

次世代モバイルネットワークにおける トラフィック研究の諸課題

品川 準輝, 三浦 章, 石原 文明, 秋永 和計

20世紀初頭から、電話交換網の設計や評価に確率過程を応用した通信トラフィック理論が用いられてきた。現在のインターネットではさまざまなサービスが提供され、従来の理論をそのまま適用することは困難になっており、ネットワーク設備の設計手法も確立されていない。今後、ユビキタス時代になると、端末の多様化、ユーザの多様化などの条件が加わり、さらにトラフィックは複雑化すると予想される。本稿では、従来のトラフィック研究を概観するとともに、新しいトラフィック研究へのアプローチ方法として、トラフィックの発生源であるユーザにも着目して、トラフィック研究の課題を紹介する。

キーワード：トラフィック, モバイル, ユーザ挙動, 人間行動, ユビキタス, シミュレーション

1. はじめに

通信サービスは、これまでの電話を中心とした通信から、テキスト、画像、動画、音楽等を含んだ多彩なアプリケーションやサービスを提供する通信へと発展してきた。これらのニーズにより、トラフィックが激増し、トラフィックの性格にも大きな変化が発生している。移動通信サービスもメールやWebサービスが急速に普及し、モバイルインターネットという言葉で代表されるようにインターネットとの接続が緊密になってきており、トラフィックの状況も変化してきた。

ユビキタス時代になるとネットワークには、非常に高機能な端末から、タグやセンサといった非常に低機能な端末まで収容されるようになる。サービスも現在提供されているサービスに加え、さらに多様なサービスが提供されると想定される。端末も人が携帯するのみならず、ペットなどに取り付けられていたり、固定的に設置されて共同利用されたりと、サービスを利用するユーザも多様化してくる。また、端末が移動すると、トラフィックの集中や変化が発生したり、各種の端末、サービスが利用可能になりユーザの通信サービスの選択の自由が大きくなり、ネットワークへの入力トラフィックはさらに複雑になると考えられる。ユビキタス時代のトラフィックを図1に示す。

しながわ のりてる, みうら あきら, いしはら ふみあき, あきなが よしかず
株式会社 NTT ドコモ ネットワーク研究所
〒239-8536 横須賀市光の丘3-5

本稿では、従来のトラフィック研究を概観するとともに、新しいトラフィック研究へのアプローチ方法として、トラフィックの発生源であるユーザにも着目して、トラフィック研究の課題を紹介する。

2. トラフィック研究の動向

通信トラフィック理論は、20世紀初頭に Erlang が電話交換網の設計や評価に確率過程を応用して解析を行ったことが起源とされている。その後、通信トラフィック理論はそれぞれの時代に出現したアプリケーションに対するネットワークの設計や評価に適用されてきた。1990年代初頭から、インターネットの普及に伴い、インターネットの設計や評価が重要な研究課題となってきた。インターネットではさまざまなサービスが提供され、各種の端末が接続されている。従来から、インターネットのトラフィックのモデル化は telnet や FTP などのプロトコルについて研究が行われており、コネクションの発生間隔、伝送バイト数の分布等の詳細な性質が解析されている[1, 2]。インターネットで観測されるトラフィックは自己相似性（対象の持つ特徴が長さや時間などのスケール変換に対して不変である性質）や長期依存性（ある時点の情報が長時間影響を及ぼし続ける性質）が見られることが報告され、従来の通信トラフィック理論を適用できなくなったと広く信じられており、ネットワーク設備の設計手法は確立されていない。

