

無線回線品質を利用したパケットスケジューリング機構

間 博人¹ 田村 陽介² 徳田 英幸^{1, 2}

¹慶應義塾大学 環境情報学部 ²慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

無線ネットワーク環境においては、位置によって回線品質が変化する。回線品質の変化により、無線端末における通信効率も変化する。回線品質が悪くなると、パケットを受信する事ができない無線端末に対して無駄な帯域を使用してしまい、無線ネットワーク全体の効率が低下する。本論文ではこの問題を解決するために、回線品質の指標である Signal to noise ratio(SNR)を利用したパケットスケジューリング機構を提案する。また SNR と通信効率にどのような関係があるかを示すとともに、実際に無線基地局において帯域制御を行うことで、無線ネットワーク全体の転送速度が20%以上向上した事を示す。

Wireless Channel Quality Based Packet Scheduling Mechanism for Wireless Networks

Hirotu Aida¹ Yosuke Tamura² Hideyuki Tokuda^{1, 2}

¹Faculty of Environmental Information, Keio University

²Graduate School of Media and Governance, Keio University

In wireless networks, channel quality depend on location of a mobile host. Performance of bandwidth utilization also depend on channel quality. If channel quality has gone bad, basestation uselessly transmit to wireless host that can not receive packets. As a result, total wireless network performance is degraded. In this paper, we propose packet scheduling mechanism using signal to noise ratio (SNR) that an sign of wireless channel quality. We also examine the relation between channel quality and traffic performance. We substantiate total throughput improved over 20% by exclude useless traffic at base station in wireless networks.

1 はじめに

無線ネットワーク環境は、IEEE802.11[1]の規格化や、通信デバイスの進歩で大学、オフィスや家庭等で一般的に使用されるようになった。このため無線ネットワークでは、無線端末の増減が生じる為、利用できる帯域が変動する。無線端末の数が増えるに従って、データ転送量の増加や輻輳といった問題が発生する。また無線端末の位置により、回線品質が異なるといった問題が発生する。この回線品質の違いからも、利用できる帯域が変わってくる。このような理由から無線基地局では、各無線端末の使用可能な帯域の変動に柔軟に適應する効率的なデータ転送を行わなければ、結果的に無線ネットワーク全体の転送効率を下げ利用者の作業効率を引き下げる。この問題の解決には、帯域の変動に柔軟に対応する円滑なデータ配送システムが必要となる。

本論文では、無線回線の品質と通信性能にどのような相関があるのかを明らかにする。またその

結果を利用し、回線品質を利用した無線基地局でのスケジューリング機構である SNR based Packet Scheduling(SPS)を提案する。本機構を用いる事で、無線ネットワーク環境における利用可能な帯域の変動に適應した通信制御が可能である。帯域の変動に対応する事で、不必要なデータ送信を避け無線ネットワーク環境において効率的な帯域共有が可能となる。

本論文の構成は、第2節で無線ネットワークにおける問題点とその解決法を述べ、第3節で既存の関連研究との相違点について説明する。次に第4節で回線品質と通信可能帯域の考察を行う。第5節でSPSの設計、第6節でSPSの実装について述べる。第7節で測定評価を行い、第8節で今後の課題について述べ、最後にまとめる。

2 無線ネットワーク環境の問題点

本節では、無線ネットワーク環境における3つの問題点を指摘し、その解決方法を考察する。まず第1に、無線ネットワーク環境における利用可

能な周波数帯域は法律で制限される。このため無線ネットワーク環境ではネットワーク資源が限られている。このことからネットワーク資源を有効に活用しなければならない。

第2に、無線ネットワークの帯域は、有線ネットワークと比較すると狭い事が多い。この場合、有線から無線への通信において接点となる無線基地局が、ネットワーク的ボトルネックとなる。この問題を解決する為には、無線基地局における効率的なデータ配送方式が求められる。

第3に無線ネットワークでは、ネットワーク環境を使用する無線端末の数に増減が生じる。そのため使用する無線端末の数が増えるに従い、使用可能な帯域が減少し、利用者の作業効率を引き下げる。また無線媒体には、無線端末の位置により回線品質が変化するという特徴がある。回線品質が悪くなると、相応に送信データのビット誤り率が高くなり、利用可能な帯域が減少する。回線品質が悪く、ほとんどパケットが送信できないような無線端末に対し送信を行うと、無駄な帯域を消費してしまう。この結果、資源を有効利用できず、無線ネットワーク全体の効率の低下を招く。この問題を解決する為には、無線基地局において利用可能な帯域の変動に適應した効率的なデータ配送を行う必要がある。

