

15. System Wide Information Management (SWIM) ネットワークモデルでの QoS 実装

早稲田大学 ※中里 秀則, Kiratipong Ongkasae

監視通信領域 古賀 禎, 呂 曉東

1 まえがき

航空機の運航に係わる情報システムにおいては、これまで空域監視情報、気象情報、航空機フロー管理情報などそれぞれの情報サービス毎に個別にネットワークを構成してサービスの提供が行われてきた。航空需要の増大に伴い、これらの情報を統合的に共有することにより、情報利用効率を高めるとともにシステムコストを低減することを目指した統合航空情報管理システムが提案されている。

2007年にアメリカの Federal Aviation Administration によって System Wide Information Management (SWIM) が次世代の航空管制システムを検討する NexGen プログラムの一部として提案された[2,3]。SWIM は、航空管理に係わる次世代情報共有システムであり、その目標とするのは、ユーザに正確で高品質な情報を包括的に提供することである。SWIM のコンセプトは以下の通りである。

- 情報の生産/消費の分離：様々な情報消費者が存在し、その数も変動する。
- 弱結合システム：システム内の他要素を利用する上で、その要素最低限の知識しか必要としない。これによりソフトウェアやネットワークの設計開発が柔軟にできるようになる。
- 一般に利用可能なオープンスタンダードを活用する。
- Service Oriented Architecture の概念を使った、相互に連携する一連のウェブサービスとして提供する。

FAA SWIM fact sheet [1] によれば、SWIM で統合しようとする情報は以下の三つに分類することができる：

- 飛行情報、
- 航空情報、

- 気象情報。

これら大量データをネットワークを経由して送受信する場合、例えば、長い応答遅延、古い不正確な情報といった好ましくないサービス品質を、ユーザが経験する可能性がある。

Quality of Service (QoS) とは、ネットワークサービスの品質を表す、ユーザ端末から見たネットワークパフォーマンス指標のことを指す。QoS は、サーバとユーザ端末間のネットワークサービスについてユーザが経験するものである。我々は SWIM のためのネットワークにおいて、各サービスに相応しいネットワークパフォーマンスを提供するために、QoS 制御の実装を検討した。

SWIM の要求条件に見合ったネットワークを設計する上で、二つの課題がある。一つ目は、それぞれのサービスに必要とされる QoS を満足するために、どのようにそれらのサービスを分離するかということである。二つ目は、一部のサービスで必要とされる頻繁な情報更新に対応するリアルタイム性を実現し、情報の正確性を確保することである。

2 提案ネットワーク構成

SWIM の概念によって航空管理情報を共有するために、ネットワークはその様々な情報を適切な品質を提供しながら統合する必要がある。個々の航空管理情報にはそれぞれ異なる品質要求条件があるため、それぞれ異なるネットワークサービスとして提供する必要があるが、一方で、情報共有が SWIM の目標である。

この相互に対立する要求条件を満足するために、ネットワーク仮想化技術を採用することとした。ネットワーク仮想化

は、複数の仮想ネットワークを一つの物理ネットワーク上で実現する。ネットワーク仮想化の特徴として、それぞれ一つの仮想ネットワークとして機能する「スライス」を、一つの物理ネットワーク上に複数構築することができ、個々のスライスはそれぞれ他のスライスからは分離して機能させることができる。個々のスライスはそれぞれ仮想ネットワークリンクと仮想ルータを含み、それらは他のスライスと物理資源としてのネットワークリンクやルータを共有しながら、相互に干渉することがない。このスライスの概念を使って、異なる品質条件をもつ、SWIM で統合する様々な航空管理情報サービスを提供することとした。

類似した品質要求条件をもつパケットフローを一つのネットワークでサービスすることにより QoS を保証することができる。この方法を活用し、まず航空管理情報サービスを、類似した品質要求条件をもつサービスに分類した。航空機運航に係わる情報の通信品質に係わる要求条件を分類したものを表 1 に示す。

表 1：航空管理情報システムの要求条件

情報サービス	更新周期
航空情報	静的情報
4D 軌道飛行の詳細情報	30 秒
空港面の詳細情報	1 秒
気候情報(大量データ)	3 時間
航空交通管理情報	静的情報
監視システムの情報	
- 広域航空管制	10 秒
- 空港周辺航空管制	4 秒
- 空港航空管制	1 秒
- 航空会社	30 秒
- 空港運営会社	20 秒
- 地上オペレータ	10 秒
- 旅客	1~5 分
乗客サービスに関する情報	1 分

