

クラウドシステムにおける動的再構成ネットワークノード

林 偉夫・上野 洋史

要 旨

通信の広帯域化や通信ニーズの多様化に伴い、ネットワークインフラには多種多様な機器が導入されています。クラウド環境下では、頻繁に発生するサービスと変化する要件への対応が必須となります。動的再構成技術は、クラウド環境に対応した性能スケーラビリティと機能拡張性に優れたネットワークノードを実現します。更に、本技術は、性能スケールアウトやシステム最適化を可能とするフロントエンドシステムにも適用可能です。

キーワード

●動的再構成 ●ネットワークノード ●フロントエンド ●フロースイッチ

1. はじめに

通信の広帯域化や通信ニーズの多様化に伴い、従来の機能特化型のノードではなく、クラウドにおいて頻繁に発生するサービスの変更要求に応じて、リアルタイムかつ高効率に動的構成変更可能であることが求められます。本稿では、このような要件に対応する動的再構成可能なノードアーキテクチャと、そのフロントエンドシステムへの適用例について紹介します。

2. ネットワークノード及びシステムに求められる要件

2.1 従来のネットワークノードやシステムの課題

図1 に、従来のデータセンターネットワークの構成を例として、ネットワークノード及びシステムの課題について示します。

初めに、本稿で使用する用語について説明します。ネットワークノードは、ルータやスイッチなどの通信機器に加えて、帯域制御装置や負荷分散装置などのアプライアンス機器など、ネットワークを構成する要素と定義します。ネットワークシステムは、ネットワークノードで構成されるシステムのことであり、一例として、図1に示すデータセンターネットワークがあります。

まず、ネットワークノードの課題について説明します。従来のネットワークノードは、通信回線の最大速度に対応できるよう設計されています。そのため、実際のトラフィックが

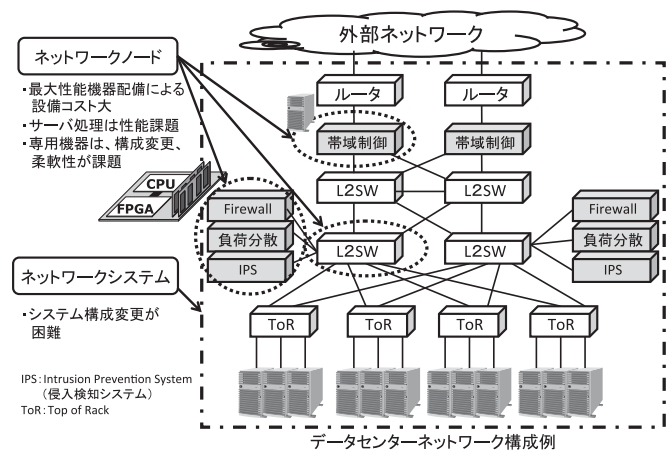


図1 ネットワークノードやシステムの課題

少ない場合でも、最大性能を持ったノードを配備する必要があり、設備コストが増大するという課題があります。

また、通信ニーズの多様化に合わせて、ネットワークノードの柔軟性を確保するために、汎用サーバでネットワーク処理を実現することが考えられますが、多くの通信処理にとっては、汎用サーバだけでは性能や機能が不足しており、特に性能の面では、要求性能の達成が難しいという課題があります。また、汎用サーバにおける通信処理は、電力効率が悪いという課題もあります。

このような課題に対して、ハードウェアエンジンなどの専用プロセッシングリソースと汎用プロセッサを密に組み合わせることで、高速かつ柔軟なノードを実現するアーキテク

チャが提案されています。例えば、汎用サーバに専用のハードウェアエンジンボードを内部バスで接続するような形態があります。しかしながら、このようなアーキテクチャは、特定用途に最適化されており、性能面での課題は解決できるものの、要件の変更に応じて構成を動的に変更することは困難であるといった課題が残ります。また、FPGAなどで実現されるハードウェアエンジンは、開発工数の面から、新しい要件に対する迅速な対応や機能の柔軟性に関しても課題があります。

次に、ネットワークシステム構成における課題について説明します。クラウドごとの異なる多様な要件を満たすため、既存技術では、負荷分散装置、ファイアウォールなどのミドルボックスとサーバ、ストレージをネットワーク機器で接続して対応することが考えられます。しかしながら、このようなシステムは、構成変更の自由度が低いという課題があります。例えば、既存のネットワークにミドルボックスの導入を行う場合、ネットワークの物理的な接続や設定を変更する必要があります。そのため、ネットワークへの影響を事前に考慮してネットワークの再設計を行い、サービス断を伴って構成を変更することが一般的です。物理的な接続変更を伴うため、人為的なミスが入る可能性もあります。このような理由から、従来のネットワークシステムは、要件変更が頻繁に発生するような状況に対応することが困難であるという課題があります。