本論文では、この3つの問題点の解決を目的とするSNR based Packet Scheduling(SPS)を提案する。SPSは各無線端末の回線品質に応じて利用可能な帯域を割り当て、割り当てた帯域をもとにスケジューリングを行う。SPSは、第3の問題の解決策である、利用可能な帯域に応じたデータ配送を行うとともに第2の問題の解決策である無線基地局における効率的なデータ配送方式を実現する。その結果として第1の問題の解決策である資源の有効利用を実現する。

3 関連研究

本節においては、関連研究としてチャンネル状態依存型パケットスケジューラについて説明する。またチャンネル依存型パケットスケジューラの問題点と本論文で提案するSPSとの違いについて説明する。

3.1 チャンネル依存型依存型パケットスケジューラ

本論文で提案するSPSと同じ目的の既存研究として、チャンネル状態依存型パケットスケジューラ(CSDPS: Channel State Dependent Packet Scheduler)[3]がある。チャンネル依存型パケットスケジューラは、チャンネル状態が無線端末の位置によって異なる事とチャンネルエラーはバースト的に発生するという無線媒体の特徴を利用しチャンネル状態を推測する。そしてチャンネル状態が悪いと判

断した無線端末に対しては、チャンネル状態が良好になるまでパケットの送信を待機させるようなスケジューリングを行う。このチャンネル依存型パケットスケジューラでは、チャンネル状態の違いにより不公平性が生じる。これを解決する為には、不公平性を補償する機能をつけたものいくつか提案されている[5, 6, 7, 4, 8]。これらはどのように補償をするかという点でそれぞれ異なっている。伊利ノイ大学のV. Bharghavanらは、これらの補償アルゴリズムの公平性や補償可能性など性能について評価を行っている[2]。

3.2 既存研究の問題点

上記で提案されているチャンネル状態依存型パケットスケジューラ及び補償アルゴリズムでは、チャンネルエラーはバースト的に発生するという無線媒体の特徴を用いてチャンネル状態を推定する。または、チャンネル状態は瞬間的に予測できるという仮定のもとで提案されている。このように推定したチャンネル状態が正確なものであるとは到底言えない。またチャンネル状態は良いか悪いかの2通りのみで、送るか送らないかを判断する為、中間点は存在せず粒度が荒い。

SPSではチャンネル状態は推定せずに、回線品質を利用する。具体的には無線通信において回線品質を評価する際の一般的な指標である、Signal to noise ratio(SNR)を利用する。SNRは式(1)に示すように、受信機の帯域通過フィルタ後の受信信号電力と雑音電力の比から計算する。Sは信号電力をあらわし、Nは雑音電力をあらわす。SNRの単位は(dB)である。

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} [S(W)/N(W)] \quad (1)$$

SPSではこのSNRを使用し利用可能な通信帯域を推定する事で、正確に帯域を割り当てることが可能である。また、割り当て方式を容易に変更する事が可能な為、チャンネル状態を使ったスケジューリング方式と比べて、柔軟で適応的な機構であるといえる。

4 回線品質と通信効率の関係

SPSでは、SNRから利用可能な通信帯域を推定する必要がある。理論的なアプローチとしては、一般的に無線のデジタル変調方式を特定する事で、SNRからビット誤り率の理論値を求める事が可能である。現在多くのデジタル変調方式は、位相変調(PSK)を用いている。PSKの理論的なSNRとビット誤り率の関係を式(2)のように示す事ができる[17]。

Eは式(1)の信号電力S、N₀は雑音電力Nで

ある。また erfc は補誤関数である。これらを用いてビット誤り率 P_e をもとめることができる。ビット誤り率 P_e は、 $P_e = 10^{-k}$ のように表現される。この場合データを 10^k 送信した時に 1 ビット誤ることをあらわす。

$$P_e = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\frac{E}{N_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

しかしビット誤り率が分かっても TCP 上の通信効率、TCP が行う輻射制御やエラー制御により理論値だけで求めるのは難しい。そこで今回実際に測定を行う事で、SNR と TCP 上の通信効率にどのような関係があるかを調べた。

4.1 測定環境

測定環境を図 1 に示す。無線端末の MH1 および MH2、ブリッジ機能を持つ AP と有線側のホスト CH により構成される。MH と AP は 2Mbps の帯域を持つ NCR の WaveLAN で接続され AP と CH は 100Mbps Ethernet で接続される。OS は全て FreeBSD2.2.8R[12] であり、MH および AP は PAO[11] パッチをカーネルに適用したものを使用する。

