

IMT - 2000 高度化および IMT - Advanced 標準化状況 — 一次世代システムの所要周波数帯域幅算出法 —

将来の移動通信システムである IMT-2000 高度化と IMT-Advanced の所要周波数帯域幅算出法の勧告案が ITU-R にて合意された。今後、ITU-R は本勧告にて提案された算出法を用いて 2010 年以降の所要周波数帯域幅の算定を行い、それに基づき 2007 年の WRC-07 において周波数割当てを議論する予定である。本稿では、この新しい所要周波数帯域幅算出法の基本的な考え方およびアルゴリズムの概要を解説する。

まとば なおと やまだ たけふみ しらかべ まさしげ よしの ひとし
 の場 直人 山田 武史 白壁 将成 吉野 仁

1. まえがき

世界無線通信会議（WRC：World Radiocommunication Conference）-07 での世界共通の周波数割当てに向けて、国際電気通信連合・無線通信部門（ITU-R：International Telecommunication Union-Radio communication Sector）作業部会（WP：Working Party）8F は、第3世代移動通信（IMT-2000）高度化とその後継システム（IMT-Advanced）の所要周波数帯域幅算出のための技術検討を行っている。

2010 年以降の所要周波数帯域幅の算定にあたり、ITU-R は将来の多様化するアプリケーションのトラフィックを適切に扱えること、またトラフィックを収容するうえで複数の無線通信手段を考慮するなどの基本方針を策定し、これに基づいて 2010 年以降のサービス・市場動向、技術動向などについて広範囲な分析を行い、これらの要因を反映した新しい所要周波数帯域幅算出法を作成した[1]。ドコモは次世代移動通信用周波数の世界共通の割当て実現に向けて、これまで国内ではモバイル IT フォーラム（mITF：mobile IT Forum）での新算出法開発に積極的に参加するとともに、対外的には日本代表団の一員として ITU-R での算出法勧告の作成に貢献してきた。新しい算出法では、回線交換型トラフィックとパケット交換型トラフィックの回線容量計算に関し、トラフィック多重化効果を考慮した

新しいアルゴリズムを採用している。本稿では、まず新しい算出法が必要となった背景を説明し、算出法への要求条件、基本的アルゴリズムについて解説する。

2. ITU の考える次世代移動通信システム

ITU-R WP8F は、IMT-2000 高度化と IMT-Advanced に関するビジョンを ITU-R 勧告 M.1645 として策定している。ITU ではユーザの視点から、サービスやコンテンツおよびアプリケーションの多様化により、それらを支える無線能力へのさらなる要求の増大と、サービスが遍在化するためにさまざまな通信手段の提供が重要になると指摘している。このような期待に応えるためには、30Mbit/s 程度までのピーク総データ速度^{*1}を実現する IMT-2000 の高度化システム、高速移動環境で 100Mbit/s と準静止環境で 1Gbit/s までの広範囲なデータ伝送速度を実現する IMT-Advanced システム、およびこれらの無線システムと他の無線システムとの連携が重要であるとしている。ここでいう他の無線システムとは、セルラ移動通信のようなネットワークインフラストラクチャを経由したワイドエリア通信システムではなく、数メートルから数十メートルの通信距離を扱うイミディエイトエリア通信システム（情報家電や無線 LAN）や数メートル以内のパーソナルエリア通信システム（携帯端末とヘッドセットとの間などの

*1 ピーク総データ速度：1セル/セクタ当りのすべてのユーザのデータ伝送速度の合計の最大値。

短距離通信システム)を指す。そして、これらのシステムが互いに連携、融合することにより「いつでもどこでも最適につながっている」状況が実現でき、ユーザに利便性をもたらす。そのための鍵となる要素をパッケージベースの無線技術としている。

ITU-R WP8Fでは、今後必要となる周波数帯域幅の算定にあたり、前述の将来展望を基にユーザの需要(将来のアプリケーションや市場動向)、技術の進歩およびトラフィックモデルに十分配慮すべきとの結論に達した。

3. 所要周波数帯域幅算出法への要求条件

将来の移動通信システムに関するITUビジョンを踏まえ、ITU-R WP8Fは新しい周波数帯域幅算出法への要求条件を検討した。主要条件を以下に示す。

- ・今後、移動通信アプリケーションの多様化が予想されるため、それらのトラフィックが混在する場合において、適切に所要周波数帯域幅が算出できること
- ・相互に連携する複数の無線ネットワークのモデル化が可能であること
- ・収集可能な範囲の市場データをトラフィック予測として利用すること
- ・IMT-2000の高度化システムと将来の新システムを同時に扱える柔軟さがあること
- ・ITU-Rの会合で利用できる計算機資源の範囲内で、所要周波数帯域幅の算出ができること
- ・入力データの精度と比較して、過度に複雑な算出法とならないこと

