

Collaboration Projects

ユーザ誘導型トラフィック制御

ユーザに情報を提供することで、ユーザの行動を誘導して再呼を抑え、トラフィックがネットワークへ流入する前に制御する方法を検討するとともに、再呼をモデル化してトラフィック特性を解析した。なお、本研究は早稲田大学 商学部 高橋研究室（高橋 敬隆教授）との共同研究により実施した。

しながわ のりてる みうら あきら
品川 準輝 三浦 章
かねだ しげる あきなが よしかず
金田 茂 秋永 和計

1. まえがき

移動通信では、ユーザが端末を持って移動するため、トラフィックの発生はユーザの行動に深く依存している。例えば、花火大会やサッカーの試合などのイベント時には、特定の場所に集まった人たちが一斉に通信を行うことで輻輳が発生する。輻輳で電話が繋がらないと、ユーザは何回も電話をかけ直す行為（再呼）を行う。これにより、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。このようなネットワーク設備への過大な負荷により、サービスが提供できない事態を回避するためのトラフィック制御は重要な課題である。現在、輻輳時には発信規制などによりユーザの通信要求（発呼）を強制的に制限することで、トラフィックを制御している。このようなトラフィック制御では、ユーザはサービスの利用機会を失うことになり、顧客満足度が低下する恐れがある。そこで、ネットワーク制御のみでトラフィックを制御しきれない場合、ユーザに情報を提供することで、ユーザと協調しながらネットワークにトラフィックが流入する前にトラフィックを制御する方法について検討した。この新しい概念を導入したトラフィック制御方法を「ユーザ誘導型トラフィック制御」と呼ぶこととする[1]。この方法は、再呼をうまく制御しユーザの通信サービスの利用機会を向上させ、最終的にはユーザの満足度を向上することを目的としている。また、ネットワークを構築・運用・管理するためには、再呼を考慮したネットワークのトラフィック特性を把握しておくことが実践的にも重要である。そ

こで、再呼がネットワークの性能に与える影響について評価した。

2. ユーザ誘導型トラフィック制御

2.1 コンセプト

前述のようなネットワークに流入する前にトラフィックを制御する方法としては、「ネットワークへの流入場所を空間的（地理的）に分散させる」、「ネットワークへの流入時刻を分散させる」、「ネットワークへの流入量を減少させる」ことが考えられる。そこで、このようなトラフィック制御を、ユーザの行動を誘導することで実現する方法について以下のとおり検討した。

①通信場所の変更（移動）

通信環境の悪い場所から良い場所への移動を促すことで、空間的にトラフィックを分散する。

②通信時刻の変更（待機）

通信環境の悪い時刻から良い時刻までの待機を促すことで、時間的にトラフィックを分散する。

③通信手段の変更（手段変更）

リソースの消費がより少ない代替手段（例えば、電話からメール）への変更を促すことで、ネットワークに流入するトラフィック量を削減する。

トラフィック制御とユーザ誘導形態の関係を図1に示す。ユーザ誘導型トラフィック制御は、システムの状態をユーザへ知らせたり、よりよい行動を提案することで、トラフィックを制御し顧客満足度の低下を防止しようという発想である。最終的にシステムからの提案に従うかどうかは、ユーザが自由に判断するべきものである。

ユーザへ通知する情報としては、現在および予測した将来のネットワークの負荷状況などのシステム情報や、ユーザに推奨する通信可能な場所や時刻、利用可能な通信手段などが考えられる。前者は情報を通知した後のユーザがとり得る行動がさまざまであるため、意図する行動をユーザがとるとは限らず、期待するトラフィック制御の効果は得にくいと考えられる。しかし、ユーザはシステムの状況が