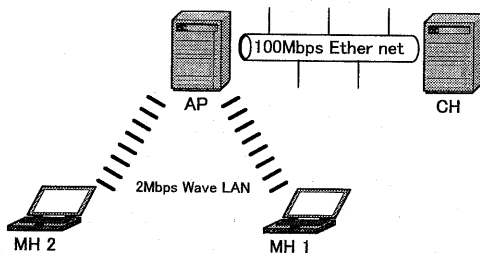


図 1: 測定環境

4.2 測定結果

測定は、AP がボトルネックとなるような状況を想定し CH から MH1 へダウンリンクの TCP フローを送信する。それぞれの測定で、転送速度と SNR を同時に測定する。転送速度は、Netperf(A Network Performance Benchmark)[10] を用いて 3 分間の平均転送速度である。また SNR は MH1 側で 3 秒毎にデバイスから取得した、3 分間の平均 SNR である。この実験を繰り返す事で得た測定結果を図 2 に示す。この図における Y 軸が転送速度で、X 軸は SNR の値である。SNR の数が小さくなる程、回線品質は悪化している事をあらわす。図 2 の測定値の分布を見ると平均 SNR が 10db 付近から転送速度が低下し始め、平均 SNR が 3db 付

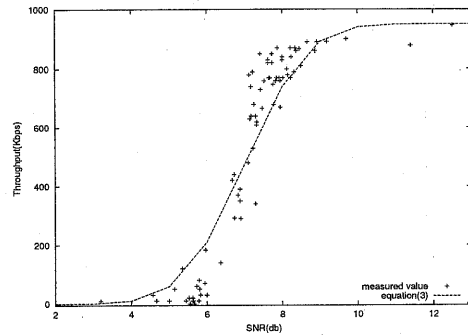


図 2: SNR と TCP 転送速度の関係

近になるとほとんど送信する事はできない。

次に、この SNR と転送速度の定式化を試みる。まず複数の地点で 40 分間 3 秒毎に SNR を測定する実験を繰り返し、SNR を時系列で見た場合にどのような変動をしているか調べるための測定を行う。図 3 は、平均 SNR が 8db 周辺の測定値を得た 3 回の実験の SNR を時系列で見たグラフである。この図の Y 軸は SNR をである。また X 軸は測定開始からの時間をあらわす。この図をみると、同一

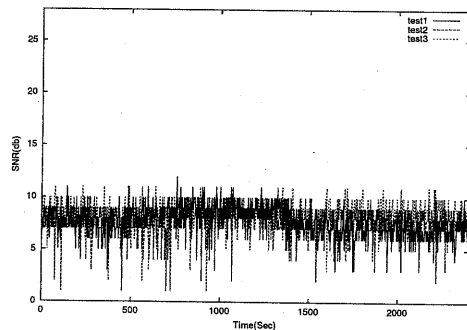


図 3: SNR の時系列での変動

地点で測定していても SNR は振動している事がわかる。また、一時的に SNR が急激に低下する現象が見られる。それに対して SNR が急激に上昇する事は無い。この図 3 の SNR の変動を度数分布としてあらわしたものが図 4 である。図 4 の Y 軸は度数でそれぞれの SNR 値が計測された回数を示す。

式 (3) は、この SNR の変動が正規分布であると仮定し、正規分布の累積密度関数を利用することで定式化を試みたものである。

$$T = \max \frac{1}{\sqrt{2x\sigma}} \int_0^x e^{-\frac{(y-\text{SNR})^2}{2\sigma^2}} dy \quad (3)$$

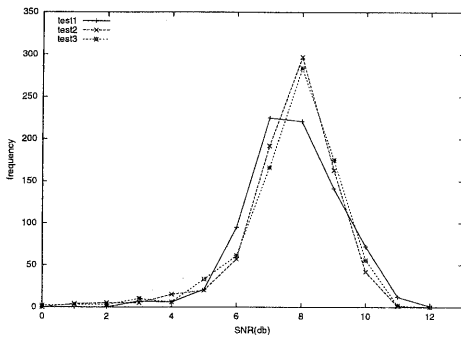


図 4: SNR の度数分布

式 (3) において, T は割り当てる帯域, \max は最大転送速度, x, y は指定する SNR の閾値. σ は SNR の振動の標準偏差, SNR は対象無線端末の SNR を示す. この式 (3) に対し, \max を 950Kbps, x を 7db, SNR の標準偏差を $\sigma:1.7$ として計算したものを, 図 2 において曲線ですす.