ITU-R WP8Fは、所要周波数帯域幅の算出にあたって、従来の単一无線システムの周波数を検討するシステム中心の検討方法ではなく、移動通信サービスの市場動向を広く分析するサービス中心の方法が必要と考えている。すなわち、現在入手可能な市場データを分析し、周波数が必要となる時期に移動通信市場に現れる多様なサービスを予測して、発生する通信トラフィックを適切にモデル化すべきであるとしている。さらに、複数の無線通信手段を前提としたうえで、算定し

たトラフィックを最適に収容する無線通信手段をサービスの性質や無線通信手段の特徴を考慮して決定し、それらにトラフィックを分配していくべきとしている。これは、サービスの多様化と複数の異なる無線システム上で同様のサービスが提供可能であることが、ユーザの利便性につながると考えているためである。

また、2010～2020年ごろの周波数要求条件を求めるものであるため、IMT-2000のようにすでに詳細な無線パラメータが確定しているシステムと、IMT-Advancedのように未確定であるシステムの両方について所要周波数帯域幅を算出できることも条件となっている。

4. 算出法の基本的考え方

全体の流れと入力パラメータの一覧を図1に示す。前章で述べた要求条件を満たすため、ITU-R WP8Fでは、多種多様なサービスについてその類似性により分類し、20種類のサービス種別(SC: Service Category)に集約した。さらにサービスの利用形態を分析して、サービス利用パターンとユーザ密度(Teledensity)から6種類のサービス環境(SE: Service Environment)を定義した。また無線システムについては、システムの特徴やセル展開などを考慮して、4種類の無線アクセス技術群(RATG: Radio Access Technique Group)に分類し、さらにセル展開の違いにより4種類の無線環境(RE: Radio Environment)を定義した。このように新算出法では、移動通信で将来提供されるサービス全体とそれを収容できる無線システム全体を考慮し、それらを分類体系化し有限個のSCとRATGで議論している。

また、図1に示すように、SC、SEごとに集計されたトラフィックを各RATG、REに分配し、そのトラフィックを収容するために必要なシステム容量をRATG、REごとに求め、RATGごとの周波数利用効率^{*2}などを用いて所要周波数帯域幅を計算している。

システム容量の算出にあたっては、トラフィックの性質により予約型(従来の回線交換型トラフィックに適用可能)とパケット交換型の2種類の計算法を使い分けている。いずれの容量算出法も、アプリケーションの多様化に起因するトラフィックの性質の違いを利用した多重効果が得られるように設計されている。