2.2 要件

このような課題を解決するために、ネットワークノードやシステムには、以下の要件が求められます。

(1) 高速ネットワーク処理

光アクセスやWiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) などのモバイルアクセスの高速化により、通信が集約されるコアネットワークに配備されるノードは、10Gbpsの通信処理性能が要求されます。このようなネットワークノードは、多くのユーザを収容するため、これらを識別して適切な処理を実行できることが求められます。個々の処理については、負荷分散などの技術を適用して性能を確保できますが、ユーザを識別するような共通処理は、高速処理が必要となります。

(2) 性能スケーラビリティ

従来のネットワークノードは、通信回線の帯域を最大限利用することを想定したアーキテクチャです。新たなネットワークノードは、通信回線のトラフィック量に応じて、機能追加による負荷分散を行い、性能をスケールできるアーキテクチャが必要となります。このような仕組みは、不要な物理マシンの電源を落とすことを可能とするもので、ネットワークノードの電力最適化も図ることが可能になると考えられます。

(3) 機能拡張性

通信ニーズの多様化に伴い、ネットワークインフラは、新たな通信処理を迅速に提供していくことが求められています。このような状況下では、ネットワークノードやシステムは、新たな機能を追加しながら多様なニーズに対応できる構成変更可能なアーキテクチャが求められます。また、新たな機能を、既存のサービスに影響を与えることなく即座に追加できることも重要となります。

(4) 信頼性

ネットワークインフラは、社会インフラとしての役割を担っており、利用者の生活に不可欠な存在です。社会インフラとしてのネットワークは、利用者の利便性を向上するレベルもあれば、ミッションクリティカルな電子商取引や企業の基幹業務などの多様なサービスが提供されることもあり、サービスに応じて異なる信頼性が要求されると考えられます。

3. ネットワークシステムにおける動的再構成

動的再構成技術は、前述したネットワークシステムの要件に対応する技術です。分解された機能の結合で処理を表現した場合、ネットワークシステムの動的再構成は、**図2**に示すような機能の追加、削除、移動、接続の変更という4つの要素があります。

(1) 機能の追加

機能の追加は、新たな処理の提供や処理内容の変更要求を受けて、新たな機能を追加して機能間の再接続を行うことです。また、性能向上を目的として機能のコピーを作成し負荷分散を行う場合もあります。

(2) 機能の削除

機能の削除は、要件などの変更に伴い不要となった機能を

クラウドシステムにおける 動的再構成ネットワークノード

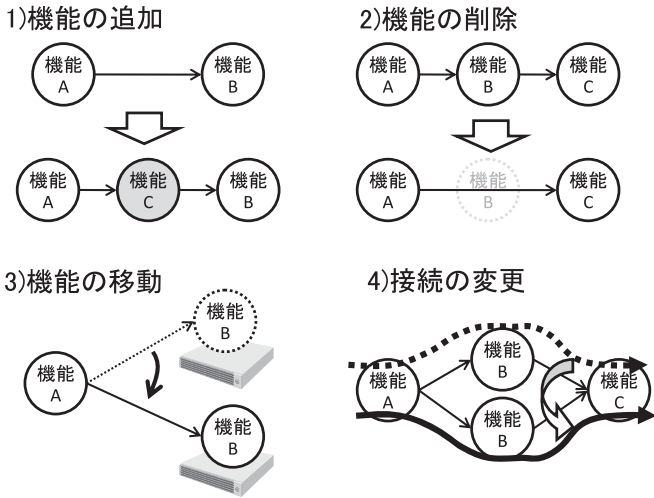


図2 動的再構成

削除し、機能間の再接続を行うことです。また、性能向上を目的とした複数の機能に対する負荷分散を行う状況で、負荷に応じて機能を削減する場合があります。

(3) 機能の移動

機能の移動は、機能が配備されている物理資源を別の物理資源に変更し、機能間の再接続を行います。機能の移動が発生する要因は、例えば、複数の物理マシンで動作している機能を1台にまとめる省電力を目的としたシステム最適化、機能が配備された物理マシンの故障、要件変更に伴う遅延の最適化といったことが考えられます。

(4) 機能変更を伴わない接続変更

(1) から (3) における接続変更は、いずれも機能の追加・削除・移動といった機能変更を伴うものです。機能変更を伴わない接続変更は、処理を構成する機能接続が複数用意されている場合に、要件に応じて接続変更のみを行うことです。例えば、処理が二重化されている場合が該当します。