5 SPS の設計

本節では第 4 節で考察を行った SNR と転送速度の関係を利用し, 無線ネットワーク環境において効率的な帯域共有を行う事を目的とする SPS の設計について述べる.

5.1 想定環境

図 5 ならびに図 6 は, SPS において想定するネットワーク構成を示す図である. 図 5 では, 無線基地局とその無線基地局を使用する複数の無線端末を想定する. 無線基地局は, 有線ネットワークと無線ネットワーク間のブリッジ機能を持ち, 各無線端末は無線基地局を経由することで, WAN や LAN にアクセスする事が可能である.

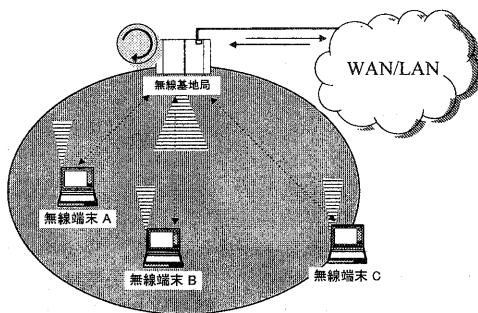


図 5: 想定環境 1

図 6 は, 図 5 の電波が到達する範囲(セル)がお互いに重なりあい構成されている無線ネットワーク環境である. 図 6 や図 5 に示すセルは, 理論上の

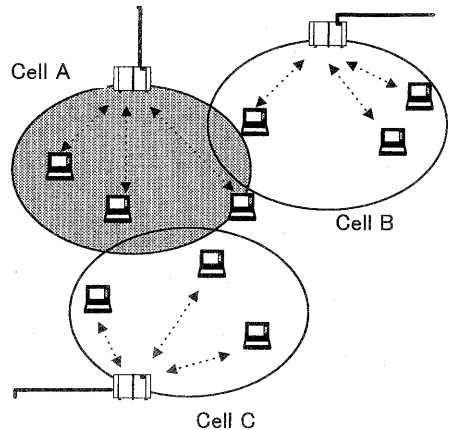


図 6: 想定環境 2

電波の到達範囲であり, 現実的には電波の減衰や障害物によりセル内の位置によって回線品質は異なる. 無線端末はローミングを用いることで, ネットワークコネクションを維持しつつ, 異なったセルに移動することで事が可能である. 一つのセルには必ず 1 つの無線基地局が存在し, それぞれのセルに属する無線端末は, そのセルに存在する無線基地局を通して通信を行う事が可能である.

無線基地局には, それぞれ無線の届く範囲が決まっている. また障害物などが原因で電波の減衰が生じ位置により回線品質が異なってくる. 回線品質により送信可能な容量も変動するため, 無線端末へパケットを送信する際は回線品質の変動を考慮する必要がある. 例えば, 図 5 において, 無線基地局と無線端末 C の回線状態が悪くほとんどパケットを送る事ができない状態である場合, 無線端末 ABC にそれぞれ均等にネットワーク資源を配分すると無線端末 C のために確保したバッファ及び送信したデータのはほとんどは無駄になってしまう.

SPS ではこうした無駄を省き, 限られたネットワーク資源を有効に使用するために, 無線基地局において各無線端末の回線状態を考慮して帯域を割り当てる. 上記の例の場合, 無線端末 C に送る事のできないネットワーク資源を回線品質の良好な無線端末 AB に割り当てることで, 無駄な再送などのオーバーヘッドが無くなり, 目的を達成できる.

このように, SPS では回線品質と通信容量の関係を定式化して, 回線品質から各無線端末の帯域を割り当てる. 割り当てられた帯域に基づきスケジューリングを行うことで, ネットワーク資源を有効に活用する事が可能である.