*2 周波数利用効率: 単位時間、単位周波数帯域当りに送信できる情報ビット数。

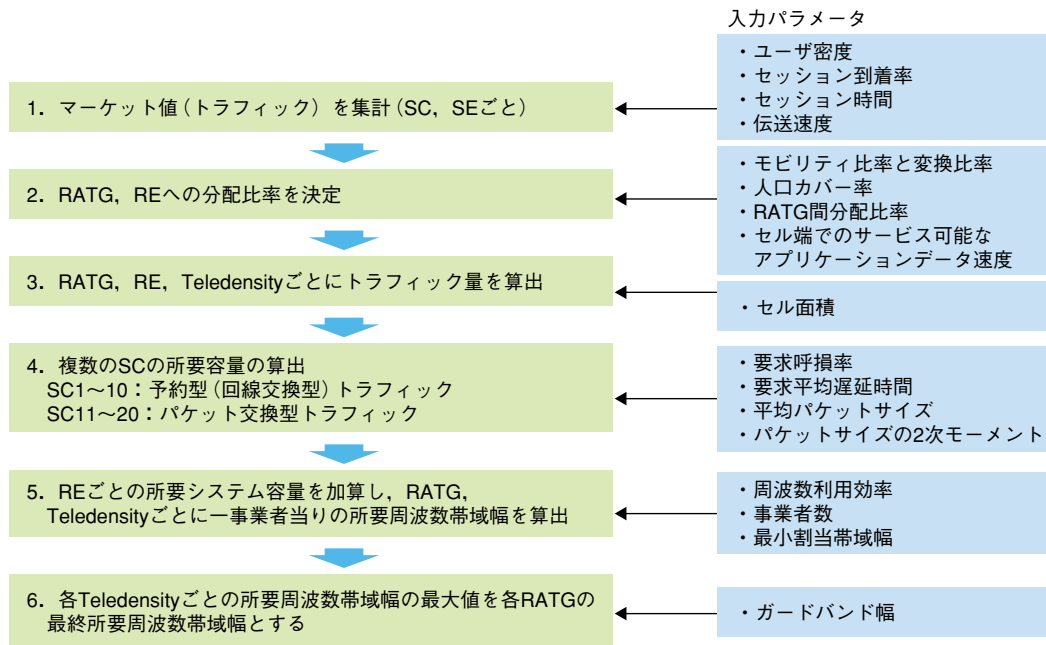


図1 算出法の流れと入力パラメータ

5. サービスのモデル化

SCの定義を表1に示す。SCとは、サービスを5つのサービスタイプと4つのトラフィッククラスにより、合計20種類に分類したものである。

サービスタイプはそれぞれのサービスの最大伝送速度の違いによって5種類に分類される。トラフィッククラスについては、ITU-R勧告M.1079-2で定義されている4つのクラスを用いている。これらのクラスの差は主にサービスの遅延時間に対する要求条件の差を表しており、Conversationalが最も遅延要求条件が厳しく、Backgroundが最も緩やかである。

SEは、表2に示すように3種類のサービス利用パターンと3種類のTeledensityで定義される。実際はいくつかの類

似するSEを統合し6種類に集約させている。サービス利用パターンは、それぞれのサービスエリアでのユーザの共通の行動を示すものであり、ホーム、オフィスおよび公共エリアの3種類が定義されている。各サービス利用パターンは、類似した通信品質（QoS：Quality of Service）を持つと考えられる。

Teledensityは通信デバイスの密度による地理的な分類であり、人口密度と密接に関係している。ここでサービス利用パターンは場所的には重複が可能であるため、それぞれに周波数が必要であるが、Teledensityは別々の場所となるため周波数の再利用が可能である。

6. 無線システムのモデル化

新しい算出法では、将来予測される移动通信システムを、

表1 SCの定義

サービスタイプ（最大伝送速度）	トラフィッククラス			
	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Super high multimedia (100Mbit/s or 1Gbit/s)	SC1	SC6	SC11	SC16
High multimedia (30Mbit/s)	SC2	SC7	SC12	SC17
Medium multimedia (2Mbit/s)	SC3	SC8	SC13	SC18
Low rate data & Low multimedia (144kbit/s)	SC4	SC9	SC14	SC19
Very low rate data (16kbit/s)	SC5	SC10	SC15	SC20

表2 SEの定義

サービス利用 パターン	Teledensity		
	都市密集部	準都市部	郊外地
ホーム	SE1	SE4	SE6
オフィス	SE2	SE5	
公共エリア	SE3		

その特徴と展開方法の違いを考慮し、以下の4つのRATGに分類した。これらは類型化された将来の移动通信システムの参照モデルと考えることができ、また、所要周波数帯域幅や候補周波数帯を考えるうえでの必要かつ十分な無線インタフェースの仕様とも考えることができる。

- ・ RATG1：IMT-2000以前のセルラシステム、IMT-2000とその高度化システム
- ・ RATG2：IMT-Advanced、ただし他のRATGに含まれない移动通信システムも含む
- ・ RATG3：既存の無線LANおよびその高度化システム
- ・ RATG4：デジタルモバイル放送（マルチキャスト）とその高度化システム

このRATGによるモデル化により、算出法において要求されたように既存および将来のシステムを柔軟に取り扱うことが可能となる。

REは、無線ネットワークにおける階層的セル構成で定義され、本算出法では異なるセル面積で定義されるマクロセル、マイクロセル、ピコセル^{*3}、ホットスポットの4種類のREが使用されている。ホットスポットとピコセルは、それぞれ同一の場所に重複して存在しないと仮定するが、他のREは同一場所に共存可能としている。したがって、ホットスポットとピコセルは周波数の共用が可能であり、マクロセル、マイクロセルとはそれぞれ共用できないためそれぞれに周波数が必要となる。

セル面積と基地局設置コストは相反する関係にあり、セル面積が小さくなると面的にエリアをカバーすることが困難になる。実際のトラフィックのREへの分配に際しては、そのREの面的カバレッジを表す人口カバー率を設定し、所要周波数帯域幅をより現実的なものと

している。それぞれのREの人口カバー率は実際の経済的なセル展開を考慮し、サービス環境ごとに決めている。例えば人口密度が低い郊外地などを100%カバーするようにピコセルを設置することはコストの面から現実的ではない。そこで人口カバー率を小さく設定することにより、現実的なセル配置をモデル化できる。

