

| | | | | | |
|---------|--|--------|-------|--|--|
| 氏名 | Oscar Fernando Garcia Alvarado | | | | |
| 学位の種類 | 博士(工学) | | | | |
| 学位記番号 | 博甲第8995号 | | | | |
| 学位授与年月日 | 平成31年3月25日 | | | | |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 | | | | |
| 審査研究科 | システム情報工学研究科 | | | | |
| 学位論文題目 | Research on real-time network stacks of commodity hosted virtual machine environments (実用ホスト型仮想計算機環境の実時間ネットワーク・スタックに関する研究) | | | | |
| 主査 | 筑波大学 教授 | 学術博士 | 和田 耕一 | | |
| 副査 | 筑波大学 教授 | 博士(理学) | 加藤 和彦 | | |
| 副査 | 筑波大学 教授 | 博士(工学) | 大矢 晃久 | | |
| 副査 | 株式会社フィックスターズ 執行役員 | 博士(工学) | 追川 修一 | | |
| 副査 | 筑波大学 准教授 | 博士(理学) | 大山 恵弘 | | |
| 副査 | 筑波大学 准教授 | 博士(工学) | 新城 靖 | | |

論文の要旨

審査対象の論文は、広く利用されているホスト型仮想計算機環境において実時間性を持つネットワーク・スタックを実装する新たな手法を記述したものである。

実時間アプリケーションを Linux 等の実用 OS (commodity operating system) で実行することが一般的になってきているが、実用 OS は、ある種の実時間アプリケーションに対しては十分な実時間性を提供できない。そのため、実用 OS 開発の主軸とは並行に拡張 (パッチ) がしばしば開発される。この並行開発は、本質的に不可避である。開発の主軸は、スループットや平均的な性能を改善することを目的とするのに対して、実時間拡張は、短い応答時間や一定の応答時間を得ることを目的としているからである。この論文は、そのような実用 OS の並行開発において、複雑なホスト型仮想計算機のネットワーク・スタックを対象として、実時間性を提供するという課題を取り上げている。

この論文が対象とするホスト型仮想計算機環境では、実時間性を指向した重要なネットワーク・サーバとスループットを指向したサーバを共有資源で実行する。そして、前者に対して実時間性のある一定の応答を提供すると同時に、この制約の中で、後者に対しては高いスループットを提供する。

この論文では、まず、対象とする Linux KVM によるホスト型仮想計算機環境において、既存の手法を用いた時にネットワークから入ってきたメッセージがサーバに届くまでの通過経路を解析している。既存の手法とは、標準の Linux、従来のシステムでよく利用される 2 つの実時間方式 (スレッド化割り込み方式と専用 CPU 方式) である。詳細な解析の結果、スレッド化割り込み方式で割り込み処理の後半部分 (softirq) に優先度の逆転を新たに発見している。また、2 つの実時間方式いずれにも、スループット指向サーバによるキャッシュ汚染が実時間指向サーバに影響することを発見している。

優先度の逆転の問題に対して、この論文は、割り込み処理の後半部分を実時間のものと非実時間のものに分離する手法を提案している。これにより、優先度の逆転はなくなる。

キャッシュ汚染の問題を解決するために、この論文は、ソケット・アウトソーシングという手法を拡張している。従来のソケット・アウトソーシングは、ゲスト OS の高水準の操作(システム・コール等)をホスト OS に委譲する。これにより、ホスト OS でゲスト OS のシステム・コールの処理を行い、メッセージ・コピーを削減し、キャッシュの汚染を低減させる。この論文は、さらにゲスト OS を拡張し、ゲスト OS で割り込み処理を行うことなくネットワーク通信を行えるようにしている。

この論文は、提案方式を実験により評価している。単純なネットワーク・サーバを用いた実験により、スレッド化割り込み方式と比較して、応答時間の標準偏差を 6 分の 1 にしている。同時に、32% 少ない CPU 利用率でスループットを 5.6% 改善している。専用 CPU 方式と比較しても、応答時間の標準偏差を半分にし、かつ、専用資源の利用率が著しく低いという問題を無くしている。単純なサーバの代わりに、音声通話サーバやキーバリューストアという 2 つのアプリケーションを使った実験でも、提案方式の優位性を示している。さらに、提案方式が実時間仮想計算機の数に関して高いスケーラビリティを持っていることを示している。単純なサーバではスループット指向のサーバの性能を低下させることなく 40 台まで実時間サーバを実行できることを示している。

審 査 の 要 旨

【批評】

ホスト型仮想計算機環境で実時間指向のサーバを共有資源で実行することに限界があることは知られてはいたが、その原因は不明であった。そのため、共有資源を使うことを諦め、実時間サーバに対して専用資源を割り当て、資源の利用率の低下を受け入れていた。この論文では、複雑なネットワーク・スタックを徹底的に解析し、2 つの実時間性の阻害要因を明らかにし、2 つの方法を提案している。そして、共有資源を使い高い実時間性と高いスループットを両立させることに成功している。このことは、高く評価できる。

2 つの提案方法は、両方同時に利用した時に有効である。この論文は、その点を詳細な実験により明らかにしている。また、2 つの提案方法のうち 1 つは、コンテナによる仮想環境や非仮想環境でも利用できる。これらの点は、今後のオペレーティング・システム、および、実時間システムの開発に大きく寄与することが期待され、高く評価できる。

【最終試験の結果】

平成 31 年 2 月 5 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。