

レイテンシの違いを利用した ネットブート配信環境の局所的な切り替え手法

高田 真吾^{†1} 佐藤 聡^{†2} 中井 央^{†3}
杉木 章義^{†2} 新城 靖^{†1}

大学のような多数の計算機を保有する組織では、その稼働率を上げることが課題となっている。本研究では、ネットワークブートされる計算機資源を有効活用するため、局所的に通常とは異なる計算機環境を配信する手法を提案する。提案手法では、ネットブートで利用される DHCP が早い者勝ちのプロトコルであるという特徴を利用し、既存の DHCP サーバよりも早く応答する DHCP サーバをネットワークに接続し、そのサーバからの応答が届く範囲にのみ、通常とは異なる計算機環境を配信する。提案手法を実際に筑波大学の端末室に適用し評価実験を行ったところ、本来の DHCP サーバからの応答はリレーにより遅延し、接続した DHCP サーバからの応答が先に端末に到達することを確認した。また、この遅延による時間差は、DHCP サーバへのリクエストが集中した場合には小さくなることを示した。

A Method for Regional Switching of the Network Booting Environment using Difference of the Latency

SHINGO TAKADA,^{†1} AKIRA SATO,^{†2} HISASHI NAKAI,^{†3}
AKIYOSHI SUGIKI^{†2} and YASUSHI SHINJO^{†1}

Improving the usage rate of the computers is important in organizations that have a lot of computers. The authors propose a method to switch the computer environment which is distributed via the network. The proposed system uses the DHCP's characteristic: first-come-first-served. We inject a DHCP server which can respond to the client faster than the original one. Only netboot clients that receive the injected server's DHCP message faster than the original server can boot the different computer environment. The authors constructed a prototype of the proposed method and made experiments. The results show: (1) the original server's response is slower than the injected one because of the delay of the DHCP relaying, (2) the relaying delay would be reduced if the DHCP requests are concentrated.

1. はじめに

現在、多くの大学では、数多くの端末が複数の端末室に設置され、統一的に管理・運用されている。そこでは、ソフトウェアのインストール作業やセキュリティパッチの適用が容易であること、利用者による変更が他の利用者に影響しないことから、一元管理された計算機環境をネットワーク経由で配信するネットワークブートが利用されることが多い。

このネットワークブート技術(ネットブート)を利用することにより、多数の計算機に同一の計算機環境を展開することが容易となっている。シンクライアント端末のような例を除けば、それらの端末はいわゆる通常のパーソナルコンピュータであり、授業で用いる上で十分な処理能力を持った CPU やメモリを備えている。これらの計算機群は、大学の教育にあわせて、主に日中に利用される。夜学のような例を除けば、これらの計算機が持つ処理能力の大半は夜間に休眠状態にあると言える。計算機環境の利用率向上のためには、このような休眠状態にある計算機資源を有効活用することが重要な課題となる。

このようなネットブートを行う計算機システムでは、利用者に提供する計算機環境の起動には Intel 社が策定した PXE(Preboot eXecution Environment)¹⁾ を利用していることが多い。PXE では、ネットブートの対象となるクライアント端末において、ディスクドライブなどから起動するのではなく、NIC(Network Interface Card) 上に搭載された PXE BIOS から起動処理が行われる。BIOS から PXE BIOS に処理が移り、TFTP(Trivial File Transfer Protocol) を用いてブートローダプログラムを取得し、そのプログラムから実際に起動すべき環境の読み込みを行う。その際に、アクセスすべき TFTP サーバと、取得すべきブートローダプログラムの情報は、DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) を用いて取得する。

PXE によるネットブートは、全学規模である特定の計算機環境を提供する場合には非常に有効である。一方で、ある特定の計算機環境を、ある期間だけ、ある範囲にのみ提供したいような場合には問題が生じる。通常、端末に IP アドレスやデフォルトゲートウェイなど

^{†1} 筑波大学 システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba
^{†2} 筑波大学 学術情報メディアセンター
Academic Computing and Communications Center, University of Tsukuba
^{†3} 筑波大学 図書館情報メディア研究科
Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba

