

## 小規模ローカルプライベートクラウド構築技術に関する研究

研究代表者	荒川 豊	九州大学 大学院システム情報科学研究所	助教
共同研究者	田頭 茂明	九州大学 大学院システム情報科学研究所	特任准教授
共同研究者	福田 晃	九州大学 大学院システム情報科学研究所	教授

### 1 概要

本研究では、会議室などにおけるコンピュータ同士での即時的なファイル共有をインフラなしで実現することを目的とし、ローカルクラウドストレージという概念を提案する。そして、それを実現するために必要な無線機能とメモリを内蔵したローカルクラウドクライアント、ローカルクラウドクライアント間の通信を効率的に行う通信プロトコルであるダイレクトネイバーキャスト (DNC: Direct Neighbor Cast) を提案し、設計、実装、評価を行った。

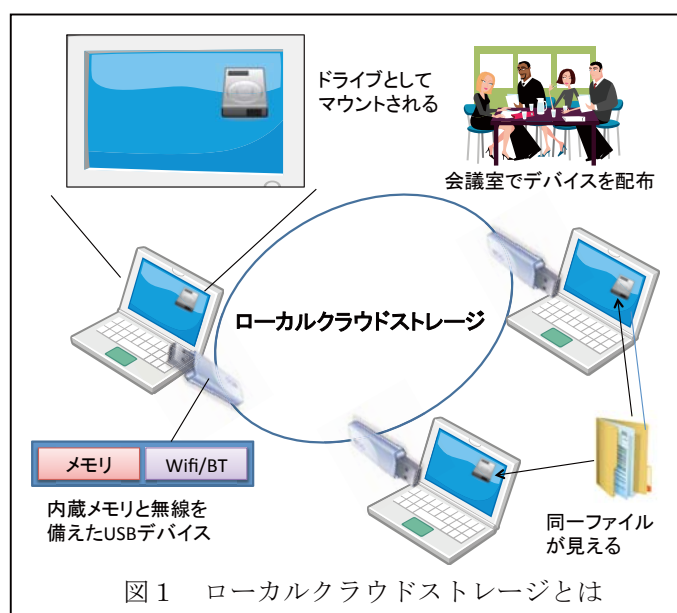
ファイル共有では、コンピュータ間での同期が重要となる。特に、本研究の目的を達成するためには、1対多の高速な同期が必要不可欠である。そこで、我々は、通常信頼性の観点からファイル転送には用いられないUDPブロードキャストを用い、アプリケーションレイヤ上に再送機能を持たせたプロトコル、DNCを提案した。DNCの再送制御は、パケットロスの少ない環境に有効なNACKを用いた手法を適用することにより、再送にかかるオーバーヘッドを低減している。

本研究では、提案通信プロトコルDNCを5台(送信1台、受信4台)のPC上で動作させ、周りの電波環境を低負荷、中負荷、高負荷と変えた場合の信頼性及び転送速度を評価した。その結果、高負荷(同一チャネルを複数の通信が利用している状態)においても最大17回の送信で100%転送でき、平均的には2回の送信(最初+1回目の再送)で転送できることを明らかにした。また、受信PCが増加した場合、ユニキャスト通信の転送時間が増大するのに対して、提案手法は転送時間の増大を抑制し、受信PCが4台のときに約44%の転送時間で済むことを明らかにした。

### 2 はじめに

近年、ネットブックやタブレット端末の台頭により、コンピュータを持ち運ぶ機会が増え、屋外や喫茶店など様々な場所でコンピュータ端末を操作することが一般的になってきた。これに伴い、このような場所で複数のユーザがファイルの受け渡しやファイルの共有を行う機会が増えてきた。また、CO2排出量削減のため、今まで紙に印刷して配布していた資料をデジタルデータのまま配布する需要も増えてきていると考えられる。例として、取引先の企業を訪れた営業者が、相手企業でプレゼンテーションを行う際、プレゼンテーションで使用する資料を参加者に配布したい場合や、喫茶店で複数のユーザがデジタルカメラやPCの中に入っている写真を共有したい場合などが考えられる。従来このような状況では、メールに添付したり、Dropbox等のファイル共有サービスの利用、あるいはUSBメモリなどの記憶媒体を用いた方法が用いられることが多い。メールやファイル共有サービスは、インターネット接続が必須であり、インターネットを介することで情報流出の可能性があるという問題がある。また、USBメモリなどの記憶媒体は、人数に比例して、ファイル配布の手間が増大するという問題、情報が含まれるUSBメモリの紛失といった問題がある。

