

第 19 部

インターネットにおける広域無線網の利用 実験

第 1 章

はじめに

移動環境下でのインターネットへのアクセスという問題については、従来から WIDE プロジェクトの研究課題であり、VIP、PHONE-SHELL、携帯パーソナルコンピュータ上の OS 整備、移動体環境での分散ファイルの研究といった種々の研究活動をおこなってきた。

WRW-TF - “WIDE Radio WAN タスクフォース” は、整備が急速に進みつつある広域無線ネットワークを移動ノードとインターネットとの相互接続ネットワークとして利用する際の問題点を解決し、移動ノードのインターネットへのアクセス環境を構築することを目的としている。セルラ方式や MCA 方式などによる広域無線ネットワークはデータ通信ネットワークとして見た場合、速度、遅延時間、コストなどの点で固有の特性を持っている。さらにインターネットのサブネットワークとして捉えたとき、アドレス割り当て、経路制御、セキュリティ、通信プロトコルなどいくつかの点での技術的な検討が必要である。

また、実際の利用形態を考えると、従来のインターネット・アプリケーションをそのまま実装するだけでなく、ホーム環境との作業の連続性、必要な情報を簡単な操作でアクセスできるユーザインタフェースなどの工夫が必要となる。

WRW-TF では、以下のポイントを目標に検討および試作・評価を行なった:

- 移動ノードからインターネットへのアクセスパスの確保

通信性能を考慮したトランスポートレベルゲートウェイ、および、インターネットプロトコルの透過性を考慮したネットワークレベルゲートウェイの設計および試作をおこなっている。

- 移動環境下での実用的なインターネットサービスの確保

広域無線ネットワークが方向として高速・低遅延を目指しているものの、電波帯域やコストの問題を考えると低速・高遅延環境での効率的なサービスの提供も必要となる。従来のインターネットサービスをそのまま、このネットワークに適用しても十分な応答性を確保することは難しい。このような観点からアプリケーションのプロトコルおよびプログラムアーキテクチャの検討をおこなっている。

- 従来環境 - 移動環境間での作業環境の連続性の確保

オフィスでは Ehternet , 移動中は広域無線ネットワーク , 出張先のオフィスでは , ISDN といった具合に , 移動ノードはそのノードの置かれている環境や利用目的に応じて通信方式を選択できることが望ましい . そのためには , 従来のネットワークと広域無線ネットワークのそれぞれの特性を考慮しつつ , 透過的かつ連続的にアクセス可能であるネットワーク環境が必要になる . WRW-TF では , VIP をベースにしたアドレス割り当て・経路制御方式を検討している .

本タスクフォースは今年度より本格的に活動を開始した . また , 94 年度は , JCM(日本シティメディア)のご協力で , JCM の広域無線ネットワークをベースにネットワークの評価 , トラnsポートレベルゲートウェイの試作 , ポータブルパーソナルコンピュータ上でのアプリケーションプログラムの試作を行なった . 95 年度には , JCM ネットワークに加えて , その他の方式の無線ネットワークも含めた , ネットワーク上での実証実験を行なうとともに , VIP の実装およびアプリケーションの拡充を行なう予定である .

第 2 章

広域無線網とインターネット

本章では，WRW-TF がターゲットとしている広域無線網について解説し，その特徴を述べる．また，インターネットへの接続モデルについていくつか取り挙げ，無線網との親和性について考察していく．

2.1 無線デバイス

我々が対象としている広域無線通信システムとして，以下のようなものが挙げられる．

- テレターミナル
- 携帯電話
- PHS

また，通常は通信システムとして利用されないが，アマチュア無線を利用した情報通信システムも，広域無線通信システムとしてとらえることができる．

2.2 広域無線網の特徴

デバイスによって幾分違いはあるものの，広域無線網は全体的に見て以下のような共通の特徴が挙げられる．

- 広域にわたり移動しながら利用できる (テレターミナルは国道 16 号の内側)
- 誤り回復やフロー制御が無線ネットワーク内である程度サポートされていることが多い
- データは暗号化が施され機密性がある程度は期待できる
- 通信速度が低く，遅延が大きい

- 地理的条件に電波が影響を受けやすく、移動中は回線が切れることがしばしば発生する
- 通常の電話回線に比べ、通信コストが高い

これらの特徴を的確にとらえて、長所は最大限に活かし短所を補うようなネットワーク機構が望まれる。

2.3 インターネットへの接続モデル

インターネットへの接続形態はいくつ存在するが、シリアルポートに無線デバイスを取り付けて通信を行うような場合には、PPP や SLIP による IP 接続か、受け側のモデムポートに `getty` を起動して、受け側マシンの端末として接続する形態が一般的である。

ここではそれぞれの形態について簡単に解説し、それぞれのモデルの特徴をまとめる。

2.3.1 IP 接続

インターネット接続とは、一般にはインターネット・プロトコル (IP) と呼ばれるプロトコルを用いて接続する IP 接続のことを言う。IP 接続されれば、基本的にインターネット上のサービスは全て利用することができる。

広域無線網を利用する場合、その多くは、無線モデムなどの機器を通して、シリアルポート経由で移動計算機とデータをやり取りする形態をとる。この場合、無手順で IP を直接送信するのではなく、SLIP (Serial Line IP)[153][154] や PPP (Point to Point Protocol)[155] などのデータリンクプロトコルを用いて、その上で IP を送信する。

この方式では、これまでのネットワークアプリケーションがそのまま利用できる。またインターネット側からのアクセスも可能であり、複数のコネクションを張ることもできる。しかし諸設定も複雑になり、データにヘッダー情報などの付加情報が多くなるため、有効データ転送量も減少し、スループットの低下につながる。

2.3.2 `getty` による無手順接続

固定計算機側のシリアルラインのポートに `getty` を起動し、インターネットに接続された特定の計算機の端末として接続する方法である。この場合、インターネットを利用する作業はこの固定計算機に遠隔ログインしてから行うことになる。

