

## 赤外線通信方式における性能向上に関する一検討 —VFIR と IrLAN との組合せに於いて—

深町 文範<sup>†</sup> 松本 充司<sup>†</sup> 若原 俊彦<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院国際情報通信研究科 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

<sup>‡</sup> 早稲田大学国際情報通信研究センター 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

E-mail: <sup>†</sup> fuminori@ruri.waseda.jp, matsumoto@giti.waseda.ac.jp <sup>‡</sup> wakahara@giti.waseda.ac.jp

あらまし 携帯端末への楽曲の配信を想定し、5MB のコンテンツを、3~10 秒以内にケーブルレスで転送させること、つまり、ラスト1 mの無線通信を解決すべく、4Mbps 以上の実効レート実現が目標のひとつである。赤外線通信方式 IrDA での実現を考えると、ボーレートが最高4Mbps の IrDA-SIR Ver.1.1 実装デバイスでの実効レートは、半2重通信などにより転送効率が低下するといった問題がある。本研究では、転送効率低下の要因を検討し、転送効率を向上させる新たなプロトコルを提案する。

キーワード 赤外線通信, IrDA, 転送効率, VFIR, IrLAN

## A Study on the Performance Improvement in the Infrared Data Communication —About Combination of VFIR and IrLAN—

Fuminori FUKAMACHI<sup>†</sup> Mitsuji MATSUMOTO<sup>†</sup> and Toshihiko WAKAHARA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University 1-3-10 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

<sup>‡</sup> Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University 1-3-10 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

E-mail: <sup>†</sup> fuminori@ruri.waseda.jp, matsumoto@giti.waseda.ac.jp <sup>‡</sup> wakahara@giti.waseda.ac.jp

**Abstract** Effective rate realization of over 4 Mbps is one of our targets. There are the following requirements. Transmit 5MB of data within 3 - 10 seconds supposing distribution of musical contents to a MP3 player. That is, this is solving last 1m cable-less communications. Considering realization with IrDA, the effective rate in the IrDA-SIR Ver.1.1 mounting device of a maximum of 4 Mbps has the problem that transmission efficiency falls by half-double communication etc. In this research, the factor of a transmission efficiency fall is examined and the new protocol that raises transmission efficiency is proposed.

**Keyword** Infrared Data Communication, IrDA, Effective rate, VFIR, IrLAN

### 1. まえがき

近年、アクセスネットワークの速度はキロビットからメガビットへ、そしてバックボーンネットワークはギガビットなどと、全国的にブロードバンドネットワークのインフラが構築されて、大容量マルチメディアコンテンツの短時間ダウンロード/アップロードが実現されつつある。その一方で、大容量コンテンツをモバイル携帯端末へ簡易に受け渡す方法はまだ確立されていない。近距離でケーブルレスな通信には、赤外線方式や無線方式が考えられるが、無線方式では他局との混信、情報の漏洩により、通信速度が数10Mbpsまでに限られる。

赤外線通信方式は、赤外線を利用して通信するので国際的な法的規制がほぼ皆無であること、ポイント&シュートを基本とする秘匿性、ボーレート10Mbps以上の高速化が可能であることから、より有効である。そして IrDA プロトコルは小型かつ省電力設計など多くの特長を有し、携帯端末で利用可能な無線通信方式として最も低価格で高速なプロトコルである。

例えば、図1のような、コンビニのキオスク端末や自動販売機からモバイル携帯端末への楽曲の配信を想定する。この場合、アルバム1枚分の楽曲をMP3形式

で圧縮した5MBのコンテンツを、購入者が携帯端末の赤外ポートを所定の向きに保持したら直ちに、具体的には3~10秒以内にケーブルレスで転送させることが求められる。こうした、ラスト1mの無線通信を解決すべく、4Mbps以上の実効レートの実現が必要要件である。

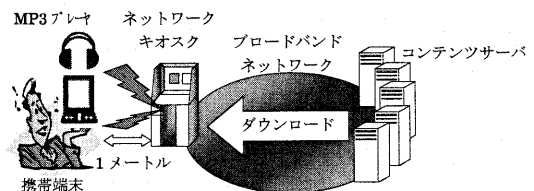


図1 システムイメージ

この課題に対して、赤外線通信方式 IrDA プロトコルでの実現を考えると、ボーレートが最高4Mbps の IrDA-SIR Ver.1.1 実装デバイスでの実効レートは、IrLMP 層の上位プロトコルによってオーバーヘッドが異なるものの、各レイヤ間で得られる実効レートは、ポ