のネットワーク情報を配布する DHCP サーバは、管理コストの関係から、各サブネットにおいて DHCP リレー機能を用いて、全ネットワークで数台程度としていることが多い。

そのため、特定の端末室に設置されている端末を対象に、特別な設定を行いたいというような場合には、MAC アドレスなどを用いて端末をグループ化し、それぞれについてネットブート配信設定を行うといった作業が必要となる。

そこで我々は、DHCP が「早い者勝ち」のプロトコルであることを利用し、局所的に特定の計算機環境を配信する方法を提案する。PXE における起動処理では、DHCP サーバからの応答に含まれる TFTP サーバの情報を参照し、ブートローダプログラムを取得する。通常、DHCP リクエストをブロードキャストしたクライアントは、最も早く返ってきた応答を利用する。そこで、本来提供されるべき計算機環境についての応答を返す DHCP サーバよりも早く応答を返すことができる DHCP サーバをネットワークに接続することにより、PXE によるネットブート時の配信環境を制御することが可能となる。

また、この方式では既存の計算機環境やネットワーク構成を変更することなく、DHCP サーバを接続するだけで局所的に配信環境を切り替えられるという特徴がある。既存の DHCP サーバについても、この方式を用いるために設定の変更を行う必要がないため、DHCP サーバを接続している間は異なる環境を配信可能となり、切断すれば元の環境が配信可能となる。このため、この方式を導入することに対する既存システムに対する変更・管理コストを非常に低く抑えることができる。

本研究では、局所的に提供したい計算機環境についての情報を配信する DHCP サーバを、本来の DHCP サーバよりも近いネットワークに直接接続する手法を「DHCP サーバの注入」と呼ぶ。この DHCP サーバの注入がネットワークに与える影響について実験を行い、局所的に別の計算機環境を配信する手法についての評価を行った。また、PXE 起動要求が集中した場合の振る舞いについても評価し、その運用方法について議論を行った。

2. 関連研究

2.1 広島大学 PC クラスタシステム

広島大学では、遊休端末を利用し、夜間に PC クラスタシステムを運用していた²⁾*1。その際の環境配信には、ミントウェブ社の VID システム³⁾ を利用していた。この VID システムは、あらかじめ設定した端末室の単位で、異なるスケジュールのもとで配信する環境

を切り替える機能を備えている。

この広島大学のシステムでは、全学に配信する教育用の環境として Windows と Linux を用意しており、それとは別に PC クラスタシステム用の専用の Linux(HPC 用環境)を提供していた。教育用として利用する際には、電源の投入と起動すべき OS の選択を利用者が行う仕組みとなっていた。HPC 用環境の運用開始時には端末全台を一齐に起動し、運用終了時に一齐シャットダウンするという運用形態を取っていた。

また、この PC クラスタシステムを利用して、近堂らは認証スイッチの認証性能評価⁴⁾や、ネットワークシステムの検証環境の構築⁵⁾などを行っている。スイッチの認証性能評価では、34 台の端末を利用して認証スイッチに一齐にリクエストを行い、SSL 暗号化の有無や SSL 認証鍵の鍵長による影響について評価している。ネットワークシステムの検証環境の構築では、同様に 34 台の端末を利用してソフトウェアネットワークエミュレータに対する評価環境を構築している。送信側と受信側としてそれぞれ 17 台の端末を設定し、それらの通信をネットワークエミュレータ経由で行い、ネットワークエミュレータの性能について評価している。

このように、多数の遊休端末を有効活用する手法は、様々な面で有用性が高い。しかし、これらの研究は任意の計算機環境を対象となる端末に配信する方法が既に存在する場合について述べており、その配信方法や運用手段については、ネットブートが使用できない場合の ICD Linux を用いた手法について挙げる程度に留まっている。

本研究では、既存のネットブートの仕組みに影響を与えることなく、必要なときに、必要な箇所にだけ、ある計算機環境を配信できる仕組みを提案している。

2.2 Proxy DHCP

Proxy DHCP¹⁾とは、既存の DHCP サーバに変更を加えることなく、PXE によるネットブート設定を行うための仕組みである。これは、PXE を用いて起動しようとしているクライアントからの要求には PXEclient という文字列が含まれており、これにより PXE クライアントであることを識別できること、またクライアントは複数の応答を受け取った場合でも PXE に関する設定が含まれているものを利用するという特徴により実現されている。

