

携帯・移動体通信におけるOR的課題 (待ち行列モデルを中心に)

01304494 京都大学情報学研究科 高橋 豊 TAKAHASHI Yutaka

1 序

携帯電話の急速な普及に代表されるように、携帯・移動体通信は今後の通信インフラの主要な部分を担おうとしている。またiモードの度々のネットワーク障害でも分かるように、その性能評価の重要性はあらためて指摘するまでもなく、OR、中でも待ち行列理論の観点からの研究が益々重要になると思われる。本稿では、最近の、さらには開発途上の携帯・移動体通信を概観し、そのシステム性能評価に関する研究課題を考察する。

待ち行列理論は、その歴史を1909年のA. K. Erlangの論文まで遡ることができ、OR諸分野の中でも長い歴史を誇る分野である。この間、研究テーマに困る時期が幾たびか見られたが、幸いに良いタイミングで新しい応用分野が次々と出現した。主なものは次のようになる。

1960年代:電話交換網、1970年代:パケット交換網、1980年代:LAN、1990年代:MAN/WAN, ATM, B-ISDN。

待ち行列理論と応用に関する代表的な本の著者でもあり、自称・他称「インターネットの発明者」と呼ばれるL. Kleinrockが、1990年代中頃からNomadic Computingを唱え出したこと、あるいは例えば我が国において携帯電話・PHSの加入者が有線電話のそれを越えて6000万に達しようとしていることから分かるように、2000年代における応用分野として期待されるものに携帯・移動体通信がある。従来の電話網と違うのは、移動に伴い、使用するリソースが変化すること、しかもサービスが開始されても端末までサービスを受ける保証が無いことである。その他、無線を用いた多くのシステムが情報通信のインフラストラクチャを大きく変えようとしている。その主なものおよび関連する研究テーマを以下の章にまとめる。

2 携帯電話

現在、世界中には11種のセルラー電話が存在すると言われるが、主なものには、PDC、IS-95、GSM、さらにはコードレス電話の延長としてDECT、PHSなどがあり、方式はアナログのFDMAからデジタルのTDMAへ、さらにはCDMAへと移りつつある。これらに関しては次のような研究テーマがある。

- 多種クラスの優先権処理: パケット交換も始まったが、多くは回線交換で運用されている。方式の変遷

は有線電話と同じであるが、端末の移動に伴い中継局が変わる(ハンドオフ)のために、通話中であろうと、移動した先の中継局のサービスエリア(セル)で回線が空いていなければ呼切断が発生する。一旦始まった呼のサービスが中断するので、利用者にとってはダイヤル時の呼損に比べ、サービス品質が大きく減じることになる。これを避けるために、一部の回線をハンドオフのために空けておく(回線留保)、あるいはデータ通信をしている回線に割り込みをかけ、この回線を使う方式(割り込み優先)などが提案され、この解析も盛んに行われている。前者の場合にはトラヒックの状況に応じた留保すべき回線数、後者ではデータ送信の待ち時間の評価が重要になる。今後はさらなるマルチ・サービスを目指して、より多くのクラスとHOL(Head-Of-the-Line)、Push-out, Partial buffer sharingなどの優先権処理を取り込んだ待ち行列モデルの解析が望まれる。

- ハーフレートとフルレート回線速度の設定: トラヒックが増加すると呼損確率が大きくなるが、これを改善する方法が呼当たりの回線速度を下げるものである。例えばTDMAではスロットを2分割し、より多くの呼を接続する。細分する前をフルレートと呼び、細分後をハーフレートと呼ぶ。呼によってはハーフレートでは送信できない場合もあり、ハーフレートの呼が飛び飛びにフレーム内に存在すれば、回線全体で1スロット以上の余裕があってもフルレートの呼を接続できないことが起こり得る。このような無駄を防ぐためにrepackと呼び、ハーフレートの呼が連続するようにスロットの配置を替えることが行われる。これは手続き的にはハンドオフと同じであり、余り頻繁に行うことを避けたい。一方でフルレートの呼損も低くしたくもあり、どのようなタイミングでrepackするか考察する価値がある。
- 回線のセル間での流用モデル: トラヒックが集中したセルへ、周りのセルから空いている回線を融通し、ネットワーク全体での呼損確率の削減を図る。融通し合う回線の割合に関してトラヒック・モデルで評価することが望まれる。
- IMT2000: 2000年に2000MHz(2GHz)で2000kbps(2Mbps)の回線速度を達成することを目標に国際