ーレートよりも低い値となる。ここでは、各レイヤ間の実効レートと物理層のボーレートとの比を転送効率として議論することにする。

本研究は、ボーレートが最高 16Mbps の IrDA-SIR Ver.1.4 (Very Fast IrDA-SIR, 以後単に VFIR と呼ぶ) における実効レートに主眼を置き、その転送効率に付いて論ずるものである。

## 2. IrDA プロトコルにおける転送効率

この章では、IrDA プロトコルのうち、IrLAP 層間および IrLAN 層間の転送効率について、検討する。

### 2.1. IrDA プロトコル概説

IrDA プロトコル (以後単に IrDA と呼ぶ) のプロトコルスタックを図 2 に示す。このうち、本稿で検討する範囲は、太枠の中である。

IrTran-P	OBEX	IrLAN	IrCOMM	IrMC	IrFM	IrBurst
LM-IAS		Tiny TP				
IrLMP (IrDA Link Management Protocol)						
IrLAP (IrDA Link Access Protocol)						
SIR Ver1.0 9600bps ~ 115.2kbps	SIR Ver1.1 0.576Mbps 1.152Mbps	SIR Ver1.1 (FIR) 4Mbps	SIR Ver1.4 (VFIR) 16Mbps	UFIR 100Mbps		

図 2 IrDA プロトコルスタック  
(灰色部分は IrDA にて審議中)

- IrDA-SIR(Serial Infrared Physical Layer Specification)  
OSI 参照モデルの物理層に相当し、赤外線トランシーバの信号強度、指向性、変調方式などを規定している。
- IrLAP(Infrared Link Access Protocol)  
OSI 参照モデルのデータリンク層に相当し、通信の基本である局発見手順や、ボーレート、データサイズ (DS)、最小ターンアラウンドタイム (MinTAT)、最大ターンアラウンドタイム (MaxTAT)、ウィンドウサイズ (WS) の決定手順などを規定している。
- IrLMP(Infrared Link Management Protocol)  
IrDA-SIR/IrLAP において提供される物理的な通信経路上において、複数の論理的な通信経路を上位層に提供するための、多重化およびリンク管理を規定している。
- Tiny TP(Tiny Transport Protocol)  
OSI 参照モデルのトランスポート層に相当し、フロー制御や上位層が要求するデータサイズ決定手順を規定している。
- IrLAN(LAN Access Extensions for Link Management Protocol)  
IrDA のリンク上での Ethernet のエミュレートおよび、アクセスポイントを経由した Ethernet またはトークンリングへの接続についての手順を規定している。

### 2.2. IrLAN の転送効率

IrLAN の機能は、IrDA と Ethernet 間のメディア変換を行うことであるので、ゲートウェイに分類される。最近のオフィスや家庭への LAN の普及状況は、ADSL モデムやブロードバンドルータなども含めて、Ethernet 機器が主流を占めている。したがって、IrDA のボーレート向上を受けて、コンテンツサーバから携帯端末へデータを送る手段を考えた場合、IrLAN への期待は大きい。

一方で、IrLAN の転送効率について、その具体例を探してみると、IrLAN を実装した IrDA-Ethernet アダプタ「XTND Access IrDA NET」や「Clarinet EthIR Switch」がある。これらを利用した場合、その実効レートは、公称値によれば FTP による計測で、最高約 1.3~2Mbps とのことから、ボーレート 4Mbps に対する転送効率は 33~50% 以下と推定され、目標とする実効レート 4Mbps には及ばないのが実状とされている。

もっとも、IrDA では、波長 850~900nm 内で単一の赤外光を用いた 1 対 1 の半二重方式という物理的制約があって、その上で論理的に複数サービスの提供を実現している。このことから、他の有線通信方式とはもちろん、電波を用いた無線通信方式と一概に比較することは適当でない。

最近では IEEE802.11b や IEEE802.11a といった電波による無線 LAN 方式の台頭が目覚しいが、IrDA でも通信速度の向上が検討されていて、ボーレートが最大 16Mbps の IrDA-SIR Ver.1.4 (VFIR) が 2001 年 5 月 30 日に制定されている。

