The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Solution Approaches for Wide-area Distributed Systems toward Integration of Enterprise Networks and Computing Resources
Author(s)	Ogawa, Yukio
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/22943
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【16】

氏　　名	小　川　祐紀雄（おがわ　ゆきお）
博士の専攻分野の名称	博　士（情報科学）
学　位　記　番　号	第　２５２９０　号
学位授与年月日	平成24年３月22日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 情報科学研究科情報ネットワーク学専攻
学　位　論　文　名	Solution Approaches for Wide-area Distributed Systems toward Integration of Enterprise Networks and Computing Resources（企業ネットワークと計算資源の統合に向けた広域分散システムの解決手法）
論文審査委員	（主査） 教　授　村田　正幸 （副査） 教　授　村上　孝三　　教　授　今瀬　　真　　教　授　東野　輝夫 教　授　中野　博隆

論文内容の要旨

Enterprise networks and applications performed over them have been changing according to the enterprises' strategies for reducing their total cost of ownership (TCO). As a wide area network (WAN) provides high-bandwidth connectivity (i.e., more than several megabits per second), this change has proceeded through roughly three phases. The first phase is the integration of multiple private WANs, as well as computing resources (i.e., servers and storage systems) used for applications in private data centers, e.g., when new enterprises are established through the merger of existing companies after 2000. The second phase is the consolidation of computing resources, such as desktop computers and shared storage equipments, from branches to a private data center, which has become widespread since around 2006. The third phase is the consolidation (i.e., outsourcing) of computing resources from private data centers to public data centers, utilizing cloud computing services, which is currently in progress.

The above integration process involves a lot of WAN issues. Through the first-phase integration, the scale of a private WAN, such as the number of network nodes and end systems, and amount of traffic, increases. We therefore need to consider scalability issues of the private WAN. The consolidations in the second and third phases changes the end-to-end communication path between a client and a server. After the second phase, the end-to-end path is no longer limited to the inside of a branch but traverses the private WAN of an enterprise. Moreover, the third phase results in the end-to-end path traversing a public WAN connecting the enterprise to external data centers. From the perspective of an application executed over the private or public WAN, either WAN could be the bottleneck in the end-to-end path because of its lower performance. This drawback of the WAN could be apparent when the application contains not only bulk data flows but also interactive data flows. On the other hand, from the perspective of the underlying network system, the consolidation of computing resources in data centers results in a greater traffic load on the WAN. In the third phase, when outsourced applications use multimedia data related to digital videos and cameras, this outsourcing will lead to a massive amount of data traversing the public WAN, which will increase the power consumed in the WAN. We have selected several important but not well-discussed issues from those mentioned above, and studied solution approaches for the private and public WANs and applications performed over them. In this thesis, we focus on three objectives, corresponding to the three phases of the integration process, as follows.

For the first phase, we focus on evaluating the scalability of the control plane in a large enterprise network. We develop an approach to estimate the network performance for updating routing information, which is applied to a private WAN

constructed by integrating two large banking networks. We first draw up a formula to represent the effect of the increase in packet traffic on the decrease in central processing unit (CPU) utilization at a router, and hence on delays in the routing information updating. Then, this formula is applied to estimate the level of CPU utilization required for routing information convergence. The results of our experiments on the network show that routing information updating could be completed as long as the average CPU utilization during any five-minute period at the routers was less than 40%.

For the second phase, we focus on evaluating the performance of a thin-client system based on transmission control protocol (TCP), which is a typical application traversing a private WAN (and/or public WAN) after computing resources have been consolidated from branches to a private data center. We first describe the download traffic of thin-client systems as a two-state model with interactive data flows in response to keystrokes and bulk data flows related to screen updates. Since users are more sensitive to the keystroke response time, our next objective is to minimize the latency of interactive data flows, especially when the network is congested. Through simulation experiments, we reveal that the main delays are queuing delay in the bottleneck router connected to the WAN and buffering delay in the server. We then enhance two TCP mechanisms: retransmission timeout calculation and selective acknowledgment (SACK) control, which overcome the drawbacks of existing options and increase the interval between occurrences of large delays (more than about 1 second) by about four times (up to about 2,500 seconds).