この方式は、設定が比較的簡単であり、また全ての作業が遠隔計算機で行われるため、移動計算機上では個々のネットワークアプリケーションを用意する必要がない。しかし IP 接続などと違ってこの方式だけでは複数のコネクションを張ることはできず、またインターネット側のホストから移動ホスト側へアクセスすることもできない。

2.4 考察

これまでに述べたように、無線デバイスと既存の技術によって、広域無線網によるインターネット利用は可能である。しかし既存のインターネット接続形態は有線接続によるネットワークを前提として設計してあるため、今回の様に無線デバイスをネットワーク媒体として用いる場合、快適なネットワーク利用のためには改善すべき問題点がいくつか挙げられる。

2.4.1 IP 接続の問題点

- プロトコルのオーバーヘッド

IP 接続による通信では、IP パケット、TCP パケットにそれぞれ 20 バイトずつヘッダーのヘッダーが含まれる。Ethernet などの通常の高速ネットワークでは問題ないのだが、移動通信網のような低いスループットのネットワークでは、これらヘッダなどのオーバーヘッドがネットワークを圧迫する。さらに、TCP は全二重型の通信を前提に設計されており、ACK を相手から受けつつデータを転送する。半二重通信をベースに設計された一部の無線ネットワークでは、このことがスループットの低下を招くことになる。

- TCP タイムアウト

広域無線通信網を利用したネットワーク上では、遅延が生じたり電波障害などのために連続して呼が設立出来ない場合がある。このような環境で TCP による通信を行なった場合、TCP がタイムアウトして、ネットワーク層での接続が切れてしまう可能性がある。

- アドレス占有

IP 接続では、各ホストのネットワーク・インターフェイスごとに IP アドレスが割り当てられる。しかし、間欠接続性の高い移動通信網において、通信の必要がない時にまでアドレスを一つ占有してしまいうのは、アドレス資源の浪費につながる。接続する移動ホスト数が多くなればなるほど、この問題は深刻化する。

- DNS

インターネットでは、DNS (Domain Name System) によるホスト名管理のシステムが浸透しており、DNS を利用できることは非常に重要である。しかしながら、ホスト名を問い合わせる為だけに何度もパケットが低スループットのネットワークを往復するのはコストがかかり、効率良い通信とは言えない。

2.4.2 getty による無手順接続の問題点

- 遠隔ホストでの作業

この場合、ネットワークを利用する全ての作業は、一度遠隔ホストに無線経由でログインしてから行なわれるため、入力ミス、エコーバック、その他ユーザ向きの複雑なメッセージなど、本来の通信に不要なトラフィックが多く発生してしまう。

- 複数のコネクションが設定できない

無手順接続であるため、遠隔ホストと移動ホスト間に複数のコネクションを同時に設定することができない。

2.4.3 トランスポート層接続による問題解決

前述のように、広域無線網では無線デバイスがデータリンクレベルでフロー制御や誤り回復をおこなっており、信頼性の高い通信が可能になっている。その一方ではかなり通信速度が遅く、遅延も大きい。以上の二つの理由から、通常の無線網のプロトコルの上に PPP をのせてその上に更に IP をのせて通信するにはかなりのオーバーヘッドがあり、実用にならない速度でしか通信をおこなえないことが予想される。

しかし、すべての作業を遠隔ホストで行う無手順接続も、広域無線網の上では適切な方法とは言いがたい。

そこで考えられているのがトランスポート層接続である。トランスポート層接続とは、移動ホストから無線網とインターネットのゲートウェイまでは無線網のプロトコルをそのまま用い、ゲートウェイにおいて TCP または UDP に変換したのちインターネット上の通常のホストと通信をおこなう方法である。この方法では、実際に無線網の上で使われるプロトコルは、TCP/IP と違ったオーバーヘッドの軽いものとなり、プロトコル的なオーバーヘッドを回避できる。また、getty による無手順接続のように、ネットワークに過度の負担をかけることもない。

第 3 章

WRW システム

WRW-TF では，前章で述べた広域無線網のためのトランスポート層インターネット接続機構を『WRW システム』と称し，その設計，実装，評価システムの構築を行ってきた．本章では，この WRW システムについて解説する．

3.1 WRW システムの構造

WRW システムの構造を図 3.1 に示す．

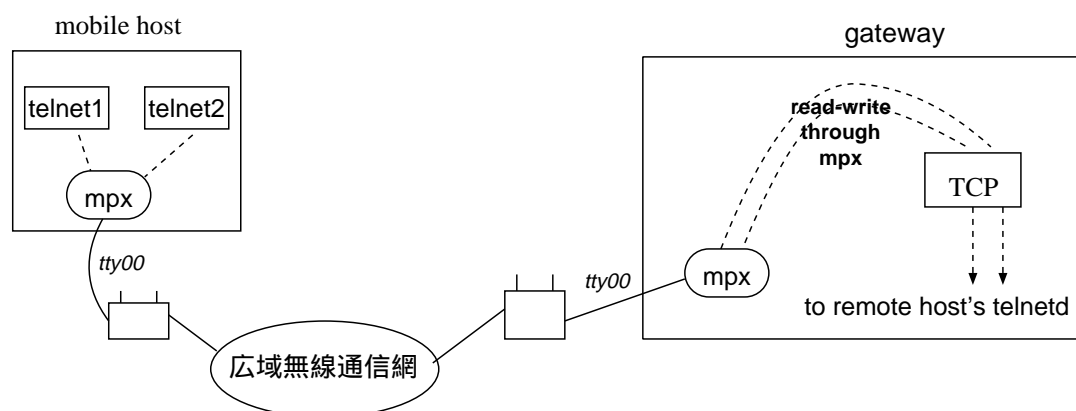


表 3.1: WRW システムの全体構造

本システムは，

- ゲートウェイ側マルチプレクサ (wrwd)
- 移動ホスト側マルチプレクサ (wrwd)
- アプリケーション用ライブラリ
- WRW 用アプリケーション

から成る。

ホスト間の通信は全て、ゲートウェイ・移動計算機 双方で稼働している wrwd を介して行なわれる。この wrwd がモデムを操作し、またコネクションテーブルを管理するなどしてシリアルライン上での通信の多重化を行なっている。