そこで、このような環境でのファイル共有に



特化したローカルクラウドストレージによるファイル共有を提案する[2].提案システムの概要を図1に示す.図1では,複数台のPCに無線通信可能なメモリデバイス(ローカルクラウドクライアント)が挿入されており,PC間でクラウドストレージが形成されている.図に示すように,各PCでは,OS上にマウントされたドライブとして見えており,各ユーザはそのドライブにファイルを置くという簡潔な作業だけで,全員でのファイル共有が可能になる.本研究では,このローカルクラウドストレージという概念,それを実現するためのローカルクラウドクライアント,ローカルクラウドクライアント間の通信を効率的に行う通信プロトコルであるダイレクトネイバーキャスト(DNC: Direct Neighbor Cast)を提案する[3].

本システムに不可欠なメモリと無線を内蔵したデバイスに関しては,「無線 LAN 内蔵フラッシュメモリカード共同規格策定フォーラム」が設立されるなど盛り上がりはしているが,事実上,SDメモリーカード内にWiFiモジュールを内蔵したEye-Fiしか存在していなかった.また,そのEye-Fiを改造することは困難であったことから,昨年度はローカルクラウドストレージ間のデータ転送の高速化に関する研究を進めた.(なお,最近になってSDメモリーカード内にWiFiだけでなくCPUまで内蔵したServersman@SDが登場したため,今年度はそのデバイス上にプロトコルを実装し,実際にパソコン間で利用できるシステムを構築する予定である.)

### 3 想定環境と従来手法

#### 3-1 想定環境

提案手法では,近距離にいる相手との通信を想定している.近距離通信とは,様々な定義があり,NFC(Near Field Communication)などによる数センチ程度の範囲による通信も含まれるが,今回は,十数メートル以内にいる数人から十人程度のユーザが同じテーブルのまわりや同じ部屋の中などで行う通信と定義する.

例として,取引先の企業を訪れた営業者が,相手企業でプレゼンテーションを行う際,プレゼンテーションで使用する資料を参加者に配布したい状況が考えられる.この場合,現在は資料を紙で印刷し,後日電子データをメールで送信するが多い.他の例として,街中にある喫茶店で友人同士がデジタルカメラで撮影した画像を交換するという状況が考えられる.この例でも,ユーザはインターネットに接続できない場合があり,既存の通信インフラに頼らずに通信を行う手段が必要になってくる.また,上に挙げた2つの例を含め,このような通信はその場限りの一時的なものが多く,事前に相手の端末の識別子などを交換したり,前回通信した時の情報を使用することは困難な場合が多い.

#### 3-2 従来手法

想定環境のようなファイル共有において,現在用いられる主な手法として,インターネット経由での共有,アドホック接続を活用した共有,USBメモリなどの記憶媒体を利用した共有が挙げられる.

以下にそれぞれの共有について詳しく述べる.

##### (1) インターネット経由

近距離にいる人とデジタルのファイルを共有したい場合,インターネットを介した通信はよく利用される.これにはメールによる送信やファイルサーバの利用,Dropboxなどの外部サービスを介した共有などが挙げられる.この方法は,端末全員が通信インフラを使用できなければならず,通信速度が低速の場合が多いなどのデメリットがある.

