

# 仮想マシン環境におけるリアルタイム通信向け仮想 NIC の研究

鈴木 健一<sup>†</sup> 宮田 宏<sup>†</sup>  
佐藤 未来子<sup>†</sup> 並木 美太郎<sup>†</sup>

## 1. はじめに

近年、仮想マシンモニタ (VMM) 層にリアルタイム性を持たせ、仮想マシン (VM) 上でリアルタイムアプリケーションを動作させる研究<sup>1)2)</sup>の進展に伴い、音声通話やテレビ会議システム、制御通信などリアルタイム通信を必要とするアプリケーションへの仮想マシン技術の適用が求められている。遅延を対象としたリアルタイム通信では、パケットがある一定時間 (デッドライン時間) 以内に宛先ホストへ到達することが必要ことから、一般的に、ネットワーク QoS を確保するために DiffServ (Differentiated Services)<sup>3)</sup>を用いる場合が多い。

しかし、VM 間でリアルタイム通信を実現するためには、ネットワークの QoS 確保だけでは解決できない課題が存在する。まず、VMM 層においてパケットスケジューリング遅延が発生する課題である。一つの物理マシン上で複数の VM を有する VMM では、ゲスト OS が送信したトラフィックの帯域の合計が物理 NIC (Network Interface) の帯域幅を超える場合、パケットスケジューリングが発生する。既存技術では各パケットの遅延時間については考慮されないため、遅延のデッドライン時間を超える可能性がある。次に、パケット送信側 VM がネットワーク内における遅延時間が見積もれないため、End-to-End でデッドラインを守れる保証がないことである。DiffServ による QoS 制御が行われても、あるフローの転送遅延時間はネットワークの輻輳状態の影響を受けて変化するため送信前に見積もることは難しい。このため、ネットワークを介した End-to-End の通信のリアルタイム性を確保できる保証がない。

そこで本稿では、VMM 層において、デッドライン時間を守るパケットスケジューリングと計測したパケットの転送遅延時間に応じてパケットスケジュー

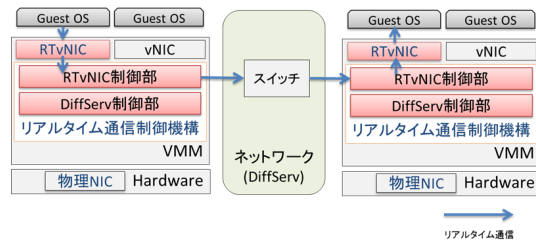


図 1 RTvNIC システムの全体構成

リングのパラメータを調整するフィードバック制御によりこれらの課題を解決する、リアルタイム通信基盤 RTvNIC システムを提案する。本システムでは VMM がゲスト OS に対してリアルタイム通信向け仮想 NIC (RTvNIC) を提供し、ゲスト OS は仮想 NIC として RTvNIC を選択するのみで、ゲスト OS の改変なしに VM 間のリアルタイム通信が可能となる。各 RTvNIC には、VM の管理者が VM 起動時のパラメータとして、パケットの転送遅延時間のデッドライン時間と最低帯域を指定する。VMM 層で指定されたデッドライン時間と帯域を守るよう通信制御を行う。なお、RTvNIC システムでは DiffServ による QoS 制御が行なわれているネットワークを対象としている。

## 2. RTvNIC システムの設計

本研究ではこの RTvNIC を実現するために、VMM 層に“リアルタイム通信制御機構”を追加した。図 1 に全体構成を示す。DiffServ で QoS 制御されたネットワークを介して二つの物理マシンが接続され、各マシン上では VM が稼働し、RTvNIC を持つ VM 間でリアルタイム通信を行っている。リアルタイム通信制御機構では、RTvNIC およびリアルタイム性を持たない通常の仮想 NIC (vNIC) の両方を制御対象とし、ゲスト OS が送受信する全てのパケットを統一的に制御する。

リアルタイム通信制御機構は RTvNIC 制御部と DiffServ 制御部の二つの制御部を持つ。RTvNIC 制御部では、各パケットのデッドライン時間に応じた優先制

<sup>†</sup> 東京農工大学  
Tokyo University of Agriculture and Technology

御とデッドラインミス発生時の情報を基にした優先制御の両方により、VMM層におけるパケットのリアルタイム性を確保する。これらの設計については2.1,2.2で述べる。DiffServ制御部では、パケットのデッドライン時間に応じて、DiffServの優先度パラメータであるDSCP(Differentiated Services Code Point)値の決定を行い、ネットワーク上におけるパケットのリアルタイム性を確保する。この優先度の決定は、2.2で述べるフィードバック制御と連携して行なう。

