

## モバイル環境におけるユーザ満足度に着目した トラフィックマネジメント方式

宮本 孝之 勅使河原 可海

*miyamoto@t.soka.ac.jp*

創価大学 工学研究科

近年の、急激な携帯電話や PHS の普及と携帯端末の小型化に伴い、ユーザのニーズに応じて「いつでもどこでも」利用できるモバイルコンピューティングが期待されている。しかし、無線リソースは有限であり、今後のユーザ数増加やマルチメディア情報へのアクセスを考えると、現在の回線交換方式を中心としたシステムではネットワークレスポンスなどの問題が考えられ、今後はパケット交換方式などを含めたネットワークリソースの効率的利用が必要になると考えられる。

本論文では、送信される情報の特性やリアルタイム性に応じて優先度をつけ、トラフィックを動的に制御するトラフィックマネジメント方式を検討する。ネットワークリソースを効率的に利用し、サービス品質、レスポンスタイム等を向上させることによるユーザ満足度向上をシミュレーションにより評価し、トラフィックマネジメント方式が有効であることを示す。また、回線交換方式にパケット交換方式を組み合わせたハイブリッド交換方式についても評価する。

## Traffic Management Methods in consideration of end-user satisfaction in Mobile Computing Environment

Takayuki Miyamoto, Yoshimi Teshigawara

*miyamoto@t.soka.ac.jp*

Graduate school of Engineering, Soka University

Recently, comfortable mobile computing environment where users can access anytime, anywhere is requested. As the number of users and multimedia information accesses such as Internet access will be increased in future, it will cause many problems such as longer network response time with circuit switching methods. From now, it will need effective use of network resources, including packet switching methods.

This paper proposes effective Traffic Management Methods which control network traffics dynamically according to application priorities in consideration of characteristics of multimedia information in mobile computing environment. And it shows evaluation by using computer simulation that the proposed methods improve all users' satisfactory levels such as throughput and network response time. In addition, in the viewpoint of satisfactory levels, it evaluates effectiveness of a hybrid switching method in combination of circuit switching and packet switching methods.

## 1.はじめに

近年、インターネットの爆発的普及とともに、コンピュータネットワークへの関心が高まり、ネットワーク端末が急増している。一方、97年12月にはPHSが約700万台、携帯電話が2800万台以上普及しており、無線端末も急速に増加を続けている。このような中、PDAやノートパソコンなどの携帯端末に、PHSや携帯電話などの無線端末を接続することにより、従来の固定された環境だけでなく、ユーザのニーズに応じて「いつでもどこでも」利用できるモバイルコンピューティングが期待されている。

97年に入り、PHSでは32kbpsベアラ通信サービス、携帯電話では28.8kbpsパケット通信サービスが開始され、今後は、PHSで64kbpsベアラ通信サービス、携帯電話では、W-CDMA(広帯域CDMA)方式による最大2Mbpsの通信サービスが予定されている。このように、無線環境は着実に広帯域化されてきており、今後は、モバイルコンピューティング環境でのインターネット接続を初めとするマルチメディア情報アクセスが増加すると予想される。

現在、携帯電話やPHSでは、電話などの音声情報の伝送が主であるため、主に回線交換方式が採用されている。一般に情報伝送を行う場合、FTPなど連続的にデータを伝送する場合や、音声や動画のようなリアルタイム性を要求する場合は回線交換方式の方が効率がよいが、データ伝送していない間も回線が占有されてしまうため、E-mailなど離散的に発生する情報では、パケット交換方式の方が回線効率がよい。現在のモバイル環境では、システム全体におけるデータ伝送が5%程度であるが、今後のデータ伝送の増加に伴い、パケット交換方式も考慮することにより回線を効率よく使用する必要がある。

本研究では、モバイルコンピューティング環境でマルチメディア情報を扱う場合のレスポンスタイム等のサービス品質を向上させるトラフィックマネジメント方式を提案する。伝送要求に対して、伝送する情報の特性に応じて優先度を付け、その優先度に応じた適切なトラフィック制御を行う。ネットワーク全体のリソースを効率的に利用することにより、全体的

にサービス品質を向上させ、それをユーザの満足度により評価する。

## 2. トラフィックマネジメントシステム

本システムは、無線エリアと有線エリアとそれを結ぶ基地局、そして、無線データを扱うユーザ端末と基地局に設置されるトラフィック管理サーバで構成される<sup>[1]</sup>。