クライアントが送信した要求に対する本来のサーバからの応答はブロードキャストで送信されるため、Proxy DHCP サーバはこの応答を受信し、そこに PXE ブートに必要な情報を追加してから、同じくブロードキャストで送信する。これにより、クライアントは本来のサーバからの応答と、そこに PXE ブートの情報が追加された応答の両方を受信することができる。この実装には、pxe-pdhpc⁶⁾ や dnsmasq を応用した方法⁷⁾がある。

*1 現在では 24 時間運用可能な別の HPC システムを運用している

本研究では、既存の DHCP サーバが既に PXE に関する情報を含んでいる場合に、局所的に異なる PXE 情報を配布することで、ある計算機環境を配信できる仕組みを提案している。

3. 提案手法

本研究では、以下のような環境を対象とする：

- (1) 多数の計算機を利用者に提供している大学のような組織
- (2) PXE によるネットブートを用いて、全学に共通の計算機環境を提供する
- (3) それぞれの端末は、フロアスイッチ、アグリゲーションスイッチなどを經由して配信サーバに接続されている
- (4) アグリゲーションスイッチでは、フロアスイッチごとに VLAN (Virtual LAN) が分けられており、DHCP リレーにより DHCP パケットが配送される

ある程度の規模を持つネットワークにおいては、ブロードキャストドメインを分割することによりトラブルの防止や通信の効率化を行うのが一般的である。そのため、合理的な単位で VLAN 設定が行われていることを前提とする。この設定が不要な場合において局所的な配信環境の切り替えが必要であれば、ネットブートを行う際に MAC アドレスに応じて処理を変更するなどの方法で十分対処できると考えるため、本研究では議論の対象としない。

また、ブロードキャストドメインを分割した場合、DHCP の通信はそのドメインを超えることができない。そのため、各 VLAN 内に DHCP サーバを設置するか、中継する方法が必要となる。ネットブートシステムの対象が大規模である場合、各 VLAN 内に DHCP サーバを設置することは現実的ではないため、一般的にはアグリゲーションスイッチなどの機能を用いて、DHCP パケットをリレーするように設定していることが多い。

以上のような環境を対象として、局所的な範囲にのみ、別の計算機環境をネットブートで提供することが本研究の目的である。

3.1 PXE の起動処理と DHCP サーバの注入

PXE によるネットブートシステムでは、PXE BIOS が DHCP を利用して IP アドレスやサーバ情報を取得する。PXE BIOS は、PXEClient という拡張情報が付加された DHCPDISCOVER メッセージをブロードキャストし、今後の通信で使用する IP アドレスやサブネットマスクなどのネットワーク情報を要求する。この DHCPDISCOVER メッセージを受信した DHCP サーバは、要求に応えることが望ましい場合、そのクライアントに提案する情報を格納した DHCPOFFER メッセージを返す。要求を送信したクライアントは、サーバ

から提案された情報を受け入れる場合、DHCPREQUEST メッセージをブロードキャストして DHCP サーバに伝える。このメッセージを受信した DHCP サーバは、実際にそのクライアントに割り当てる情報を格納した DHCPACK メッセージを返す。

このようにして、PXE BIOS は DHCP を利用してネットワーク情報を取得するが、DHCP サーバから提示された情報に NBP (Network Bootstrap Program) に関する情報が格納されていれば、その情報をもとに NBP を取得し、処理を移す。

DHCP について定めた RFC2131⁸⁾ では、クライアントが DHCPDISCOVER を送信したあと、「1 つまたは複数の DHCPOFFER メッセージを、1 つまたは複数のサーバから受け取る。クライアントは複数の応答を待つことを選んでもよい^{*1}」としている。

また、PXE の仕様¹⁾ では、「(複数の DHCPOFFER を受け取ったとき) どのコンフィグを使用すべきかについては、仕様で定めない^{*2}」としている。実際に、この PXE の仕様を策定した Intel 社の製品では、最も早く到着した DHCPOFFER が利用されている。