##### (2) アドホック接続

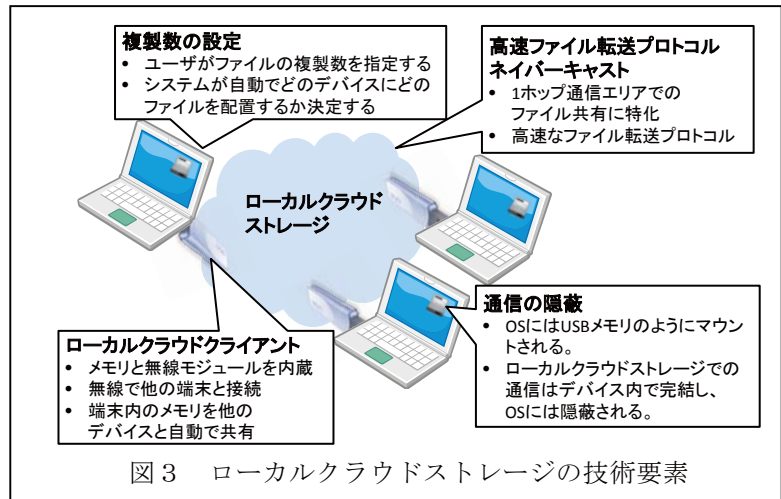
アドホック接続とは,Wi-FiのアドホックモードやBluetooth通信など,インターネットなどのインフラを用いず直接通信相手と無線接続をする方法を指す.この方法は,通信インフラを必要としないというメリットがある.しかし,全ての端末が対象の通信デバイスをサポートしている必要があり,ネットワークやアプリケーションの設定が面倒なことが多く,多対多の通信が困難であるなどのデメリットがある.

##### (3) 記憶媒体の利用

USBメモリなどの物理的な記憶媒体を通したファイル共有も頻繁に行われる.この方法は通信相手と記憶媒体を交換することで共有でき,記憶媒体を全員分用意する必要がないというメリットがある.しかし,複数人でファイルを共有する場合や頻繁にファイルが更新される場合では,何度も記憶媒体を交換する必要があり,煩雑である.

#### 4 ローカルクラウドストレージ

ローカルクラウドストレージの概要を図2に示す。本手法の大きな特徴は、ローカルクラウドクライアントと呼ばれるデバイスを複数個使用する点である。ローカルクラウドクライアントは、無線モジュールと記憶領域を内蔵しており、使用するローカルクラウドクライアント同士はあらかじめ無線でペアリングされている。あらかじめ複数のデバイスをペアリングして、通信を隠蔽することにより、近距離無線を直感的に利用することを可能にする[3]。このローカルクラウドクライアントをUSBメモリのように端末



に挿すと、端末のOS (Operating System) には、USBメモリが挿入された状態と同じように記憶領域として認識される。あるユーザが、マウントされた記憶領域にファイルを書き込むと、ローカルクラウドクライアントに内蔵された無線デバイスを用いてクライアント間でファイルが同期される。このように、USBメモリのように使うだけで、実はN人でのファイル共有ができるというのが提案の利点である。また、このような即時的なファイル共有方式は、インフラが不要である点、インターネットを介さないため情報漏洩の危険が低い点など、実現すればさまざまな利点もある。以下に、ローカルクラウドストレージを用いたファイル共有の詳細について示す。

このローカルクラウドストレージを実現するためには、a)ファイル分散管理手法、b)高速データ転送プロトコル、c)ノードの離脱・参加制御、d)初期ペリング、e)ローカルクラウドクライアントの開発、f)競合回避同期手法、などさまざまな研究要素がある。本年度は、この中でb)の高速データ転送プロトコルに的を絞って研究を行った。

#### 5 ダイレクトネイバーキャスト (DNC : Direct Neighbor Cast)

ダイレクトネイバーキャストは、ローカルクラウドストレージによる効率の良いファイル共有を実現するプロトコルである。ダイレクトネイバーキャストでは、UDPブロードキャストをベースとしている。ブロードキャストを用いているので、同一セグメントにいる複数の端末に同一の packets を届けることができ、高速な転送を実現している。また、ダイレクトネイバーキャストではNACKを用いて信頼性を確保する。NACKとはNegative Acknowledgmentの略で、受信側がパケット受信に失敗した場合に送信側に再送要求を送り、送信側が再送を行う手法である。