### (1) 無線環境の構成

制御信号を転送する制御用チャンネルと、データを転送する通信用チャンネルの2種類のチャンネルを設定する。1チャンネルは、一定の帯域幅を持ち、ユーザ端末側は、複数のチャンネルを同時に使用でき、送信情報に応じて可変の帯域を確保することができる。また、後述するトラフィック管理サーバによって、トラフィック状況により回線交換チャンネルまたはパケット交換チャンネルに切替え、常に効率的に回線を利用することができる。

### (2) 無線ユーザ端末の帯域制御

送信要求を生じたユーザ端末は、送信要求の予約信号を送信する。後述するトラフィック管理サーバからの送信許可通知を受け取ると、その情報に応じてチャンネルを設定し、データの送信を始める。送信が終了したらトラフィック管理サーバに知らせる。

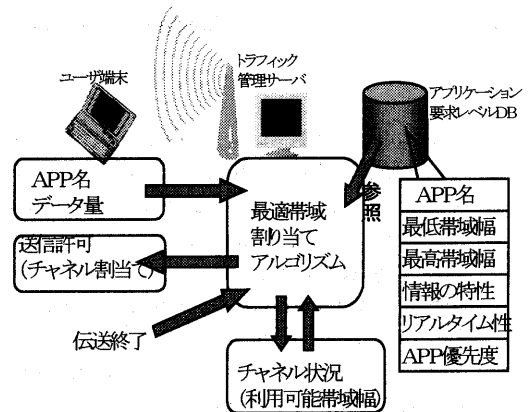


図1: ユーザ端末とトラフィック管理サーバとの関係

### (3)トラフィック管理サーバ

トラフィック管理サーバは、図1に示すようにユーザ端末からの送信要求の予約信号を受け取ると、アプリケーションの特性が示されているアプリケーション要求レベルデータベースにアクセスし、予約信号内に含まれるアプリケーション情報に応じた要求帯域と優先度を得る。そして、その時の回線の状況を考慮した最適帯域割り当てアルゴリズムによって、ユーザが使用可能な帯域幅を決定し、下り回線を通じて、送信許可通知とともに、チャンネル番号や使用可能帯域幅などの情報をユーザに送信する。

## 3. システムアルゴリズム

本システムは、大きく分けて2つのアルゴリズムを基に動作し、無線・有線を統合したトラフィックマネジメントを行うことにより、ユーザ全体の満足度を向上させる。

1つは、ユーザが利用するアプリケーションの特性を表すアプリケーション要求レベルデータベースの値を求めるアルゴリズム、もう1つは、トラフィック管理サーバがクライアントに帯域を割り当てる際に用いる最適帯域割り当てアルゴリズムである。これら2つのアルゴリズムによって求められた値と、ユーザの要求により、ユーザの満足度が決まる。

本アルゴリズムについては、シミュレーションによりある程度のシステムの有効性を確かめた。今後、更に細部の検討を行う。

### (1)アプリケーション要求レベルデータベース

アプリケーション要求レベルデータベースは、アプリケーション名、要求最低帯域幅、要求最高帯域幅、情報の特性、リアルタイム性、アプリケーション優先度のパラメータからなり、アプリケーションの特性を示し、ユーザの満足度の基準としても使われる。つまり、ユーザの使用するアプリケーションがどの程度帯域を必要とするのか、伝送される情報のコンテンツは主に音声・画像・動画・テキストのうちどれなのか、リアルタイムをどの程度要求しているのか、他のアプリケーションに比べてどの程度の優先度があるのかと

いう情報を持ち、これらの情報をベースに、ユーザの満足度が向上するようにトラフィック制御を行う<sup>(2)</sup>。

今回、本システムのシミュレーションを行うために、表1のようなアプリケーション要求レベルデータベースを定義し用いた。優先度については、情報の特性、リアルタイム性、データ量を考慮して設定している。

APP名	最低帯域幅	最高帯域幅	情報の特性	リアルタイム性	APP優先度
Telnet	2000	8000	1	4	6
FTP	8000	32000	2	2	4
Net News	8000	16000	1	2	3
WWW	8000	32000	2	3	5
Mail	2000	8000	1	1	2
Stream Works	28000	64000	4	5	8
Real Audio	16000	32000	5	5	9

表1：アプリケーション要求レベルデータベース

しかし、これらのパラメータに対してユーザの評価尺度やアプリケーションなどは時々刻々と変化している。そこで、最終的にはこれらのパラメータを定式化し、柔軟に対応できるようにしなければならないと考える。