表 1 に示した要求条件から、航空機運航に関する情報サービスを以下の三つの

クラスに分類することとした。

- 高優先度クラス：リアルタイム性が必要な情報サービスをこのクラスに分類する。頻繁な更新が必要だがデータ自体のサイズが小さい、監視システムの情報と空港面の詳細情報が含まれる。
- 標準優先度クラス：比較的更新周期が長い情報サービスのクラス。4D 軌道飛行の詳細情報、広域の監視システムの情報、乗客サービスに関する情報、航空情報、航空交通管理情報が含まれる。
- 低優先度クラス：更新周期が長く、データサイズの大きな情報サービスのクラス。このクラスに含まれるのは、気象情報である。

異なる品質条件をもつパケットフローの間で干渉するのを避けるために、クラス毎にスライスを生成する（図 1）。しかし、クラスの中には、類似はしているが品質条件の異なる情報サービスを含んでいるものもあるので、パケットフローをクラスに分類するだけでは、必要な通信品質を保証するには不十分である。

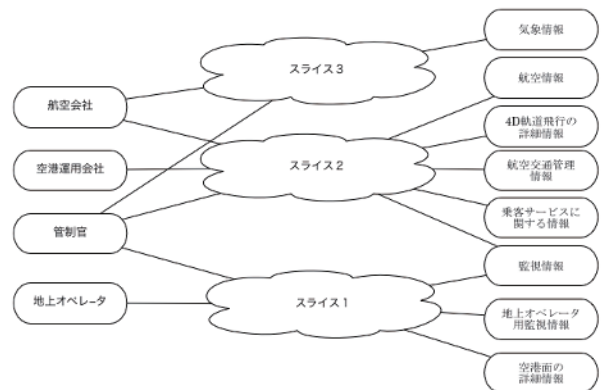


図 1：スライスの構成

適切な通信品質を提供するために、ネットワーク仮想化の一つの特徴である、ルータの設定を変更可能であることを活用する。特に、スライス毎に異なるパケットスケジューリングポリシーを適用し、航空管理の様々な情報サービス毎に、それに適したスケジューリングアルゴリ

ズムの設定を行う。

高優先度クラスのスケジューリングアルゴリズムとしては、Weighted Fair Queuing や Deficit Round Robin のようなサービス毎に割り当て帯域に応じた重みを割り当ててスケジューリングを行うアルゴリズムを利用することとした。標準優先度クラスと低優先度クラスには、一般的な First-In First-Out スケジューリングアルゴリズムを適用する。

3 実験

ネットワーク仮想化は未だ研究段階で有り、それを実際に実験で使える環境は限られており、現状商用で利用できるネットワーク仮想化ルータは Juniper MX シリーズのルータである[4]。そのため、SWIM のネットワークを Juniper MX シリーズルータで実装することとした。

3.1 シミュレーション環境での実験

提案するネットワーク構成を実際のネットワークで実装する前に、シミュレーション環境で実験を行った。

Juniper Networks 社は、Junospher というネットワークシミュレーション環境を提供している。Junospher はインターネット越しで利用できるクラウド環境のシミュレータである。この環境で、Juniper MX シリーズのシミュレーションも提供されている。Junospher 環境で、提案仮想ネットワーク構成をテストし、QoS 制御についても評価を試みた。

3.1.1 ネットワーク構成

Juniper MX ルータでは、スライスは VLAN として提供される。そこで、三つの VLAN を各ルータに作成し、三つのスライスに対応させる。

3.1.2 QoS の実装

Juniper MX シリーズルータにおいては、QoS は Class of Service (CoS)として実装することができる。CoS は Juniper ルータが提供する通信品質を制御する機能であり、ルータを設定することによって利

用することができる。必要な QoS を、サーバとユーザ端末の間で実現するためには、その接続経路上にあるルータの CoS 機能を適切に設定する必要がある。

各ルータで Classifier, Shaper, Scheduler, Queue の各機能について設定を行うことにより CoS の制御を行う。各機能をどのように動作させるかは、各クラスの品質要求条件によって異なる。

- Classifier は流入するパケットの分類機能である。この分類は、2 節で分類したクラスではなく、クラスの中をサービス毎に更に細かくサブクラスに分類することである。パケットのサブクラスへの分類は、IP ヘッダや TCP ヘッダの内容によって行う。

