

CDMA2000 1xEV-DO/無線 LAN 中継装置を用いた TCP・PPP セッション保持手法および評価

泉川 晴紀[†] 福家 直樹[†] 杉山 敬三[†] 野原 光夫[†]

[†] (株) KDDI 研究所 〒356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15

E-mail: {izumikawa, fuke, sugiyama, nohara}@kddilabs.jp

あらまし 屋外等の電波環境の良好な場所では CDMA2000 1x EV-DO (以下、1x EV-DO)を用いて直接通信を行う一方、屋内等の電波環境の良好でない場所に移動した場合は、屋外における PPP 及び TCP セッションを保持しながら無線 LAN による 1x EV-DO への中継接続へと接続形態を切り替える手法を提案する。まず、TCP 及び PPP のセッション保持手法について提案する。続いて、中継装置及び端末の試作を行い、提案手法を実装する。最後に、ネットワークエミュレータ及び商用 1x EV-DO 網を用いた特性評価を行なう。ネットワークエミュレータを用いた評価の結果、今回実装した TCP により従来の TCP と比較して直接接続から中継接続へ切り替える際の再送パケット数が減少することを確認した。また、商用 1x EV-DO 網を用いた評価の結果、中継装置を用いることで、建物内部の 1x EV-DO 不感地帯においても、安定して通信を継続することが可能であることを確認した。

キーワード 中継装置、セッション保持、CDMA 2000 1x EV-DO、無線 LAN

Implementation and Performance Evaluation of TCP and PPP Session Maintenance Mechanism using CDMA2000 1xEV-DO/Wireless LAN Gateway

Haruki IZUMIKAWA[†] Naoki FUKU[†] Keizo SUGIYAMA[†] and Mitsuo NOHARA[†]

[†]KDDI R&D Laboratories, Inc. 2-1-15 Ohara, Kamifukuoka-shi, Saitama, 356-8502 Japan

E-mail: {izumikawa, fuke, sugiyama, nohara}@kddilabs.jp

Abstract We propose a connection switching scheme from a direct connection to CDMA 2000 1x EV-DO (1x EV-DO) to a relay one by wireless LAN maintaining TCP and PPP session. When a user moves from outdoor, where the radio wave condition is good and the user connects directly to 1x EV-DO, to inside buildings where the radio wave condition is not good, the user can switch its connection to maintain good performance. We present the design, implementation and evaluation of the proposed TCP and PPP session maintenance mechanism. The result of evaluation using network emulator shows that, during connection switching, the proposed TCP reduces more packet losses than the traditional TCP. Furthermore, the result of evaluation using commercial 1x EV-DO shows that a user can resume its connection stably and maintain TCP and PPP session inside buildings using proposed connection switching scheme.

Keyword Relay equipment, Session maintenance, CDMA 2000 1x EV-DO, Wireless LAN

1. はじめに

近年、モバイル環境における高速インターネット接続への要求の高まりに伴い、高周波数帯を用いた高速移動体通信システム[1]の研究開発が盛んである。移動体通信システムの高速度に伴い、例えばオンラインゲームで遊びながら、またはアプリケーションや動画像などのコンテンツをダウンロード (DL)しながら帰宅し、帰宅後もそのままオンラインゲームやコンテンツの DL を続ける、というシーンが今後増加すると思われる。しかし、高周波数帯の電波は建物内において減衰しやすく、そのため建物内のユーザは十分なスループットを得られない可能性がある[2][3]。よって、ユーザは帰宅後も通信を継続するために、窓際等の電波環境の良好な場所に移動する必要がある。

また、現在においても、自宅にいる時間が短い等の理由から、移動

体のデータ通信カードのみをインターネット接続手段として保有するユーザは少なくない。そのようなユーザも窓際等の電波環境の良好な場所からアクセスする必要がある。

本稿では屋外等の電波環境の良好な場所では、高速移動体通信システムの1つである CDMA2000 1x EV-DO (Evolution Data Only) [4] (以下、1x EV-DO)を用いて直接通信を行う一方、屋内等の電波環境の良好でない場所に移動した場合は、屋外における PPP 及び TCP セッションを保持しながら無線 LAN による 1x EV-DO への中継接続へと接続形態を切り替える手法を提案する。

