

無線チャネルにおける QoS を考慮したダウンリンクスケジューリング方式

石川真也¹、毛怡²、井上通宏²、小野里好邦²

¹群馬大学工学部情報工学科 ²群馬大学大学院工学研究科

概要

近年、IP 電話や動画のストリーミング配信等、様々なトラフィックがネットワーク上を流れている。しかし、従来のワイヤレスアクセスシステムである IEEE802.16 では全てのトラフィックは平等に扱われ、リアルタイム通信の QoS (サービス品質) 保証を実現するための具体的なスケジューリング方式が規定されていない。本研究では無線チャネルにおける QoS (特に音声通信で用いられる UGS クラスのパケット) を考慮し、平均遅延時間と平均ドロップ率を評価尺度として、計算機シミュレーションにより PF (Proportional Fairness) 方式と提案方式の比較を行い、提案方式の有効性を示す。

【キーワード】: ダウンリンク、スケジューリング、ストリーミング、IEEE802.16、
Quality of Service、Proportional Fairness

Downlink scheduling method satisfying QoS requirements in a wireless channel

Shinya Ishikawa¹, Mao Yi², Michihiro Inoue², Yoshikuni Onozato²

¹Department of Computer Science Faculty of Engineering Gunma University,

² Department of Computer Science Graduate School of Engineering Gunma University

Abstract

Recently, there are various traffic of the streaming delivery etc. of IP telephone and animation flows in the network. However, all traffic is treated equally in IEEE802.16 that is the past, wireless access system, where a concrete scheduling method to achieve QoS (service quality) guarantee of a real-time communication is not provided for. The average delay time and the average drop rate are performance evaluation parameters in this research to consider QoS. Especially, packet of the UGS class used by the voice-data communication in a wireless channel is investigated. PF(Proportional Fairness) method and the proposal method are compared by the computer simulation. The effectiveness of the proposed method is demonstrated.

【Key words】: Downlink, Scheduling, Streaming, IEEE802.16,
Quality of Service, Proportional Fairness

1. はじめに

近年のネットワーク技術の発達に伴い、誰でもインターネットを利用しマルチメディア通信を行う事ができるようになった。また、従

来は主に Web ブラウジングや電子メールなどのサービスが主流であったのに対し、IP 電話や動画のストリーミング配信等のリアルタイム通信のサービスが広く利用され始めてい

る。しかし現状では、それらのサービスはユーザの要求を全て満たす事ができていない。そのため、ユーザが満足できる形でサービスを利用できる環境を提供する技術が必要とされている。

一方、無線通信で利用する IEEE802.16 の伝送方式には OFDM が利用されており、OFDM のサブキャリアは無線回線品質が良い場合には高い変調方式である 64QAM (QAM : Quadrature Amplitude Modulation) や 16QAM を利用し、効率的にデータ送信を行う。逆に無線回線品質が悪い場合には低い変調方式である QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) を適用し、確実にデータを伝送する仕組みとなっている。この様に従来のダウンリンクスケジューリング方式では無線回線品質が考慮されていたが、固定通信と同様にサービス毎にパケットを差別化して制御する事ができなかった [1]、[2]、[3]。

そこで本研究では無線チャネルにおけるリアルタイムサービスに着目し、ユーザの要求を満たす為に有効となるパケットのダウンリンクスケジューリング方式を提案する。

2. 研究背景

2.1 Quality of Service

Quality of Service (QoS) とはネットワーク通信に関するサービス品質のことを表す。具体的には通信回線の伝送速度、信頼性 (誤り率) 許容伝送遅延等を指す。現在のネットワークでは全てのユーザの望む通信品質を保証する事ができていないため、QoS 制御によりユーザの要求を満たす事が必要とされている。はじめに述べた通り、近年特にリアルタイムサービスが利用されるようになってきており、QoS 技術はそれらのサービスの伝送遅

延やパケット損失の問題を解決するためにとっても有効な技術であると考えられる。

また、ユーザとネットワークプロバイダの間において SLA (Service Level Agreement) を契約することで通信品質を保証するといった方法により、QoS はますます強化され、発達してきている。

IEEE802.16 では、以下の異なる QoS 要求を持つ 4 つのクラスがサポートされている。

- ・ Unsolicited Grant Service (UGS)
- ・ real-time Polling Service (rtPS)
- ・ non-real-time Polling Service (nrtPS)
- ・ Best Effort (BE)

