

## 審査結果の要旨

論文提出者氏名 高橋 一志

本論文は「利用可能性の高い仮想計算機転送技術」(A technique of virtual machine migration with high applicability)と題し、現状の遠隔仮想計算機転送システムの技術的制約による不便さを排除し、利用可能性を向上するシステムの構成法を明らかにしている。

本論文は和文 6 章からなる。

題 1 章「序論」では、仮想マシンモニタと、それをを用いた遠隔仮想計算機システムの重要性、そして利用可能性の低さという問題点について分析し、本論文が扱う問題を規定している。

第 2 章の「関連研究」では本論文の関連研究、とくに仮想計算機を実現する仮想マシンモニタや遠隔計算機転送システムの要素技術や歴史、遠隔仮想計算機環境であるクラウドコンピューティングや Virtual Desktop Infrastructure (VDI) についての既存技術をまとめている。

第 3 章「JavaScript と HTML を用いたシンクライアント VoXY」では、シンクライアントシステムの導入の困難さを解決する、Web ブラウザのみで動作するシンクライアントシステムの構成法について論じている。従来のシンクライアントシステムは専用ソフトウェアを導入する必要がある、利用可能性が低いという問題があった。そこで、ほぼすべての個人用計算機環境で利用可能である Web ブラウザのみで動作するシンクライアントシステムの実現を目指している。ネットワークの消費帯域幅を削減することを重視した従来のシンクライアントプロトコルでは最小限の更新部分のみを転送するが、この手法は Web ブラウザの描画性能の限界から、応答性能が低いという問題がある。そこで、Web ブラウザが得意とするブロック描画を活用する画面転送プロトコルを新たに提案し、この問題を解決している。提案したプロトコルを用いて、JavaScript と HTML のみで動作することができるシンクライアントシステム VoXY を開発している。VoXY を用いて提案手法の評価を行い、従来のシンクライアントと比べて要求帯域が大きくなるが、いくつかの実用的な事例で問題無い応答性能が得られていることを確認している。

第 4 章「Linux ドライバの Windows 移植による WinKVM の実装」では、Linux ドライバを Windows へ移植することによる、異種 OS 間のライブマイグレーションが可能な仮想マシンモニタの開発手法を述べている。仮想マシンモニタは特定 OS 向けに開発されてきたため、異種 OS 間のライブマイグレーションはそれまで実現されてこなかった。このため例えばサーバ向け OS である Linux から、利用者の多い個人用計算機向け OS である Windows へ転送ができず、利用可能性に問題があった。本章では、Linux 向け仮想マシンモニタである KVM を Windows へ移植することで、低い開発コストで異種 OS 間のライブマイグレーションが可能な仮想マシンモニタを実現することを目指している。KVM の主要

箇所は Linux ドライバとして実装されているため、性能劣化を起こさない Linux ドライバの Windows への移植手法を述べている。一般的にドライバの移植は困難であるが、とくに問題となる (1) 発行可能な Privilege な命令の種類, (2) ユーザプログラムとのインタフェイス, (3) カーネルとのインタフェイスという 3 つの OS 間の差異について、Windows 上にエミュレーションレイヤを構築することで、およそ 10 行程度の Linux ドライバへの修正だけで、それ以外は Linux ドライバに手を入れずに移植可能であることを示している。さらに本手法を用いて KVM を Windows に移植した WinKVM を開発し、Linux 上の KVM から Windows 上の WinKVM へ、ゲスト OS のライブマイグレーションが実現できたことを実験により実証している。また、WinKVM 上でのゲスト OS の実行時間を評価し、本移植手法により性能低下がほとんど無いことを論じている。

第 5 章「差分転送を用いた高速な VM マイグレーション」では、仮想マシンが特定の計算機間で往来するという性質に着目し、差分転送によってストレージマイグレーションを高速化する手法について論じている。仮想マシンを移送するとき、仮想マシンのディスクを同時に移送するストレージマイグレーションが必要となるが、巨大なストレージをそのまま転送すると転送時間と帯域幅がかかるという問題があり、利用可能性を損ねていた。近年のデータセンタや個人用の仮想マシンでの仮想マシンの移動では、特定のマシン間で往来するという点と、普段の計算機利用では大きなディスクの書き換えが起こらない点に着目し、差分のみを転送することによってストレージマイグレーションを高速化する手法について論じている。差分の検出は仮想マシンの書き込みを監視することで行い、差分の判定は世代番号を用いることで行う。評価を行い、一般的な計算機の利用ではストレージマイグレーションが高速化したことを確認している。

第 6 章「結論」では、本論文のまとめと研究分野の今後の展望について論じている。

以上のように、本論文は仮想計算機転送システムの利用可能性に関する現状の問題点を分析し、ブラウザのみで利用できる画面転送システム、異 OS 間のライブマイグレーションを可能にする VMM の開発手法、そして差分転送による効率の良いストレージマイグレーションを実現する手法を明らかにしている。また実際にシステムを開発して利用可能性が向上することを示しており、この分野に少なくない貢献を果たしている。すなわち本研究は情報理工学に関する研究的意義と共に、情報理工学における創造的実践に関し価値が認められる。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。