開発した中継装置をもちいることで、屋外における 1x EV-DO を用いたオンラインゲームやコンテンツの DL を、ユーザは建物内における 1x EV-DO の電波環境を気にすることなく安定した通信環境で継続することが可能となる。

また、自宅でのインターネット接続手段として 1x EV-DO を用いているユーザも、中継装置を用いることで、建物内において 1x EV-DO の電波環境によらず安定した通信を行うことができるとともに、建物内で行っていたオンラインゲームやコンテンツの DL を、屋外へ移動し 1x EV-DO への直接接続に接続形態を変更した後も継続することが可能となる。

まず、本稿で想定するシナリオについて述べ、想定シナリオで必要となる手法を提案する。続いて、シナリオに即したシステム構成を設計し、最後に評価及び検証を行なう。

なお、本中継装置には上記の機能とは別に、1x EV-DO/無線 LAN のマルチユーザ対応ワイヤレスルータの機能も具備されているが[5]、本稿では TCP 及び PPP セッション保持の機能のみについて報告する。

2. 想定するシナリオ及び従来手法

2.1. 想定シナリオ

筆者らが想定するシナリオを図 1 に示す。詳細は後述するが、中継装置には PCMCIA スロットが 2 つ用意されており、そのうち 1 スロットは無線 LAN インターフェースカード (以下、無線 LAN カード) が使用している。

- ・ 屋外では 1x EV-DO インターフェースカード (以下、1x EV-DO カード) を具備した移動端末から直接 1x EV-DO 網に接続する (図 1 (1))
- ・ 建物内に移動すると、電波の減衰など通信環境の悪化によるスループットの低下を防ぐため、移動端末の通信メディアを切り替える (同 (2))。ユーザは移動端末から 1x EV-DO カードを取り外し、窓際等受信環境の良い場所に設置してある中継装置に差し替える (同 (3))。その後、移動端末と中継装置は無線 LAN を用いて接続され、移動端末は中継装置を介して 1x EV-DO 網に接続する (同 (4))
- ・ 屋外へ移動する際は、再び 1x EV-DO への直接接続に切り替える

ここで、中継装置には TCP 及び PPP のセッション保持機能が具備されており、ユーザが上記のシナリオのように通信形態を変更させても、通信セッションは継続される。

2.2. 従来手法

通信セッションを保持しながらネットワーク間を移動する手法として、Mobile IP[6][7]や SIP[8]、i3[9]などを用いた、ターミナルモビリティやパーソナルモビリティに関する研究が盛んに行なわれている [10][11][12][13][14]。

上記研究では、無線 LAN ネットワーク間やセルラーネットワーク間

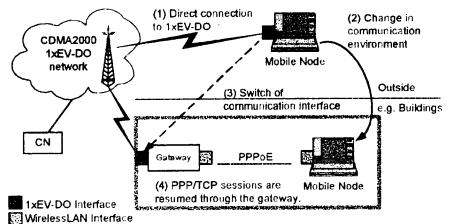


図 1 想定シナリオ

といった同種なネットワーク間を移動する形態や、セルラーネットワークから無線 LAN ネットワークといった異種なネットワーク間を移動する形態など、様々な形態を想定して検討が行なわれているものの、筆者らの知る限りにおいて、本稿のように移動体ネットワークへの直接接続から異種メディアを介した中継装置経由の接続に切り替える場合におけるセッション保持手法は見当たらない。

また、従来行なわれている研究は、新たにモビリティ管理用のサーバを設置する必要があったり、既存のアプリケーションとの互換性がないものがあるという問題がある。

3. PPP 及び TCP のセッション保持手法の提案

本章では、PPP 及び TCP のセッションを、通信メディアの切り替え前後で保持する手法について説明する。本章では紙面の都合上、1x EV-DO への直接接続から中継接続へ切り替える場合のみを説明するが、中継接続から直接接続への切り替えも同様に行なうことが可能である。