3.2 通信の流れ

大まかな通信の流れは、以下の通りである。ここでは、WRW 対応版 telnet である wrtelnet での通信を取り上げる。

wrtelnet(移動ホスト上)

1. 通常の socket() により、通信用のソケットを得る。
2. wrw_connect() により、local の wrwd に対してインターネット上ホストへの接続要求を出す。
3. 接続が成功すると、通常の telnet の処理に従って通信を行なう。

移動ホスト側 wrwd

1. wrtelnet からの接続要求を accept し、通信用ディスクリプタを作成する。
2. 空いているコネクション ID を assign し、wrtelnet との通信用ディスクリプタと共にコネクションテーブルに登録する。
3. wrtelnet から送られる接続先アドレスを WRW パケットに入れてシリアルライン経由でゲートウェイ側 wrwd に送る。
4. 接続要求先との接続が成功すると、wrtelnet からのデータはシリアルラインへ書き込み、登録したコネクション ID の WRW パケットがシリアルラインからきた場合は wrtelnet とのディスクリプタにデータを書き込む。

図 3.1は移動ホスト側のシステムの様子を示している。

ゲートウェイ側 wrwd

1. シリアルラインを wrwd が監視している。
2. シーケンス番号が 0 のパケットを受けた場合は新規接続要求とみなしてコネクションテーブルを作成、ソケットも作成し、テーブルに登録。データ部の最初の 6 オクテットを接続先のアドレスと解釈し、そのアドレスに connect() を実行する。

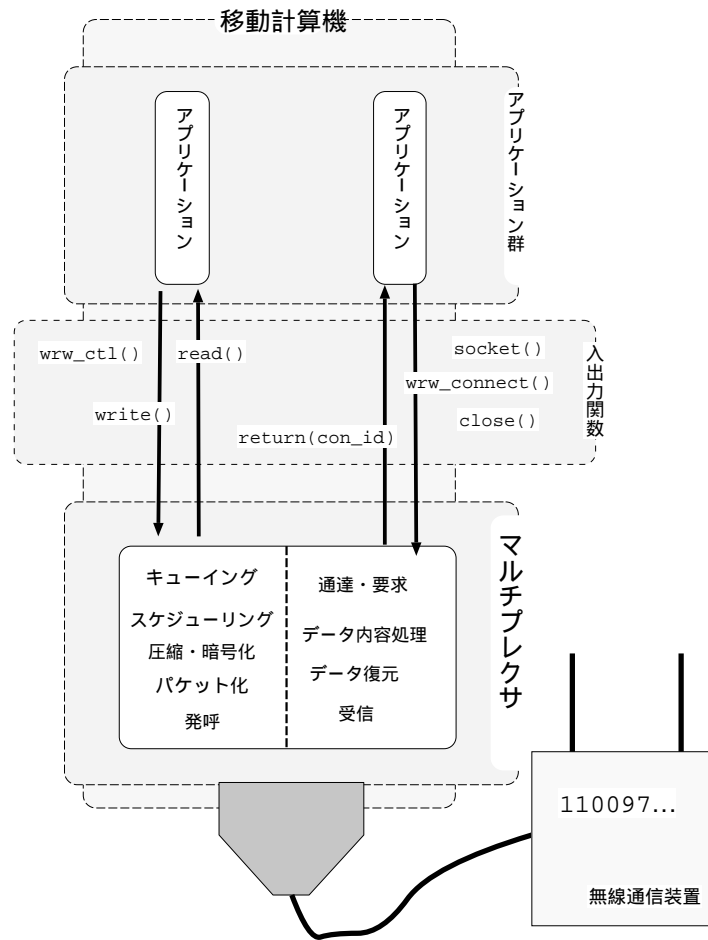


図 3.1: 移動ホスト上の WRW システムの様子

3. `connect()` の結果を移動ホスト側 `wrwd` に返す．失敗の場合，テーブルからエントリを消去し，終了．
4. 以降は，移動ホスト側 `wrwd` からのパケットは接続 ID ごとに対応する `socket` へ書き込み，`socket` から来たデータは移動ホスト側 `wrwd` に WRW パケットに詰め込んで送る．
5. シーケンス番号が”CLOSE”で定義される値であったならば，対応するソケットを閉じ，通信を終了する．接続テーブルからエントリを削除．

3.3 wrwd

`wrwd` は，以下のような作業を行うための機能を有する．

- アプリケーションからのコネクト要求処理
- コネクションテーブルの管理
- アプリケーションからのデータの読み込み
- パケット化・フレーム化，キューイング
- 発呼のスケジューリング
- 発呼
- 相手 wrwd との通信
- 受け取った WRW パケットからのデータの読み出し
- アプリケーションへの書き込み
- 要求されるインターネット上のホストへの接続
- そのホストとの通信
- エラー発生時の処理
- 呼の切断
- アプリケーションとの接続の終了

3.4 接続要求の処理・コネクションの管理

アプリケーションからの新規接続要求を受けると，wrwd は新たなコネクション ID を発行し，ディスクリプタとの組をコネクションテーブルに登録する．このテーブルには，現在のパケットのシーケンスナンバーも常に登録されており，新規コネクション ID 登録時に，0 にセットされる．

次にケーションは 4 オクテットの接続要求ホストのアドレスと 2 オクテットの接続要求ポート番号を受け取る．この IP アドレスとポートをデータフィールドに入れてシーケンス番号 0 の接続要求用 WRW パケットを作り，パケットのキューイングテーブルへまわす．