4. 動的再構成可能なネットワークノードアーキテクチャ

本章では、動的再構成を可能とするネットワークノードアーキテクチャについて紹介します。図3に、動的再構成可能なネットワークノードアーキテクチャについて示します。本アーキテクチャは、ネットワーク向けマルチコアプロセッ

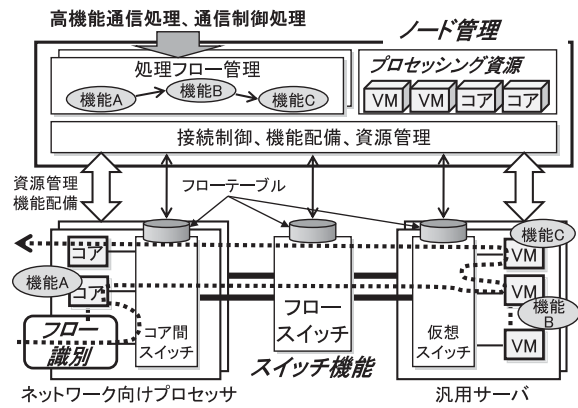


図3 動的再構成可能なネットワークノードアーキテクチャ

サと汎用サーバをフロースイッチで結合したものです。フロースイッチには、データ転送と制御部とのインターフェースにOpenFlow技術¹⁾を採用したプログラマブルフロースイッチを利用します。

動的再構成可能なネットワークノードは、1) 受信したパケットに対して、適用すべき処理を判定するフロー識別処理、2) 処理を構成する機能を実行するプロセッシング資源、3) 機能間の柔軟な接続を実現するスイッチ機能（フロースイッチ、コア間スイッチ、仮想スイッチ（vswitchとも呼びます））、4) 処理を機能の接続として管理し、ノードの資源管理と連携して機能配備と接続制御を行うノード管理から構成されます。提案するネットワークノードは、処理を機能の結合で管理し、各機能をプロセッシング資源に割り当て、機能間の接続を制御することで、動的再構成を実現します。各機能は、汎用サーバ上で動作する仮想マシン（VM）やネットワーク向けマルチコアプロセッサのプロセッサコアでソフトウェアとして動作します。

図4に、提案するネットワークノードの動作フローを示します。ノードが提供する処理は、機能の接続である処理フローとして管理されます。各機能は、資源管理と連携して仮想マシンやプロセッサコアに割り当てられます。機能間の接続情報は、機能配備の結果をもとに、ノード内部のフロースイッチの転送情報に変換され、フローテーブルへ登録されます。フロー識別部のテーブルには、ユーザを識別し、適用するサービスを判断するための情報が格納されています。処理フロー管理情報は、サービス要件の変更に伴い、更新が発生

5. フロントエンドシステムへの適用

動的再構成技術の応用として、ネットワークフロントエンドシステムの仮想化への適用例について紹介します⁴⁾。

データセンターなどのネットワークにおいては、スイッチによるL2/L3転送処理に加えて、ファイアウォールやロードバランサ、帯域制御装置などのネットワークフロントエンド機能がアプライアンス装置として配備されます。これらの装置の接続は、どのような順番で機能が適用されるかという情報に基づいたネットワーク設計が必要で、運用開始後の接続変更は容易ではありません。そのため、将来的に必要となる性能を見積もった上で余裕を持った性能の機器を導入する必要があります。設備コストが大きくなるという課題があります。

フロントエンドシステムの仮想化では、複数のアプライアンス装置を一つの仮想装置として管理します。そして、性能要件に応じて、仮想装置に物理的なアプライアンスを追加、削除するような再構成処理を可能にします。

図5に構成概要を説明します。本例ではスイッチのコントローラは物理的なアプライアンス装置であるロードバランサ1、2を一つの仮想的なロードバランサとして管理します。新たなフローの packets がフロースイッチに到着すると、転送先を判断するためにスイッチコントローラに送られます。スイッチコントローラでは仮想ロードバランサの情報に基づい