5.2 システム構成

SPS のシステム構成を図 7 に示す。SPS は、図

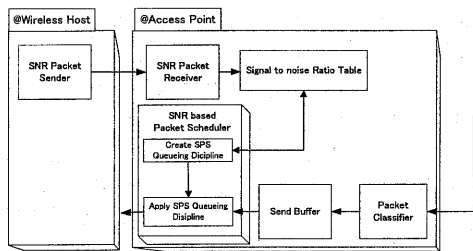


図 7: SPS のシステム構成図

7 に示すようなモジュールから構成されるが、大きく SNR 取得機構と通信制御機構に分かれる。次にそれぞれが具体的にしている事を説明する。

SNR 取得機構

無線基地局は、無線端末の SNR を感知できないため、SNR based Packet Scheduler が使用する各無線端末側の SNR の取得機構が必要となる。まず無線端末側の SNR Packet Sender が一定間隔で回線品質を無線基地局側に通知する。これを無線基地局側の SNR Packet Receiver が受け取り、SNR 管理テーブルにアップデートを行う。SNR 管理テーブルは、各無線端末の IP アドレスと SNR で構成される配列からなる。SNR based Packet Scheduler は、この SNR 管理情報テーブルをみて、現在スケジューリングを行うホストへの帯域割当てを決定する。

通信制御機構

図 8 に示すように、無線基地局に送られてきたパケットを、Packet Classifier によって送信先ホスト毎に分類する。SNR 収集機構より得た無線ホストの SNR を、例えば式 (3) 等の SNR と転送速度の関係式を用い、帯域割当ての為に Queueing アルゴリズムを作成する。また更新された SNR をもとに一定時間毎に Queueing アルゴリズムを更新する。こうして決められた Queueing アルゴリズムを適用し実際にパケットを送出する。

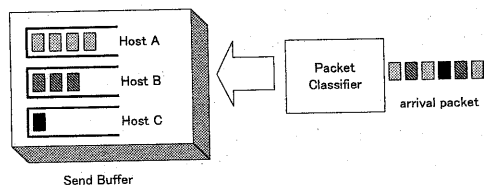


図 8: Packet Classifier

6 SPS の実装

本節では前節で述べた SPS の各モジュール及び、ドライバの拡張に関する実装方法について簡単に説明する。

SPS の SNR 取得機構は、無線基地局および無線端末に実装する。また、通信制御機構を無線基地局に実装する。実装は、FreeBSD3.4R[12] および PAO プロジェクト [11] が提供する WaveLAN ドライバを使用する。また通信制御機構については ALTQ2.1R[9] によって提供されるライブラリである libaltq を用いる。

6.1 ドライバ拡張

SPS におけるドライバの拡張は、ブリッジの為に拡張と ALTQ の為の拡張に分けられる。次にこの 2 つの拡張について説明する。

ブリッジの為に拡張

一般的に無線基地局は、同一セグメントのデータを転送する有線・無線間のブリッジの機能を持つ必要がある。しかし今回実装に用いた FreeBSD3.4R の WaveLAN カード用のドライバ “wlp” にはブリッジ機能が提供されていない。このため “wlp” にブリッジ機能の追加を行った。具体的な実装は `/sys/i386/isa/if.wlp.c` において `ether_input()` ルーチンの手前で `ether packet` を解析し、宛先 ether アドレスが local でなければ他のインターフェースに対してパケットを転送するコードを追加する。

ALTQ の為に拡張

SPS の通信制御機構の実装については、ソニーコンピュータサイエンス研究所の長健次郎氏が開発を行っている ALTQ[9] を用いて行なう。ALTQ は QoS 制御や資源共有を実現するために必要となる Queueing 機構を提供するものである。ALTQ を用いることによって、FreeBSD 上で様々な Queueing アルゴリズムを適用することができる。ALTQ では複数のネットワークインターフェースがサポートされているが、WaveLAN 用のドライバである “wlp” については未対応であるため、“wlp” ドライバを ALTQ 対応に拡張を行った。

6.2 SNR Packet Sender

SNR Packet Sender では、SNR を取得し、SNR 報告フレームを作成して送出する。まず無線端末は無線基地局に報告するために SNR を取得しなければならない。SNR の取得については、WaveLAN カードにおいてハードウェアで収集されているので、その値を読み出すことによって行う。

次に SNR 報告フレームの作成を行う。図 9 に測定した SNR を無線基地局に報告するための `ether_snr` の定義を示す。

```

struct ether_snr {
    u_char snr_sha[6];
    /* sender hardware address */
    u_char snr_spa[4];
    /* sender protocol address */
    u_int32_t snr;
    /* Signal-to-Noise Ratio */
}

```

図 9: ether_snr 構造体

また、図 10 に SNR 報告フレームのフォーマットを示す。このフレームには、無線端末の WaveLAN カードの MAC アドレス、IP アドレスおよび SNR が含まれる。また、この SNR 報告フレームを `ether_type` として新たに `ETHERTYPE_SNR` を定義する。