このテーブルのエントリは，対応するコネクション ID の接続が終了すると破棄される．

3.5 送信パケットのキューイングテーブル

送信パケットのキューイングテーブルは、各コネクションごとに用意されている。パケット化ルーチンによって作られた WRW パケットは、このキューイングテーブルのエントリの最後尾に追加される。そして、送信される時はエントリの前にあるものから順に取り出され、送信がおこなわれる。

各コネクションには、このキューイングテーブルのほかに、送信されたパケットを一時的に蓄えておくためのテーブルも用意されている。送信されたパケットはキューイングテーブルからこちらのテーブルに移され、一定期間保存される。何らかの原因でエラーが生じた場合にはこのテーブルが検索され、エラーとなったシーケンスのパケットが残っていたら、ここから再送される。

3.6 WRW パケットフォーマット

wrwd 間の通信の為のパケットフォーマットには、以下の種類のものが規定されている。

- 通常のデータ送受信に使うフォーマット (図 3.2)

Seq パケットのシーケンス番号で、1 ~ 254 が使われる。(0, 255 は特殊で、254 までいくと 1 に戻る)

Connection ID コネクションを多重化する為の ID

Length データフィールドの長さ (オクテット, 最大 255)

Data 実際のデータ。可変長 (最大 255)

CRC CRC (現在は Length フィールドを含むデータフィールドのチェックサム)

- 接続要求 (初期化) 時のフォーマット (図 3.3)

Sequence 接続要求パケットはシーケンス番号に 0 を用いる。

CMD 以下の 2 種類が用意されている。

CONNECT 0x01

BIND 0x02

DEST Addr 4 オクテットの IP アドレス (ネットワークバイトオーダー)

DEST Port 2 オクテットのポート番号 (ネットワークバイトオーダー)

- 接続要求に対する ACK のフォーマット (図 3.4)

REP 接続要求に対する結果。以下の 4 種類がある。

SUCCESS 0x5a

FAILURE 0x5b

RESEND 0x5c

DUP_CON_ID 0x5d

BND Addr バインドされた IP アドレス (ネットワークバイトオーダー, 4 オクテット)

BND Port バインドされたポート番号 (ネットワークバイトオーダー, 2 オクテット)

- 通常データ送受信時のエラーに対する NACK フォーマット (図 3.5)

Sequence エラーが起きたパケットのシーケンス番号

Connection ID エラーが起きたコネクション ID

Length Length は 0 にする

- 終了要求のフォーマット (図 3.6)

Sequence 終了要求時は, 255 を用いる

Length Length は CMD のために 1 にする

CMD CMD には以下の 2 種類がある

CLOSE_FLUSH 未伝送のデータを破棄して終了する

CLOSE_WAIT 未伝送のデータを送ってから終了

3.7 発呼とパケット伝送

発呼は, 伝送すべき WRW パケットが存在し, なおかつ呼が張られていない場合におこなわれる. この伝送すべきパケットの条件は, 基本的にはデータはパケット化される前に一度バッファリングされているため, パケット化されたデータが存在すれば, それは伝送すべきパケットである.

一度呼が張られると, その間 wrwd はできるだけパケットキューに未送信データが残らないように通信を行う. 複数のコネクションでパケットキューがたまっている場合には, コネクションを巡回しながらそれぞれのトップキューパケットを取り出して送ることを繰り返す.

ここで, 取り出された WRW は送られる前に slip と同じフレーミングを施されてから送られる.