UGS クラスは IP 電話等の音声対応リアルタイムサービスを想定し、遅延に対して最も影響を受けやすいクラスである。rtPS クラスは動画のストリーミング配信等のリアルタイムサービスを想定した、遅延に対して敏感なクラスである。nrtPS クラスは Web browsing 等の非リアルタイムサービスを想定したクラスで、BE クラスは E-mail 等の特に遅延の保証を必要としないクラスである。本研究では特にユーザが満足する形でリアルタイムサービスの音声通信を実現するために、UGS クラスに着目する。

2.2 スケジューリング方式

2.2.1 Round Robin 方式 [4]

Round Robin (RR) 方式は処理待ち状態のパケットに対し、優先度を設定せず全ての Queue から順番に同じ数だけのパケットを取りだし送出するスケジューリング方式である。RR 方式の特徴は、仕組みが単純なため実装が容易であり、全ての Queue から均等にパケット送出をするため、公平なスケジューリングを実現する事ができる点である。しかし、リアルタイム系トラフィックと非リアル

タイム系トラフィックが混在するネットワークの場合にもそれらのトラフィックを同等に扱ってしまうため、ユーザの QoS 要求を満たすことができないといった欠点がある。

2.2.2 Weighted Round Robin 方式 [4]

Weighted Round Robin (WRR) 方式は RR 方式の改良型のスケジューリング方式で、RR 方式に Weight (重み) をつけた方式である。WRR 方式では Queue 毎に決められた Weight に従ってパケットを送出する。以下、WRR 方式の動作を図 1 に示す。

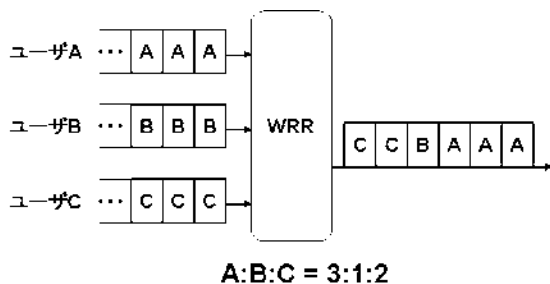


図 1 WRR 方式の説明

ユーザ A,B,C の 3 人がいる場合の送信順序を例に説明する。例えば A:B:C の Weight が 3:1:2 で、A B C の順にパケットを送出すると仮定した場合、まずユーザ A が 3 つのパケットを送出した後、ユーザ B が 1 パケット送出、最後にユーザ C が 2 パケット送出してユーザ A に戻る、といった具合になる。以後決められた順に決められた数だけ繰り返しパケットを取り出す。WRR 方式の特徴は RR 方式と違い、任意の Queue のパケットの Weight を重くすることにより、そのパケットを優先して取り出す事ができる点である。それにより、WRR 方式ではリアルタイム系のトラフィックと非リアルタイム系のトラフィックが混在しているネットワークにおいて

も、トラフィックに応じた Weight を設定することにより、ユーザの QoS 要求を満たす事が可能となる。よって、QoS 制御を考える際に有効な方式であるといえる。

2.2.3 Maximum SINR 方式

Signal-to-Interference and Noise power Radio (SINR): 信号対干渉雑音電力比とは無線回線品質の状態を表す値で、この値が大きい程無線回線品質が良いことになる。Maximum SRNR 方式とは無線回線品質が最も良い (受信 SINR 値がもっとも大きい) ユーザに送信権を持たせ、送信権を持っているユーザに送信スロットを割り当てる方式である。この方式だと無線回線品質が良いユーザを選択することにより、伝送レートの高い変調方式を適用できるため、システムスループットを最大化することができる。しかし、ある 1 人のユーザの無線回線品質の状況が悪いと他のユーザに送信権が与えられ、このユーザは全くデータを送れないといった不公平な状況に陥ってしまう。このようなことから、Maximum SINR 方式では高いシステムスループットを実現できる反面、ユーザ毎にパケット送出頻度が偏り、不公平になってしまうといった問題が発生する。

2.2.4 Proportional Fairness 方式 [5]

Proportional Fairness (PF) 方式は従来までのワイヤレスアクセスシステムである IEEE802.16 の BS におけるダウンリンクスケジューリング方式で、無線チャネル効率と公平性を考慮した場合に検討されている方式で、Maximum SINR 方式の欠点であった各ユーザ間の不公平さをある程度改善する事ができるスケジューリング方式である。PF 方式は「瞬時 SINR 値 ÷ 平均 SINR 値」を評価