3.1. PPP セッション保持

一般に、直接接続から中継接続に切り替えるとその際のリンク解放に伴って PPP セッションは切断され、切り替え後に再度新しい PPP セッションを張ることになるためセッションを継続することはできない。また、ラストワンマイルに無線リンクを用いる Wireless Local Loop (WLL)[15][16]用途として用いられる多くの中継装置はメディア変換型のワイヤレスルータモデムであり、中継接続の際の PPP セッションは中継装置で終端し、移動端末が直接 PPP セッションを張ることはない。

そのため本稿では、1x EV-DO のドーマント機能を用いることで、直接接続から中継接続に切り替える際の PPP セッションの保持を実現する構成及び手順を考案した。その処理を以下に示す。なお、ドーマント機能とは、無線リンクの解放は行なわれるものの、上位セッションは維持される機能である。

- i) 中継接続に切り替える際、移動端末は確立中の PPP を保持する (図 1 における(2)に対応)
- ii) 中継装置と移動端末間における無線 LAN リンク確立後、PPPoE (PPP over Ethernet)セッションを確立する (同 (3)-(4)に対応)
- iii) 中継装置と 1x EV-DO 網 (PDSN)間で無線リンクのアクティベーションを行なう (同 (3)-(4)に対応)
- iv) PPPoE トンネルを用いて移動端末と 1x EV-DO 網間で PPP を再開する (同 (4)に対応)

上記の処理により、通信メディアの切り替え前後で PPP セッションを保持することが可能となる。

3.2. TCP セッション保持

直接接続から中継接続に切り替える際、PPP セッションが保持され IP アドレスが変化しなければ TCP セッションは保持されるが、中継接続が完了しても TCP の再送タイマーが切れるまで通信を再開できない。また、TCP のセッションタイムアウト設定値が小さい場合には、中継接続への切り替えが完了する前にセッションが切断される恐れもある。

そこで本稿では、直接接続から中継接続に切り替えた後、迅速に切り替え前の TCP セッションで通信を再開するために Freeze TCP[17]を改良した手法を提案する。

TCP 送信端末には、ウィンドウサイズが 0 の ack (ZWA: Zero Window Advertisement)を受信すると、全ての再送タイマーを止め persist mode へと移行する機能がある[18]。また、persist mode 中の TCP 送信端末から指数関数バックオフ間隔 (最大 120sec)で送信される ZWP (Zero Window Probe)を受信した TCP 受信端末が、0 でないウィンドウサイズの ack (nZWA: non-ZWA)を TCP 送信端末に送信することで TCP 送信端末における persist mode は解除される。

Freeze TCP では、移動端末がハンドオーバー直前に ZWA を送信し、ハンドオーバーが完了すると ZWP を待たずに nZWA を送出することで、ハンドオーバー時のパケットロス、それに伴う転送レートの低下の防止及び迅速な通信の再開を可能にしている。しかし、ハンドオーバーが発生するタイミングを正確に見積もらなければ十分な性能が発揮されないことが分かっている[19]。なお、Freeze TCP では再開時の輻輳ウィンドウ等の処理は通常の TCP に委ねられる。

一方本稿では、ユーザが明示的にメディアの切り替えを行なうため、上記のような正確な切り替えタイミングを事前に見積もる必要がなく、Freeze TCP 手法の適用が適している。迅速に切り替え前の TCP セッションで通信を再開するための、移動端末の処理を以下に示す。

i) 中継接続に切り替える際、ZWA を送信する(図 1 における(2)に対応)

ii) 移動端末と 1x EV-DO 網間における PPP セッション再開後、nZWA を送出する(図 1 における(4)に対応)

また、本稿で用いる TCP 送信端末は Freeze TCP を改良した手法として以下の機能を実装する。

- ア) 無線リソースの浪費を抑制するために、persist mode 中の ZWP の送出は行なわない
- イ) nZWA 受信後、
 - ①元のレートのまま通信を再開する
 - ②Fast recovery アルゴリズムを用いて通信を再開する
 - ③Slow start アルゴリズムを用いて通信を再開する
 の 3 パターンの再開方法を選択可能にする。これは通信再開後の再開方法の違いによる特性を評価するためである
- ウ) persist mode 中の、送信済みシーケンス番号と応答確認済みシーケンス番号の不一致による通信再開後のスループットの落ち込みを防止するために、通信再開の際に、nZWA に記載のシーケンス番号に合わせてスライディングウィンドウを調整する (send next を send unacknowledged と同一にする)

