

研究種目： 基盤研究 (C)  
 研究期間： 2007~2008  
 課題番号： 19510146  
 研究課題名 (和文) アドホックネットワークトラヒックの大偏差性質及び QoS に関する研究  
 研究課題名 (英文) Analysis of the large deviation property and QoS for Ad Hoc networks  
 研究代表者  
 馮 偉 (WEI FENG)  
 名古屋工業大学・工学研究科・准教授  
 30252307

研究成果の概要： 本研究では待ち行列の理論を用いて、携帯電話や無線 LAN、Bluetooth などの無線通信アドホックネットワーク上のトラヒックに対して性能解析を行った。 具体的に 1) 有限バッファ、2 種類のコールと 2 つのサーバーをもつポーリングシステム 2) 有限バッファ、4 種類のコールと多サーバーをもつポーリングシステム 3) 有限バッファ、2 種類のコール、多サーバーと多重閾値コントロールをもつポーリングシステム 4) 多バッファと一つのサーバーを持つ双方向通信ポーリングシステム 5) セルラー式とアドホック技術を統一した多サーバーの二重ポーリングシステム 五つの待ち行列モデルに対して、システムの定常分布、バッファでの待ち時間分布を求めた。そして、定常分布、コールの呼損率、強制中断率などの大偏差確率及び各種平均値を計算するためのアルゴリズムを与えた。同時にシステムのシミュレーションを行い、数値計算結果から最適なコントロールポリシーや最適なアクセス方式についても議論した。これらの結果は無線通信システム上のトラヒックの混雑制御に応用できる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計			4,290,000

研究分野： 複合新領域

科研費の分科・細目： 社会・安全システム工学 ・ 社会システム工学・安全システム

キーワード： OR 通信ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

無線通信技術の目覚ましい進歩により無線 LAN

や Bluetooth などのアドホックシステムの応用は急速に展開していたところである。より高いサービス品質を提供するためにネット

ワーク上のトラヒックに対して有効なコントロール (admission control, adapt control) アルゴリズムが必要です。これらのアルゴリズムを求めるには、ネットワーク上のトラヒックの性能解析は不可欠である。当時、様々な手法でアドホックネットワークトラヒックに関する研究が盛んに行われていた。

## 2. 研究の目的

アドホックネットワークトラヒックの性能解析を行い、コールのブロック率 (呼損率) や強制中断率などの大偏差率を求め、サービス品質を保証するための有効なコントロールアルゴリズムを与えることを目的とする。

## 3. 研究の方法

- (1) 実際のアドホックネットワークの構築とコンピュータシミュレーション (モンテカルロ法) でトラヒックの統計的性質を調べる方法
- (2) アドホックネットワークトラヒックに対して様々なポーリングシステムを用いてモデリングし、理論解析を行う方法

## 4. 研究成果

(1) セルラー式無線通信ネットワークにおいて、主に二種類のトラヒック：各セルで発生したコール (ニューコールと呼ばれる) と隣のセルから移動してきたコール (ハンドオフコールと呼ばれる) がある。ニューコールをブロックするより通話中のハンドオフコールを強制中断の方が利用客により不愉快を与えるため、通常ハンドオフコールを優先にしてチャンネルを割り当てる。これを背景に、われわれが論文「Analysis of a finite buffer with two servers and two non-preemptive priority classes」では、有限バッファ、二つのサーバーと優先権をもつ二種類のトラヒックからなるポーリングシステムを考案した。それぞれのトラヒックはポアソン過程に従いシステムに到着し、サービス時間は指数分布に従うという仮定の下で、四次元マルコフ過程の理論を用いて待ち行列モデルの性能解析を行った。この研究で主に次の成果が得られた。