尺度(以後 PF 値と呼ぶ)として、PF 値が最大のユーザに送信権を与える方式である。そうする事により無線回線品質の良い瞬間のユーザを選択する事ができる。PF 方式は Maximum SINR 方式と比較するとスループットは劣るが、無線回線品質が悪いユーザが不公平さを感じてしまう問題を軽減する事ができる。

しかし、PF 方式では Maximum SINR 方式と同様にパケットをクラス毎に差別化して制御する事ができないため、リアルタイムサービスを利用するユーザの QoS 要求を満たすことはできない。

3. 提案方式

先に述べた通り、PF 方式のみのスケジューリングではクラス間の差別化を図る事ができないため、輻輳が発生した際に UGS、rtPS 等リアルタイム性を必要とするクラスのパケットの許容伝送遅延を保証できない可能性がある。そこで本研究では UGS クラスの遅延・ドロップ率の低減と許容伝送遅延の保証の実現を目的とし、PF 方式と WRR 方式を組み合わせたダウンリンクスケジューリング方式を提案する。

以下に提案方式を図示する。

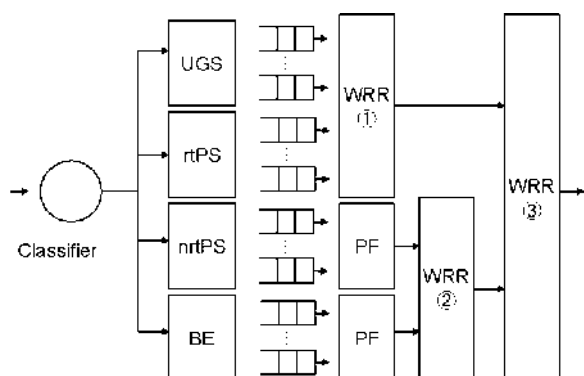


図 2 提案スケジューリング方式

提案方式では各 QoS クラスに対して、遅延を考慮した優先度を $UGS > rtPS > nrtPS > BE$ となるに設定する。また、UGS と rtPS を QoS 保証型、nrtPS と BE を QoS 非保証型と分類する。

提案方式は Core Network から BS (Base Station) にパケットが到着したら、各パケットを BS の Classifier により各 QoS クラスに分類した後、SS (Subscriber Station) 毎に用意された各 QoS クラスのバッファへ転送する。転送されたパケットにスケジューリングを施し、送信スロットを割り当てたパケットをバッファから取り出して無線リンクを経て SS へと送信する。

スケジューリング方式は、QoS 保証型のパケット用と QoS 非保証型のパケット用と、これら 2 つの間用の計 3 つを合わせたものである。

QoS 保証型のパケットの場合、同一クラス内の SS 間においては公平性を考慮し、異なるクラス間においては差別化を図るために WRR 方式を使用する。具体的には各 SS の UGS クラスの送信バッファに対して同じ Weight を設定し、同様に rtPS クラスの送信バッファに対しても同じ Weight を設定して公平性を保つ。そして $UGS > rtPS$ となるような Weight を設定して差別化する。(以下 WRR と記述する)

次に QoS 非保証型のパケットについては、同一クラス内の SS 間については無線チャネル効率と公平性を考慮するために PF 方式を採用し、異なるクラス間において差別化を図るために WRR 方式を利用する。WRR 方式では遅延を考慮した優先度に基づき、 $nrtPS > BE$ となるように Weight を設定して差別化する。(以下 WRR と記述する)

最後に、QoS 保証型と QoS 非保証型のそ

それぞれでスケジューリングされたパケットに対して WRR 方式を適用し、QoS 保証型 > QoS 非保証型となるような Weight を設定してパケットを送出する。(以下 WRR と記述する)

4. シミュレーション

4.1 シミュレーションモデル

本シミュレーションにおいて、Base Station (BS) は Core Network と有線接続し、BS と各 SS は無線接続をしており、Core Network より到着したパケットは BS のスケジューラによりダウンリンクスケジューリングを施され、各 SS に送信される。図 3 にシミュレーションモデルを示す。