図 3.2: 通常データ送受信時のパケットフォーマット

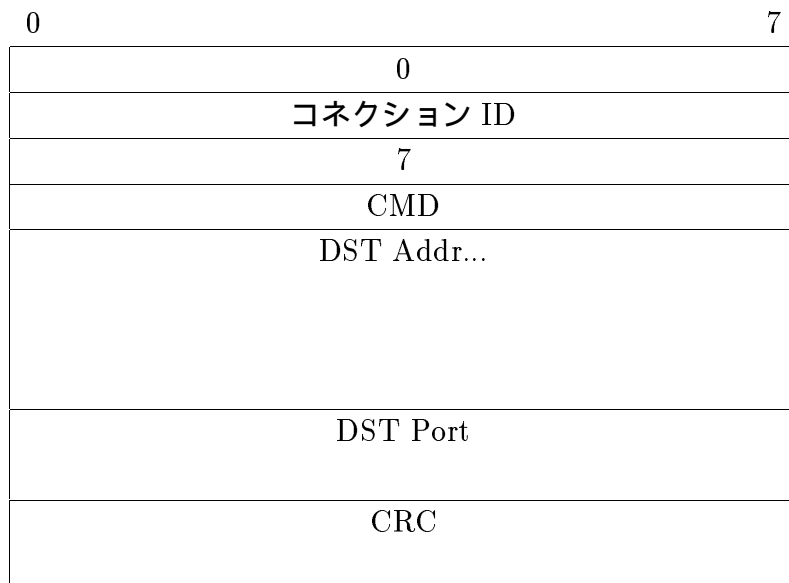


図 3.3: 接続要求 (初期化) 時のパケットフォーマット

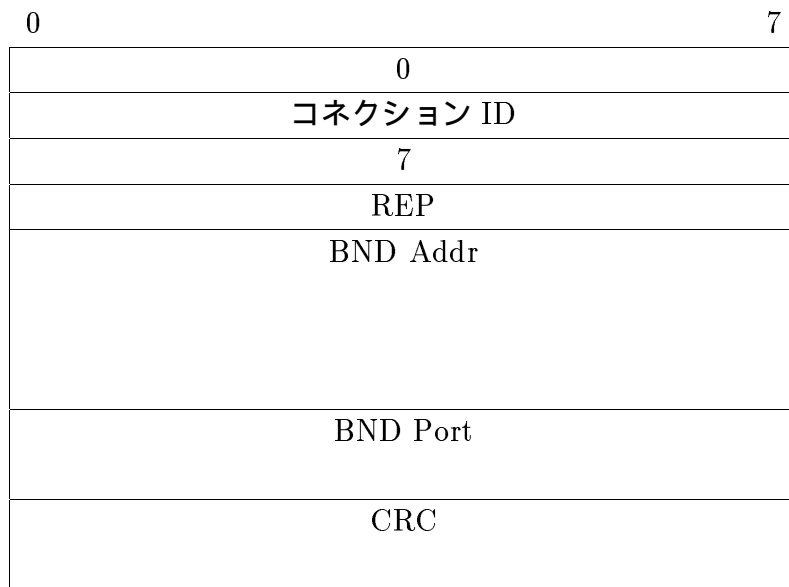


図 3.4: 接続要求に対する ACK のパッケージフォーマット

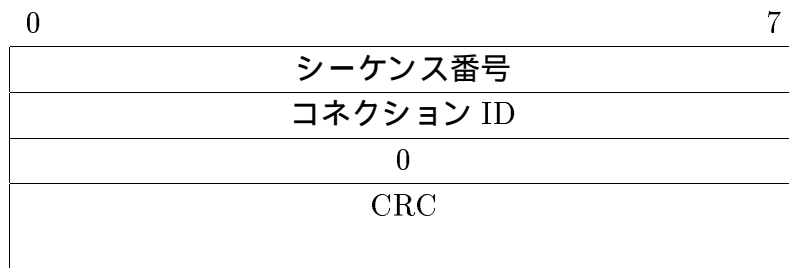


図 3.5: 通常データ送受信エラー時のパッケージフォーマット

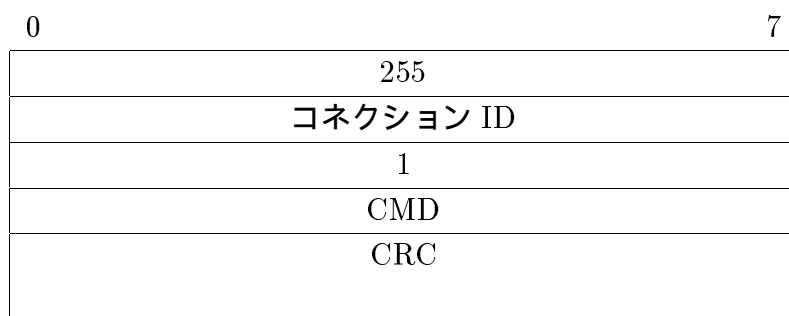


図 3.6: 終了要求時のパッケージフォーマット

3.8 受信 WRW パケットの処理

相手の wrwd から送られて来たデータは、1 フレーム分が読み込まれるまでバッファリングされる。1 フレーム分全て読み込まれた時点でフレームがデコードされ、WRW パケットが取り出される。取り出された WRW パケットは以下の手順で処理される。

1. チェックサムによるエラーチェックを行う。
エラーがある場合、再送の要求をおこなう。
2. コネクション ID のチェック
管理テーブル存在しない ID である場合、その ID の通信終了パケットを返す。
3. ヘッダーの解析によるパケットフォーマットの判別
パケットフォーマットを判別し、それぞれの場合について処理を行う。
 - 通常パケット
シーケンス番号チェックをおこなう。
 - 正常な場合
パケットからデータを取り出し、コネクション ID に対応するアプリケーションヘデータを伝える。
 - エラーの場合
再送要求中でなければ、その sequence に対して再送要求をおこなう。
 - 再送要求パケット
対応するコネクション ID の転送済パケットキューの中に、そのシーケンス番号と同じものがないかチェックする。残っている場合、転送済パケットキューにあるそのパケット以降のものを、すべてパケットキューのトップに移す。
4. アクセス要求パケット
データから接続要求先アドレスとポート番号を取り出し、そこへ connect する。そしてその結果を ACK パケットで送り返す。
5. アクセス要求に対する ACK
データから REP を取り出し、チェックする
 - SUCCESS
その ID に対するパケットの伝送を開始する
 - FAILURE
アプリケーションとの接続を終了し、ID をエントリから抹消

6. 終了要求

アプリケーションとのコネクションを終了し、コネクションテーブルからエントリを削除する。

3.9 エラー発生時の処理

WRW システムでは以下のエラーを想定している。

● パケット破損

パケット破損によるエラーは、wrwd が受け取った WRW パケットを処理する段階で、チェックサムによる検査で検出することができる。検出された場合は、先に解説したように、シーケンスナンバーとコネクション ID を入れた再送要求パケットを返信することにより、エラーがおこったシーケンスから受け取り直すことで対処する。

● 呼の非常断絶

移動通信網を利用した接続では、移動中の電波状況の変化などによって、設立されていた呼が突然切断されてしまうことがある。この場合、次のような操作がおこなわれる。

－ 送信すべきパケットが存在する場合

送信すべき WRW パケットがキューに存在する場合には、wrwd は再発呼を行う。

－ 受け取り中の WRW パケットが存在する場合

ヘッダー部分のチェックをおこない、もしシーケンスとコネクション ID が取得できたならば、再送要求パケットを返信するため、再発呼する。ただし、この WRW のパケットが終了要求への ACK パケットであることが判断できる場合には、通常の終了処理を行うのみである。

－ アイドル状態であった場合

再発呼は行わない

3.10 アプリケーション用ライブラリ

アプリケーション用ライブラリは、移動計算機上でアプリケーションが WRW のシステムを通じてインターネットを利用する時に、そのインタフェースとなるライブラリである。

WRW のシステムは、従来のアプリケーションをできるだけ変更せずに利用できることを意図されている。現在、connect() システムコールの代わりとなる、wrw_connect のみが用意されている。

このライブラリルーチンは WRW システムをつうじて、インターネット上のサービスに接続要求をだす場合に使われる。

3.11 通信プロトコル

WRW システムでは、アプリケーションがインターネット上のサービスにアクセスする場合、必ず二つの wrwd を経由しておこなわれている。そのため、このシステムでは 2 種類の通信が存在する。

wrwd 間 パケットフォーマットは 3.6 で説明した通りで、5 種類の WRW パケットに必要なデータをいれて伝送する。不必要なトラフィックを減少させるため、通常データパケットでは、エラーが起こった場合のみ、再送要求をパケットを送り、エラーがない場合には ACK を返すことはしない。接続要求パケットに対してのみ ACK パケットをかえす。