そこで、本研究では、配信したい環境についての情報を提供する DHCP サーバを配信対象にしたい端末群が接続されているネットワークに繋ぐことにより、本来の DHCP サーバよりも先に応答を返し、異なる環境を配信する仕組みを提案する。

3.2 DHCP サーバ注入による影響と防衛策

本論文で提案する DHCP サーバの注入は、PXE によるネットブートを行っている環境において、一般に望まない結果をもたらす。たとえば、DHCP により IP アドレスを配布している環境において、いわゆるブロードバンドルータを接続する際に間違えて LAN 側を上流ネットワーク側に接続してしまい、上流のネットワークに不正な DHCP パケットが送られてしまうという問題 (rogue DHCP server) はよく知られている。

利用者が機器を持ち込むことができるようなネットワークにおいて DHCP による動的 IP アドレス割り当てを利用する場合には、このような rogue DHCP server による影響を防ぐために、DHCP Snooping と呼ばれる機能を利用することが一般的となっている。

DHCP Snooping 機能をもつネットワークスイッチでは、あらかじめ管理者が DHCP サーバを接続したポートを “trust” として設定しておく。スイッチは、“trust” として設定されていないポートからの DHCPOFFER メッセージを破棄するため、このような rogue DHCP server による影響を防ぐことができる。また、DHCP Snooping (のぞき見) の名の通り、

*1 “The client receives one or more DHCPOFFER messages from one or more servers. The client may choose to wait for multiple responses.”⁸⁾

*2 “Which, of these configurations, if any, is used by the client is not defined by this specification.”¹⁾

DHCP の通信をスイッチが認識し、正しい DHCP サーバとの通信を監視することにより、IP アドレスを払い出したクライアントの MAC アドレスの情報を保持する。これにより、そのスイッチに接続し、勝手に静的に IP アドレスを設定して通信することを防ぐことができる。大規模なネットワークでは、これらのメリットから、DHCP Snooping 機能をもつスイッチを導入していることが多い。

本研究で提案する手法は、rogue DHCP server そのものである。そのため、DHCP Snooping により防御策を講じている場合に問題が生じる。その解決には、いくつかの方法が考えられる：

- (1) アグリゲーションスイッチで DHCP Snooping 機能を有効化し、フロアスイッチでは DHCP Snooping 機能を使わないようにした上で、フロアスイッチに DHCP サーバを注入し、フロアスイッチのポートと各端末への接続を物理的に守る
- (2) DHCP サーバを注入する際に使用するポートを”trust”として設定し、そのポートを物理的に守る

(1) は、アグリゲーションスイッチのレベルで DHCP Snooping の設定を行う方法である。この方法では、各フロアスイッチの中で完結する通信には DHCP Snooping 機能が動作しない。そのため、既設の端末に接続されている LAN ケーブルを抜き取り、DHCP サーバとして動作している PC に接続することにより rogue DHCP server を注入することが可能となってしまう。これを防ぐには、ポートを物理的に守る必要がある。たとえば、フロアスイッチを鍵付きの端子箱に設置したり、端末側の LAN ケーブルに取り付け、鍵がないと抜き取れないようにする製品を使うなどの方法がある。

(2) は、DHCP Snooping を行っているスイッチに DHCP サーバを注入する際に適用可能な方法である。従来の DHCP サーバに対する設定と同様に、DHCP サーバの注入を許可するポートに対して”trust”の設定を行う。その上で、(1)と同様にそのスイッチとポートを物理的に守ればよい。

4. 評価

我々の提案する DHCP サーバ注入による局所的な配信環境切り替え手法について、実際に環境を構築し、実験を行った。

4.1 レイテンシ計測実験

現在筑波大学では、全学計算機として 985 台の端末を PXE によるネットブートをを用いて提供している。筑波大学全学計算機システムと実験環境の概要図を図 1 に示す。配信サー