これにより、IrDA で 4Mbps 以上の実効レートを実現する道筋が示された。VFIR に対応したトランシーバやドライバチップも開発されているので、今後の市場には、VFIR を搭載した携帯情報端末が投入されると期待されている。

最近の IrDA の動向を見ると、更にエポックメイキングな、ボーレート 100Mbps 以上の物理層規格(UFIR)の策定を目指した活動が、新たに開始された。

また、IrDA における高速化に関しては、これまでの他の研究報告として、ボーレート向上の他に、ストリーミングにも対応可能な高効率なプロトコル IrBurst の検討などが知られている。

### 2.3. IrDA-SIR におけるオーバーヘッドの割合

IrDA-SIR における変調方式は、ボーレート 9600bps ~ 1.152Mbps ではベースバンド方式である RZI (Return-to-Zero-Inverted)、4Mbps では 4 値 PPM (パルス位置変調)、そして 16Mbps では HHH (1, 13) を用いている。

HHH (1, 13) 変調方式は RLL (Run-Length-Limited) 変調方式を基本としたもので、Duty Cycle による冗長性を持たせている。

また、IrDA-SIR 層ではボーレート向上に際して、下位互換性を保持しつつ、フレームフォーマットの拡張を行っている。そのため、IrLAP 層情報部に対しフレーム長が長くなり、その関係は図 3 に示すとおりである。VFIR では、フレームを形成する時点で 12% 以上のオーバーヘッドが生じることになる。

図 4 は、IrLAP 層情報部のサイズ (DS) と、SIR 層のフレーム長に占める IrLAP 層情報部の割合との関係を示している。IrLAP 層と SIR 層における転送効率は、この値より高くはならない。IrLAP 層情報部とは図 3 の I にあたり、IrLMP 層から IrLAP 層が受け取る SDU (サービスデータユニット) のことである。

つまり、フレームフォーマットと変調方式から鑑みて、IrLMP 層から見て、IrLAP 層から SIR 層を経由したフレーム割合は理論上、ボーレート 115kbps に対して 99.7% 以下、4Mbps に対して 98.7% 以下、そして 16Mbps に対して平均 78.2% 以下である。

ボーレートが向上する一方、SIR 層経由のオーバーヘッドは大きくなり、VFIR の実効レートは平均 12.5Mbps が理論上の最大値であると予想できる。

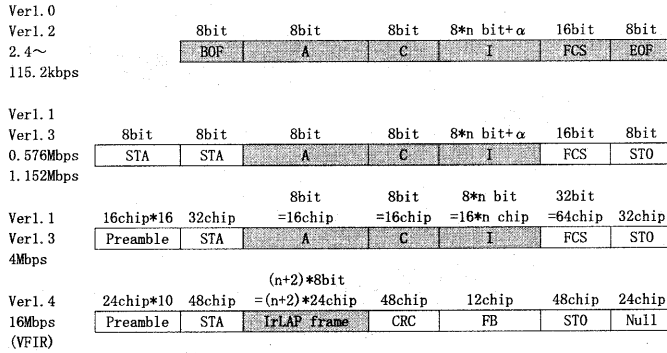


図3 IrDA-SIR層のフレームフォーマット

BOF: 開始フラグ, A: アドレス部, C: 制御部, I: 情報部, FCS: フレームチェックシーケンス  
 EOF: 終了フラグ, STA: スタートビット, STO: ストップビット, IrLAP frame: A+C+Iの略記,  
 CRC: 巡回冗長検査部, FB: フラッシュバイト, Null: Null シーケンス.

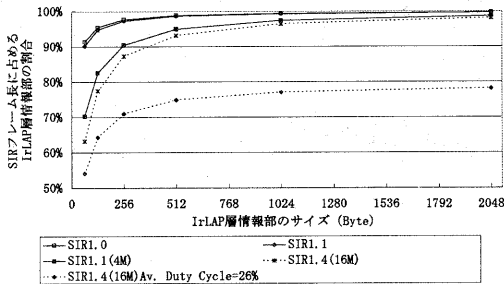


図4 フレーム長に対する IrLAP 層情報部サイズ

#### 2.4. IrLAN の転送効率の算出

前述のように IrLAN の機能は, Ethernet または トークンリングの LAN へのアクセス, もしくは IrDA デバイスどうしのリンク上で Ethernet をエミュレートすることであり, その上位層プロトコルについては任意である. ここでは, インターネットに代表される広域分散ネットワークからコンテンツを受信するサービスモデルを想定し, Ethernet を経由して, TCP/IP プロトコルを用いた場合の転送効率について検証する.