3.3. セッション保持シーケンス

上記3.1、3.2の処理を図 2 に示す。図中の太丸内の(1)~(4)は図 1 における(1)~(4)に対応している。

4. 中継装置、移動端末の設計及び実装

本章では、中継装置及び移動端末の構成について説明する。

4.1. 中継装置の設計及び実装

3.1の機能を実現するために、新たに作成した中継装置プロセス (Gateway process)には、1x EV-DO 網に接続するためのダイアルアップモジュール及び 1x EV-DO⇄移動端末間を中継するための PPPoE プロ

トコルを具備する。中継装置の構成を図 3 に示す。

市販の小型 Linux サーバに上記の構成を実装したものを中継装置とした。中継装置の仕様を表 1 に、概観を図 4 に示す。中継装置には PCMCIA スロットが 2 つ用意され、PCMCIA 型の 1x EV-DO カード及び無線 LAN カードを用いて中継動作を行なう。

4.2. 移動端末の設計及び実装

3.1、3.2の機能を実現するために、新たに作成したユーザ端末プロセス (User terminal process)には、1x EV-DO 網に接続するためのダイアルアップモジュール及び PPP プロトコル、中継装置を介して接続を行な

表 1 中継装置仕様

Item	Description
CPU	IBM PowerPC 405GPr 266MHz
Memory	64MB (PC133,SDRAM)
Flash ROM	8MB
CF card	512MB
PCMCIA	2 slots

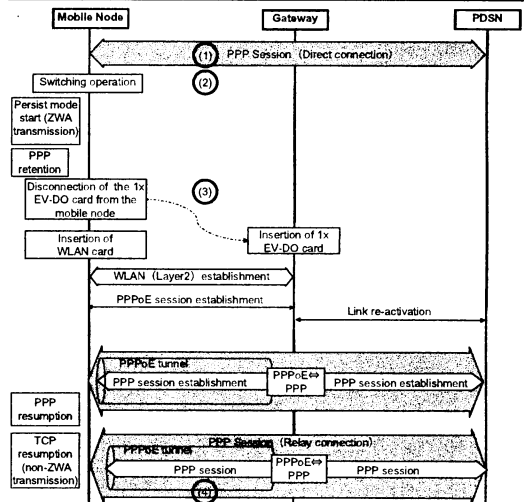


図 2 直接接続→中継接続シーケンス

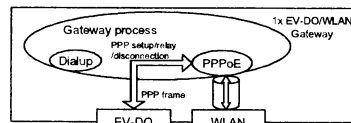


図 3 中継装置の構成

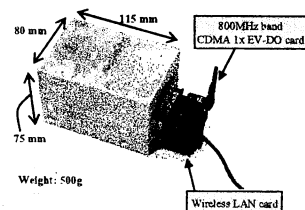


図 4 中継装置概観

うための PPPoE プロトコルを具備する。移動端末の構成を図 5 に示す。ユーザは GUI により、通信の開始 (PPP リンク確立)、1x EV-DO への直接接続⇄中継接続の切り替え (通信インタフェースの切り替え)、通信の終了 (PPP リンク切断)を行なう。ユーザの GUI 操作により、ユーザ端末プロセスが PPP リンク確立、中継処理、PPP リンク切断処理を行なう。また、通信インタフェースの切り替え時には TCP にも通知することにより、改良 Freeze TCP の処理が行なわれる。なお、通信インタフェース切り替え処理が開始されたあとに受信した TCP データに対しては、受信処理のみを行い ack は返信しないようプロトコルを変更した。

移動端末には Linux (kernel 2.4.20)をインストールした市販のノート PC を用いた。図 6 に移動端末の GUI を示す。

5. 性能評価

本章では、中継装置を用いた性能評価について説明する。まず、ネットワークエミュレータを用いた有線接続により TCP セッション保持に関する評価を行ない、続いて 1x EV-DO の商用システムを用いて中継装置の有効性を検証する。