##### 5-1 信頼性の確保

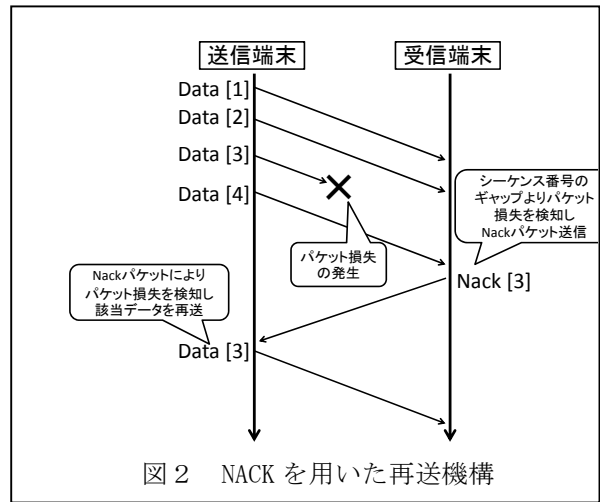
ローカルクラウドストレージ上での通信で求められる要件は、複数端末間でファイルを高速転送できることである。ファイルの同期を行うので、信頼性は最も重要視される。

通常、ファイル転送のような信頼性が重視される通信にはTCPによるユニキャストが一般的である。

この例として、SambaやFTPなどが挙げられる。これらのファイル転送プロトコルは全てTCP上で動作している。しかしながら、1対1で順次ファイルをコピーしていくユニキャストは、共有相手が増加するに従い、同期時間が比例して増加するという欠点がある。ローカルクラウドストレージで行われる通信は、主に1台の端末が編集したファイルを他の全ての端末に転送することが多いと考えられるため、1対多の通信が適している。一方、ブロードキャストは、同一セグメント上にいる複数の相手に同時にパケットを送信することができる。そのため、同一のデータならば、人数に関係なく同じ時間で送信することが可能となる。

ただし、ブロードキャストを用いる欠点として、上位層にUDPを使用することによる信頼性の低さが挙げられる。信頼性を重視しているため、1対1での接続上での通信を行うTCPとは異なり、UDPは速度を重視し、接続レスでの通信を行う。よってブロードキャストをそのまま信頼性を必要とするファイル転送に用いることはできない。そこで、ブロードキャストにアプリケーション層で再送制御を用いて信頼性を確保した、ダイレクトネイバーキャストを提案する。

TCP では、通信の信頼性の確保に ACK を用いる。ACK とは、Acknowledgement の略であり、受信端末がパケットを正常に受信できた際に送信端末にパケットを送り知らせる手法である。しかし、ダイレクトネイバーキャストではブロードキャストを用いるため、ACK を用いると、ACK パケットでネットワークがあふれる可能性が高い。そこで、ダイレクトネイバーキャストでは、NACK を用いて信頼性を確保する。ダイレクトネイバーキャストでファイルを送信する場合、各パケットに一意で連続したシーケンス番号を割り振る。受信端末は受信したパケットのシーケンス番号を見ることで、受信できていないパケットを知ることができる。受信端末は再送要求として受信できなかったパケットのリストを送信する(図2)。一般にNACKは、ACKを用いる場合と比較して、エラーが比較的小さい場合に高速に動作するという特徴がある。