TCP/IP, Ethernet そして IrDA は何れも可変長フレームを用いており, そのフレーム変換は図5のような関係にある. この場合の実効レートを, 次の評価式より求め, プロットしたものが, 図6から図11である.

$$TR\_EFF = (TR\_RATE / PHY\_RATE) \times 100 \quad (1)$$

$$TR\_RATE = DAT\_LEN / TR\_TIME \quad (2)$$

$$TR\_TIME = DAT\_TR\_TIME + TOTAL\_OH \quad (3)$$

TR\\_EFF: 転送効率(Transfer Effectiveness) [%]

TR\\_RATE: 実効レート  
(Effective Transfer Rate) [bps]

DAT\\_LEN: 送信データビット長  
(Transferred Data Length) [bit]

TR\\_TIME: 転送時間(Transfer Time) [sec]

DAT\\_TR\\_TIME: データ転送時間  
(Data Transfer Time) [sec]

TOTAL\\_OH: 総オーバーヘッド時間  
(Total Overhead) [sec]

オーバーヘッドには, ヘッダ長, Min TAT, エラーリカバリ, コネクション時間, TCP/IP の応答, Ethernet のストアアンドフォワード, および処理時間が含まれる. ただし, エラーリカバリとコネクション時間については, この場合, ゼロと見なせるものとして評価している. 見積もりがつかない処理時間も同様として, 実験系との比較において考慮することにする.

図6から図8まではボーレート4Mbps, 図9から図11まではボーレート16Mbps (VFIR) の場合である. Ethernet 側のボーレートは何れも100Mbpsとした.

実効レート低下の傾向は何れにも共通して, 送信データサイズが小さく, DS が小さく, MinTAT が長く, MTU (Maximum Transmission Unit) が小さいほど認められる. なかでも顕著なのが MinTAT で, MinTAT が1ms 以上の場合, 送信データサイズ10,000Bytes までの全体に渡って実効レートの低下を招いている. オーバヘッドの内訳を見ると, TCP/IP プロトコルによる影響が MinTAT の大小に関わらず, 全体を通じて最も大きい. これは ACK の応答に起因している. 次がフレームのオーバーヘッドで, 特に VFIR では常に15%以上と, 4Mbps の場合 2~20%程度あるのと比較して大きな割合を示している. これは2.3章での予想とも良く合致している.

5MB のデータの転送時間を求めると, Ethernet 側のボーレートが100Mbps で, DS=2048, MinTAT=0.01ms, WS=1, MTU=1500 のとき, 赤外線区間のボーレートが4Mbps の場合に12秒 (転送効率88%) で, 16Mbps の場合に4.8秒 (転送効率55%) である.

なおこの検討は, TCP 層間の実効レートであり, 更に上位に FTP や HTTP といったサービスを重畳することも考慮する必要がある. 目標の3~10秒以内で転送するためには, VFIR が必ず必要になる.