5.1. エミュレータによる評価

本節では、実装した改良 Freeze TCP 手法 (3.2 節 ii の①~③)の動作確認及び性能評価を行なう。また、比較のため、通常の TCP を用いての評価も併せて行なう。ここでは、それぞれの方法を下記のように呼ぶ。

- ・ standard : 通常の TCP を使い、切り替え時に ZWA は通知しない
- ・ freeze : 通常の TCP を使い、切り替え時に ZWA を通知する
- ・ nochange : 3.2 節 i)の①
- ・ fastrec : 3.2 節 i)の②
- ・ slowst : 3.2 節 i)の③

図 7 に示すように、ネットワークエミュレータ Storm[20]を介して FTP サーバとクライアント PC を接続する。また、Storm を用いて、WAN における遅延時間、帯域幅、バッファサイズをそれぞれ 100msec、

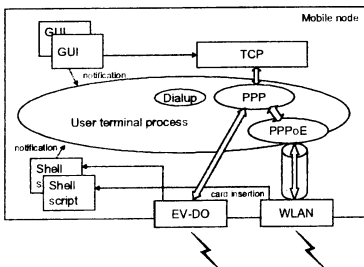


図 5 移動端末の構成

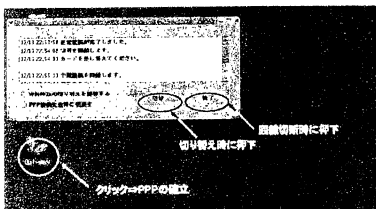


図 6 移動端末の GUI

512kbps、16KB とする。クライアント PC が FTP サーバから約 3MB のファイルを DL する際の、FTP サーバにおける送信シーケンス番号の推移及び再送パケット数、クライアント PC がファイル取得に要する DL 時間を調べる。この際、DL を開始してから 19.7sec 後に ZWA を送信し、20sec 後にリンクをダウンする (standard に関しては、ZWA は送信せず、20sec 後にリンクをダウンする)。リンクをダウンしてからさらに 40sec 後 (DL 開始から 60sec 後)に通信の再開 (リンクのアップ)を行なう。

なお、FTP サーバ、クライアント PC とともに、表 2 に示す同型のノート PC を用いる。

結果を図 8~図 14 に示す。図 8~図 12 は standard、freeze、nochange、fastrec、slowst のそれぞれの方法における、通信中断前後の 5sec 間 (リンクダウン前の 5sec とリンクアップ後の 5sec)のシーケンス番号の推移を FTP サーバ側でキャプチャしたものである。図 8~図 12 における左側、右側の図はそれぞれ、通信中断前、通信中断後の様子であり、これら一連のシーケンス番号は連続している。また、図 13 はそれぞれの方法における再送パケット数をカウントしたものであり、図 14 は DL 完了に要した時間を測定したものである。なお、図 13、図 14 はそれぞれの方法を 5 回ずつ試行した場合の平均値で表してある。

図 8 より、standard では TCP の再送タイムアウトにより通信が再開されるため、リンクアップしてから約 38sec 後に通信が再開されている。一方、その他 4 方法では、図 9~図 12 より、TCP の Freeze 手法を用いることで迅速に通信を再開している。

図 9 より、freeze を用いた場合、最小ウィンドウサイズでの輻輳回避フェーズから通信が再開されていることがわかる。これは、ZWA を送出してからリンクがダウンするまでにクライアントが受信した TCP データに対する ack の返信が行われなかったためと思われる。一方、図 10~図 12 より、今回実装した手法では、nZWA を受信した FTP サーバは、nZWA に記載のシーケンス番号に合わせてスライディングウィンドウの調整を行なっているために、上記のような状況は見られない。

図 10 の nochange では、通信開始後約 0.5sec 後に数パケット分の再送が行なわれている。これは、元のレートのまま通信を再開するため、再開直後にウィンドウサイズ分のデータが一気に送出され、そのため WAN におけるバッファでパケットが廃棄されたためである。