### 5-2 パケット種別

ダイレクトネイバーキャストでは、ファイルの共有に以下の3種類のパケットを使用する。

#### (1) DATA パケット

送信端末が、ファイルを操作した端末がパケットを一定サイズに分割し、連続したユニークなシーケンス番号を付与した後送信されるパケット。

#### (2) FINISH パケット

送信端末が全ての DATA パケットを送信し終えた場合に送信するパケット。DATA パケットの中には再送されるパケットも含まれる。

#### (3) NACK パケット

受信端末がパケットの受信失敗を検知した場合に送信されるパケット。受信に失敗したパケットのリストを送信する。

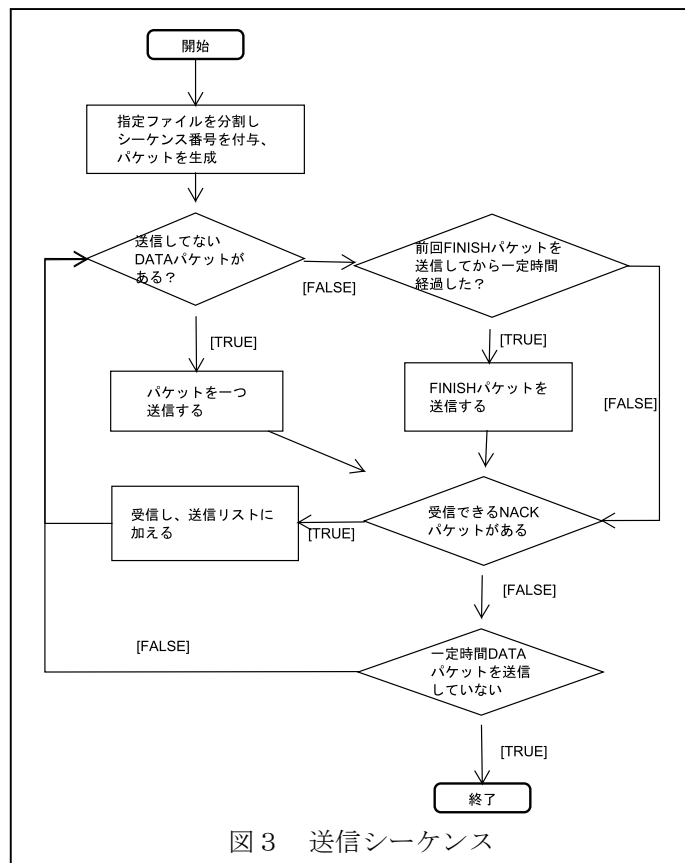
以下の送信シーケンスと受信シーケンスではこれらのパケットを用いてファイルの送受信を実現している。

### 5-3 送信シーケンス

送信の流れを図3に記す。送信端末では、まず該当ファイルを一定の大きさに分割し、それぞれにシーケンス番号を付与する。これは、通常UDPではシーケンス番号を付与しないため、アプリケーションでシーケンス番号を確保する必要があるためである。1つのシーケンス番号は1パケットに対応する。その後全てのパケットを送信リストに追加し、パケット送信処理に入る。送信リストにパケットがある場合、そのうちの一つを送信し、送信リストから削除する。すべてのパケットを送信し終えた場合、一定時間おきにFINISHパケットを送信する。また、受信端末からのNACKパケットを受け取った場合、送信リストに該当パケットを加える。送信していないパケットがなくなってから一定時間経過してもNACKパケットを受信しなかった場合、全ての受信端末が受信を終了したと判断し、送信シーケンスを終了する。

### 5-4 受信シーケンス

受信の流れを図4に記す。受信シーケンスは



開始されるとパケット受信待ち状態に入る。パケットを受信するとそのパケットの種類を確認する。この後の動作は受信したパケットの種類に応じて以下の3種類に分かれる。

**(1) DATA パケット**

受信したパケットが DATA パケットの場合、該当パケットを過去に受け取ったかを確認する。

過去に受け取ったことがあるパケットの場合、何もせずにパケット受信待ち状態に戻る。始めて受信したパケットの場合、そのパケットを記憶しパケット受信待ち状態に戻る。

**(2) FINISH パケット**

受信したパケットが FINISH パケットの場合、シーケンス番号を基にすべてのパケットを受信したか確認を行う。受信できていないパケットが存在した場合、該当パケットが記された NACK パケットを送信する。すべてのパケットを受信している場合、パケットからファイルを作成し、シーケンスを終了する。