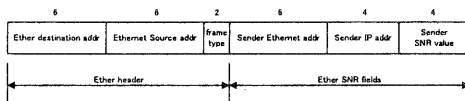


図 10: SNR 報告フレームのフォーマット

無線端末は、このような SNR の値を含んだ SNR 報告フレームを生成し、一定間隔ごとに無線基地局に対して送信する。

6.3 SNR Packet Receiver

無線基地局は `ether_type` が `ETHERTYPE_SNR` のフレームを受信するために、図 11 に示すように `ETHER_SNR` を識別するための `case` を `/sys/net/if_ethersubr.c` に追加する。

```

</sys/net/if_ethersubr.c>
case ETHERTYPE_SNR:
    schednetisr(NETISR_SNR);
    inq = &snrintrq;
    break;

```

図 11: ETHERTYPE_SNR の識別

このように SNR 報告フレームを受け取る事ができたら、次に SNR 管理テーブルの更新を行う。

まず、フレームから無線端末の IP アドレスをコピーする。次に、図 12 示す SNR 管理テーブルの構造体である `snrentry` にすでにエントリができているかを確認する。もしエントリがあれば、SNR

報告フレームに基づいて `snrentry` の `snr` を更新する。エントリがなければ、`snrentry` に新しくエントリを作成する。

6.4 SNR 値管理テーブル

無線基地局においては SNR 報告フレームを受けるとこれを解析し、SNR 値管理テーブルの情報を更新もしくは追加しなければならない。無線基地局において受信した SNR 報告フレームに含まれる SNR 値については、無線端末の IP アドレスおよび MAC アドレスと SNR 値の対として管理する必要がある。管理する為の構造体としては図 12 に示すような、`snrentry` 構造体を定義する。

```

struct snrentry {
    u_long snr_spa;
    u_char snr_sha[ETHER_ADDR_LEN];
    u_int32_t snr;
    struct snrentry *st_parent;
};

```

図 12: snrentry 構造体

6.5 SNR based Packet Scheduler

無線基地局において帯域割当てを行う、SNR based Packet Scheduler の実装について述べる。SNR based Packet Scheduler は、主に ALTQ の枠組を用いて実現される。

SPS では回線品質に基づいた様々なキューイングアルゴリズムを適用できるようにするため ALTQ のフレームワークを利用する。ALTQ では Random Early Detection (RED)[15], Class Based Queueing (CBQ)[13], Weighted Fair Queueing (WFQ)[14], Hierarchical Fair Service Curve (HFSC)[16] などの Queueing アルゴリズムが現在サポートされている。これらと同様に、SPS の Queueing 方式を ALTQ に追加する。SPS の Queueing 方式はまず現在存在している Queue の送信先の IP アドレスと対になる SNR を SNR 管理テーブルのエントリを走査して抽出する。そして式 (3) 等を用い、SNR から割り当て帯域を決定する。それぞれの Queue の weight を決定し、Weighted Fair Queueing 等を用いてそれぞれの Queue のパケットを送信する。またこの weight は、新しく更新された SNR 管理テーブルに基づいて、一定間隔毎に動的に変更される。この SPS の Queueing 方式は、定義ファイルを読み込みインターフェースおよびフィルタを設定することで適用できる。この Queueing 方式の適用は、`libaltq` によって提供

されるqcmd_init()関数を呼び出すことで実現できる。

7 評価

無線ネットワーク環境において、効率的な帯域制御を行う事で無線ネットワーク環境の性能がどの程度改善するかを WaveLAN + FreeBSD3.4 上で評価を行った。実験環境は SNR と転送速度の関係の測定した環境である図 1 と同じである。測定において無線端末は 1 台のみを使用した。本節の評価において MH1, MH2 の 2 台の無線端末を使用する。

実験は CH から MH へ UDP データフローを Constant Bit Rate(CBR) で送信する。送信速度が 2000kbps, パケットサイズが 1470byte で 14.7Mbyte のデータを送信する。この送信するデータタイプは、各実験とも全て同じである。また、提示する平均 SNR は実験中 3 秒毎に MH 側のデバイスから取得した SNR の平均値である。まず、先行実験として下記の 2 つの実験をそれぞれ 10 回繰り返し行った。