一方、図 11、図 12 より、fastrec、slowst ではそれぞれ、Fast recovery アルゴリズム、Slow start アルゴリズムを用いて通信が再開されていることがわかる。

図 13 には、DL 中の全再送パケット数とともに、通信中断前 (0~20sec 間)、中断中 (20~60sec 間)、再開後 (60sec~)における再送パケット数を示した。これより、最も全再送パケット数が少ないのは fastrec であることがわかる。また、nochange、slowst はそれぞれ、WAN バッ

表 2 PC 仕様

Item	Description
OS	Redhat Linux (kernel 2.4.20)
CPU	Celeron 650MHz
RAM	384MB

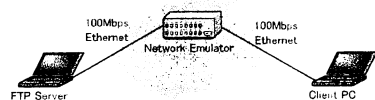


図 7 実験構成

表 3 クライアント PC 仕様

Item	Description
OS	Redhat Linux (kernel 2.4.20)
CPU	PentiumIII 700MHz
RAM	128MB

表 4 通信カード仕様

Item	Description
1x EV-DO card	Kyocera 1x EV-DO card (W01K)
Wireless LAN card	Corega Wireless LAN PCCB-11

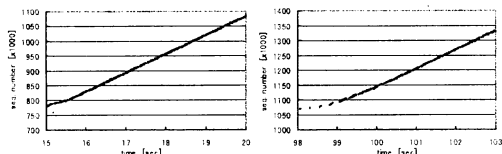


図 8 standard におけるシーケンス番号の推移

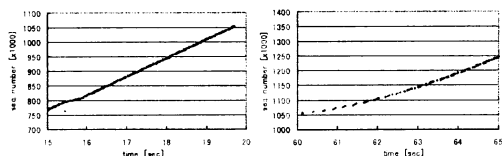


図 9 freeze におけるシーケンス番号の推移

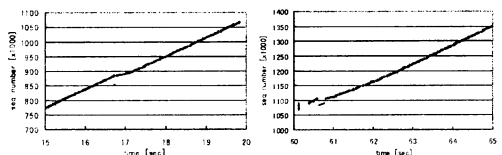


図 10 nochange におけるシーケンス番号の推移

ファでのパケット廃棄、Slow start による再送により、通信再開後の再送パケット数が増加していることがわかる。

図 14 より、DL 時間に関しても、fastrec が最も短い結果となり、続いて slowst、nochange と続き、今回改良した TCP が既存のものよりもよい結果となった。一方、TCP のタイムアウトによる再送により通信を再開している standard では、大幅に DL 時間が増加していることがわかる。

以上より、本節の実験構成においては fastrec をもちいた通信再開方法が最適な手法だといえる。

5.2. 実環境における評価

本節では、800MHz 帯の商用 1x EV-DO 網を用いて中継装置の有効性を検証する。図 1 の想定シナリオに従い、クライアント PC が FTP サーバから約 3MB のファイルを DL しながら、電波環境の良い窓際 (地点 X) から建物内部 (地点 Y または地点 Z) に移動した際の FTP サーバにおける送信シーケンス番号の推移を、中継装置を用いた場合と用いない場合とで比較する。本評価は当所 YRP リサーチセンター実験室にて行い、その南側窓際を地点 X として中継装置を設置、また、隣接実験室内に地点 X から 11m ずつ離れた地点 Y (窓からの見通し有り) 及び地点 Z (窓からの見通し無し) を定めた。ここで、FTP サーバの仕様を表 2 に、クライアント PC の仕様を表 3 に示す。FTP サーバは 1x EV-DO 網