連合の下部組織である ITU において標準化が進められてきたが、来年日本でサービスが始まろうとしており、2005 年に 10 億、2010 年 17.5 億、2015 年 27 億の加入が見込まれている。ITU 勧告のトラヒック・モデルへの貢献が待たれる。

3 衛星通信

携帯電話では、数 km～数十 km をカバーエリアとする中継局を配置してサービス提供地域（圏内）を拡張するが、海・湖・山・砂漠など人口が希薄な所は経済的にも、物理的にも困難が伴う。これを解決するのが衛星通信である。かつては高度約 36,000km 上空を飛行する静止衛星が主体であったが、地上と衛星間の往復伝播遅延が 0.25 秒であり、電話には適さないことと、衛星打ち上げコストの低下のために、静止衛星よりも低い軌道を飛行する周回衛星を介した通信サービスが普及しつつある。これらは次の 3 つに分類される。

- 静止衛星 (GEO): 高度約 36,000km
- 中高度衛星 (MEO): 高度約 10,000～20,000km、ICO などがある。
- 低高度衛星 (LEO): 高度約 500～2,000km。衛星の寿命は数年。Globalstar などがある。

静止衛星もインターネットにおけるプッシュ型サービス、ストリーミング型サービスなどには重要な通信手段を提供するが、電話・遠隔会議などの実時間性が要求されるものには LEO、MEO が大きく貢献することが期待されている。研究テーマとしては、軌道パターン・高度の設計、経路選択、衛星間リンクの設定、回線総数および割り当て、衛星リンクによる Web キャッシュのバッファ量評価、ATM 搭載衛星のモデル化などがある。

4 無線 LAN (WLAN)

WLAN に関しては IEEE802.11 と ETSI HIPERLAN の 2 つの主要な標準化があり、次のテーマがある。

- IEEE802.11: CSMA/CA を基本としている。複数タイプのトラヒックに対応した優先権付きモデルおよび解析
- HIPERLAN: 3 つのフェーズに分けて複数クラス間の優先的取り扱いおよび衝突の回避を図っているが、スループット・待ち時間に関する精密な解析は今後の課題である。
- IEEE802.11 および HIPERLAN における隠れ端末問題のモデル化および解析

無線 LAN においては全端末が同じ条件で受信するとは限らず、受信環境の悪い端末が存在する。このような端末を隠れ端末と呼び、これを取り込んだモデル化が課題である。

- HIPERLAN/2: 6～54Mbps の高速無線ネットワークの標準化案であり、IP、ATM、UMTS などのネットワーク技術を使ってポータブル端末を広帯域基幹ネットワークに接続することを目指しているが、このモデル化。
- HIPERLAN/2 の通信可能領域拡張に対応したモデル化: HIPERLAN/2 の通信可能領域を、領域外の端末が送信するときに領域内の端末を中継機として使うことで拡張することが考えられるが、このモデル化。
- Ad-hoc 無線ネットワーク: Bluetooth に代表される短距離通信に向く低価格な無線通信技術。Bluetooth には 850 社以上が参画しているが、モデル化と解析はまだ始まったばかりである。通信方式は予約とポーリング方式を基本としており、性能解析が待たれる。
- slotted CDMA: マルチメディア無線通信においては、許容できる BER が異なるトラヒッククラスが多重化され、このための MAC Protocol として WISPER などが提案されている。この性能評価が待たれる。

5 無線 ATM (WATM)

ワイアレスネットワークにおいては、ハンドオフがあり、ATM 網の connection-oriented な通信には向かない。さらに ATM は高品質な回線を想定しており、セル損失・誤りに関しては end-to-end で回復することになっているが、無線通信においては BER が高くなり、回復が遅くなる。さらにインターネット環境で WATM を用いると、TCP のフロー制御はタイムアウトを基準に行っているので、誤りが発生する度に制御がかかり、円滑な送信が困難になる。送信誤りを含んだモデル化が必要になる。

6 結論

無線通信はいわゆるインターネットの最後の 1 マイル問題に有効な解決策になることが期待されているが、有線ネットワークとの結合無しには機能せず、相互の利点を活用したシームレスなネットワークが待ち望まれる。待ち行列によるモデル化と解析もこれを視野に入れた研究が重要になると思われる。