**(3) NACK パケット**

受信したパケットが NACK パケットの場合、何もせずにパケット受信待ち状態に戻る。

以上をすべてのシーケンス番号のファイルを受信するまで続ける。全てのシーケンス番号のファイルの受信に成功するとそれらのパケットからファイルを作成し終了する。

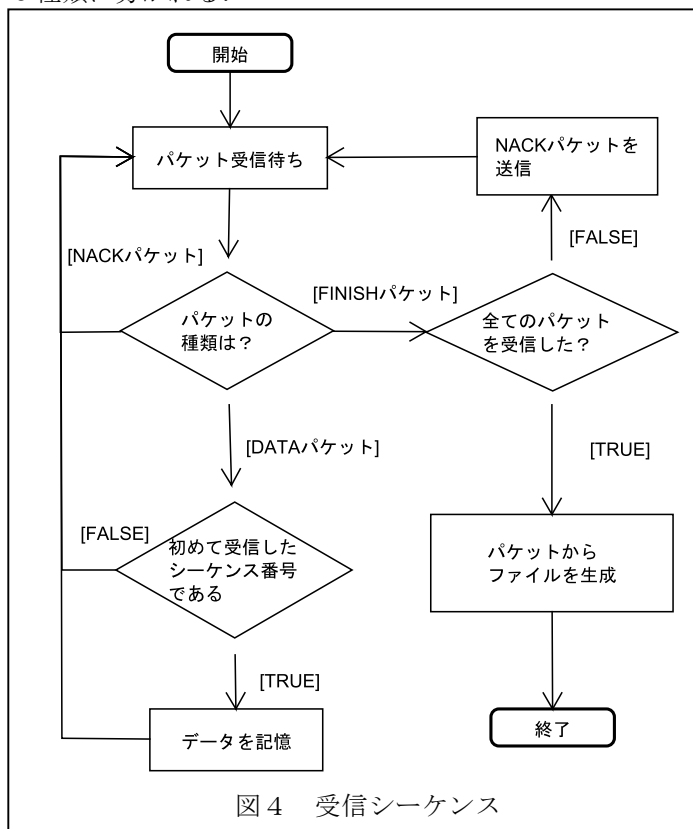


図4 受信シーケンス

**5-5 フェーズ**

ローカルクラウドストレージを用いた共有は、ローカルクラウドクライアントの初期化とペアリングなど通信前に行う「初期化フェーズ」と、実際にペアリングされたデバイスを用いたファイル共有を行う「共有フェーズ」に別けることができる。

**(1) 初期化フェーズ**

初期化用のソフトウェアを搭載した端末に全てのクライアントを接続し、a)ストレージの消去、b)ネットワーク設定 (SSIDの共有とアドホック接続の設定)、c)秘密鍵の共有 (通信を暗号化するため)、という3つの動作を行う。

**(2) 共有フェーズ**

共有フェーズは初期化フェーズ終了後、ユーザが端末にローカルクラウドクライアントを接続した時点で開始される。各クライアントは自身のネットワークを初期化フェーズで設定されたネットワークに設定する。複数の端末がネットワークに加入している場合、ファイルの同期が行われる。各クライアントは自信のストレージを監視し、ユーザによるファイルの操作があった場合、操作に応じた情報を他のクライアントに送信する。このときに用いられるプロトコルが後述するダイレクトネイバーキャストである。

**5-6 レプリケーション**

ローカルクラウドストレージでは、共有するファイルのレプリケーション数が設定できる。レプリケーション数とは、共有するファイルの複製が何台のデバイスで保持されるかの数である。すなわち、レプリケーション数は0以上かつ共有しているクライアントの数未満までの数が選択できる。ファイルのインデックスは常に全員で共有され、読み込もうとしたファイルが手元にキャッシュされていなかった場合はその時点で該当ファイルを保持しているデバイスからファイルの転送を行う。レプリケーション数には以下のトレードオフを有する。

レプリケーション数が多い場合のメリット**(1) 耐障害性**

何らかの原因で1台のデバイスが他のデバイスから認識できなくなった場合でもファイルの読み込みに失敗する可能性が少ない。例えば、レプリケーション数が0の場合、ファイルを所有しているクライアントは1台となる。そのクライアントがネットワークから切断された場合、他の端末はファイルの読み込みに必ず失敗する。しかし、レプリケーション数が大きく、他の端末が同じファイルを所有していた場合、他の端末からのファイルの要求に応じることができる。