基本的な通信は以下のように行われる。

1. wrwd_connect によって接続要求がなされる。
2. 移動ホスト上の wrwd は接続要求パケットをゲートウェイ側 wrwd に送る。
3. 接続要求パケットを受け取ると、データから接続先ホストのアドレスとポート番号をとり、connect() する。その結果を接続要求 ACK パケットに入れて、移動ホスト側へ返信する。
4. 接続要求 ACK パケットを受け取り、REP の値が SUCCESS であれば、接続できたことみなされ、通常データパケットによってデータの通信が行われる。
5. エラーが発生した場合には、エラーが起こったシーケンス番号を入れた再送要求パケットを返す。
6. 再送要求を受けたら、そのシーケンス以降に送ったパケットをすべて再送する。
7. 通信が終わったら、終了要求パケットを相手 wrwd に送る。
8. 終了要求パケットを受けると、相手側ではそのコネクション ID の接続は終了したものとみなし、コネクションテーブルから対応する ID のエントリを削除して接続を終了する。

アプリケーション-wrwd 間 アプリケーションと wrwd 間では、基本的にはデータの列をそのままやり取りしているだけで、特別なプロトコルはない。しかし、最初の接続要求の時だけ、最初に 4 オクテットの接続要求先 IP アドレスと 2 オクテットのポート番号のデータが送られる。wrwd はこのデータを元に指定されたアドレスへの接続をおこなう。

第 4 章

評価

前章で述べた WRW システムは、現在評価版システムの構築が完了し、この環境で測定および評価を行なっている。ここでは、評価版システムの説明と、現段階までの測定結果を報告する。

4.1 評価システム

4.1.1 評価システムの構成

評価システムの構成は、以下の通りである。本システムでは、広域無線網として日本シメディア社のテレターミナルシステム (以後 JCM と略す) を利用させて頂いている。

ハードウェア

- JCM 網の X.25 から TCP への変換 [NEC EWS4800]
- インターネットへのゲートウェイ [IBM PC/AT 互換機 (BSD/OS 2.0)]
- 移動ホスト [ノート型 IBM PC/AT 互換機 (BSD/OS 2.0)]

ソフトウェア

- *wrwd* [デーモンプログラム]
- アプリケーションを WRW に対応させるためのライブラリ
- WRW 対応の各種インターネットアプリケーション

また、図 4.1.1 に構成図を示す。

4.1.2 通信の流れ

JCM 網の構造上、交換機上で直接 *wrwd* を起動することができない。したがって本評価版システムでは、*wrwd* 間のデータの伝送路は以下のように構築されている。

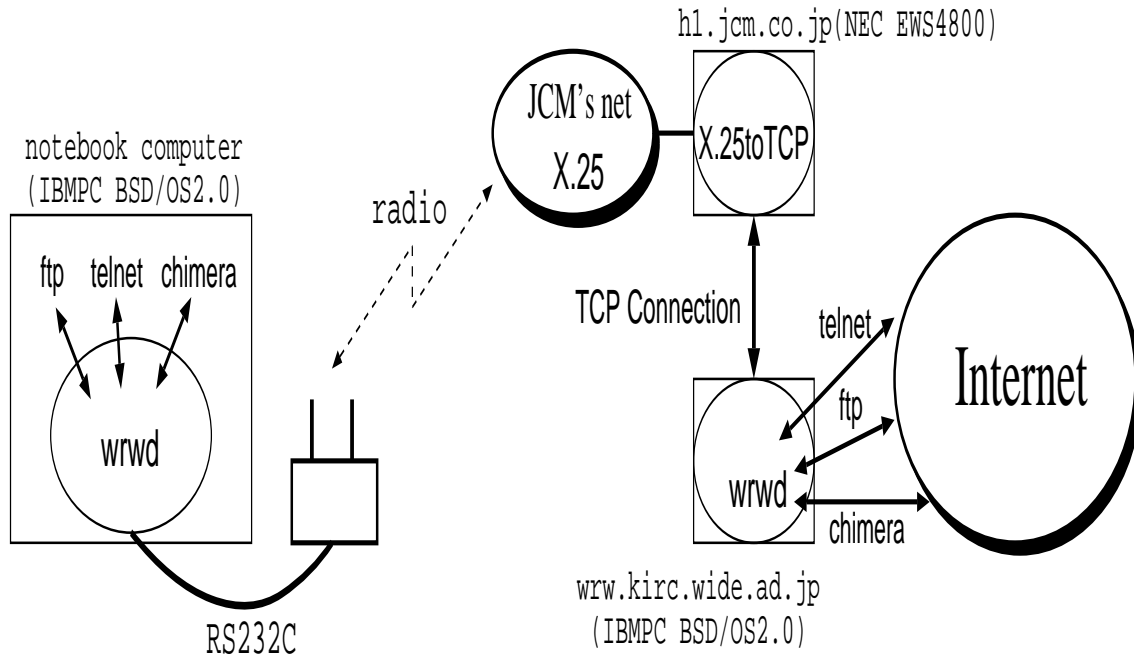


図 4.1: 評価版 WRW システムの構成

1. 無線モデム - JCM 網間

移動ホストに接続された無線パケットモデムは、通常の JCM のプロトコルによって無線で JCM の基地局に接続され、JCM のバックボーンネットワークより各基地局と通信がおこなわれる。

2. JCM 網 - X.25toTCP ゲートウェイ

JCM 網とインターネットを相互に接続するゲートウェイである。JCM 網とゲートウェイの間は X.25 インタフェースで接続されている。このマシンは JCM 網に有線接続されており、X.25 側にデータが届くと、ゲートウェイに対して telnet プロトコルでコネクションが張られる。