- ① 待ち行列トラヒックの定常分布を求めた。それを計算するためのアルゴリズムを与

えた。

- ② それぞれのトラヒックはバッファでの待ち時間分布のLS-変換を求めた。待ち時間のk次モメントを計算するためのアルゴリズムを与えた。
- ③ それぞれのトラヒックの呼損率及びバッファでの平均コール数を求めた。
- ④ コンピュータシミュレーションの結果を示した。これらの結果を用いて、本研究の待ち行列モデルの動き、特にコールのブロック確率と強制中断確率を伝統的なモデルの結果と比べ、モデルの評価を行った。これによって、セル上のトラヒックの性質に応じてブロック確率や強制中断確率を最小にするモデルの設定、選別を行うことが出来るようになった。

(2) 無線技術の進歩によって、無線通信システムは音声だけではなく、データ、画像及び動画などのマルチメディアを一元的に扱えるようになった。各セルの基地局が持っているチャンネル数が多数であるため、われわれが論文「Performance analysis of wireless mobile networks with queueing priority and guard channels」では、より現実の通信システムに近いポーリングシステムを考案した。この待ち行列モデルは $N(> 2)$ 個のサーバーと4種類のトラヒック：ニュー音声コール、ニューデータコール、そして、ハンドオフ音声コール、ハンドオフデータコールから構成され、ハンドオフ音声コールは待ち行列とガードチャンネル優先権を持っている。それぞれのトラヒックはポアソン過程に従いシステムに到着し、サービス時間は指数分布に従うと仮定した。このモデルに対して、(1)の研究と同様に、マルコフ過程の理論を用いてシステムの性能解析を行い、次の成果が得られた。

- ① 待ち行列トラヒックの定常分布を求めた。それを計算するためのアルゴリズムを与えた。
- ② それぞれのトラヒックの呼損率や強制中断率、バッファでの平均コール数を求めた。
- ③ それぞれのトラヒックはバッファでの待ち時間分布のLS-変換を求めた。待ち時間のk次モメントを計算するためのアルゴリズムを与えた。
- ④ コンピュータシミュレーションの結果を示した。数値計算の結果に基づいて、ブロック確率及び強制中断確率を最小にするための最適なガードチャンネル数の問題について議論した。

本研究の結果はセルラー式の移動通信ネ

ネットワークのサービス品質管理とコントロール、特に adapt control と admission control には応用できる。

(3) 無線移動通信ネットワークに対して、高いサービス品質が提供できるのは勿論のことであるが、同時により多くのコールがアクセスできることも要求されている。今まで提案されたガードチャンネル処理方式は、ハンドオフコールのサービス品質を保証するため、使用中のチャンネルが予め決めていた数以上になると、ニューコールのアクセスが拒否されるという方式である。しかし、ハンドオフコールはハンドオフ領域で移動するとき、隣接セルのチャンネルを使っているのに直にチャンネルの切り替えを行わなくてもよいときもある。つまり、この場合、チャンネルの切り替えは時間的に余裕がある。そして、ハンドオフコールはハンドオフ領域で通話終了する可能性もある。これらのことを背景に、われわれが論文「Optimal Multi-threshold Control for wireless Mobile Networks」では、多重閾値を持つ処理方式を提案した。この処理方式は待っているハンドオフコールの数に応じてチャンネルを割り当てるものである。ハンドオフコールのサービス品質が保証すると共により多くのニューコールのアクセスが許せる。しかも、閾値の値が簡単に調整できるため、このコントロールポリシーは単純である。本研究は、このような処理方式の下でシステムの性能解析を行い、主に次の成果が得られた。

- ① Stochastic Complementarity method を用いて、待ち行列トラヒックの定常分布を求めた。それを計算するためのアルゴリズムを与えた。
- ② ニューコールの呼損率とハンドオフコールの強制中断確率、そして、バッファでの平均数コール数を求めた。
- ③ コンピュータシミュレーションの結果を示した。数値計算の結果に基づいて、ブロック確率及び強制中断確率を最小にするための最適な閾値問題について議論した。

(4) アドホック無線通信システムはアクセスポイントを介さないデバイス同士の無線機能で直接通信ができるようなシステムであり、次世帯の通信ネットワーク：ユビキタスネットワーク (Ubiquitous Network) を構成するための不可欠の無線通信技術である。現在、広く応用されるアドホックシステムの一つは Bluetooth システムである。Bluetooth システムは幾つかの無線通信デバイス(ノー