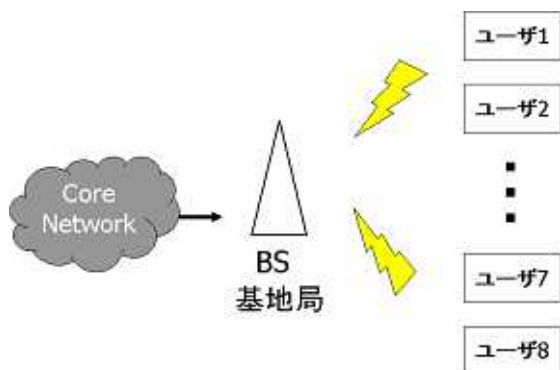


図 3 シミュレーションモデル

4.2 シミュレーションパラメータ

SS の数を 8 個とし、SS 毎 (SS1 から SS8 まで) の無線通信回線品質を変化させ (SS1、SS2、SS3、...、SS8 という順に条件が悪くなる) ユーザ毎に無線通信回線品質に優劣を持たせた。

UGS の遅延時間に関しては、許容遅延時間を 50ms 以下とし、許容遅延時間を満たすことができればユーザの要求を満たす通信が行えるものとした。

送信バッファ長サイズは 20 パケット分とした。

提案スケジューラの WRR の Weight は、QoS 保証型である UGS:rtPS を 2:1 で固定した。また、QoS 非保証型である nrtPS と BE が PF 処理された後の WRR の Weight も nrtPS:BE を 2:1 とした。そして最後の WRR である QoS 保証型:QoS 非保証型の Weight を、3:1、5:1、7:1 の 3 パターンに変化させてシミュレーションを行い、平均遅延とドロップ率について比較を行った。

ダウンリンクの無線チャネルの伝送速度を 16Mbps とし、各ユーザは 2Mbps の通信を行うものとする。各ユーザが 2Mbps の通信を行ったときのシミュレーション結果を図 4 から図 7 に示す。

4.3 シミュレーション結果

以下に PF 方式と提案方式の平均ドロップ率を比較した図を示す。PF 方式と提案方式の QoS 保証クラスと QoS 非保証クラスの Weight をそれぞれ 3:1、5:1、7:1 に変化させたものの 3 つからなる計 4 つ場合の平均ドロップ率とシステムドロップ率をグラフ化した。グラフ中の「PF」以外の表記は (QoS 保証型の Weight : QoS 非保証型 Weight) を表す。(3:1) なら QoS 保証型の Weight=3、QoS 非保証型の Weight=1 となる。

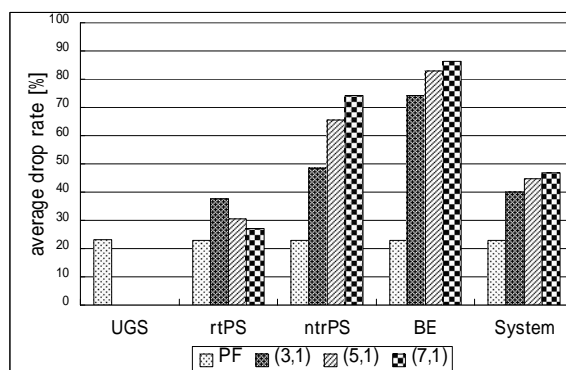


図 4 PF 方式と提案方式の平均ドロップ率

図 4 からわかるように、PF 方式では全てのクラスで 20%以上ドロップしてしまっている。一方提案方式では、全ての Weight の場合でも UGS パケットのドロップ率が 0%となっている。また、rtPS クラスのドロップ率は PF 方式よりも若干高くなっていることが確認できる。QoS 非保証型クラスの packets に関しては、PF 方式より提案方式のドロップ率が増加している。システム平均ドロップ率でも提案方式の方が PF 方式よりもドロップ率が増加していることがわかる。

次に PF 方式と提案方式の平均遅延時間を比較したものを図 5 に示す。提案方式については図 4 で説明したものと同様に、QoS 保証クラスと QoS 非保証クラスの比を 3:1、5:1、7:1 と変化させている。