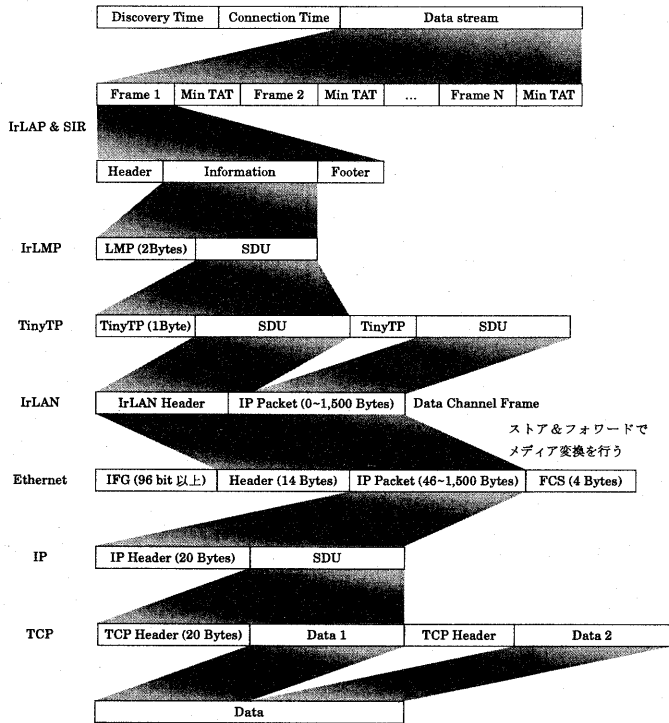


図5 送信データから TCP/IP パケットを経て IrDA フレームまでの変換

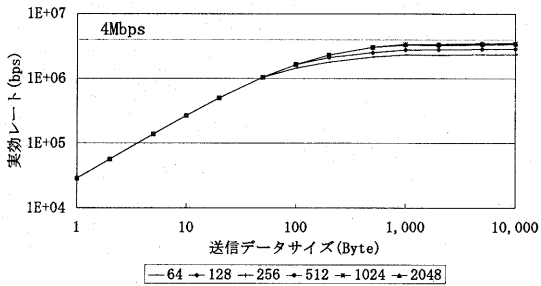


図6 IrLAP 層 DS と実効レート

(ボーレート 4Mbps, MinTAT=0.01ms, WS=1, MTU=1500)

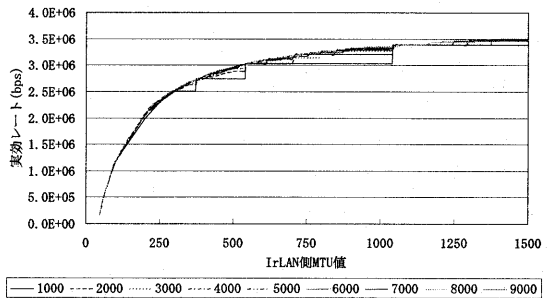


図8 MTU と実効レート

(ボーレート 4Mbps, DS=2048, MinTAT=0.01ms, WS=1)

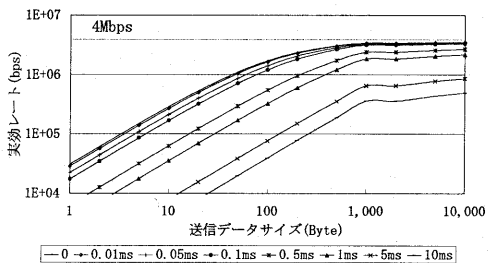


図7 MinTAT と実効レート

(ボーレート 4Mbps, DS=2048, WS=1, MTU=1500)

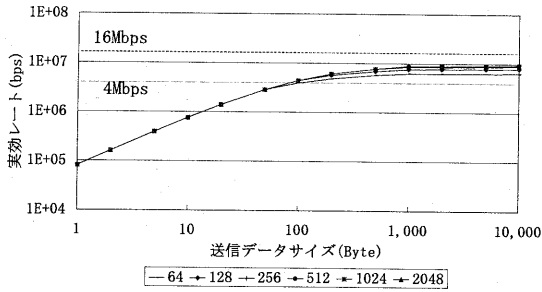


図9 IrLAN層 DSと実効レート  
(ボーレート 16Mbps, MinTAT=0.01ms, WS=1, MTU=1500)

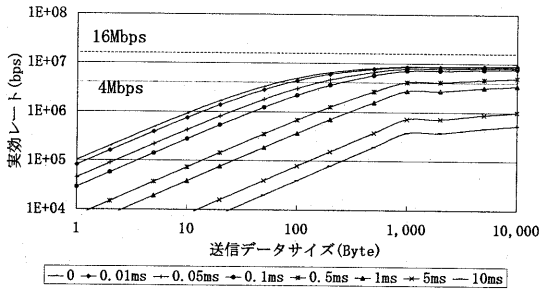


図10 MinTATと実効レート  
(ボーレート 16Mbps, DS=2048, WS=1, MTU=1500)