標準優先度クラスには、4D 軌道飛行の詳細情報、広域の監視システムの情報、乗客サービスに関する情報などの情報が含まれるが、例えば、それら情報サービス毎に、IP ヘッダの Type of Service フィールドを設定するなどにより、標準優先度クラスの中でも、さらに詳細なサブクラスへの分類を行うことができる。

- Queue は Classifier で分類したサブクラス毎に割り当てられる。各 Queue には異なるスケジューリング優先度を与えることができ、スケジューラは、その優先度を元に、送出するサブクラスの順序と各サブクラスからどれだけのパケットを送出するかを決定する。
- Shaper は、各サブクラスから送出するパケットのレートを制限する。Juniper MX シリーズルータでは、物理インタフェース、論理インタフェース、Queue の各レベルで、上記レート制限を行うことができるが、ここでは Queue に対してレート制御を行うこととした。

3.1.3 評価手法

Junospher のシミュレーション環境では、

Spirent Test Center (STC) というパケットの発生と受信パケットのモニタを行う機能を利用することができ、STC を使って、サーバとユーザ端末間のネットワークパフォーマンスを評価することができる。そこで STC を使い、まず図2のような一つのスライスについて実装を行った。STC を図2の両端のコンピュータの代わり、すなわち STC をルータ1とルータ3に接続し、トラフィックを設定する。



図2：シミュレーションネットワーク

Junospher のコンフィギュレーションを行い、パケットが設計通り流れ、対応する STC でモニタできることを確認した。しかし、設計した通信品質が出ているかまでは確認することができていない。これは、Junospher の制限によるものである。Junospher では、1 ラインカード当たり 1000 フレーム/s までのスループットしかシミュレーションすることができないため、トラフィックの集中による品質の劣化までを実現することができなかった。

3.2 JGN-X を利用した実機による実験

Japan Gigabit Network eXtreme (JGN-X) は情報通信研究機構 (NICT) が提供するネットワーク技術の実験検証基盤である。JGN-X のネットワークは日本全国をカバーしており、また海外のネットワークとの接続ももっており、SWIM ネットワークを海外の同様の情報システムと接続するときにも利用することができる。そこで、JGN-X 上で我々が提案する SWIM ネットワークを構築することを計画しており、まず図3のネットワーク構成を JGN-X 上で構成した。

図3のサーバやユーザ端末に、大学から接続し、それらを制御することができる。この制御構成を使って、サーバとユーザ端末間でパケットの送受信ができ

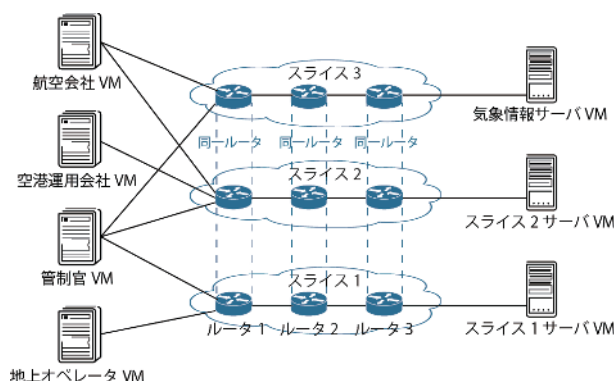


図3：JGN-X 仮想ネットワーク構成

ることを確認した。しかしながら、現状、ルータを制御する手段が JGN-X のユーザには開放されていないため、まだ JGN-X 上でも品質の確認ができていない。

4 まとめ

SWIM で必要とされる通信品質条件を整理し、その品質を提供するネットワークを、ネットワーク仮想化を利用して構成する手法を提案し、Juniper MX シリーズルータを使って、提案ネットワークを実現する構成を検討した。

シミュレーション環境 Junospher や、JGN-X による、提案手法の評価を試みているが、ネットワーク仮想化自体が開発途上であり、環境が整わず、評価結果を出すところまで到達していない。今後継続して評価を実施する予定である。

参考文献

- [1] Federal Aviation Administration, Fact sheet - system-wide information management (SWIM), [Online], Available http://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=7129, Feb. 2015.
- [2] Federal Aviation Administration, SWIM program overview, [Online], Available <http://www.faa.gov/nextgen/programs/swim/overview/>, Feb. 2015.
- [3] J.S. Meserole and J.W. Moore, "What is system wide information management (SWIM)?" In 25th Digital Avionics Systems Conference, 2006 IEEE/AIAA, pp.1-8, Oct. 2006.
- [4] Douglas Richard, Jr. Hanks, and Harry Reynolds, Juniper MX Series, O'Reilly Media, 2012.