7. トラフィックの集計

サービスアプリケーションからトラフィックを集計する方法について説明する。

将来のトラフィックの算出に際しては、収集可能な範囲で市場データを集め、それに基づいた予測が要求されている。ITU-R WP8FではITU加盟国およびITU外部機関にアンケートを依頼し、その回答から得られた将来の移动通信サービスの需要予測を基にトラフィック量を算定した[2]。具体的には各国からの需要予測を基に、トラフィック算出のためのマーケット値として「ユーザ密度」、「セッション到着率（単位時間当りのセッションの発生率）」、「平均サービス伝送速度」、「平均セッション時間」、「モビリティ比率」を算定した。ここでモビリティ比率とはユーザの移動速度を表すパラメータであり、それぞれStationary（0km/h）、Low（0～4km/h）、High（4～100km/h）、Super High（100～250km/h）の4種類に区分され、百分率で表される。したがってこの和は100%となる。

これらの値は個別のサービスアプリケーションごとに決められ、それぞれのトラフィック量を用いて重み付け平均を行い、SCおよびSEごとのトラフィックを算出する。

8. トラフィックの分配と所要周波数帯域幅の算出

トラフィックの分配と所要周波数帯域幅算定の過程を図2に示す。ここでは簡単のためにRATG1とRATG2の2種類がある場合について説明している。本章では各トラフィックがどのように無線システムに分配され所要周波数帯域幅を得るのかについて、図2のステップに沿って説明する。