### (2)最適帯域割り当てアルゴリズム

最適帯域割り当てアルゴリズムは、トラフィック管理サーバがユーザ端末に、アプリケーションの優先度に応じて効率的に帯域を割り当てることにより、ユーザの満足度を向上させることを目的としたアルゴリズムである。

最適帯域割り当てアルゴリズムで利用するユーザ帯域幅 ( $U_{bw}$ ) は、アプリケーション要求レベルデータベース ( $AppDB$ ) と、ユーザ利用可能帯域幅 ( $S_{bw}$ )、それにユーザの満足度を要素とする関数 ( $U$ ) を用いた関数として次のように表される。

$$U_{bw} = f(AppDB, S_{bw}, U)$$

今回のアルゴリズムでは、通信を開始しようとするユーザのアプリケーション優先度と最高要求帯域幅

の積をトラフィックの評価単位とし、トラフィックの総計に対しての割合を利用可能帯域幅に対応させることにより、ユーザ端末の利用帯域幅を決めた。

$$\text{トラフィック評価} = \text{APP優先度} \times \text{要求最高帯域幅}$$

$$\frac{\text{ユーザのトラフィック量}}{\text{チャンネル全体でのトラフィック量}} \times \text{ユーザ利用可能帯域幅} \\ = \text{ユーザ利用帯域幅}$$

このユーザ利用帯域幅に応じて、回線交換チャンネルとパケット交換チャンネルとを設定する。また、パケットは全て基地局側からの予約制御を行う。

### (3) ユーザ満足度

本システムは、トラフィック制御をユーザ満足度を評価の対象に行うが、マルチメディア情報を扱う場合、メディアによってユーザの要求が異なるため、同じ評価関数で定義するのは難しく、現状はマルチメディア情報に対する評価尺度は確立されていないと思われる。さらに、ユーザ満足度は、人によって個人差もあり、一般的な評価関数を定義することは困難である。

そこで、今回はモバイル環境でのユーザの要求条件(いつでもどこでも通信可能、マルチメディア情報を扱える、レスポンスタイムが速い)を考慮し、「情報の品質」「遅延時間」「接続待ち時間」の3つの項目を評価基準とし、アプリケーション要求レベルデータベースの値を用いて、ユーザ満足度を求める現実的な式に近い評価関数を用いて評価を行う。

情報の品質を求めるアルゴリズムは、アプリケーションの最高帯域幅に対してどれだけの帯域を獲得できたかという帯域獲得度を基準とし、情報の特性に応じて満足度を以下のように定式化している。

$$\text{帯域獲得度}(bw) = \frac{\text{ユーザ帯域幅}}{\text{要求最高帯域幅}}$$

$$Q(\text{情報の品質}) : \begin{cases} 100 & (i = 1, 2) \\ bw & (i = 3) \\ bw^{i-1} / 100^{i-2} & (i = 4, 5) \end{cases}$$

$bw$ : 帯域獲得度  
 $i$ : 情報の特性

遅延時間を求めるアルゴリズムは、アプリケーションが最高帯域を得たときの伝送時間から最低帯域を得たときの伝送時間を引いたものを伝送遅延許容時間とし、それに対して実際の遅延がどれくらいであるかを示す遅延許容度を基準とし、リアルタイム性に応じて満足度を以下のように定式化している。遅延許容度と遅延による満足度との関係を図2に示す。

$$\text{遅延許容時間} = \frac{\text{ユーザのトラフィック量}}{\text{要求最低帯域幅}} - \frac{\text{ユーザのトラフィック量}}{\text{要求最高帯域幅}}$$

$$\text{遅延許容度}(d) = \frac{\text{ユーザ伝送時間}}{\text{遅延許容時間}} \times 100$$

$$D(\text{遅延時間}): \begin{cases} 100 - d^{4-r} / 100^{3-r} & (r = 1, 2) \\ 100 - d & (r = 3) \\ 100 - (100^{r-3} \times d)^{1/r-2} & (r = 4, 5) \end{cases}$$