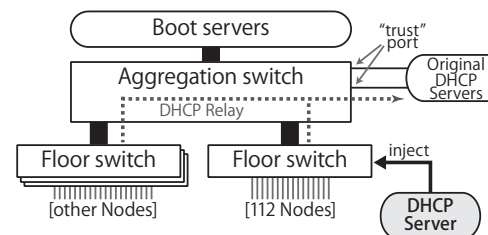


図 1 実験環境
Fig. 1 Experiment environment



図 2 施錠可能なコネクタボックス
Fig. 2 Lockable connector box

バ群と 2 台の DHCP サーバはアグリゲーションスイッチに接続されている。各部屋の端末はフロアスイッチに接続され、各フロアスイッチはアグリゲーションスイッチに接続され、それぞれのフロアスイッチは異なる VLAN に設定されている。アグリゲーションスイッチでは、DHCP サーバが接続されているポートは”trust”として設定され、また配下のフロアスイッチからの DHCP 要求を DHCP サーバにリレーするように設定されている。

本実験では、フロアスイッチに DHCP サーバを注入し、そのフロアスイッチに接続されている 112 台の端末のみに対して全学計算機とは別の環境を配信する。DHCP サーバの注入を行う際、スイッチのポートを物理的に守る必要があるが、今回は図 2 に示すような施錠可能な RJ-45 コネクタボックスを使用した。

実験を行う端末室には 112 台の端末が設置してあり、それらはスタックされたフロアスイッチを経由してアグリゲーションスイッチに接続されている。本実験では、このフロアスイッチに施錠可能なコネクタボックスを接続し、実験のために持ち込んだ DHCP サーバをフロアスイッチに接続することができるようにした。

アグリゲーションスイッチには Cisco 社の Catalyst 6509E を、フロアスイッチには Catalyst 3750E をそれぞれ使用し、全学計算機側 DHCP サーバは 1000BASE-T の回線を 4 本束ねてアグリゲーションスイッチに接続されている。注入する DHCP サーバは 1000BASE-T の回線を 1 本でフロアスイッチに接続する。アグリゲーションスイッチ-フロアスイッチ間は 10GBASE-LR の回線 1 本で接続されている。

このような実験環境で、DHCP サーバを注入した場合にクライアントがどう振る舞うかを観測する実験を行った。実際に PXE によるネットブート処理を行おうとすると、リクエストの集中を再現することが難しいという問題がある。そこで、ネットブートを行う際と同等のリクエストを行うプログラムを作成し、そのプログラムを用いてリクエストが集中した

際の振る舞いを観測した。まず本来の全学計算機 DHCP サーバを使ったネットブートの際の通信をキャプチャし、クライアント端末がどのような DHCP 要求を行うかを記録した。その後、Linux 上で PXE 起動時と同様のリクエストを送出するプログラムを作成し、本来の全学計算機 DHCP サーバと注入した DHCP サーバのそれぞれの応答が到着するまでの時間を計測した。

実験では、本来の応答と注入した DHCP サーバからの応答それぞれについて、DHCPDISCOVER パケット送信から DHCPPOFFER パケット受信までの時間を計測した。その上で、「本来の DHCP サーバの応答時間」と「注入した DHCP サーバの応答時間」の差をアドバンテージと定義し、61 台の端末を使い、同時にリクエストを送信する端末の数を変えながら実験を行った。

同時リクエスト端末数を毎秒 1 台から毎秒 4 台まで変化させた場合のアドバンテージ分布を図 3 から図 6 に示す。横軸はアドバンテージをミリ秒単位で表し、縦軸は 0.2 ミリ秒ごとの区間についての頻度を表す。同時リクエスト端末数を毎秒 3 台以上になると、注入した DHCP サーバの応答よりも先に、本来の DHCP サーバが応答が届くケースが生じた。

端末から本来の DHCP サーバまでの経路について、ping コマンドを用いて応答時間を計測すると約 0.140 ミリ秒なのに対し、端末から注入した DHCP サーバまでの経路では、約 0.196 ミリ秒という結果となった。使用機器の性能にも依存するが、このような結果であってもなお注入した DHCP サーバの方が先に応答するケースが多いのは、アグリゲーションスイッチによる DHCP リレーによる遅延が大きいためであると考えられる。