同図の最上段は、前章におけるSCおよびSEごとに

*3 ピコセル：半径数十メートル以下で、主に屋内に構成されるセル。

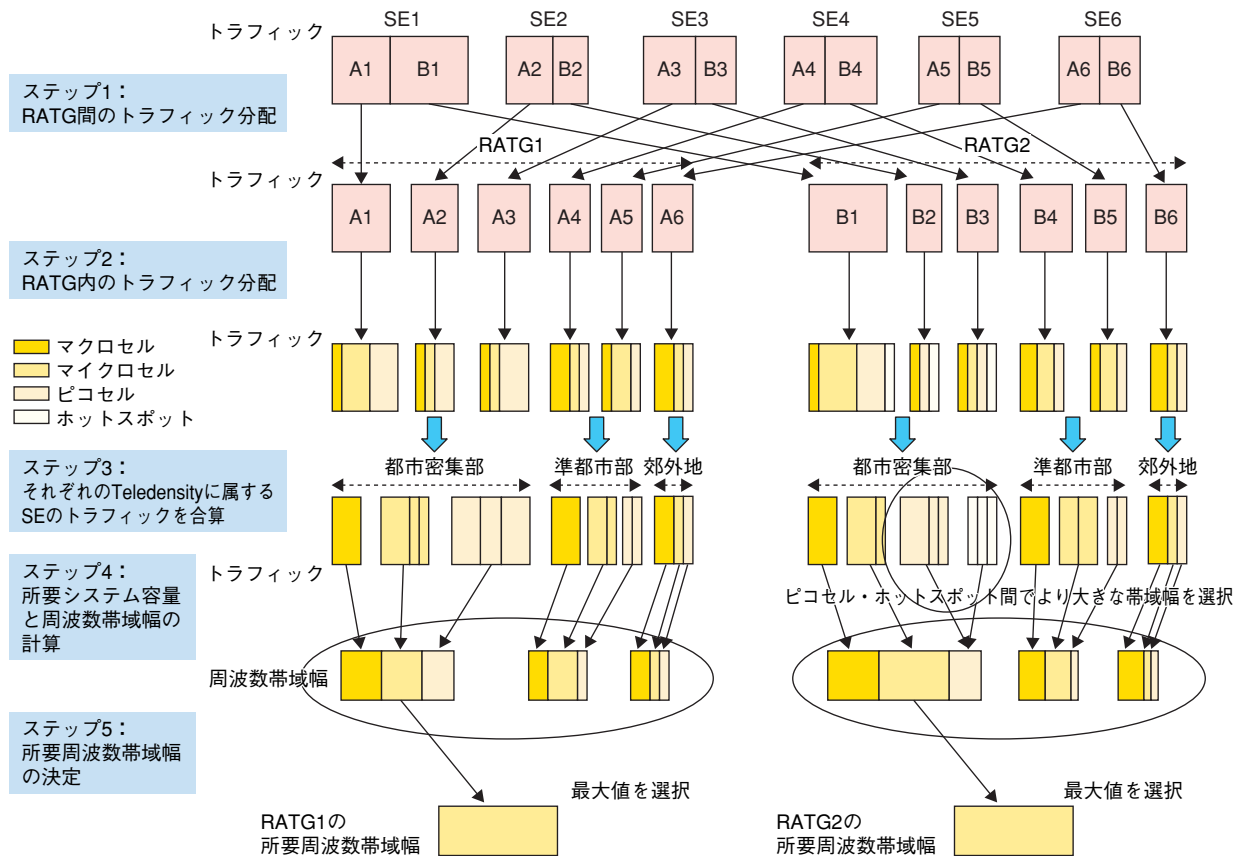


図2 トラフィックの分配と所要周波数帯域幅算出の過程

集計されたトラフィック量を表している。ここでは、SE1～SE6に分割されている。

8.1 RATGへのトラフィック分配 (ステップ1)

ステップ1では、SEごとに集計されたトラフィックを収容しサービスが提供可能なRATGを特定し、それらのRATGへ一定の比率でトラフィックを分配する。同一のアプリケーションが複数の無線システムで提供されることを想定したトラフィックの分配である。これは例えば、移動通信における電子メールのトラフィックの一部がIMT-2000などのセルラシステムに収容され、また別の一部はIMT-Advancedに収容されるなどの場合に相当する。

図2において、SE1のトラフィック (A1+B1) は、RATG1およびRATG2へ分配され、それぞれトラフィックA1およびB1となる。同様に、SE2のトラフィックも分配されA2およびB2となる。ここにおいて、各トラフィック

(A1～A6およびB1～B6) は、それぞれSC1から20のトラフィックを含んでいる。

分配されたトラフィックはRATGごとに集められ、同図2段目となる。RATG1はA1～A6のトラフィックを収容している。

次にRATGへの分配比率の計算方法について説明する。まずそれぞれのREにおけるRATGのセル端でのサービス可能なアプリケーションデータ速度とそれぞれのSCの伝送速度を比較し、使用可能なRATGを選択する。例えばあるSCの平均伝送速度が3Mbit/s、RATG1, 2, 3の伝送可能なアプリケーションデータ速度がそれぞれ1M, 10M, 100Mbit/sとすると、RATG2, 3が分配可能であることが分かる。すべての利用可能なRATG間の分配比率はあらかじめ入力値として与えられているため、この比率に従ってRATGごとの分配比率を決定する。

8.2 RATG内でのREへのトラフィック分配 (ステップ2)

ステップ2では、SEごとのREへのトラフィック分配を行う。例えば図2の3段目において、SE1のトラフィックA1は、RATG1では主にマイクロセルまたはピコセルに分配され、RATG2のSE1のトラフィックB1は、RATG2の無線システムの性質がRATG1と異なるためマイクロセル、ピコセルおよびホットスポットに分配される。

具体的なRE間トラフィック分配比率の計算方法を、図3を用いて説明する。分配比率の決定に際し、ITU-Rでは各アプリケーションが使用されるとき端末の移動速度を考慮し、トラフィック分配に用いる3種類のモビリティ比率 (Stationary/Pedestrian, Low, High) を定義した。これはハンドオーバー制御などを考慮すると、高速に移動する端末はマクロセルなどの面積の大きなセルへ、また、低速のものはピコセルやホットスポットのような小さなセルへ配分するのが合理的であるとの考えに基づいている。実際には7章で述べたSC, SEごとに与えられた4種類のマーケット値のモビリティ比率のうち、Stationary, Lowをトラフィック分配のモビリティ Stationary/Pedestrianに、Highの一部をトラフィック分配のモビリティ Lowに、Highの残りと Super Highをトラフィック分配のモビリティ Highにマッピングする。Highの分割比率はSEごとに定義する。

この新しく定義されたモビリティ比率を用いたREへのトラフィックの分配方法を図3に示す。基本的に

はStationary/Pedestrianに属するトラフィックをホットスポットまたはピコセルに、Lowをマイクロセルに、Highをマクロセルに分配する。しかしながらREの人口カバー率より多いトラフィックを分配する必要がある場合には、残ったトラフィックをそのREよりも大きなセルに分配することとなる。そこでまず、ホットスポットとピコセルは場所的には重複しないと仮定し、Stationary/Pedestrianに分配するトラフィックの比率 (40%) と、ホットスポット (10%) およびピコセル (20%) の人口カバー率の和 (30%) を比較しトラフィックが収容可能か判断する。その結果、その差として残った10%のトラフィックはさらに大きなセルに繰り越される。一方モビリティ比率がLowのトラフィックは50%あるので、これと繰り越された10%を合計した60%のトラフィックをマイクロセル以上に収容することとなる。ここで、マイクロセルの人口カバー率は40%であるので、20%はマイクロセルに分配されず、さらに大きいセルに分配される。最後にモビリティがHighのトラフィック10%と繰り越された20%を合計した30%のトラフィックを、マクロセルの人口カバー率 (100%) と比較し、30%すべてがマクロセルに分配される。

このように計算されたRATG間の分配比率とRE間の分配比率を乗算し、RATGおよびRE間の2次元の分配比率が算出される。SC, SEごとのトラフィックにこの分配比率を乗算することによってさらにRATG, REに分配され図2の3段目のトラフィック量が得られる。