- CH から回線品質が良い MH1 への転送速度の測定
- CH から回線品質が良い MH1 と MH2 への転送速度の測定

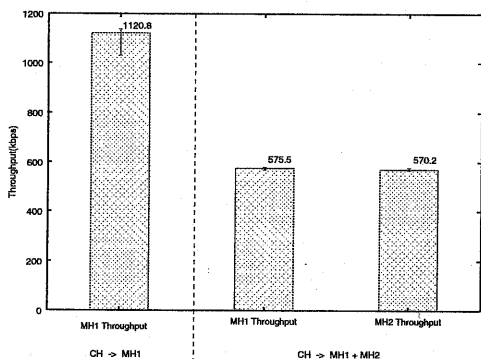


図 13: 回線品質が良好な状態での転送速度

図 13 の“CH -> MH1”のグラフは、平均 SNR が 24.5db と回線品質が良好な状態である MH1 に対し上述した UDP フローを送信した時の平均転送速度とその最小値、最大値を示した棒グラフである。“CH -> MH1 + MH2”は、MH1 の平均 SNR は 24.5db, MH2 の平均 SNR は 22.76db と双方とも回線品質が良好な状態で、MH1, MH2 それぞれに 2000kbps の UDP フローを送信した際の転送速度の平均と最小値、最大値を示したグラフである。これを見ると、送信するホストが 2 台になった事

で、1 台の時と比べ転送速度がほぼ 2 分の 1 に減少している。

次に、回線品質の悪い無線端末がある環境において無線基地局で帯域制御を行った場合と単純な FIFO である場合の転送速度を比較する。下記の環境下で、転送速度を測定する実験を 10 回づつ繰り返した。

- 回線品質の良い MH1 と回線品質の悪い MH2 への転送速度 (帯域制御無し)
- 回線品質の良い MH1 と回線品質の悪い MH2 への転送速度 (帯域制御有り)

この間の MH と CH の位置は固定し同条件のもとで行った。また帯域制御は、AP において ALTQ を使い、ALTQ が提供する CBQ により帯域制御を行った。この実験においては、MH1 と MH2 に帯域を割り当てる比率を手動で設定し制御を行っている。図 14 は、AP で単純な FIFO を行った場合と CBQ を使い帯域制御を行った時の転送速度の比較を示したグラフである。この実験における MH1 の平均 SNR は 24.5db と良好な回線品質で、MH2 の平均 SNR は 5.9db と回線品質は悪い。SNR は帯域制御を行う前と後の両方で測定し、一定に保った。また図 14 の Total は、MH1 と MH2 の転送速度の合計を比較したものである。

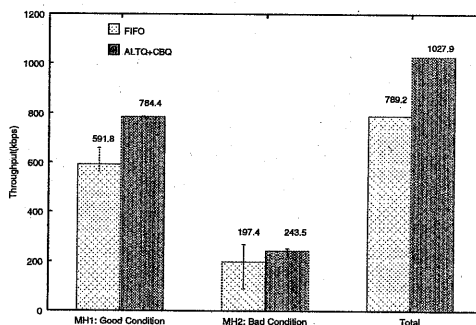


図 14: 帯域制御による転送速度の比較

まず AP で単純に FIFO を行っている場合の MH1, MH2 の転送速度について見る。図 13 と比較すると、回線品質の良好な MH1 の転送速度にほとんど変化がない。しかし回線品質の悪い MH2 では、大幅に落ち込んでいる。そのため、転送速度の合計は図 13 の MH1 と MH2 の合計の比較すると 69% の性能しかでていない。

つぎに、AP において CBQ を使い帯域制御を行っている場合の MH1, MH2 の転送速度について見る。FIFO の場合と比較すると、MH1 は 24.6% 転送速度が上昇している。また、回線品質の悪い MH2 においても 19% 転送速度が上昇している。

このようにSPSにおいて回線品質の悪い無線端末の帯域を制限するというのは、決して回線品質の悪い無線端末の転送速度を犠牲にするものではない。反対に、バースト的なデータフローを無線基地局で回線品質にあった速度で送出する事で回線品質の悪い無線端末の転送速度を向上させる事が可能である。転送速度の合計で見るとFIFOと比較すると、23%転送速度が向上している。図13のMH1とMH2の合計と比較すると90%の性能である事がわかる。FIFOと比べると21%改善したが、100%ではないのはスケジューリングのコストがある為だと考えられる。また図14を見ると、FIFOと比較しほとんど一定の測定値を得ている。これは帯域制御の為のスケジューリングを行う事の副次的な効果として、転送速度のばらつきが少なくなり、一定のサービスが可能であることを示す。