**(2) ファイルの読み込み速度の高速化**

ファイルのレプリケーション数が多い場合、読み込もうとしたファイルが手元のデバイスにキャッシュされている可能性が高い。これによりファイルの読み込み速度が高速な場合が多くなると考えられる。

レプリケーション数が少ない場合のメリット**(1) 共有できるストレージ容量**

例として2GBの容量をもつ5台のクライアントを共有する場合を考える。レプリケーション数が0の場合、共有できるストレージ容量は10GBとなる。レプリケーション数が4の場合、共有できるストレージ容量は2GBとなる。

**(2) 通信量の削除**

ファイルを作成/更新した際に送信する端末が少なくなるため、ファイルの作成や更新を頻繁に行う場合、全体の通信料が減少する場合がある。ただし、ダイレクトネイバーキャストを使用している場合、1度に複数の端末にファイル送信が可能のためあまり通信量はあまり削減できないと考えられる。

**6 性能評価**

本研究では、信頼性および転送速度の観点から、提案したDNCの評価を行った。実験環境として、周辺の無線LANの使用状況を変化させた、低負荷、中負荷、高負荷の3つの環境を用意した。低負荷環境は、DNC以外の通信がほとんど発生していない環境を低負荷環境と定義する。今回の測定では、使用チャンネルおよび使用チャンネルと干渉する可能性のあるチャンネルにはアクセスポイントが見えていない環境を使用した。中負荷環境は、会社のオフィスのようにDNC以外の通信がある程度の量発生している環境を中負荷環境と定義する。今回の測定では、測定に使用したチャンネルと同じチャンネルに2つのアクセスポイントが見えている環境を使用した。高負荷環境は、意図的にダイレクトネイバーキャスト以外の通信を発生させた環境を高負荷環境と定義する。今回は、2台の端末が妨害パケットとして、1000times/sec・1000Bytes/packetのpingを発生させている環境とする。

まず信頼性の評価を行った。表1に、各環境において、1台の送信端末が1台の受信端末に1MiBのファイルを1000バイトごとに分割しシーケンス番号を付与しDNCで送信した場合の受信完了までの平均送信回数と、その最大送信回数を示す。各値は10回実験を行った平均値である。負荷が高くなるに従い、最大送信回数が増加しているが、平均的には2回の送信（最初の送信+再送）でデータを100%送信できることを示している。

表1 負荷ごとの平均送信回数と最大送信回数

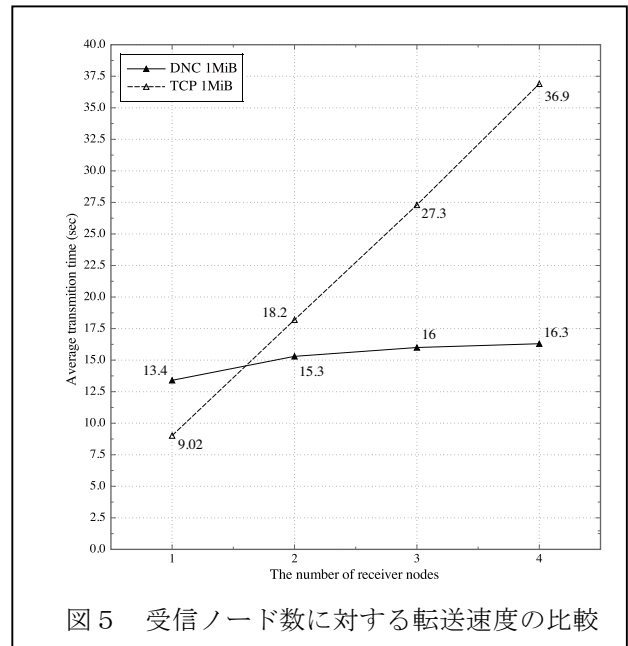
	低負荷環境	中負荷環境	高負荷環境
平均送信回数(回)	1.097	1.109	1.365
最大送信回数(回)	6	9	17