移動通信では、ユーザ（端末）の移動特性を反映してトラフィック特性を解析する必要がある。古くは、

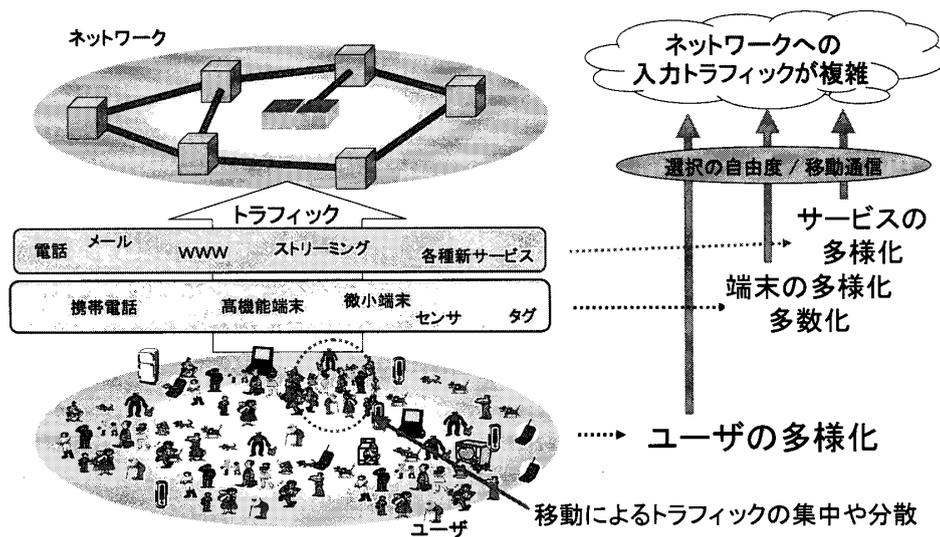


図1 ユビキタス時代のトラフィック

通信の保留時間を指数分布で与え、端末はランダムに移動すると仮定し、移動方向や速度を一様分布で与えてトラフィック特性（新規呼のブロック率やハンドオフ呼のブロック率等）を評価している[3]。セル滞在時間を各種の確率分布（Erlang分布、ガンマ分布、一様分布等）で与え、トラフィック特性を評価した報告がある[4]。GPSレシーバを車両に搭載して移動特性を実際に測定し、その実測データを基にセル滞在時間、チャンネル保留時間等をシミュレーションにより推定し、自己相似性を持つ場合があるといった報告もある[5]。

ネットワークのトラフィック評価を行うツールとして、ns-2[6]、OPNET、QualNetなどの高機能なネットワークシミュレータが開発されている。しかし、大規模なネットワークの挙動を評価するには非常に時間がかかる。これを克服するため、大規模ネットワークを分割して並列計算上で負荷分散してシミュレーションを行う方法が検討されている[7]。

3. トラフィック研究の新しいアプローチ

従来のトラフィック研究では、ネットワークを流れるトラフィックの性質を把握し、制御することに主眼が置かれていた。しかし、トラフィックの発生源はユーザであるため、ユーザの行動がトラフィックに大きな影響を与えていると考えられる。例えば、移動通信ではユーザが端末を携帯して運んでいるため、トラフィックの変動が大きくなる。具体的には、お祭り等のイベントが発生すると、そこに端末を持ったユーザが集中し特定のエリアのトラフィックが増加する現象や、

電車が駅間で止まった場合、そのことを連絡しようとして電車の止まったエリアのトラフィックが増加する現象が考えられる。想定した以上のトラフィックが発生するとネットワークが混雑して電話が掛かりにくくなる現象が発生する。電話が掛かりにくい場合、理由がわからないと、ユーザは何回も電話を掛け直す（再呼）といった行為を行うことになり、ユーザの満足度は低下してしまう。さらに、この再呼により、ネットワークの混雑がますます進み、ネットワークの機能が停止してしまうことさえある。このようにユーザの移動特性や心理的な行動特性が通信トラフィックに大きな影響を与える。

新しいサービスを考えた場合、どの程度のトラフィックが発生するかを推定したり、すでに行われているサービスで発生しているトラフィックにどの程度影響を及ぼすかを推定したりできれば、ネットワーク設備をどの程度用意すればよいかかわかる。このためにはユーザの行動特性や嗜好などの特徴を把握しておくことが必要である。また、通信トラフィックから、ユーザの特性や特徴を把握し、マーケティング等に役立つことも考えられる。通信トラフィックからユーザの特徴を把握する研究として、i-modeサービスのユーザ数とトラフィック量の関係から、人間関係のネットワーク構造を明らかにしようとした研究がある[8]。

このように、従来のトラフィック研究の捉え方を拡大し、トラフィックをネットワークとユーザの相互作用と捉えてトラフィックを把握するというアプローチも重要になってくる。また、ネットワークの制御のみでトラフィックを制御できない場合、ユーザに情報を

提供することによって、ユーザと協調したトラフィック制御を行うことも重要になる。ネットワークが混雑した場合、どのような情報をユーザに提供したら効果的に混雑を防止でき、かつユーザの満足度を上げられるかといった研究も重要になる。このように、トラフィックで扱う範囲をユーザの範囲にまで拡大した研究も重要になると思われる。