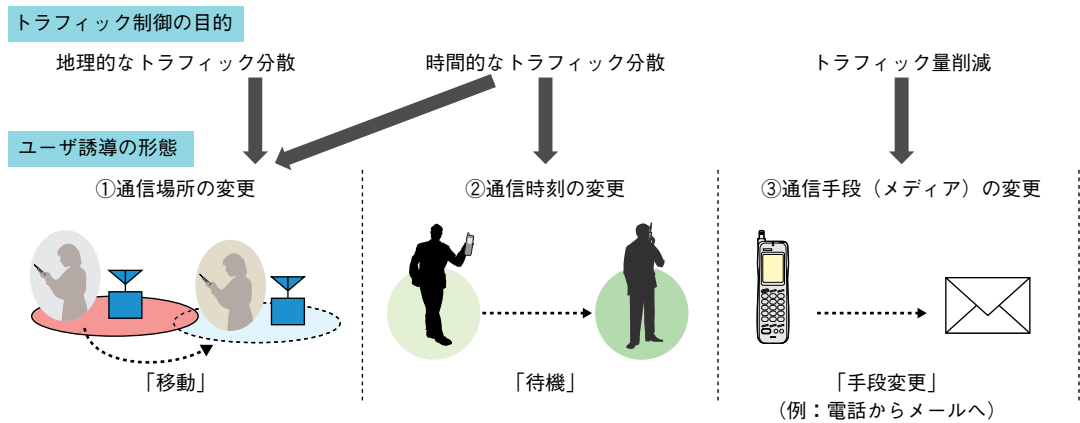


図1 トラフィック制御とユーザ誘導形態の関係

分かるため顧客満足度低下の防止につながると思われる。後者については、ユーザとの同意のうえで移動端末の機能を制御すれば、期待するトラフィック制御の効果が得やすいと考えられる。

2.2 制御方法概要

ユーザ誘導型トラフィック制御の概要を以下に示す。

ユーザからの接続要求に対し、通信システムは無線リソースの使用率などを基にユーザを誘導するかどうかを判断する。誘導する場合は、誘導メッセージをユーザに送信する。誘導メッセージは、前述の通信場所の変更、通信時刻の変更、通信手段の変更のいずれかを提案する情報である。

誘導メッセージを受け取ったユーザは、その提案に従うか否かを判断する。提案に従う場合は、指定された提案（移動・待機・手段変更）を実施後に、通信システムに再度接続要求を行う。接続要求は、通信システムのリソースの空きに応じて接続されるか呼損となる。

2.3 ユーザ誘導型トラフィック制御の評価

ユーザ誘導型トラフィック制御の効果を、マルチエージェントシミュレーションと呼ばれる手法を用いて評価した。マルチエージェントシミュレーションとは、コンピュータ上に複数の自律的な行動主体・意思決定主体（エージェント）を定義し、それらが個々にとる行動、個々に行う意思決定の結果として、全体的にどのような状態になるかを観察する手法である。シミュレーションを行うために、ユーザをエージェントとして定義

して、ユーザの行動（移動・通信・誘導に対する反応）をモデル化した。作成したシミュレータはシミュレーション上のすべてのユーザについて、滞在している位置と通信状態（待受中・通信中）を表示し確認できる。また、さまざまな評価指標（呼損率など）についてリアルタイムで状態変化を観察することができる。つまり、マクロ的な結果のみならず、過渡状態を含む時系列での状態変化を測定することが可能である。シミュレーションを実行している画面を図2に示す。

具体的な例として、花火の打上げ会場周辺の駅から会場へ向かい、終了後に再び駅へ戻るという花火大会でのユーザ行動を仮定してシミュレーションを実施した。花火の開始前から終了後までの一連の流れに対して、ユーザ誘導（移動・待機・手段変更）を行った場合と行わなかった場

