

C-021

仮想ルータのためのパケット転送高速化機構 A Fast Packet Forwarding Mechanism for Virtual Router

田口 元貴[†]
Genki Taguchi

小林 良太郎[†]
Ryotaro Kobayashi

廣津 登志夫[‡]
Toshio Hirotsu

1. まえがき

1つのコンピュータ上に仮想的なホストを可能にする仮想マシン技術は、ホスティングなどにおいて広く活用されるようになってきた [1]。今後、サーバだけでなく検査フィルタ、ファイアウォール、ルータといったネットワーク環境も仮想化の対象になっていくと考えられる。しかし、仮想マシンのゲストとして構成された仮想ルータにおいては、そこを経由する通信のスループットが低下するという問題がある。スループットが低下する原因の1つとして、通信に伴い仮想マシン間の遷移が頻繁に発生することが考えられる。

本稿では仮想マシン技術の1つであるXen [2] をターゲットとし、特定の通信を仮想ブリッジ処理部にてバイパスすることで仮想マシン間の遷移を減少させるフロースイッチ機構を提案する。

2. Xen について

2.1 Xen の構成

Xen は、ハイパーバイザタイプの仮想マシン技術である。図1にXenの概要を示す。Xenは仮想マシンモニタとゲストで構成される。ゲストは、domain0と呼ばれる特権的なゲストと、domainUと呼ばれる一般的な仮想マシン環境を提供するゲストに2分される。domain0は、Xenにおいてただ1つ存在し、仮想マシンの管理およびdomainUで発生したI/O要求の処理を担う。

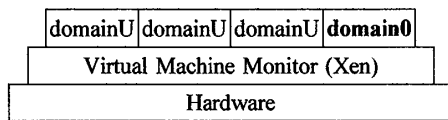


図1 Xenの構成

2.2 Xenの内部ネットワーク

Xenの内部ネットワークの概要を図2に示す。NodeAの属するネットワークとNodeBの属するネットワークがルータによって接続されているネットワークは、Xenにおいて図2に示すように4つのTAPと2つの仮想ブリッジにより仮想化される。ここで、TAPはEthernetデバイスをエミュレートしてdomainUに提供する。TAPを含め、Xenのネットワーク処理はdomain0のカーネル内で行われる。

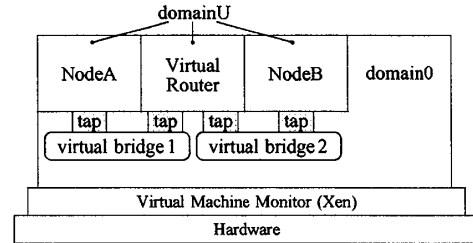


図2 Xenの内部ネットワーク構成例

3. 通信のオーバーヘッド

Xenにおいて複数の仮想ルータを経由する通信を行う際、スループットの低下が発生する。この要因としてdomain間の切り替えコストが大きく [3]、かつ高頻度で切り替えが発生する点が挙げられる。

図3に、同一マシン上にて仮想ルータを経由してdomainU間通信を行う際の流れを示す。XenではdomainUが仮想ブリッジにパケットを送信もしくは仮想ブリッジからパケットを受信する際に、domainUとdomain0間の遷移が発生する。図3の例では遷移が4回発生するが、経由する仮想ルータの数の増加に伴い、遷移回数も増加する。仮想マシンの切り替えには一定のコストを要するため、遷移回数の増加は通信のオーバーヘッドに直結する。

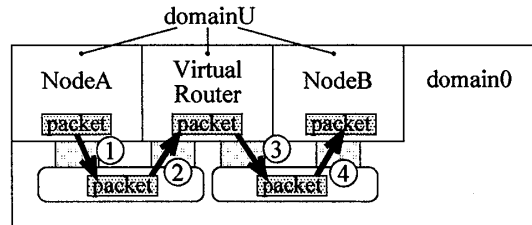


図3 Xenにおける通信のボトルネック

4. 高速化機構の提案

本研究では、フロースイッチ機構と呼ばれる高速化機構を提案する。図4に本機構の概要を示す。本機構

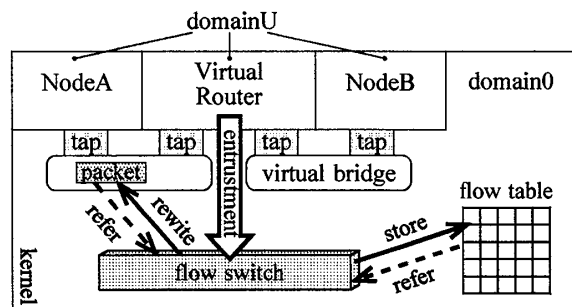


図4 フロースイッチの概要

[†] 豊橋技術科学大学大学院工学研究科, Graduate School of Engineering, Toyohashi University of Technology

[‡] 法政大学情報科学部, Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

は domain0 のカーネル部で動作する仮想ルータの支援機構である。フロースイッチ機構は、仮想ルータから特定の通信処理の委託を受け、委託された通信に関しては仮想ルータをバイパスする。委託された通信の情報は domain0 内のフローテーブルに記録される。フローテーブルには、バイパス可能な条件を定める宛先 IP アドレスおよび送信元 MAC アドレスと、パケット書き換え時に使用する新宛先 MAC アドレス、新送信元 MAC アドレスおよび新インターフェース情報の 5 つが記録される。本機構がパケットのバイパス処理を行う手順を図 5 のフローチャートに示す。