4. トラフィック研究の課題

トラフィック研究で扱う範囲を、ユーザにまで拡大した研究課題を図2に示す。従来のトラフィック研究では、ネットワークを流れているトラフィックを計測・解析して、モデル化することによってトラフィック変化を予測し、その結果を基に、ネットワークの制御方式の検討や設備設計が行われていた。ユーザにまでトラフィック研究の範囲を広げた場合の研究課題としては、ユーザの状況を計測して把握し、モデル化してユーザの行動を予測できるようにすることが挙げられる。その結果をトラフィック制御に応用したり設備設計に利用したりすることができれば、柔軟なトラフィック制御や設備設計が可能になると考えられる。さらに、トラフィック研究のツールとしてシミュレーション技術も重要である。上記を踏まえ、計測・解析・予測、トラフィック制御、シミュレーションの観点から課題を示す。

4.1 計測・解析・予測

ネットワークについては、従来と同様にネットワークトラフィックの高精細/高精度計測技術や、ネットワークのモデル化手法の確立といった課題がある。ユ

ーザについても同様に、ユーザの特徴を計測する技術や、ユーザの行動をモデル化する手法の確立といった課題が考えられる。

ネットワークの状況を知るための計測に関しては、巨大なネットワークの状態を効率よく計測する手法や、高速ネットワークでの計測手法の確立などがある。ネットワークのモデル化に関しては、ネットワーク機器を忠実にモデル化するためのパラメータの決定などが挙げられる。ユーザの状態を知るための計測に関しては、ユーザの移動特性や嗜好、意識等の定量化と計測手法の確立などがある。ユーザのモデル化に関しては、ユーザはどのような状況の時に通信行動を起こすのか、輻輳時などにユーザがどのように行動するのかといったユーザ挙動のモデル化などが考えられる。また、ユーザのモデル化に当たっては、社会学、社会心理学、行動学等の分野の考え方を取り入れて、通信分野とこれらに分野を融合させて研究していくことが重要な鍵となると思われる。

4.2 トラフィック制御

トラフィック制御の観点では、ネットワークのトポロジを動的に変更することで柔軟なトラフィック制御を実現する方法[9]や、輻輳時などにユーザに適切な情報を提供することによりユーザと協調してトラフィック制御を行うことが考えられる。ネットワークでのトラフィック制御の課題としては、具体的な制御対象や制御手段の検討がある。ユーザと協調したトラフィック制御では、具体的にどのような情報をどのようなユーザに提供したら効果的かといった検討課題がある。