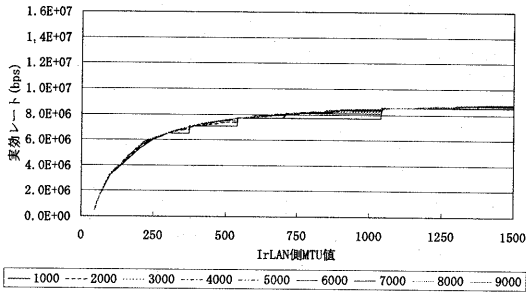


図11 MTUと実効レート  
(ボーレート 16Mbps, DS=2048, MinTAT=0.01ms, WS=1)

### 3. IrLANの実験的検討

IrLANの転送効率について、2章では最高88%と高い値を予想したものの、公称値の50%とは大きな差異がある。実効レート導出の妥当性、および実装における現状についての確認を行う。

#### 3.1. IrLANの実験系

具体的には、図12に示すような、IrLANアダプタを含んだネットワーク構成において、TCP/IPパケットの実効レートを計測した。

計測方法は、Ethernet LAN上の端末から、EthIR経由でIrDAポートを備えた端末へ、1~9999Bytesの範囲で任意のサイズのTCPパケットを1024回連続して送信し、その間に実効レートの平均値を記録。これを

3回繰返して行った。

IrLANアダプタには「Clarinet EthIR Switch」を用いた。この構成での実効レートは、ボーレート4Mbps、MTU=1448Bytes、および送信データサイズ8191Bytes時の1.96Mbps、転送効率49%が最高であった。

#### 3.2. 実験結果と考察

実験値と2章の評価式から得られる計算値とをプロットしたものが、図13である。

実測値と理論値の間に見られる差異は、まず全体的に実測値が理論値よりも低い。実験値のプロットは送信データサイズ100Bytes付近で折れ曲がっている。

この原因を探るためEthernet側のパケットをキャプチャしたところ、EthIR SwitchからのACKが、10msという非常に長い間隔を置いて送信されていた。これを評価式の処理時間として再度プロットしたものが、図14である。

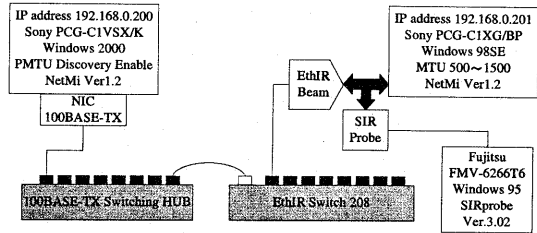


図12 IrLANネットワーク構成

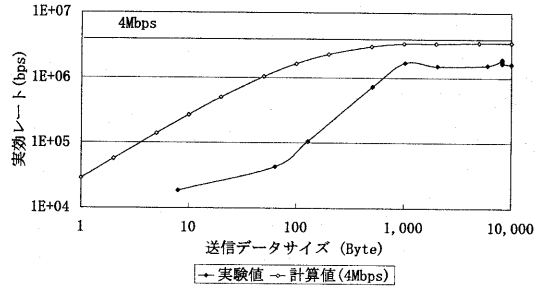


図13 IrLANの実効レート(実験値)

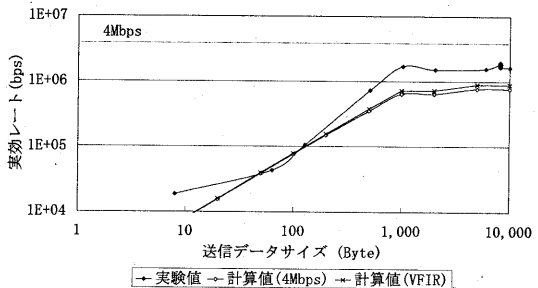


図14 IrLANの実効レート(実験値)  
(処理時間として10msのACKを考慮)

実測値が一部で理論値を上回っているが、これは実

測定の測定がパケットを連続して送信しながら行ったため、ウィンドウによる効果で実測値が高めになったものと考えられる。

ACK が 10ms 間隔で応答していることは、IrLAN の実装にあたり、EthIR Switch のスイッチとしての動作が 10ms のサイクルにあるものと考えられる。Ethernet と IrLAN の間には、ボーレートで 2.5 倍以上の速度差があり、これを吸収する仕組みとして、このサイクルが用いられている。これは、IrLAN 層間では TinyTP というフロー制御の仕組みがあるが、IrLAN が Ethernet 側に対して直接的にフロー制御を行うことが出来ないからである。