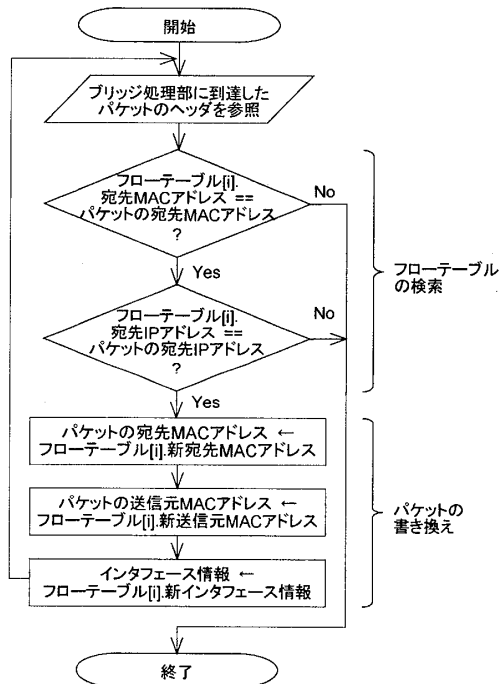


図5 フロースイッチの処理手順

まず、domain0 の仮想ブリッジに domainU からパケットが到達する。この際、フロースイッチ機構はパケットの宛先 IP アドレスと宛先 MAC を元にフローテーブルを検索する。フローテーブル内に一致するエントリが存在する場合は、フローテーブル内の送信元 MAC アドレス、送信先 MAC アドレス情報、インターフェース情報を用いてパケットを書き換える。パケット書き換え後、再びフローテーブルの検索動作に戻る。フローテーブル内にパケットの情報と一致するエントリが存在しない場合は、フロースイッチ機構としての動作を終了する。この動作により仮想ルータを複数段バイパスすることが可能になる。

本機構により、仮想ルータが委託した通信に関しては、仮想ルータへ遷移することなく domain0 内で処理が完結するため、仮想マシン間の遷移回数が削減され、ボトルネックの解消につながる。

ここで、本機構は domain0 にルータ機構を搭載するものではないことに注意されたい。フロースイッチ機構は仮想ルータから特定の通信についてバイパスするよう

依頼された場合にのみパケットのフローを変更する。すなわち、経路計算などのルータが持つ重要な役割は本機構の導入に関わらず仮想ルータが担う。

5. フロースイッチ機構の測定

フロースイッチ機構の効果を確認するため図 3 と同様の、Node A から Virtual Router を介して Node B への TCP 通信を行い、スループットおよびパケット転送レートの測定⁵を行った。なお、本稿では仮想ルータからフローテーブルを更新する機構が未実装のため、予めフローテーブルエントリを与えた上で測定を行った。

スループットの測定結果を図 6 に、パケット転送レートの測定結果を図 7 に示す。オリジナルの Xen と比較して、フロースイッチ機構を使用した場合スループットは約 1.4 倍、パケット転送レートは約 2.4 倍高速化されることを確認した。

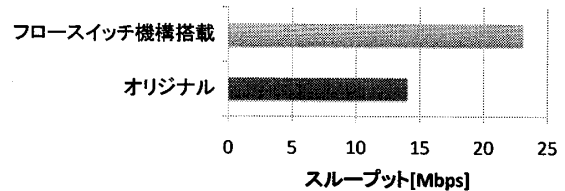


図6 スループットの測定結果

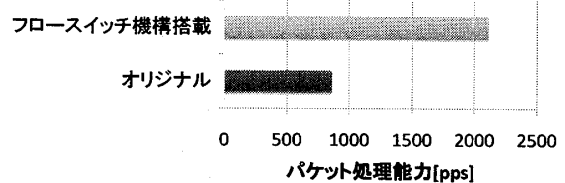


図7 パケット転送レートの測定結果

6. まとめと今後の課題

本稿では、仮想ルータを複数経由する通信のスループットを高速化するフロースイッチ機構を提案した。測定の結果、フロースイッチ機構を用いることでオリジナルの Xen と比較してスループットは約 1.4 倍、パケット転送レートは約 2.4 倍高速化された。今後はフローテーブルの検索方式について比較検討を行っていく。

参考文献

- [1] 大山 恵弘, “仮想マシン技術の応用 (連載) 仮想マシン道しるべ,” 情報処理学会誌, Vol. 48, No. 11, pp. 1283-1287, 2007.
- [2] P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, and A. Warfield, “Xen and the Art of Virtualization,” In *Proc. SOSP*, pp. 164-177, 2003.
- [3] K. Adams and O. Agesen, “A Comparison of Software and Hardware Techniques for x86 Virtualization,” In *Proc. ASPLOS*, pp. 2-13, 2006.

⁵ 測定環境: Intel Core 2 Duo 6300(1.86GHz), Xen3.2.1, domain0=kernel 2.6.25.18-0.2-xen