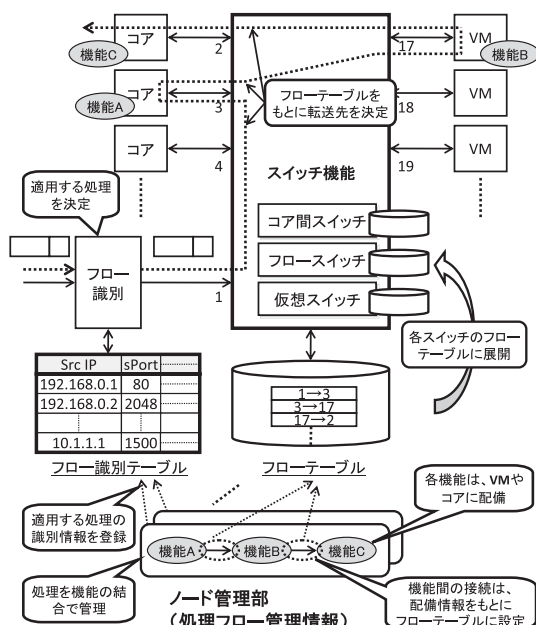


図4 動的再構成可能なネットワークノードの動作フロー

ます。ノード管理部は、管理情報の更新を受けて、ノード内の機能割り当てや機能間接続の再設定を行います。

図4に示す例では、処理フローは、機能A、B、Cの結合で構成されています。処理フロー管理情報は、適用すべき処理を判断するためのフロー識別処理のテーブルと転送を制御するためのフローテーブルの設定に分解され、それぞれのテーブルに登録されます。ネットワークノードにおいて、受信パケットは、フロー識別処理により本ノードで適用する処理が決定され、フローテーブルをもとにフロースイッチで転送され、機能A、B、Cの順番で処理が実行されます。

図4では、フローテーブルは、コア間スイッチとフローテーブルと仮想スイッチを統合したスイッチ機能に対するものとして記載していますが、実際には各スイッチのフローテーブルの情報に展開されて設定されています。

NECでは、本稿で提案する動的再構成可能なネットワークノードの要素技術として、高速フロー識別技術、仮想スイッチ技術²⁾、処理フロー管理技術を含むノード管理技術³⁾に関する研究開発を行っています。更に、要素技術をベースとした動的再構成可能なネットワークノード確立に向けた研究活動を進めています。

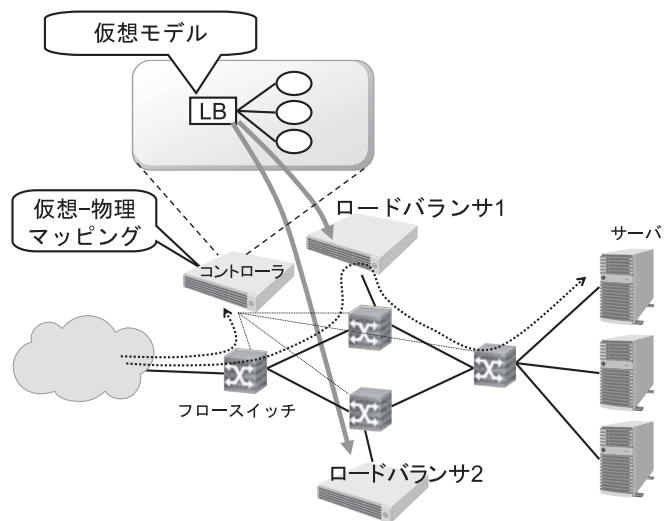


図5 フロントエンドシステムの仮想化

て、入力フローをどのロードバランサにマッピングするかを判断します。仮想装置で定義された性能、機能に応じて、どの物理装置へパケット転送するか接続関係をコントローラで制御することで、仮想装置の動的な構成変更を実現します。

このような動的再構成処理により、仮想装置に対する性能のスケールアウトや、ネットワークシステム内での物理的な処理位置の最適化を図ることが可能になります。これらによりデータセンターネットワークの課題である、ネットワーク帯域や装置リソースの利用効率向上を実現します。

6. おわりに

本稿では、従来のネットワークノードやシステムの課題を分析し、クラウドにおいて頻繁に発生するサービスの変更要求に対応可能な、動的再構成ネットワークノードアーキテクチャの研究について紹介しました。

なお本研究は、総務省の委託研究「セキュアクラウドネットワークワーキング技術の研究開発」プロジェクトの成果です。

参考文献

- 1) OpenFlow Consortium:
<http://www.openflowswitch.org/>
- 2) 狩野ほか、「vswitch処理トラフィックの動的オフロード方式の提案」、信学総大B-6-45、2010.3
- 3) 辻ほか、「OpenFlowの枠組みを利用した分散コンピューティング環境におけるアプリケーションの最適配置手法」、情報処理学会研究報告、2010-ARC-188、2010.02
- 4) 上野ほか、「データセンターネットワークにおけるネットワークアプライアンス機能配備の一検討」、信学技報、Vol.109、No.296、pp.7～12、2009.11

執筆者プロフィール

林 偉夫
システムIPコア研究所
主任研究員

上野 洋史
ITソフトウェア事業本部
第一ITソフトウェア事業部
エキスパート