$d$ : 遅延許容度  
 $r$ : リアルタイム性

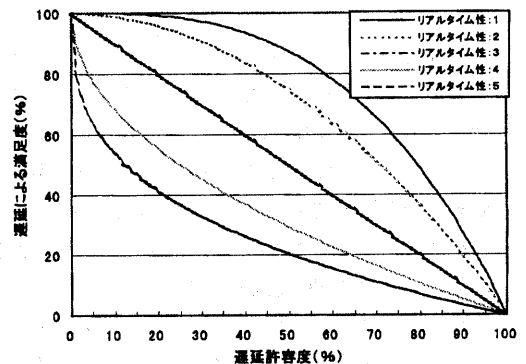


図2: 遅延許容度と遅延による満足度との関係

接続待ち時間を求めるアルゴリズムは、ユーザの呼損回数を基準とし、以下のように定式化している。パケットチャンネル使用のユーザについては呼損は存在しないため、この部分の満足度は100となる。また、呼損回数7回で満足度は0となるように定式化しているが、回数と満足度の関係および利用アプリケーションによる満足度の変化等も今後考慮に入れていきたい。

$$W: \text{接続待ち時間} = 100 / 7 \sqrt{49 - N^2}$$

$N$ : 呼損回数

また、伝送を行う情報の特徴に応じて満足度は異なるため、在庫処理問題におけるファジー観測<sup>3)</sup>を応用した式を利用し、より現実のユーザ満足度に近似的にしている。

これら3つの要素からユーザ満足度を次のように定義する。

$$\text{ユーザ満足度} = \text{Minimum}(Q, D \times W)$$

ユーザ満足度は、情報の品質と、遅延時間と接続待ち時間との積の値の低い方をとる。この部分を変更することにより、全体的な満足度が大幅に変化するため、今後さらに検討していく必要がある。

#### 4. シミュレーション

今回、本システムの有効性を評価するため、コンピュータシミュレーションを行った。

##### (1)シミュレーション環境

シミュレーション環境は、1つの無線エリア内でのユーザ数が最大 100 人を想定し、1ユーザは1アプリケーションを用いて通信する。また、無線区間での共有回線は 128kbps～512kbps を想定し、それぞれの帯域幅でシミュレーションを行う。

評価対象として、回線交換で帯域制御を行わない場合と帯域制御を行う場合、そしてパケット交換と回線交換を合わせたハイブリッド方式の3つを比較する。

ユーザ端末が実行するアプリケーションは、前述したアプリケーション要求レベルデータベースで定義した代表的なアプリケーションである、Telnet、FTP、NetNews、WWW、E-mail、StreamWorks、RealAudio の7つのアプリケーションを想定し、通信を行う際の呼はポアソン分布、データ長は指数分布に従う。ただし、ハイブリッド方式については、シミュレーションを簡単にするため、Telnet、NetNews、WWW、E-mail はパケット交換呼、FTP、StreamWorks、RealAudio は回線交換呼として発生させる。また、ユーザのアプリケーション使用頻度は、以下の表 2 のように、現在のモバイルコンピュー

ティング環境での利用ユーザを想定した Case 1 と、今後のマルチメディア情報アクセスを考慮した Case 2 と、2パターン環境を想定している。

	Telnet	Net News	FTP	WWW	E-mail	Stream Works	Real Audio
Case 1	0	0	0	50	50	0	0
Case 2	5	5	5	30	30	10	15

表2:アプリケーション使用割合

モバイルコンピューティング環境では、ハンドオーバーによるユーザ数の変化など、ユーザの満足度を評価する際には、様々な問題を考慮しなければならないが、今回は伝送情報による最適帯域割り当てによる有効性を評価するため、これらの問題点には特に言及せず、シミュレーションを行った。これらの問題点は今後の課題として検討していきたい。

##### (2)シミュレーション結果

図3と4は、共有回線 256kbps のときの Case 1 と Case 2 について、送信要求ユーザ数とユーザ満足度との比較である。Case 1 はユーザ数増加に伴い帯域制御の効果が現れ、ユーザ満足度は最大約 20% 向上し、ハイブリッド方式では、さらに約 5% の満足度の向上が見られる。これは E-mail などに対して呼損の影響がないからと思われる。Case 2 でも、帯域制御により最低 5%、平均約 15% のユーザ満足度の向上が見られる。また、ハイブリッド方式では