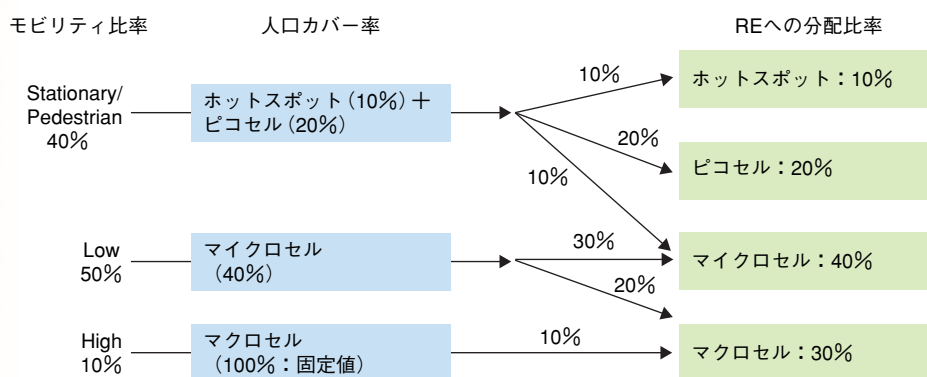


図3 REへの分配比率の計算例

8.3 Teledensityごとのトラフィックの合算（ステップ3）

ステップ3では、RATGごとのトラフィック量をREごとと、Teledensityごとに集計する。REによりセル面積や周波数利用効率が異なるため、このステップではREのトラフィックの合算を行わず、Teledensityごと、REごとに合算したトラフィック量を求める。図2の4段目にまとめられたトラフィック量を示す。

8.4 Teledensityごとの所要周波数帯域幅の算出（ステップ4）

ステップ4は、トラフィック量から所要システム容量を算出する過程と、システム容量から所要周波数帯域幅を算出する過程から構成される。

(1) 所要システム容量の算出

TeledensityごとREごとに算出されたトラフィックは、それぞれSC1～SC20の異なる性質のトラフィックを含んでいる。トラフィック量から所要システム容量を求める過程では、所要周波数帯域幅の過大評価を回避するため、性質の異なるトラフィックの統計的多重効果を適切に評価できるアルゴリズムが必要である。そこで、予約型（回線交換型）およびパケット交換型のトラフィックに対して、それぞれ、多次元アーランB式^{*4}によるシステム容量算出法と、非割込み優先処理待ち行列モデルに基づいたシステム容量算出法を用いる。

SCのうち、トラフィッククラスがConversationalとStreamingに属するSCは予約型（回線交換型）トラフィックのアルゴリズム、トラフィッククラスがInteractive, Backgroundに属するSCはパケット交換型トラフィックのアルゴリズムを用いる。将来の移動通信システムは、パケットベースの伝送になると考えられる。しかしながら遅延

時間の小さいトラフィックに対してパケット交換型トラフィックのアルゴリズムを用いて計算を行うと、遅延時間の誤差に対して算出されるシステム容量が大きく変化する。したがって、リアルタイム性の高い（要求遅延時間が小さい）アプリケーションのトラフィックについては、予約型（回線交換型）トラフィックとして優先的に扱いあらかじめ仮想的回線を確保したほうが、一律に待ち行列を用いて平均遅延時間を満たすシステム容量を確保する方法よりも、所要システム容量が正確に算出できると考えられる。したがって、リアルタイム性の高いトラフィックに関しては予約型（回線交換型）トラフィックとみなすこととする。これは、入力データの精度に対して必要以上に複雑な算出法とならないことという算出法の要求条件に合わせて行われた近似である。

① 予約型（回線交換型）トラフィックに対するシステム容量算出法

予約型（回線交換型）トラフィックモデルの特徴を図4(a)に示す。与えられた本数の通信回線群に呼が到着するとき、すべての回線が使用中ならば呼は棄却され即時に消滅するという呼損系である。したがって所要システム容量を算出するためのQoSとして呼損率を用いる。回線数 k に対し、呼がポアソン過程^{*5}として到着する場合の呼のトラフィック量 ρ を与えた場合、アーランB式を用いて呼損率が計算可能である。従来