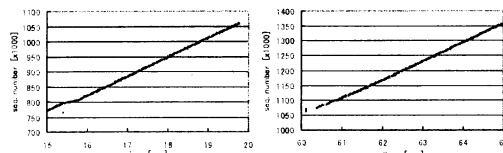


図 11 fastrec におけるシーケンス番号の推移

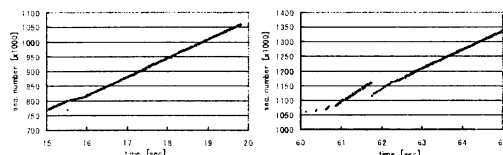


図 12 slowst におけるシーケンス番号の推移

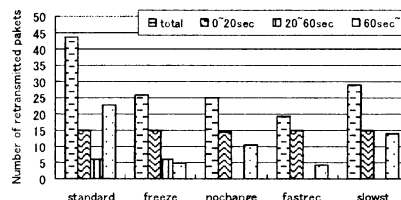


図 13 再送パケット数

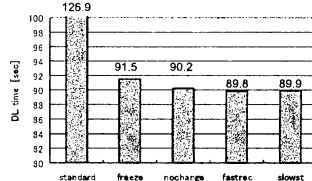


図 14 DL 時間

とインターネットを介して接続している。また、中継装置及びクライアント PC が用いる通信カードを表 4 に示す。

中継装置を用いない場合は、地点 X にて約 20sec 通信を続けた後、通信を継続しながら地点 Y または地点 Z へ移動する。

一方、中継装置を用いる場合は、地点 X にて約 20sec 通信を続けた後、中継装置への切り替え処理を行い、地点 Y または地点 Z に到達した時点で通信の再開処理を行う。

なお、本節では改良 Freeze TCP 手法のうち fastrec を用いる。

結果を図 15～図 18 に示す。

図 15 は、中継装置を使わず、1x EV-DO へ直接接続したまま地点 X から地点 Y へ移動した際のシーケンス番号の推移を示したものである。平均スループットは地点 X で 836.3kbps、地点 Y で 666.8kbps となった。このことより、地点 Y は 1x EV-DO の電波減衰量の少ない地点だといえる。

一方、図 16 は、地点 X では 1x EV-DO へ直接接続しており、地点 Y への移動に伴って中継装置に切り替えた場合のシーケンス番号の推移を示したものである。平均スループットは地点 X で 858.4kbps、地点 Y で 438.5kbps となった。地点 Y で地点 X の半分弱のスループットになっているのは、クライアント PC 及び中継装置における処理負荷によるものと思われる。

次に、図 17 では、1x EV-DO へ直接接続したまま地点 X から地点 Z

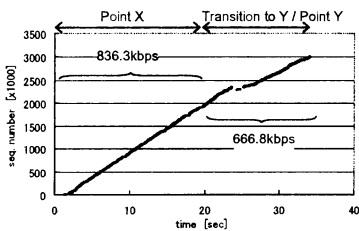


図 15 地点 X→地点 Y(中継装置未使用)

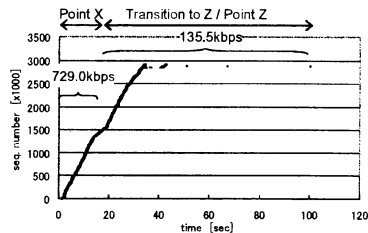


図 17 地点 X→地点 Z(中継装置未使用)

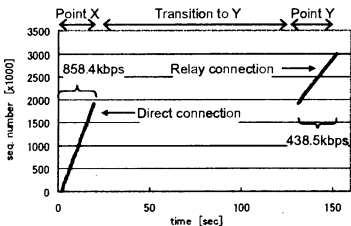


図 16 地点 X→地点 Y(中継装置使用)

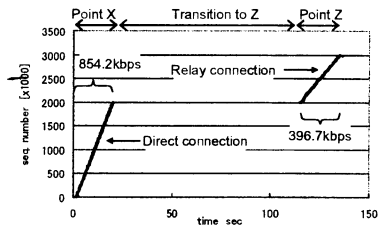


図 18 地点 X→地点 Z(中継装置使用)

へ移動した際の特性である。図より、40sec 程度からは通信が実質途切れてしまっており、地点 Z では 1x EV-DO の電波強度は大きく減衰していることがわかる。

一方、図 18 は、地点 X から地点 Z への移動に伴い、1x EV-DO への直接接続から中継接続に切り替えた際の特性である。直接接続では通信が途切れてしまっているような地点でも、中継装置を用いることで、安定した通信の継続が可能となっていることがわかる。