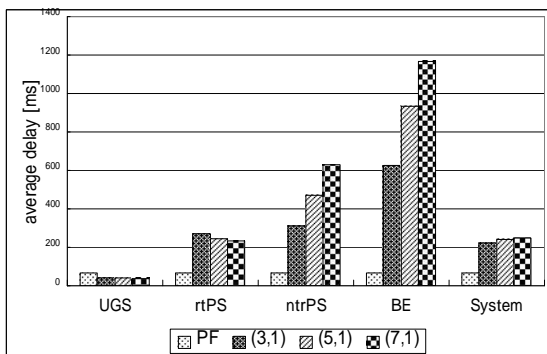


図 5 PF 方式と提案方式の平均遅延時間

図 5 では提案方式の UGS クラスが PF 方式の平均遅延時間よりも短くなっており、UGS 以外のクラスの packets の平均遅延時間が PF 方式の平均遅延時間よりも長くなっている。提案方式の UGS クラスの packets の平均遅延時間を数値で見ると 39ms 前後の値を取り、許容遅延時間である 50ms 以下を満たしている。

しかし、QoS 非保証型の packets について

の結果を見ると、PF 値よりも平均遅延時間と平均ドロップ率が大幅に増加している。

そこで、この問題をバッファ長を 2 倍に増やす事により解決できるかどうか検証した。以下にグラフを示す。

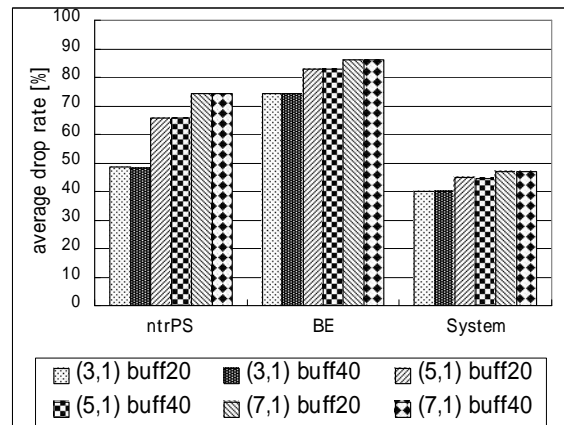


図 6 バッファ長 2 倍の平均ドロップ率

図 6 は QoS 非保証型のバッファ長を 2 倍にした場合のドロップ率のグラフである。図には示していないが、QoS 保証型 (UGS と rtPS) のバッファサイズは変化させていないため、ドロップ率は変化がなかった。この図から、ntrPS クラス、BE クラス、システム平均の 3 パターン全てにおいて、バッファ長を 2 倍にしてもあまり大きな変化が見られないことが分かる。

次に遅延時間についてもバッファ長を 2 倍にしたもので比較してみた。次ページにグラフを示す。

図 7 は QoS 非保証型のクラスのバッファ長を 2 倍にした場合の平均遅延時間を比較した図である。バッファ長を 2 倍にしたものの平均遅延時間は、バッファ長を変更する前の平均遅延時間のおよそ 2 倍となっている事がわかる。

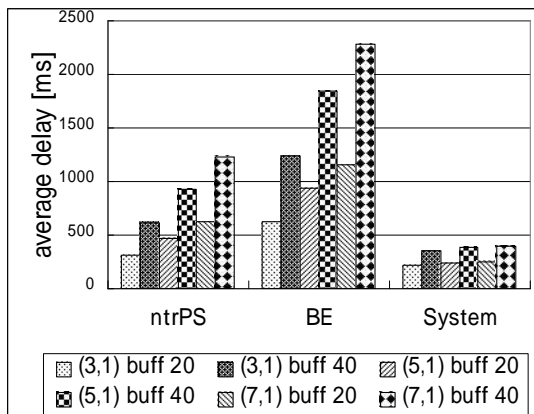


図7 バッファ長2倍の平均遅延時間

4.4 考察

図4のドロップ率の比較の結果から、PF方式のドロップ率は全てのクラスで平均的に23%前後の値を取っている。システム平均ドロップ率も同様である。これはPF方式の特徴であるクラス間の公平性が実現されたためであると考えられる。次に、本研究で着目したQoS制御を必要とするUGSパケットを利用したリアルタイムサービスに注目した場合、PF方式のみの場合よりも提案方式の方がドロップ率を低く抑える事ができ、提案方式が優れていると言える。rtPSクラスとQoS非保証型クラスのパケットのドロップ率が増加しているのは、WRRとWRRのWeightを設定する際、UGSクラスとQoS保証型クラスのパケットに送信権を与える割合を任意に高くしたことによる影響が出たものと考えられる。