毎秒 1 台で実験した場合、注入した DHCP サーバの応答時間は平均 0.550 ミリ秒であったのに対し、DHCP リレーを経由する本来の DHCP サーバの応答時間は平均 3.82 ミリ秒と、大きく差が開いている。これは、DHCP リレー処理において、ネットワーク層での処理が行われるためだと考えられる。この差は、同時リクエスト端末数の増加に伴って小さくなっていくという結果となった。61 台の端末のうち、注入した DHCP サーバの応答を先に受け取った端末の割合（成功率）を図 7 に示す。毎秒 3 台から徐々に低下し、毎秒 6 台程度から成功率が 50 % を切るという結果となった。

4.2 運用方法

実験の結果から、一秒あたり 2 台までであれば、安定して異なる環境を配信することができるということがわかった。一般に、利用者が一台ずつ手欲説電源を投入する場合は、この頻度以下になる。また、その手間が煩雑である場合、Intel AMT(Active Management Technology) などの技術を用いて遠隔から電源を投入する方法も考えられる。その場合、電

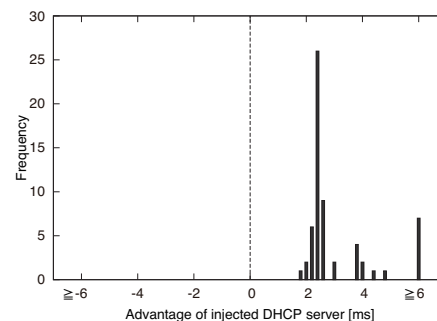


図 3 アドバンテージ分布 [1 台/秒]

Fig. 3 Advantage result in case of 1 node/s.

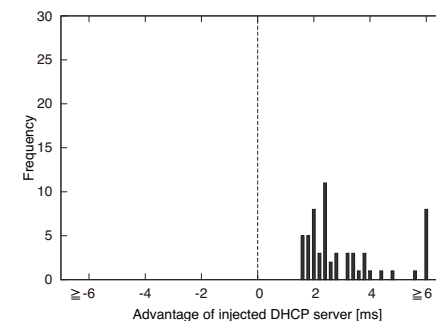


図 4 アドバンテージ分布 [2 台/秒]

Fig. 4 Advantage result in case of 2 nodes/s.

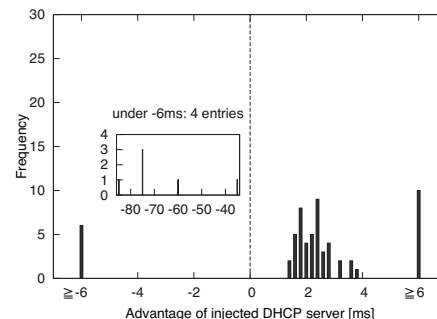


図 5 アドバンテージ分布 [3 台/秒]

Fig. 5 Advantage result in case of 3 nodes/s.

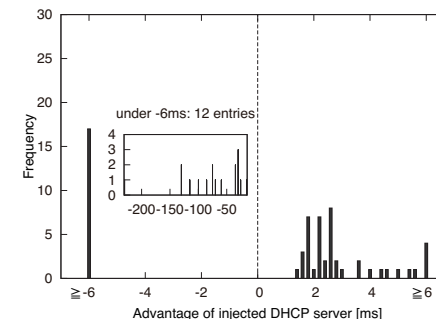


図 6 アドバンテージ分布 [4 台/秒]

Fig. 6 Advantage result in case of 4 nodes/s.

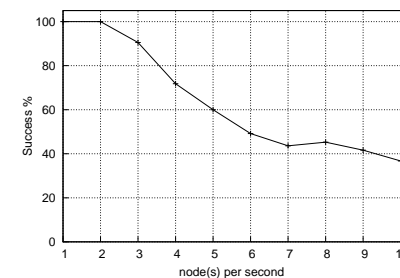


図 7 同時起動台数と成功率

Fig. 7 Success rate and the number of simultaneous nodes

源の投入間隔を毎秒 2 台以下に抑えることにより、安定して配信することが可能となる。

また、安定して異なる環境を配信するための方法として、PXE に優先度の概念を取り入れることが考えられる。DHCP についてはオプション部が拡張可能であるため、優先度を示すフィールドを追加することができる。PXE に関しては、PXE クライアントにおいて優先度フィールドを確認するよう変更すればよい。一つでも優先度フィールドを持つ DHCP 応答を受け取った場合、数秒間 DHCP 応答を待ち、その間受信した応答の中でもっとも優先度の高いものを利用するように拡張することで実現可能となる。