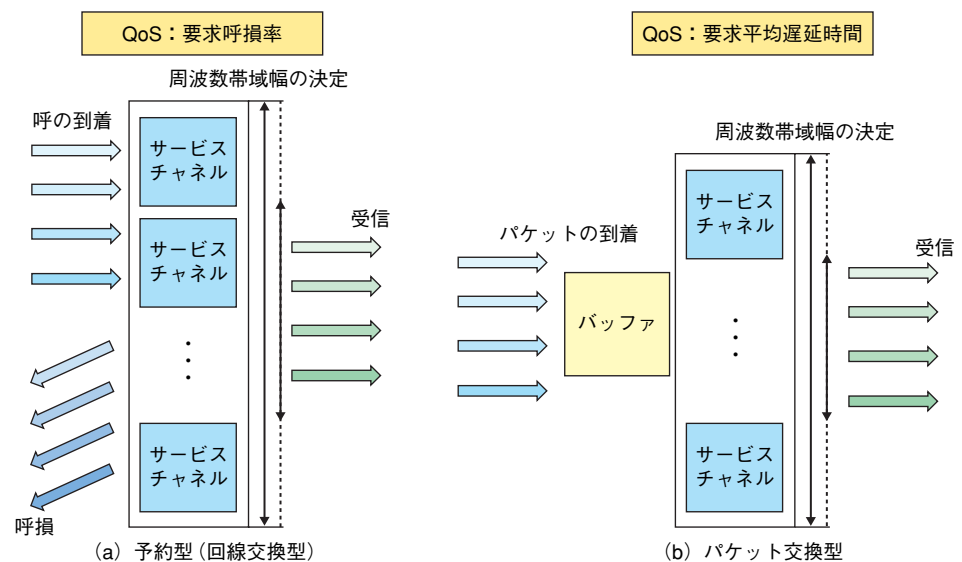


図4 トラフィックモデル

*4 アーランB式：入回線数無限、出回線数有限のモデルに、ポアソン過程（*5参照）に従う呼が加わり、損失呼は消滅するという前提に基づき、呼損率を求める式。

*5 ポアソン過程：電話がかかってくる、電子メールが到着するなどのように出来事がランダムに生じる場合の確率過程モデル。

の算出法であるITU-R勧告M.1390ではこのアーランB式を用い、それぞれのSCごとに要求される呼損率から必要な回線数を逆算し、すべてのSCの和として全SCのサービスに必要なシステム容量を計算している。しかしながら、この従来の算出法では複数のSCが同じ回線を共有している状態をモデル化することができない。次世代移動通信システムではさまざまなサービスが回線を共有することが想定される。その場合、統計多重効果^{*6}により所要システム容量はそれぞれのSCの所要システム容量の和よりも少なくなることが期待される。本算出法ではこの統計多重効果を正確に評価できる多次元アーランB式[3]を用いて回線交換トラフィックの所要システム容量の算出を行う。

多次元アーランB式を用いたシステム容量算出法では、SCのクラスを n とし、そのトラフィック量を ρ_n 、伝送速度 r_n とする。さらに予約型（回線交換型）トラフィックとみなして計算を行う N_{ps} 種類のSCのトラフィックが1本当りの単位回線伝送速度が r である v 本の回線を共有し、そのうちクラス n のSCは同時に v_n 本の回線を占有すると仮定する。 $v_n = r_n / r$ であり、 r_n が大きいほど多数の回線を占有することになる。つまりクラス n のSCの呼が到着した際に未使用の回線数が v_n 本より小さいと、その呼は呼損となる。

この場合、クラス n の呼損率 $B_n(v)$ は多次元アーランB式により式(1)で与えられる。

$$B_n(v) = 1 - \frac{G(v - v_n)}{G(v)} \quad (1)$$

ここで $G(v)$ の導出の簡単化のために以下の漸化式(2)を導出している[3]。

$$G(k) = \frac{1}{k} \left[\sum_{j=0}^{k-1} G(j) + \sum_{m=1}^{N_{ps}} v_m \rho_m G(k - v_m) \right] \quad (2)$$

ここで k が負の場合、 $G(k) = 0$ である。これにより $G(v)$ を再帰的に求めることが可能となる。

したがって、クラス n のSCの呼損率が与えられた場合、この多次元アーランB式の逆問題を解く

ことによりクラス n ごとに呼損率を満たす回線数 v を求めることができる。さらに、すべてのクラスでの回線数の最大値がすべてのSCの呼損率を満たす所要の回線数となり、さらに単位回線伝送速度 r を乗算することにより所望のシステム容量が算出される。

②パケット交換型トラフィックに対するシステム容量算出法

本算出法で用いるパケット交換型トラフィックモデルの特徴を図4(b)に示す。ここでは十分な送信バッファが用意されていると仮定し、パケット損失がないため、システム容量算出に必要なQoSはパケットの遅延時間となる。

将来の多様化する移動通信アプリケーションのトラフィックは、パケット長の分布特性や到着率などが大きく異なることになる。したがって、算出アルゴリズムには、これら特性の違いを適切に評価し、所要システム容量を正確に算出することが要求される。従来の所要周波数帯域幅算出法勧告ITU-R M.1390で用いられているアーランC式^{*7}では、SCごとの区別ができない。