また、図5の遅延時間の比較の結果から見ると、PF方式は平均的に67ms前後の遅延時間となり、設定した許容遅延時間をオーバーしているのに対し、提案方式のUGSクラスのパケットの平均遅延時間は50ms以下である39ms前後を実現している。これは、遅延を考慮してWRRとWRRでUGSクラスとQoS保証型クラスのWeightを重くし、送信スロット割

り当て比率を最も高くした効果が得られたためであると考えられる。

rtPSクラスに関して言えば、遅延が200ms以上でありドロップ率も30%に近いことから、rtPSクラスの遅延、ドロップ率まで考慮に入れる場合はネットワークの状況に応じたWRR

のWeight設定が必要になると考えられる。

QoS非保証型(ntrPSとBE)においては、図4、図5より遅延時間・ドロップ率共にPF方式よりも大幅に増加している。これはWRR

で設定されたWeightにより、スロット割り当て比率が非常に低くなっていることが理由として考えられる。これによりQoS非保証型のクラスのパケットは遅延時間、ドロップ率共にPF方式よりも性能が低下している。この問題を解決するためにQoS非保証型のクラスのバッファを2倍にしたものを図6、図7に示したが、バッファ長を2倍にしても平均遅延時間がおよそ2倍となり、ドロップ率は変化しないという結果になった。これは先程と同様に、WRRのWeightの設定によりQoS非保証型に送信権が与えられる頻度が極端に少なくなってしまい、QoS非保証型のパケットがほとんど送出されなかった事が原因と考えられる。従ってドロップ率と遅延時間を改善するためにはWRRのWeightの設定を変える必要があると考えられる。

以上のことから、快適なUGSクラスのサービスを提供するという立場からUGSクラスに着目してスケジューリングした場合、提案方式では平均ドロップ率0%を実現しつつ、平均遅延時間も許容遅延時間である50ms以下を実現し、UGSクラスを利用した快適な通信の条件を満足できる事がわかる。

よって、本研究で提案した無線チャネルにおけるダウンリンクスケジューリング方式がUGSクラスに限定した場合にPF方式よりも

有効であるといえる。

また、ネットワークのトラフィック状態に応じた適切な Weight 設定により、UGS だけでなく rtPS クラスのパケットについても PF 方式のみの場合より遅延時間やドロップ率を抑える事ができる可能性があると考えられる。

5. まとめ

本研究では無線チャネルにおける QoS を考慮したダウンリンクスケジューリング方式を提案し、計算機シミュレーションにより PF 方式との比較を行った。その結果、遅延やドロップ率に影響を受けやすい UGS クラスのパケットに着目した場合、WRR の Weight を適切に設定することにより、UGS クラスのパケットの平均遅延時間、平均ドロップ率を PF 方式よりも低減し、許容伝送遅延を保証することが可能である事がわかった。よって、本研究で提案した方式が UGS クラスを利用する通信で、遅延条件を満たす音声通信を提供する有効的な方式と成り得ることを示した。

6. 今後の課題

本提案方式では BS で各ユーザ毎にクラス毎のバッファを用意して、スケジューリングを行っている。そのため PF 方式で必要だったバッファ数に比べ、提案方式では必要なバッファ数が増加する。よって、本研究で提案した方式はスケーラビリティの面で問題があると考えられる。

また、実際のネットワークでは SS が無線接続している以外の BS や複数のルータを介してパケット通信が行われるため、ネットワーク全体で QoS を実現していく必要があると考えられる。

7. 参考文献

- [1] 山田 純義, 毛 怡, 小野里 好邦, 山本 潮, IEEE 802.16 における QoS を考慮したダウンリンクスケジューリングに関する検討,” 第 26 回日本シミュレーション学会大会発表論文集, pp.279-282, 2007 年 6 月
- [2] IEEE Std 802.16-2004, “Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems,” June 2004.
- [3] IEEE Std 802.16e-2005, “Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems,” December 2005.
- [4] 戸田巖, “詳細ネットワーク QoS 技術,” オーム社. 平成 13 年 5 月
- [5] A.Jalali, R.Padovani, and R.pankaj, “Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system,” Proc. IEEE 51st Vehicular Technology Conference (VTC 200-Spring), Vol.3, pp.1854-1858, May 2000.