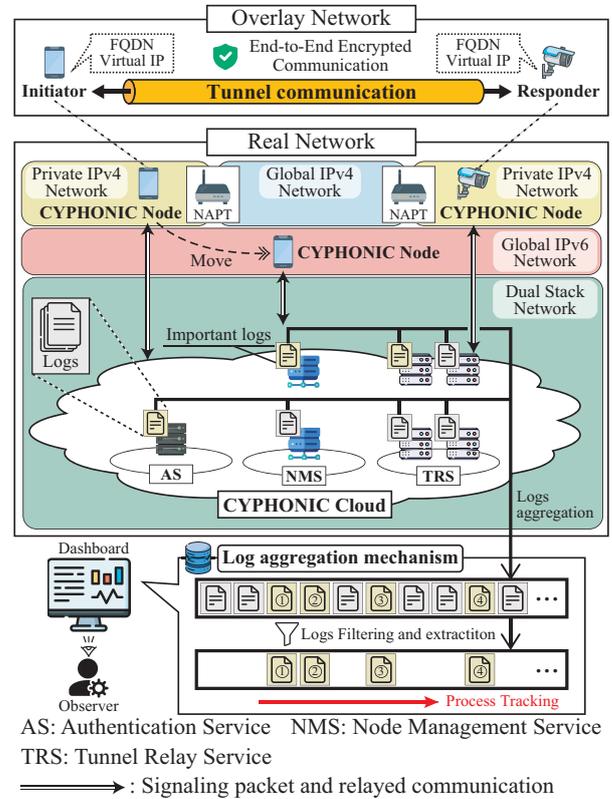


図 1: Overview of CYPHONIC

トワーク情報を再登録する。さらに、E2E 通信の開始の度に、クラウドによる経路選択および通信トンネル構築が実施される。このように、端末は一連のシグナリングの中で、クラウドと複数回通信する。

CYPHONIC クラウドは、多数の端末に関する処理を一元的に担うため、可用性が極めて重要である。そこで、オーケストレーション技術と連携し、負荷に応じて水平スケールするよう設計されている。この際、CYPHONIC クラウドを端末認証用の Authentication Service (AS)、情報管理用の Node Management Service (NMS)、通信中継用の Tunnel Relay Service (TRS) といった複数サービスに分割することで、スケール性の柔軟性を高めている。このような背景から、CYPHONIC クラウドでは、多数のサービスインスタンスが同時並列的に稼働する。この環境と、CYPHONIC のシグナリングが複数回のクラウド処理を経る都合から、一度のシグナリングに多数のインスタンスが関与する。これにより、一連のログ情報は様々なインスタンスで分散して生成および保存される。

3 ロギングスキームの提案および実装

従来の CYPHONIC クラウドでは、有用なログを管理者が発見するにあたり、インスタンスを走査する

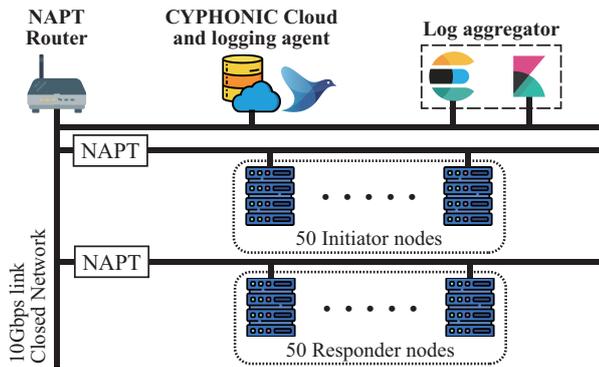


図 2: Verification environment

必要があった。この労力を削減するため、自律的にログを集約する機構を導入した。この機構は、各インスタンスのエージェントによってログをサーバへと集約し、内部データベースにて統合する。

管理者は、統合したログを適切に活用する必要がある。しかし、従来のログ情報はメタデータを持たず、処理追跡や情報の抽出が困難であった。そこで、識別子を定義しログを拡張することで、複数ログに跨がる処理の追跡やログフィルタリングを実現する。