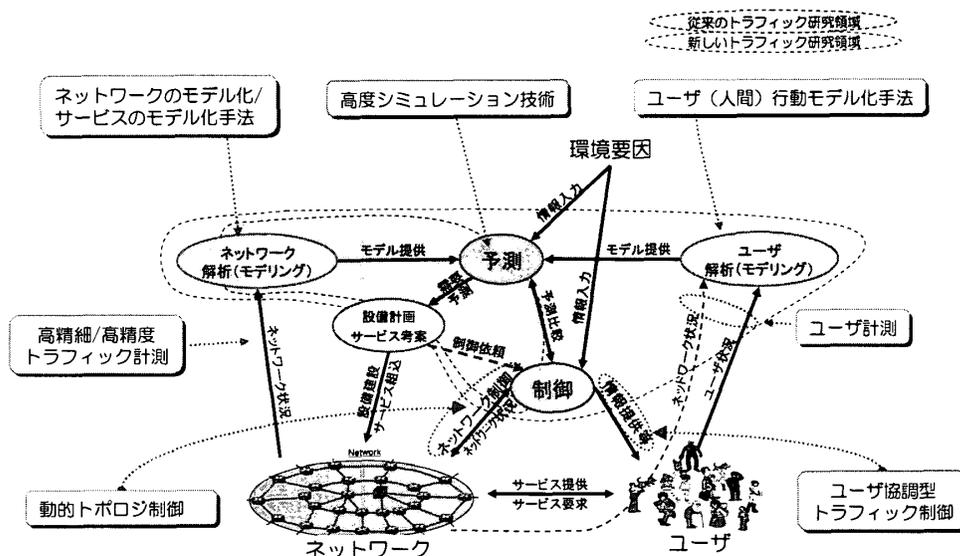


図2 ユーザを考慮したトラフィック研究の課題

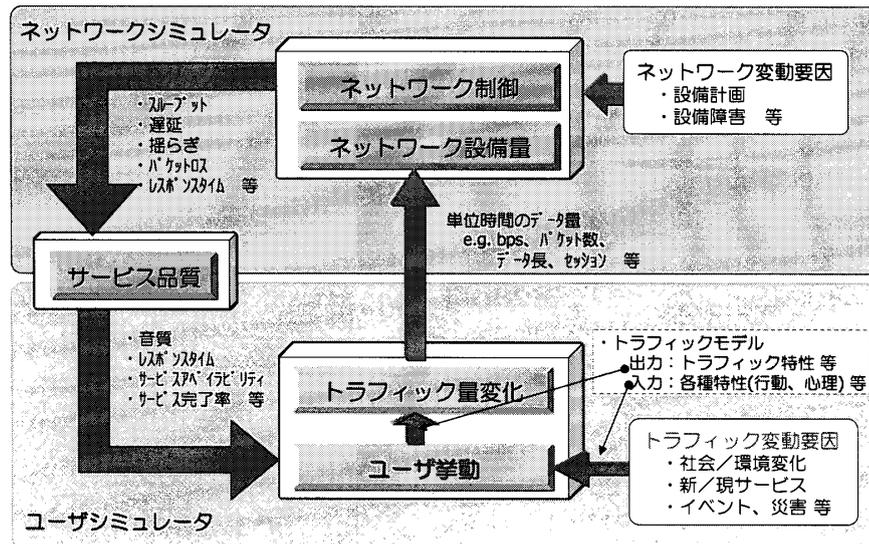


図3 通信シミュレーション環境

4.3 シミュレーション

ユーザが通信を行いたいと思ひ、利用するサービスを選び、通信を開始すると、トラフィックが発生する。発生したトラフィックをネットワークが運ぶ。ネットワークの状態はサービス品質としてユーザに見える。ユーザはサービス品質によって満足したり、不満だったりする。例えば、ネットワークが混んでいてつながらなかった場合、ユーザは何度も再発信したり、他のサービスを利用して通信を行おうとしたりする。このように、通信システムはネットワークとユーザを含めたシステムである。このため、通信トラフィックを考える場合は、ユーザとネットワークの相互作用をシミュレーションできる環境が必要だと考えられる。通信シミュレータの考え方を図3に示す。このようなシミュレーション環境を構築するためには、ユーザの行動やネットワークの挙動を忠実にモデル化することが課題となる。ユーザの挙動のシミュレーションでは、シミュレーション対象をエージェントとみなして、エージェントがある行動ルールに基づいた動作を行い、その相互作用として全体の振る舞いをシミュレートする、マルチエージェントシミュレーション技術の適用などが考えられる。また、キャリア規模のネットワークをシミュレーションするために、大規模なネットワークを高速にシミュレーション可能なシミュレータの構成方法も課題となる。

5. まとめ

従来のトラフィック研究を概観するとともに、新しいトラフィック研究のアプローチ方法と課題を紹介し

た。また、ネットワークとユーザを含めた通信シミュレーションの考え方を示した。従来のようにネットワークを流れる通信トラフィックを把握し、大規模なネットワークの性能評価を実用的な時間で行えるような理論体系あるいは方法論を確立していくことに加え、トラフィックの発生源であるユーザに着目した研究も重要になってくると思われる。

参考文献

- [1] V. Paxson and S. Floyd: "The Failure of Poisson Modeling", Proc. SIGCOMM '94, pp. 257-268, Sept. 1994.
- [2] W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger and D. Wilson: "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic", IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 2, no. 1, pp. 1-15, Feb. 1994.
- [3] D. Hong and S. S. Rappaport: "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures", IEEE Trans. Veh. Tech., vol. VT-35, no. 3, pp. 77-92, Aug. 1986.
- [4] F. Khan and D. Zeghlache: "Effect of cell residence time distribution on the performance of cellular mobile networks", Proc. IEEE VTC '97, pp. 949-953, May 1997.
- [5] H. Hidaka, K. Saitoh, N. Shinagawa and T. Kobayashi: "Teletraffic characteristics of cellular communication for different type of vehicle motion", IEICE Trans. Commun., Vol. E 84-B, pp. 558-565, Mar. 2001.

- [6] The Network Simulator ns-2: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-build.html>
- [7] PADS (Parallel and Distributed Simulation) Research Group: "PDNS—Parallel/Distributed NS", <http://www.cc.gatech.edu/computing/compass/pdns/>
- [8] 会田, 石橋, 巳波, 栗林: "人間関係のグラフ構造とその振舞いについて", 電子情報通信学会, 信学技報, IN 2003-5, pp. 25-30, 2003 年 5 月.
- [9] K. Ishii, Y. Akinaga, N. Shinagawa and A. Miura: "Dynamic Topology Management for Future Mobile Networks", APNOMS 2003, pp. 605-606, Oct. 2003.