4.3 応用

本研究で提案する手法を用いることで、以下のような環境を局所的に構築することが可能となる。

ネットブート実験

PXE を用いたネットブートシステムの開発、評価を行う際に、仮想計算機上で実験を行うのではなく、実際に実機を用いて実験を行うことが可能となる。我々は、このシステムを用いて、仮想計算機のディスクイメージを P2P 方式で配布する研究の評価実験を 112 台の計算機を対象に行っている。

CD/DVD デュプリケーションシステム

端末室の計算機には、利用者への便宜のため、書き込み可能な CD/DVD ドライブを備えているという特徴がある。これを利用し、ディスクに書き込みを行うための環境を局所的に配信し、一斉に複製を行う大規模なデュプリケーションシステムを構築することが可能である。学内団体などにおいて、数十枚の CD を作成する必要がある場合に、プレス業者に依頼するよりも安価に複製を行うことが可能となる。

仮想計算機を用いたミドルウェアの評価

計算機上で複数の仮想計算機を構築、運用するようなミドルウェアを開発する場合、PC クラスタを調達してその上で実験を行う必要がある。その環境が手元がない場合、仮想計算機を用いてその評価実験を行おうとすると、仮想計算機上で仮想計算機を構築する形となってしまう、実現可能であっても性能の低下が起こってしまう。提案手法を用いることで、一時的に多数の実計算機を用いた評価環境を構築することが可能となる。

5. おわりに

本論文では、既に PXE を使ったネットブートシステムを構築している環境において、局所的に異なる計算機環境を配信する仕組みについて述べた。PXE で利用される DHCP が「早

い者勝ち」である点に着目し、既設の DHCP サーバよりも先に応答を返せるような DHCP サーバをネットワークに接続する。これにより、先に応答を返すことができる範囲について、既設のものとは異なる計算機環境を配信することが可能となる。

実際に筑波大学の端末室を用いて実験を行ったところ、DHCP リレーによる遅延により、既設の DHCP サーバの応答よりも先に、接続した DHCP サーバが応答できることがわかった。また、同時に DHCP リクエストを送出する端末の数を増やすと、DHCP リレーによる遅延分が縮まり、既設の DHCP サーバが先に応答するケースがあることがわかった。

今後は、提案手法を大学で実際に運用する際に問題となる、“trust” ポートの問題や鍵の取り扱いなどについて検討し、また CD/DVD デュプリケーションシステムの実装などを行う。

謝辞 筑波大学の全学計算機の運用支援を行っている富士通株式会社には、運用に関する情報を提供していただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Intel Corp.: Preboot Execution Environment(PXE) Specification Version 2.1 (1999). <http://download.intel.com/design/archives/wfm/downloads/pxespec.pdf>, accessed 2012-02-03.
- 2) 庄司文由, 隅谷孝洋, 石井光雄: 教育端末の遊休時間を利用した HPC 環境, 学術情報処理研究, Vol.9 (2005).
- 3) 株式会社ミントウェブ: VID システム. <http://www.mintwave.co.jp/product/thinclient/vidsystem.html>, accessed 2012-02-08.
- 4) 近堂徹, 田島浩一, 岸場清悟, 西村浩二, 相原玲二: PC クラスタによる認証スイッチの認証性能評価システム, 情報処理学会研究報告. DSM, Vol.2007, No.93, pp.25-30 (2007).
- 5) 近堂徹, 田島浩一, 岸場清悟, 西村浩二, 相原玲二, 前田香織: ディスクレス PC クラスタを用いたネットワークシステム検証環境の構築, 情報処理学会研究報告. EVA, Vol.2008, No.30, pp.25-30 (2008).
- 6) 古橋貞之: pxe-pdnhcp. <http://svn.coderepos.org/share/lang/c/pxe-pdnhcp/>, accessed 2012-02-08.
- 7) Etherboot Project: proxydhcp. <http://etherboot.org/wiki/proxydhcp>, accessed 2012-02-08.
- 8) Droms, R.: Dynamic Host Configuration Protocol, RFC 2131 (1997).