まず、処理追跡用の識別子を定義する。一連のシグナリング処理を追跡するためには、複数ログで一貫した識別子が必要である。そこで、シグナリングを示す不変な識別子として、トランザクション ID を導入した。トランザクション ID は、シグナリング開始時に端末側で生成する。よって、トランザクション ID をクラウドのログに含める場合、値の伝播が必要である。そのため、CYPHONIC の独自ヘッダに、トランザクション ID を格納するフィールドを追加した。トランザクション ID の値は、一意性とオーバーヘッドの観点から、端末の認証情報に基づく Cyclic Redundancy Check-32 (CRC-32) ハッシュとした。また CYPHONIC は、一度のシグナリングで複数の通信トンネルを確立する場合がある。故に、通信トンネルの判別には、トランザクション ID より細かな粒度の識別子が必要である。CYPHONIC は端末間で一つの通信トンネルを確立するため、その判別には端末の組を特定する識別子が有用となる。そこで、両端末の通信識別子の組から生成されるパス ID を、ログに導入した。膨大な組み合わせに対処するため、パス ID の値には Universally Unique Identifier version 5 (UUIDv5) を採用した。

さらに、ログを絞り込むための識別子も追加する。障害調査では、出力元インスタンスを特定する情報が有用である。この情報は、サービスデーモンを実行したランタイムの特定に適していることが望ましい。そこで、Media Access Control (MAC) アドレスに基づく識別子である UUIDv1 を活用し、インスタンス ID としてログに導入した。加えて、サービスの種類を示すサービスタイプ識別子も、ログ情報に追加した。

4 検証および評価

検証にあたり、図 2 に示す環境にて、Intel(R) Core(TM) i9-13900 および 128GB RAM を搭載し

表 1: Result of verification

		Extended	Conventional
ICMP	RTT	1.74 ms	2.79 ms
UDP	Throughput	29.2 Mbps	26.4 Mbps
	Jitter	0.156 ms	0.145 ms
TCP	Throughput	28.1 Mbps	19.7 Mbps

たホストマシン上で動作する、2 コア・2 スレッドの CPU および 2GB RAM を搭載した仮想マシンに CYPHONIC コンポーネントをデプロイした。ログ集約機構は、EFK (Elastic search + Fluent + Kibana) スタックを用いて実装した。その後、50 組の CYPHONIC ノードの間で標準プロトコルによるトラフィックを同時に発生させ、CYPHONIC 通信を一斉に実行した。その結果、ログ集約機構は、複数のシグナリング処理に関するデータが混在した統合ログを生成した。その後、提案機能を活用することで、統合ログから目的の処理に関する情報を抽出し、効率的に処理を追跡可能であることが確認された。

また、CYPHONIC クラウドの機能拡張による通信品質への影響を測定した。表 1 に CYPHONIC ノード一台あたりの通信品質を示す。検証結果より、トランザクション ID の導入に伴う実装の改善を盛り込んだ拡張 CYPHONIC クラウドは、旧来の CYPHONIC 通信に比べて優れた通信品質を示した。以上より、提案機能は CYPHONIC 通信への悪影響を回避し、追加考慮を要さないことが確認された。

5 まとめ

本研究では、CYPHONIC クラウドのロギングスキームを拡張し、各種識別子を設計および導入した。評価結果より、提案したロギングスキームが、オーバーレイネットワーク通信の性能維持と効果的な処理追跡を両立することを確認した。したがって、本提案はシステムの動態把握を促進し、開発・デバッグ・保守におけるシステム運用効率の向上に貢献する。

研究業績

- Y. Suzuki, et al.: “Effective Process Tracking in Horizontally Scalable CYPHONIC Cloud Services,” *2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, October 2024.

参考文献

- [1] J. Sinha, R. Nishad, Stuti, and M. Hashir, “Reducing latency using p2p cdn,” in *2023 7th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, pp. 518–524, 2023.
- [2] R. Goto, K. Matama, R. Aihata, S. Horisaki, H. Suzuki, and K. Naito, “Implementation and evaluation of cyphonic client focusing on sequencing mechanisms and concurrency for packet processing,” in *2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 997–1001, 2023.