また、図 16 及び図 18 より、直接接続から中継接続に切り替えた後も、PPP セッションが保持されていることが確認できる。

6. おわりに

本稿では、屋外における移動体通信システムを用いたオンラインゲームやファイルの DL を、屋内に移動し中継装置経由の接続に切り替えてもそのまま通信が継続できるよう、TCP 及び PPP のセッション保持手法について提案し、1x EV-DO/無線 LAN 中継装置及び移動端末の試作を行なった。次に、ネットワークエミュレータを用いた TCP に関する性能評価を行い、続いて商用 1x EV-DO 網を用いて、中継装置の性能評価を行なった。その結果、ネットワークエミュレータを用いた評価より、今回実装した TCP により従来手法と比較して直接接続から中継接続へ切り替える際の再送パケット数が減少することを確認した。また、商用網を用いた評価より、中継装置を用いることで、建物内部の 1x EV-DO 不感地帯においても安定して通信を継続可能であることを確認した。なお、今後は中継装置を用いた際のオーバーヘッドの原因を特定し、改善する予定である。最後に、日頃ご指導頂く KDDI 研究所浅見所長、篠永執行役員並びに本研究にご議論頂いた KDDI au 技術本部各位に感謝する。

参考文献

- [1] 総務省報道資料, "5GHz 帯無線アクセスシステムの導入等に伴う周波数割当計画の一部変更案の電波監理審議会からの答申," 2002 年 8 月.

- [2] Zhang, Y. P., et al., "Measurements of the characteristics of indoor penetration loss," Vehicular Technology Conference, Jun. 1994.
- [3] Claude Oestges, et al., "Propagation Into Buildings for Broad-Band Wireless Access," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Mar. 2004.
- [4] 3GPP2, C.S0024, "cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification," Oct. 2000.
- [5] 福家他, "CDMA2000 1x EV-DO/無線 LAN 中継装置の開発と静止・移動環境下の特性評価," 信学技報, 本研究会予稿, 2005 年 1 月.
- [6] C.Perkins, Ed.: "IP Mobility Support," RFC 2002, Oct. 1996.
- [7] D. Johnson, et al., "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, Jun. 2004.
- [8] J. Rosenberg, et al., "SIP: Session Initiation Protocol," RFC 3261, Jun. 2002.
- [9] I. Stoica, et al., "Internet Indirection Infrastructure," ACM SIGCOMM, Aug. 2002.
- [10] Thomas R. Henderson, et al., "Host Mobility for IP Networks: A Comparison," IEEE Network, Nov.-Dec. 2003.
- [11] Nilanjan Banerjee, et al., "Mobility Support in Wireless Internet," IEEE Wireless Communications, Oct. 2003.
- [12] 泉川他, "地理的位置情報を用いた分散 LMM," 信学技報, IN2002-110, 2002 年 11 月.
- [13] N. Imai, et al., "Flexible and Seamless Service Migration for Real-Time Communication with Ubiquitous and Heterogeneous Networked Resources," IEEE Globecom 2004, Nov. 2004.
- [14] Zhuang, et al., "Host Mobility Using an Internet Indirection Infrastructure," In Proceedings of MobiSys, May. 2003.
- [15] Noerpel, A.R., et al., "Wireless local loop: architecture, technologies and services," IEEE Personal Communications, Jun. 1998.
- [16] Dong Geun Jeong, et al., "Current and future services using wireless local loop (WLL) systems," International journal of communication systems, May. 2000.
- [17] T. Goff, et al., "Freeze-TCP: A True End-to-end TCP Enhancement Mechanism for Mobile Environments," Proc. IEEE INFOCOM'2000, Mar. 2000.
- [18] R. Braden, Ed.: "Requirements for Internet Hosts -- Communication Layers," RFC 1122, Oct. 1989.
- [19] H.Izumikawa, et al., "An Efficient TCP with Explicit Handover Notification for Mobile Networks," IEEE WCNC 2004, Mar. 2004.
- [20] The Shunra Storm WAN emulator, http://www.quality-net.co.jp/images/PDF/STORM_web.pdf