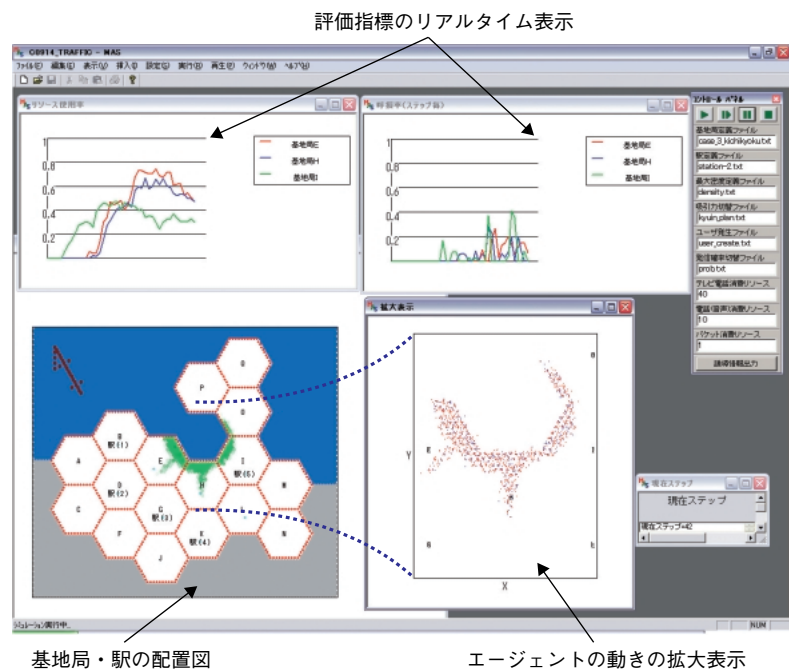


図2 シミュレーション画面

合の呼損率について比較を行った。ここで呼損率は「呼損数／発呼数（再呼を含む）」と定義した。シミュレータ上にエージェント（ユーザ）を2,500用意してシミュレーションを実施した。個々のエージェントは、独立に、平均2,000～5,000秒間隔でランダムに発呼を行うように設定し、トラフィックを発生させた。つまり、シミュレータ上のユーザ全体で1秒当りに平均0.5～1.25回の発呼率に設定することで、輻輳状態を表現できる十分なトラフィックを発生させるとともに、トラフィック量（輻輳の度合い）を変化させて特性の変化を観察した。平均通信時間、再呼間隔は現実的な値としてそれぞれ100秒、15秒とした。また、手段変更時の平均通信時間を通常時の10分の1、つまり10秒とした。シミュレーションの結果として、呼損率特性を図3に示す。どのユーザ誘導形態においても誘導を行わなかった場合に比べ呼損率を下げられることが明らかとなった。特に手段変更は、トラフィック量が多い（ネットワークへの負荷が高い）場合でも、呼損率を低く抑えることが可能である。一方、移動や時間変更の誘導は、高負荷時の呼損率の低減効果は低い。このようにユーザ誘導型トラフィック制御は、ユーザにとって通信サービスの利用機会の向上が見込める。ユーザ誘導で発生する再呼は分布が複雑で解析が困難である。このため、このようなシステムの運用や設備設計を行うためには再呼特性がネットワークの性能評価に与える影響を定量的に把握しておくことが重要である。

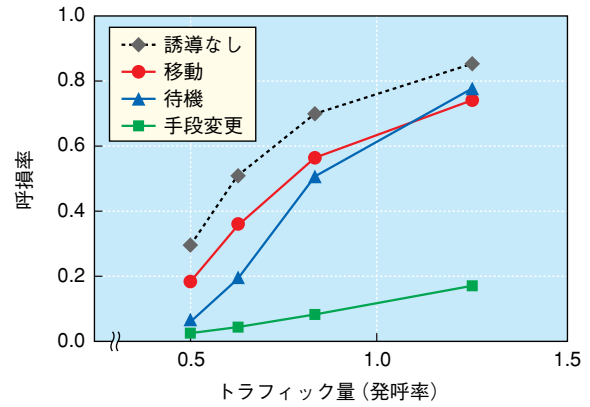


図3 呼損率特性

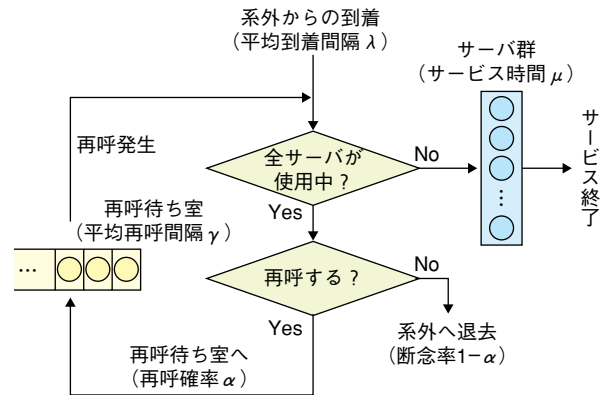


図4 再呼モデル

3. 再呼トラフィックの特性

情報通信ネットワークを構築・運用・管理するためには、輻輳を助長する再呼の影響を定量的に把握することが重要である。そこで、輻輳を助長する「再呼現象」をモデル化しトラフィック特性を定量的に解析した。