次に、転送速度に関する評価として、TCPユニキャストと比較した場合の転送にかかる時間を比較した。今回の実験では1台の送信端末と1台から4台の受信端末を用いて行い、送信端末は、TCPユニキャストまたはダイレクトネイバーキャストを用いて、各受信端末に1MiBのファイルを1000バイト毎に分割して送信する。受信端末数が1台のときは、TCPユニキャストのほうが早く転送が完了していることが分かる。これは、TCPユニキャストは再送をデータリンク層やトランスポート層で行うのに対し、DNCでは再送をアプリケーション層で行っているため、オーバーヘッドが大きいことや、現在はフロー制御などの実装を行っていないなどの実装上の問題が大きいと考えられる。しかし、TCPユニキャストでは、端末数に比例して転送時間が増

加しているのに対して、DNC は増加が抑制されていることがわかる。これは DNC がブロードキャストをベースとしたプロトコルであるため、1 パケットを複数端末に送信することが可能であるからである。結果として、受信端末が 4 台の場合、DNC は約 44%の時間でファイルの転送でき、さらに台数が増加した場合、この差はさらに顕著になると思われる。以上のことから、本研究で提案したプロトコルが、1 対多の高速なデータ通信に有効であることを示した。

## 7 おわりに

本研究では、ローカルクラウドストレージという新しいデバイスを用いた新しいファイル共有手法を提案した。中でも、複数のローカルクラウドクライアント間で高速なデータ同期を実現するためのプロトコルとして、UDP ブロードキャストを用いた、ダイレクトネイバーキャスト (DNC : Direct Neighbor Cast) を提案した。DNC では、再送制御を持たない UDP に対して、アプリケーションレイヤ上で再送機能をもうけることで、TCP と同等の信頼性を確保しつつ、1 対多の一斉送信を実現している。評価結果から、提案プロトコルは、100%のデータ転送を達成できること、また受信者が増大しても転送時間の増大を抑制し従来方式と比較して 44%程度で送信できることを示した。今後は、本プロトコルをローカルクラウドクライアントにインストールして、実際に端末間でデータの共有を実現することである。ローカルクラウドクライアントに関しては、世界で初めて、SD カード内に PC を内蔵 (CPU, メモリ, WiFi内蔵) したフリービット社の Serversman@SD を利用して実現する予定である。



## 【参考文献】

- [1] 田中裕大, 荒川豊, 田頭茂明, 福田晃, “近距離無線環境のためのローカルクラウドストレージの提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, 通信方式研究会, Vol. 110, No. 269, CS2010-43, pp. 35 - 40, 2010年11月11日.
- [2] 田中裕大, 荒川豊, 田頭茂明, 福田晃, “UDP ブロードキャストを用いた高信頼性データ通信プロトコルの実装と評価,” 情報処理学会研究報告, システム評価研究会, Vol.2011-EVA-34, No.3, pp.1 -- 7, 2011年3月7, 8日.
- [3] Yuta Tanaka, Atsushi Noda, Yutaka Arakawa, Shigeaki Tagashira, Teruaki Kitasuka, Takashi Kitaguchi, Naoki Tsumura, and Akira Fukuda, “Symbolic Device for Short-range Wireless Pairwise Communication,” 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2010), No. B-3-3, June 16, 2010.

## 〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Symbolic Device for Short -range Wireless Pairwise Communication	8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies, No. B-3-3	2010年6月
近距離無線環境のためのローカルクラウドストレージの提案	電子情報通信学会技術研究報告, 通信方式研究会, Vol. 110, No. 269, CS2010-43, pp. 35-40	2010年11月
UDP ブロードキャストを用いた高信頼性データ通信プロトコルの実装と評価	情報処理学会研究報告, システム評価研究会, Vol. 2011-EVA-34, No. 3, pp. 1-7	2011年3月