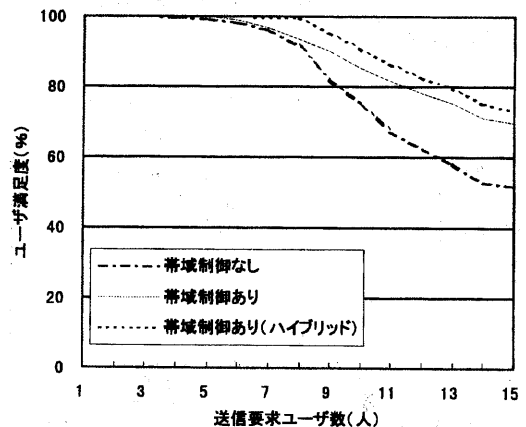


図3: Case1 における送信要求ユーザ数とユーザ満足度

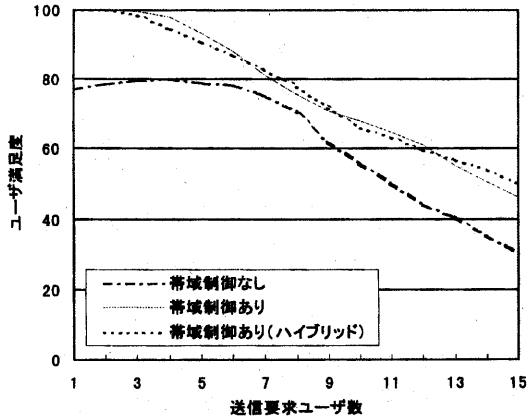


図4: Case2 における送信要求ユーザ数とユーザ満足度

ユーザ数が少ない時には回線交換のみの帯域制御したときとほぼ同じであるが、ユーザ数が増加すると若干の効果が現れる。これは、呼損の影響がE-mailの比率の違いによるものと思われる。

図5は、共有回線を変化させたときのCase 2について、共有回線の帯域幅と平均ユーザ満足度との比較である。共有回線の帯域幅が大きいほど帯域制御によりユーザの満足度は向上する結果となった。また、ハイブリッド方式では、共有回線の帯域幅が128kbps～320kbpsでは回線交換のみの帯域制御をしたときよりさらに3～5%の効果が現れたが、共有回線の帯域幅が大きくなると、回線交換のみの帯域制御をした場合とほぼ同じ値になった。これは、共有回線の帯域幅が少ない状態では呼損が多発するが、パケット交換呼はその影響を受けないためだと考えられる。

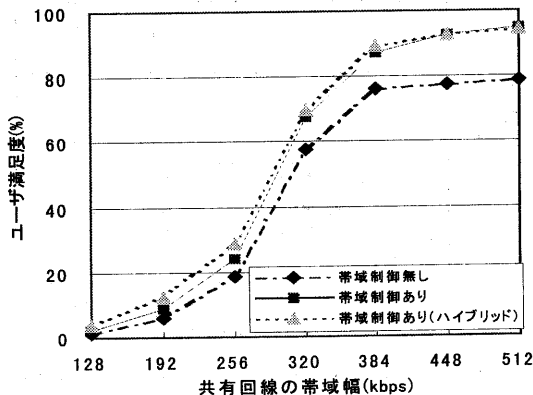


図5: 共有回線の帯域幅とユーザ満足度

### (3)シミュレーションのまとめ

今回のシミュレーション結果より、

- ・ 帯域制御によるユーザ満足度の向上
- ・ パケット交換を含んだハイブリッド方式により更なるユーザ満足度の向上
- ・ 共有回線の帯域幅が小さい時のハイブリッド方式の有効性

ということがわかった。今回のシステムは、まだまだ課題や検討の余地があるので、今後のさらに検討していきたい。

### 5. まとめと課題

本論文では、モバイルコンピューティング環境でのトラフィックを、情報の優先度に応じて制御することにより、ネットワークユーザ全体の満足度を向上させるトラフィック管理方式を提案し、シミュレーションにより評価した。今回はユーザの満足度を情報の品質、遅延時間、接続待ち時間の要素に関して定式化し評価したが、定義した評価関数の違いにより満足度は変化するため、評価関数の有効性もシミュレーションによって評価を行う必要がある。これは今後の課題としていきたい。

### < 参考文献 >

- [1]宮本孝之, 勅使河原可海: モバイル環境におけるマルチメディア情報を考慮したトラフィック管理方式, 情報処理学会 DiCoMo ワークショップ報告, pp.91-96, 1997.
- [2]飛鷹洋一, 勅使河原可海: ユーザの満足度に着目したマルチメディアトラフィック管理方式—その2: 評価と実装—, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会研究報告, No.82-26, pp.147-152, 1997.
- [3]小田中敏男: 「最適生産在庫システム論」, 横書店, 1994.