3. ゲートウェイ - WRW ゲートウェイ

前述の X.25toTCP ゲートウェイは、JCM 網とのコネクションが張られると、実際に wrwd が起動される WRW ゲートウェイの wrw ポートに対して tcp でコネクションを張る。WRW ゲートウェイ側では inetd がこれを受けて wrwd を起動する。

なお X.25toTCP ゲートウェイと WRW ゲートウェイが別々のホストになっているのは開発の便宜上であり、後にマージされる予定である。

4.1.3 対応アプリケーション

既存のアプリケーションプログラムに対して、若干のソースコードの変更と、専用ライブラリである libwrw.a のリンクを行なうことで、WRW システム対応のアプリケーションを簡単に作成することができる。現在、以下のようなアプリケーションを本評価システムで利用することができる。

遠隔ログイン	wrtelnet (telnet)
ファイル転送	wrfff (firewall friendly ftp)
データベース検索	wrfinger (finger), wrwhois (whois)
WWW ブラウザ	wrchimera (chimera)
チャット	wrirc (ircII)
電子メール	wrfrom (pop 対応 from)

4.2 測定

評価システムの構築が完了したばかりであるため、本格的な測定作業はこれから行う予定である。ここでは初期報告として、wrfff を用いた簡単な測定の結果を載せる。今回の測定は、256byte から指数関数的に 32Kbyte までのサイズのファイルをゲートウェイ側に用意し、移動ホストがそのファイルを get したときの wrfff が示すスループットの値を記録した。図 4.2 は、その結果である。

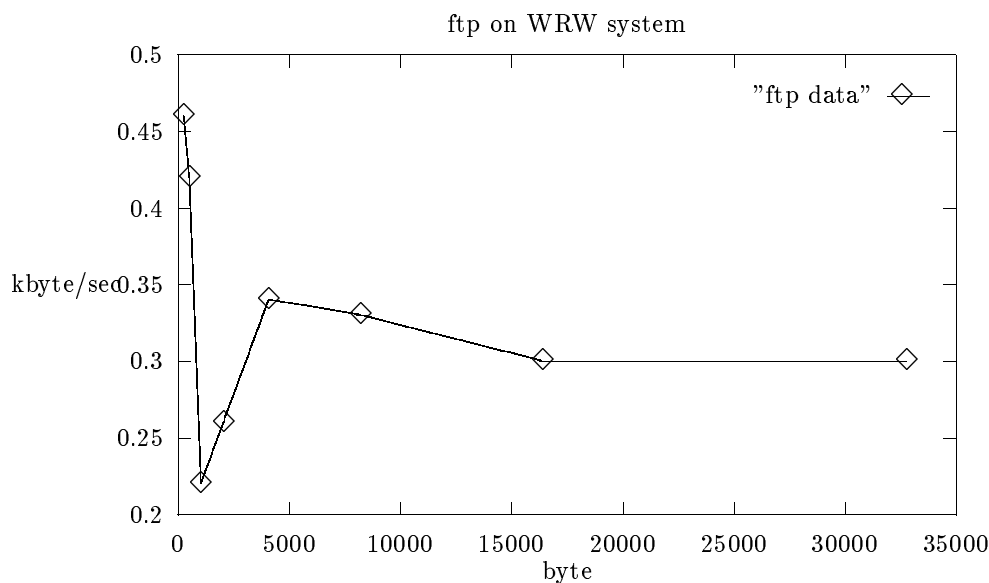


図 4.2: wrfff のスループット

このグラフをみた限りでは、ほぼ 0.3Kbyte/sec で収束している。これはモデム間通信速度である 2400bps の性能がそのまま引き出されていることを示す。

4.3 まとめ

今後 WRW-TF では、今回構築した評価版 WRW システムをもちいて測定を進めていく、そしてその結果を検討し、システムの改良にフィードバックさせていきたい。またシステムの安定化がすみ次第、配布も行なっていく予定である。

今後サポートすべき事項を列挙する。

- UDP の取り扱い

UDP をベースにしたアプリケーションへの対応を検討し、必要に応じて機能を追加する。

- DNS の参照

前述の通り、DNS の機構をそのまま移植するだけでは、通信量が多くなり、性能/コストの面で問題が発生する。無線環境にできした DNS の検討が必要である。

- 双方向接続の実現と経路情報の取り扱い

現在の方式では、インターネットから移動体へ通信を行なうことができない。これを改善する手段と、そのための、アドレスおよび経路情報の技術課題を解決する。

- ネットワーク動的切り替えと経路制御

ホーム環境との作業の連続性、利用できるネットワークの変化にともなうネットワークの自動的切り替えなどの課題を解決する。

- データ加工 (圧縮・暗号化) の充実

無線ネットワークに圧縮機能を追加することによるスループットの向上、暗号化による認証、秘とく性の強化。

- 対応アプリケーションの充実

電子メールといったメッセージ交換アプリケーション、情報発見ツールなどを中心に対応するアプリケーション・プログラムを充実していきたい。

- セキュリティの強化

移動体固有のセキュリティ要件の検討と、WRW への適用を検討。

- 実装方式、アルゴリズムの再検討

安定性、性能を高めるため、現実装方式およびアルゴリズムの再検討を行なっていくたい。

次章では、これらの課題の中でも特に重要なアドレス管理および動的な経路制御に関する、現在までの検討内容について報告し、本稿を締めくくりにする。

第 5 章

今後の課題

WRW システムはまだ評価版システムによる測定が始まったばかりであり、今後多くの取り組むべき課題が残されている。その中でも特に大きな課題として挙げられるのが、アドレスと経路制御に関する問題である。広域無線網によって接続されたホストは、インターネットにおける移動ノードとして捉えられる。しかも有線接続と比較して移動性は格段に高い。この無線接続された移動ノードに連続的で透過性のあるコネクティビティを提供することが WRW-TF の主題の一つである。そのためには、アドレス体系と経路制御に関する問題解決が必須となる。