今回提案したSPSでは、この実験では手動で設定した帯域割当をSNRに基づいて自動で設定する。またSNRの変動に従い、帯域割当設定を動的に変更する。実際に無線基地局に到着したパケットに対し実施する事は同じ為、SPSでも今回の実験と同様な性能を得る事ができると考えられる。

8 今後の課題

SPSの実装はほとんど終わっているが、評価はこれからである。今後はSPSのフレームワークに本論文で考察を行ったSNRと転送速度の関係式をいくつか適用する事で、どの程度の転送速度性能が改善するか評価を行う。また今回の評価は無線端末が2台のみの評価であるため、無線端末が増えるに従い、更に効率が良くなるのか、それとも悪くなるのかを評価する必要がある。また、今回はチャンネル状態パケットスケジューリング方式との定性的な違いを述べたが、定量的な評価も行う必要がある。この他に、現在チャンネル状態パケットスケジューリングでは、いくつかの補償アルゴリズムが提案されている。SPSにおいてもそれらを実装し評価を行う。

9 まとめ

本論文では、回線品質の指標であるSNRと転送速度の関係を分析し、定式化の為の考察を行った。また回線品質を利用したパケットスケジューリング機構であるSPSを提案した。SPSは、GoodかBadかというチャンネル状態を利用するチャンネル状態依存型パケットスケジューラと比較し、より正確な帯域割り当てが可能である。また割り当て方を容易に変更する事が可能な為、より柔軟で適応的な機構である。また無線基地局で帯域制御を行う事で、FIFOでの送信と比べ全体の転送速度が

20%以上上昇する事を実証することでSPSの有効性を示した。

参考文献

- [1] IEEE 802.11, "International Standard for Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications", 1999.
- [2] T.Nandagopal, S.Lu and V.Bharghavan, "Unified Architecture for the Design and Evaluation of Wireless Fair Queueing Algorithms", ACM MOBICOM'99, Oct 1999.
- [3] P.Bhagwat, P. Bhattacharya, A.Krishna, and S.Tripathi, "Enhancing throughput over wireless LANs using Channel State Dependent Packet Scheduling", IEEE INFOCOM '96, Apr 1996.
- [4] S.Lu, V.Bharghavan and R.Srikant, "Fair Scheduling in Wireless Packet Networks", ACM SIGCOMM'97, Aug 1997.
- [5] S. Lu, T.Nandagopal, and V.Bharghavan, "Fair scheduling in wireless packet networks", ACM SIGCOMM'97, Aug 1997.
- [6] T.S. Ng, I. Stoica and H. Zhang, "Packet fair queueing algorithms for wireless networks with location dependent errors", IEEE INFOCOM'98, March 1998.
- [7] P.Ramanathan and P.Agrawal, "Adapting Packet Fair Queueing Algorithms to Wireless Networks", ACM MOBICOM'98, Oct 1998.
- [8] M.Srivastava, C.Fragouli, and V.Sivaraman, "Controlled Multimedia Wireless Link Sharing via Enhanced Class-Based Queueing with Channel-State-Dependent Packet Scheduling", IEEE INFOCOM'98, March 1998.
- [9] Kenjiro Cho, "A Framework for Alternate Queueing: Towards Traffic Management by PC-UNIX Based Routers.", USENIX 1998 Annual Technical Conference, New Orleans LA, Jun 1998.
- [10] A Network Performance Benchmark, Information Network Division Hewlett-Packard Company, Jan 2000, <http://www.netperf.org/>
- [11] FreeBSD Mobile Computing Package, Jan 2000, <http://www.jp.freebsd.org/PAO>.
- [12] FreeBSD Project, Jan 2000, <http://www.freebsd.org/>
- [13] Sally Floyd, and Van Jacobson, "Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, 3(4): pages 365-386, Aug 1995.
- [14] S. Keshav, "On the Efficient Implementation of Fair Queueing", In Internetworking: Research and Experience Vol.2. pages 157-173, Sep 1991.
- [15] S. Floyd, V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance," IEEE/ACM Transaction on Networking, 1(4):pages 397-413, Aug 1993.
- [16] I. Stoica, H. Zhang, "A hierarchical fair service curve algorithm for link-sharing, real-time and priority service", SIGCOMM '97, Cannes, France, Sep 1997.
- [17] 杉浦彰彦, "スペクトル拡散技術とCDMA通信技術の基礎", Interface 第26巻第2号. pages 59-74, Feb 2000.