RTvNICシステムでは、上記の機能を実現するためにVMM層において送信するパケットに対して二つの情報を付加する。まず、デッドラインミスの検出を行うために、送信側VMMでパケットの送信時刻を付加する。受信側VMMにおいて、送信側VMMで付加した送信時刻とパケットの受信時刻を比較することで、デッドラインミスの検出を行う。次に、ネットワーク上の優先制御を行うために、パケットのIPヘッダーに対してDiffServのDSCP値を書き換える。なお、送信側VMMで付加されたこれらの情報は受信側VMMで取り外されるため、ゲストOSに対して隠蔽されている。

以下では、リアルタイム通信制御機構の主要な機能である、RTvNIC制御部におけるリアルタイムパケットスケジューリングとデッドラインミスに対するフィードバック制御について述べる。

### 2.1 リアルタイムパケットスケジューリング

RTvNIC制御部では、VMM層におけるパケットのリアルタイム性を確保するため、デッドラインを守るパケットスケジューリングを行う。各VMから送信されるパケットは、VMM層においてパケットスケジューリングされ物理NICから送信される。RTvNIC制御部では、RTvNICごとに設定されたデッドライン時間と帯域を守るよう、EDFアルゴリズムを用いてパケットの転送順序を制御する。このパケットスケジューリングでは、VMの送信したパケットがVMM層の送信キューに到着した時刻に対して、各パケットのデッドライン時間を加えたデッドラインを超える時刻が近い順にパケットを並び替え、RTvNICに設定された帯域を超えない範囲で、もっとも現在の時刻に近い順に送信を行う。できるだけ多くのパケットのデッドライン時間を守るようパケットスケジューリングを行い、VMM層におけるパケットのリアルタイム性を確保する。

### 2.2 デッドラインミスによるフィードバック制御

RTvNIC制御部では、End-to-Endでの通信のリアルタイム性が確保されていることを確認、保証するた

めに、VMM層において各パケットの転送遅延時間を計測する。この転送遅延時間がデッドライン時間以内であれば、リアルタイム性が保証されていることを確認できる。しかし、ネットワーク上の遅延などの影響によりデッドライン時間を超えた場合デッドラインミスとして検出される。このデッドラインミス検出とデッドラインを超過した時間をパケットを送信したVMMのRTvNIC制御部にフィードバックし、デッドラインミスを回避するよう対処する。

RTvNIC制御部はデッドラインミスを検出した場合、二段階でデッドラインミスの回避を行う。まず、デッドラインミスを起こしたパケットの送信元VMMに対してデッドラインミスの検出をフィードバックする。通知を受けた送信元VMMでは、当該フローのデッドライン時間を短く設定することで、全体の転送遅延時間を削減しデッドラインミスを回避する。リアルタイムパケットスケジューリングの遅延削減でもデッドラインミスを回避できない場合は、DiffServ制御部に通知を行い、当該フローのDiffServにおける優先度を上げることで、ネットワーク内の転送遅延時間を削減し、デッドラインミスを回避する。デッドラインミスによるフィードバック制御では、この二つの手法を用いて通信のリアルタイム性を保証する。

## 3. おわりに

本稿では、VMM層にリアルタイム制御通信機構によりリアルタイム通信を実現する通信基盤であるRTvNICシステムを提案した。現在、VM間における通信のリアルタイム性保証を示すための評価を行っているため、ポスターにて発表を行う。本稿ではVMMに主眼をおいているため対象としなかったが、VMM層だけでなくネットワーク内の輻輳によりパケットの転送遅延が発生する課題がある。この課題に対しては、OpenFlowネットワークとVMMの協調動作によるネットワークまで含めた通信のリアルタイム性保証手法を検討しており、今後研究を進めていく。

## 参考文献

- 1) Defeating Network Jitter for Virtual Machine, Luwei Cheng, et al. UCC, page 65-72. IEEE Computer Society, (2011)
- 2) 組込みマルチコア向け仮想化環境における性能低下抑止手法, 太田貴也, 他, 情報処理学会研究報告. 2012-11-28
- 3) S.Blake: An Architecture for Differentiated Services, IETF RFC Standard 2475, 1998