3.1 理論解析

従来からの再呼を考慮したトラフィック解析の手法としては、即時式完全線群における呼損率評価式（Erlang-B式）の結果を再呼の存在により何%上乘せするか、つまり、ポアソン過程における到着率の伸長をどのくらいにするか、という視点からのものが主であった。また、マルコフ的な再呼を含む即時系通信システムをモデル化して解析することも行われている[2]が、そこで得られている結果は数値計算に適した形式になっていない。

ここでは、呼がサービスを受けられなかった際に、諦めない呼は再呼列に並び、しばらく時間を置いてから、再度サービスを要求する挙動そのものをモデルに組み入れ解析した（図4）。このため解析には、再呼待ち行列や再呼間隔

分布（再呼待ち行列における滞在時間分布）といった概念が必要となってくる。解析で仮定した条件を以下に示す。

- ・呼は独立にシステムに到着し、到着間隔はパラメータ λ の指数分布に従う
- ・すべてのサーバ（チャネル）が使用中の場合、呼は再呼を試みる。再呼を試みる回数は呼ごとに（または同じ呼でも状況によって）異なっていると考えられる。そこで、サーバをブロックされた呼は一定の確率 α ($0 \leq \alpha \leq 1$) で再呼する
- ・再呼間隔は呼ごとに独立で、パラメータ γ の指数分布に従う
- ・サーバが確保できた場合の呼のサービス時間（通信時間）は互いに独立で、パラメータ μ の指数分布に従う

このようなモデルを用い、システムの状態確率を記述し、呼損率や平均待ち時間を「リトルの公式」*を併用して求めることで、数値計算に適した計算方法を新しく提案した[3]。

* リトルの公式：システムへの呼の到着率を λ 、システム内に存在する平均待ち呼数を L 、呼がシステムに到着してから処理が完了するまでの平均待ち時間を W とすると、一般に $W=L/\lambda$ という関係式が成り立つ。

3.2 シミュレーション解析

従来の研究で再呼として想定されていたのは、人間が手でもう一度ダイヤルするという純粹なりダイヤルとしての再呼であった。このため再呼間隔を指数分布として解析している。現在では、端末のリダイヤル機能を使って再呼できる。また、ユーザ誘導型トラフィック制御を行った場合は再呼の特性も誘導方法により異なり複雑になる。理論解析では再呼間隔分布として指数分布を仮定したが、ユーザ挙動の1つである再呼間隔分布の違いによるトラフィック特性への影響を明らかにすることで、システム性能への影響を推定しておくことは、設備設計やトラフィック制御の検討を行ううえで有効である。そこで、再呼間隔分布を指数分布、一様分布、2次のアーラン分布、2次の超指数分布とした場合について、シミュレーションにより特性を評価した。その結果、呼損率（最後には諦めてシステムから退去する確率）は再呼間隔分布によらないことが分かった[3]。つまり、呼損率のみを用いて設計・制御・運用する限りにおいては、再呼間隔の平均は測定する必要があるが、それ以上の統計情報を測定しなくともよいことが明らかとなった。

4. あとがき

本稿では、ユーザに情報を提供することで、ユーザの行動を誘導してトラフィックがネットワークへ流入する前に制御するユーザ誘導型トラフィック制御の概要と効果、および輻輳の原因となる再呼の特徴について紹介した。今後、アンケートによる主観評価などを基にした顧客満足度の定量化方法や、ユーザの通信行動のモデル化方法について研究を進める予定である。また、ユーザへの通知情報や通知手段などの具体的な誘導方法について検討するとともに、顧客満足度の観点からの評価などを行いユーザ誘導型トラフィック制御の適用領域の明確化を図っていく予定である。

文 献

- [1] S. Kaneda, Y. Akinaga, N. Shinagawa and A. Miura: "Traffic Control by Influencing Users' Behavior in Mobile Networks," The 19th International Teletraffic Congress, in Proc. 6a, pp.583-592, Aug. 2005.
- [2] 宇田川 銈久, 三輪 栄一: "ポアソン形の再呼を考慮した即時式完全線群に対する一考察," 電子通信学会論文誌, Vol. 48, No. 10, pp. 40-49, 1965.
- [3] A. Takahashi, Y. Takahashi, S. Kaneda, Y. Akinaga and N. Shinagawa: "The Robustness of Blocking Probability in a Loss System with Repeated Customers," Proc. ICETE2005, Vol. II, pp. 60-65, Oct. 2005.