しかし、速度差を吸収出来る一方、大きく二つの問題がある。一つには、IrLAN の上位層が UDP のようなフロー制御を行わないプロトコルの場合には効果が無く、パケットあふれをまねくことになる。もう一つの問題は、そのオーバーヘッドの大きさから図 14 中に示したように VFIR による実効レート向上が期待できないことである。

### 3.3. 新プロトコルの提案

VFIR を搭載した IrDA アダプタで 4Mbps 以上の実効レートを発揮するには、理論上スイッチの動作サイクルは 1ms 以下であることが求められる。ただし、そうした場合にボーレート 4Mbps 以下の IrLAN クライアント向けのパケットが頻繁に溢れることになりかねない。

そこで、IrLAN に異なるメディア間の速度差吸収の機能を備えた、新たなモードの追加が考えられる。現在の IrLAN の仕様には、アクセスポイントモード、ピアツーピアモード、ホストモードと 3 つの形態があった。有線 LAN との速度差が問題となるのは、アクセスポイントモードと、ホストモードの場合である。これに加えるモードとして、IrLAN プロバイダが有線 LAN 側とはトランスポート層以上で、IrLAN クライアント側とはピアツーピアモードで交信する機構を提案する。

現状の IrLAN と比べて、データリンク層より上位のプロトコルの選択が制限されることになるが、モバイル携帯端末では、数多くのプロトコルに対応する必要性は低い。加えて、携帯端末に特化して考えを推し進めて、IrLAN アダプタ側からアクティブに局発見するような手順が望ましい。

## 4. まとめ

IrDA により大容量マルチメディアコンテンツをモバイル携帯端末にケーブルレスでダウンロードする目的において、VFIR と IrLAN によるモデルを検証した。

転送効率向上の条件は、次のとおり。

- (1) IrLAP 層 DS は 256 以上、2048 とする
- (2) IrLAP 層 MinTAT は 0.1ms 以下とする
- (3) IrLAP 層 WS は 1 ではなく 7 とする
- (4) IP 層 MTU は 1041 以上、1500 とする

結果として、TCP 層間でサイズが 5MB のコンテンツであれば理論的には 5 秒以内に転送可能であること、そして実装においても目標値の 10 秒以内は可能であり、VFIR で実現できる見通しが得られた。

また上記検討結果から、VFIR の性能だけに限らず、IrLAN で高い転送効率を実現するには、有線 LAN 側にフロー制御機能を有するような、新たな IrLAN のモードが必要であることを提案した。

## 5. 謝辞

筆者の株式会社グローバルソフトウェアから早稲田大学大学院国際情報研究科への派遣は、雇用・能力開発機構埼玉センターより「中小企業発展基盤人材育成計画」の適用を受け実施されたものである。

また、転送効率のシミュレーション検討については、NTT サイバーソリューションシステムズ研究所の川村浩正氏より多くのご示唆を頂いており、この場を借りて、御礼申し上げます。

## 文 献

- [1] 松本充司監修 “赤外線通信プロトコル—IrDA 基礎編—”，トリケップス，1999
- [2] 松本充司監修 “赤外線通信プロトコル—IrDA 応用編—”，トリケップス，1999
- [3] 千葉徹監修 “赤外線通信技術”，トリケップス，1997
- [4] 松本充司，川村浩正，北角権太郎，若原俊彦 “赤外線通信技術による高速バースト転送方式(IrBurst)の一提案” 信学総大，B-6-45，March 2002
- [5] Walter Hirt, Martin Hassner, Nyles Heise “IrDA-Vfir(16Mb/s): Modulation Code and System Design”，IEEE Personal Communications, February 2001
- [6] Infrared Data Association, “Serial Infrared Physical Layer Specification Version 1.4”，2001
- [7] Infrared Data Association, “Serial Infrared Link Access Protocol(IrLAP) Version 1.1”，1996
- [8] Infrared Data Association, “Link Management Protocol(IrLMP) Version 1.1”，1996
- [9] Infrared Data Association, “ ‘Tiny TP’ : A Flow-Control Mechanism for use with IrLMP Version 1.1”，1996
- [10] Infrared Data Association, “LAN Access Extensions for Link Management Protocol IrLAN Version 1.0”，1997