For the third phase, we focus on evaluating the power consumed in a public WAN after computing resources have been consolidated in a few huge public data centers. Such consolidation is becoming widespread not only among enterprises but also homes and public offices. Therefore, in our consideration of this issue, we treated the whole society. A distributed computing network (DCN), such as a content delivery network, not only improves the response time to clients but also reduces the traffic to and from the data center over the public WAN, thereby decreasing the power consumed in the WAN. We concentrate on the energy-saving aspect of the DCN and evaluate its effectiveness, especially considering traffic locality, i.e., the amount of traffic related to the geographical vicinity. We first formulate the problem of optimizing the DCN power consumption. Numerical evaluations show that, when there is strong traffic locality and the router has ideal energy proportionality, the system's power consumption is reduced to about 50% of the power consumed in the case where a DCN is not used. Moreover, this advantage becomes up to about 30% when the data center is located farthest from the center of the network topology.

Finally, we discuss future work for the situation after the third phase of the integration process.

論文審査の結果の要旨

企業ネットワークとそのアプリケーションは、広域ネットワークの性能向上に伴い、第一フェーズ：企業の複数の広域ネットワークおよびデータセンタに設置されたサーバやストレージなどの計算資源の統合、第二フェーズ：企業の支店に設置されたデスクトップコンピュータや共有ストレージなどの計算資源の企業のデータセンタへの集約、第三フェーズ：クラウドコンピューティングサービス利用増加による企業のデータセンタからパブリックなデータセンタへの計算資源の集約、の三つの統合フェーズを経て変化してきている。これらの各統合フェーズにおいては、ネットワーク機器やエンドホストの増加による広域ネットワークのスケーラビリティに関する問題や、広域ネットワークとアプリケーションの相互作用に起因する問題が発生している。そこで本論文では、各統合フェーズにおける未解決の課題を挙げ、解決手法を提案している。

第一フェーズでは、大規模な企業ネットワークのコントロールプレーンのスケーラビリティを課題として取り上げている。具体的には、ネットワークの経路情報更新に必要な性能の推定手法を提案し、ある大企業の広域ネットワークの安定稼働を検証している。推定手法は、ルータにおいてCPU（中央処理装置）のリソース量が減少することにより経路情報の更新時間が遅延することをモデル化しており、実ネットワークでの実験を通じて、ルータにおいて5分平均のCPU利用率が40%以下であれば、ルーティングプロトコルで規定されたタイマー値（180秒）以内に経路情報の更新処理が収束することを示している。

第二フェーズでは、広域ネットワークを経由するアプリケーションの典型例であるシンクライアントシステムの性能改善を行っている。まず、下り方向のトラヒックを、キーボード入力への応答に対応するインタラクティブデータフローと、画面情報の更新に関連したバルクデータフローからなる二状態系でモデル化している。次に、インタラクティブデータフローの遅延を最小化することを目的として、TCP（Transmission Control Protocol）の再送タイムアウト時間計算およびSACK（選択的確認応答）制御に関する改善提案を行い、1秒以上の遅延の発生頻度を従来手法適用時に比較し1/4に低下させている。

第三フェーズでは、パブリックな大規模データセンタに計算資源が集約されると大量データがパブリックな広域ネットワークを経由して送受信され、結果としてその広域ネットワークの電力消費が増加することを課題としている。これに対し、広域ネットワークの送受信トラヒックを削減することができるDCN（分散コンピューティングネットワーク）により電力消費削減を図っている。DCNによる電力消費最適化問題の定式化を行ったのち、トラヒック局所性（地理的な距離と送受信されるトラヒック量の関係）に着目して評価を実施し、DCN未使用時に比較して電力消費が最大30%まで削減されることを示している。

以上のように、本論文では、企業ネットワークと計算資源の統合に向けて多くの研究成果をあげている。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値あるものと認める。