ITU-Rは、この要求を満たすものとして非割込み優先処理待ち行列モデルを採用した[4]。複数のサービスがそれぞれ異なる優先度をもって1つの伝送路を共有する場合、このモデルでは、優先度の高いパケットから伝送する。もし、途中でそのサービスよりも高い優先度のパケットが到着した場合でも割込み処理は行わない。

本アルゴリズムでは、入力トラフィックのパラメータとしてSCがクラス n の場合、セル当りの平均伝送速度 T_n [bit/s]と、平均パケット長 s_n [bit]とパケット長の2次モーメント（平均パケット長との差の2乗平均） $s_n^{(2)}$ [bit²]、および平均要求遅延時間 D_n [s]を用いる。

パケットの到着率 λ_n [packets/(s*cell)]は $\lambda_n = T_n / s_n$ で与えられる。ここでパケット交換トラフィックとして計算される N_{ps} 種類すべてのSCに属するパケットが1つの伝送路を共有していると仮定し、SCの番号が若い順に優先度があるとする。この

*6 統計多重効果：複数のトラフィックが1つのチャネルを共用する場合、ユーザ数が増加するほどその情報量のピーク時間が重なる確率が小さくなるため、情報量が平滑化され、各ユーザに個別に帯域を与える場合よりも帯域を有効に利用できること。

*7 アーランC式：入回線数無限、出回線数有限のモデルに、ポアソン過程に従う呼が加わり、待ち合わせ放棄はないという前提に基づき、待ちに入る確率を求める式。

場合、システム容量を C とし、各 SC のクラスが n の場合に発生するパケットの平均遅延時間 $D_n(C)$ は式(3)で与えられる[4].

$$D_n(C) = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} \lambda_i s_i^{(2)}}{2 \left(C - \sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(C - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right)} + \frac{s_n}{C} \quad (3)$$

本式を C に関して解くことにより、要求される平均遅延時間 D_n を満たすシステム容量 C_n を計算できる。そして、このシステム容量 C_n のすべてのクラスの中の最大値は、すべての SC の要求遅延時間 $D_n(C)$ を満たすことになるため、それを所要システム容量とする。

(2) 所要周波数帯域幅の算出

所要の周波数帯域幅 [Hz] を算出する方法を説明する。前章では、所要システム容量 [bit/s] を RE ごとに算出した。RE により周波数利用効率が異なるため、所要周波数帯域幅は RE ごとに計算されたシステム容量をこの周波数利用効率で割ることにより求められる。

次に、同一 Teledensity に属する RE ごとの所要周波数帯域幅を合算し、Teledensity ごとの帯域幅を算出する。その結果、図2の5段目の所要周波数帯域幅が得られる。ただし図2の RATG2 の4段目に示すように、合算に際しては、RE のうちピコセルとホットスポットは周波数を独立して使用することができるため、どちらか大きい方を選択し合算する。

8.5 RATG ごとの所要周波数帯域幅の決定 (ステップ5)

それぞれの RATG について、Teledensity ごとの所要周波数帯域幅を比較する。Teledensity は場所的に異なっているため、周波数は異なる Teledensity 間で独立して利用できる。したがって、図2の6段目に示すように、それらの最大値をとることにより、各 RATG の所要周波数帯域幅が得られる。

9. あとがき

ITU-R WP8F で議論されてきた所要周波数帯域幅算出法に関して、要求条件および基本的考え方を示し、さらに算出法のアルゴリズムを概説した。本算出法は従来の算出法

では実現できなかったさまざまなサービスが混在する環境をモデル化している。今後、本算出法を用いて所要周波数帯域幅の推定が行われ、WRC-07 で周波数割当ての技術的根拠として用いられる予定である。

文 献

- [1] ITU-R: "Methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000, DNR ITU-R M. [IMT.METH], Nov. 2005.
- [2] ITU-R: "World mobile telecommunication market forecast," Report ITU-R M. [IMT.MARKET], Nov. 2005.
- [3] 高木 英明, 吉野 仁, 的場 直人, 東 充宏: "次世代移動通信システムにおける所要周波数帯域幅算出法," 信学論 (B), Vol. J89-B, No. 2, pp. 135-142, Feb. 2006.
- [4] T. Irnich, B.H. Walke and H. Takagi: "System capacity calculation for packet switched traffic in the next generation wireless systems, Part I: M/G/1 nonpreemptive priority queueing model for transmission over a radio channel," 19th Int. Teletraffic Congress, pp. 11-20, Beijing, Aug. 2005.