ここでは多くの課題の中から特に、無線移動ノードをサポートするためのアドレス体系および経路制御機構について取り上げ、考察する。

5.1 広域無線網を使った IP 接続

WRW を構築する上で、当然、広域無線ネットワークを考慮した通信アーキテクチャを考える必要がある。WRW では参考文献 [156] で述べられているように 1) トランスポート層接続、2) IP 接続、3) VIP 接続、4) MobileIP 接続の 4 つの通信形態を考える。1 はアプリケーションレベルでの接続なので割愛し、本章では 2~4 の形態について述べる。

5.1.1 問題点と解決案

通信プロトコル 今回、使用する無線モデムは計算機側から見ると通常のもデムと同じように見える。そこでシリアル回線を使って IP パケットを通すための通信プロトコルが必要になる。このとき、SLIP、PPP の 2 つの選択肢があるが機能、将来性等を考慮し PPP を採用する。

移動透過性 現在の IP では、ネットワークインターフェイスを切り替えながら使う、という利用形態は考慮されていない。そのため無線/有線を切り替えると、通信相手を認識できなくなる、トランスポート層の論理通信路が切断される、という問題がある。この問題は移動ホストがサブネット間を移動するとき（接続する有線ネットワークを変えるとき）にも

起きる．このような移動透過性に関する問題は現在幾つか提案されているインターネットにおける移動ノード用の通信プロトコルを用いることで解決できる．

動的なアドレスの割当て 現在の移動ノード用の通信プロトコルはほぼ全てのものが一時 IP アドレスを必要とする．しかし，ネットワークを利用していない状態にあるホスト全てにアドレスを割当てておくのはアドレス空間の無駄な消費につながる．そこでアドレス割当ての機構に何らかの工夫をする必要がある．

5.1.2 移動ノード用プロトコル

可搬型の計算機をネットワークに接続したまま移動したいという要求に応えるため，現在，インターネットにおける移動ノード用のプロトコルが多数研究されている．そのなかに今回使用する Virtual Internet Protocol (VIP)[60] や Internet Engineering Task Force (IETF) の Mobile-IP Working Group によってまとめられた案 [58](本稿では Mobile IP と呼ぶ) がある．

Virtual Internet Protocol

VIP はネットワーク層を既存のネットワーク層とホスト識別子を使った仮想ネットワーク層に分け，2 つの層のアドレスの対応づけを行うことにより，トランスポート層以上の層では相手のホストのホスト識別子を指定するだけでその位置に関係なく相手と通信することを可能としている．対応づけはホストが持つ Address Mapping Table (AMT) によって行われる．AMT に相手のホストのエントリがなければ IP アドレスとしてホスト識別子 (VIP アドレス) が使われる．最悪の場合でも，ホスト識別子と同じネットワーク番号を持つネットワーク (ホームネットワーク) の入口になるルータ (ホームルータ) は移動ホストに対するエントリを必ず持っているのでパケットが移動ノードに到達することを保証できる．

Mobile IP

基本的に Mobile IP はホームエージェントによるパケット転送によって移動透過性を実現している．パケットはホームエージェントに対して送られ，ホームエージェントが移動ホストの移動先における補助を行うフォールインエージェントにカプセル化したパケットを転送することにより移動透過性を実現している．

移動ノード用プロトコルの導入

WRW で VIP や MobileIP を導入するとき，ホームネットワークを何処にするかを考えなければならない．WRW では，広域無線ネットワークにはいろいろな組織に属する計算機が接続されることが予想され，広域データ通信網をホームネットワークにするにはスケラビリティ，管理，セキュリティ等の面で不安が残る．よって WRW ではホームネットワークは各自が属する組織上に置くことにする．つまり，広域無線ネットワークは移動先の一

つと考えることになる。

ここで、移動ホストが広域無線ネットワーク側の一時 IP アドレスの割当を受けていないとき、如何にしてインターネット側からパケットを送るか、という問題がある。この問題はホームルータまたはホームエージェントと広域無線ネットワーク-インターネット間のゲートウェイとの間で特殊なプロトコルを用意しておき、必要に応じてホームネットワーク側から移動ノードへアドレスを割り振る要求をだすことで解決する。

5.1.3 アドレスの割当て

前章で述べたように WRW では各組織でホームネットワークを用意することになる。これは、広域無線データ通信網を使用するとき一時アドレスを割当てて必要があることを意味する。

WRW では 5.1.1 章で述べたように無線回線は PPP を使用する。PPP には IPCP と呼ばれるアドレスなどのネゴシエーションプロトコルがあり、これを使用してサーバ側から移動ノードに IP アドレスを指定することができる。そこで、ゲートウェイは動的にアドレスを割当ててためのプログラムを介して実際に動的にアドレスを取得し、その後、IPCP を使って接続してきたホストに IP アドレスを知らせる、という動作をすることになる。

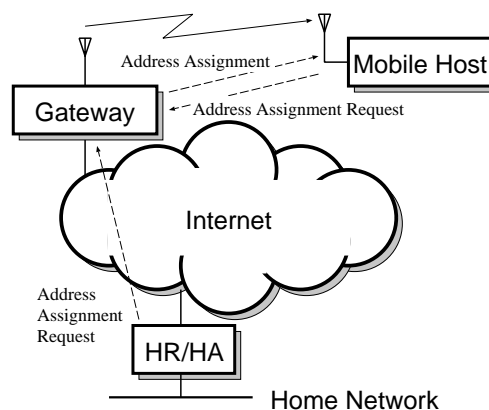


図 5.1: WRW のネットワーク構成

ここで問題となるのがアドレスを割振るときのポリシーである。アドレスの要求は 2 つの場合が考えられる。移動ノードが無線モデムを介して要求して来る場合とホームルータが要求する場合である。両方に共通して言えることはできる限り前回割当てたアドレスと同じものを割当てたほうがよい、ということである。WRW で使用する無線モデムは幸い、電話番号のようなモデム固有のアドレスを持っているのでこれを記憶しておくことにより、そのような割当てができる。