ト PC、携帯電話など)から構成され、自己編成機能を持ち適応性を備えている。このネットワークにおいて、マスタとなるデバイスが他のデバイス(スレーブと呼ばれる)に対してポーリング処理方式(Polling Scheme)でアクセスし、データのやりとりを行う。そのため、Bluetooth システムはポーリングシステムとして、様々な処理方式：E-Limited、Exhaustive 及び Bernoulli のもとでその性能解析が行われてきた。

Bluetooth システムを構成するデバイスの間には通信量の差がある。すなわち、よく送受信をするデバイスとそうでないデバイスが混在する。このことを背景に、われわれが論文「ポーリングシステムを用いた無線通信ネットワークの解析」では、各スレーブデバイスの通信量を考慮したより柔軟な処理方式：セミベルヌーイ方式を提案し、システムの解析を行う。具体的には、マスタが各スレーブデバイスを訪問したとき、そのデバイスに割り当てるデータの処理回数は確率によって決められるという処理方式である。この方式は I-Limited、Exhaustive 及び Bernoulli などの処理方式をスペシャルケースとして含んでいる。

本研究は各デバイスで送信待ちのデータ量に対して、母関数の方法を用いてその定常分布を求めた。この定常分布を使って、各デバイスのバッファ容量を超える大偏差確率やシステムの admission control アルゴリズムを求めることができる。

(5) 無線通信技術の目覚ましい発展に伴い、携帯電話のようなセルラー方式無線通信システムは急速に普及していき、利用者の数は莫大に増えている。しかし、各セルが有しているチャンネル数が有限であるため、人口が集中している地域、例えば、商店街、会社の中で通信の混雑が目覚しくなっている。最近、この混雑を緩和するため、セルの中で局所的にアドホック技術を利用して通信を行うアプリケーションが現れている。この動向を背景に、われわれが論文「セルラー方式とアドホック技術を統合した無線通信ネットワークの性能解析」では、セルラー方式とアドホック技術を統合した無線通信ネットワークを考案した。このネットワークにおいて、各セル内に一つの基地局と数個の ARS (Ad Hoc Relaying System) が設置されている。基地局と各 ARS の間に基地局チャンネル(セルラーチャンネルと呼ばれる)によって通信が行われる。コールのアクセス方式は次の二種類：1. セルラーチャンネル優先アクセス方式 2. ARS チャンネル優先アクセス方式である。それ

ぞれのアクセス方式の下でシステムの性能解析を行った。主に次の結果が得られた。

- ① 使用中のセルラーチャンネル数と各 ARS のチャンネル数の同時定常分布を求めた。
- ② コールのブロック確率（呼損率）と ARS 領域を出るときのコール強制中断率を求めた。
- ③ 使用中のセルラーチャンネルの平均数と各 ARS において使用中のチャンネルの平均数を求めた。
- ④ コンピュータシミュレーションと数値計算を行った。そして、数値結果から二つのアクセス方式の性能を比較して、次の結論が得られた。1) どちらのアクセス方式でも、ARS の設置によって生じるコールの強制中断率と比べて呼損率減少の方は効果が大きい 2) 呼損率と強制中断率の両方から判断するとき、客の移動性が大きい場合（例えば、商店街）、セルチャネル優先アクセス方式の方がよく、逆に、会社の中で移動性があまり大きくない場合、ARS チャンネル優先アクセス方式の方がよい。しかし、セルチャネルの数が十分多いとき、二つのアクセス方式の効果はほぼ同じ 3) 実際の移動通信システムの場合、携帯電話などの端末の移動性が測定できるため、二つのアクセス方式を混在して使うのはより効果である。例えば、移動性の高い端末にはセルチャネルを優先して割り当て、逆に遅い移動端末には ARS チャンネルを優先して割り当てる。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 3 件）

1. Wei FENG and Masataka Umemura  
Performance analysis of wireless mobile networks with queueing priority and guard channels

INTERNATIONAL TRANSACTIONS  
IN OPERATIONAL RESEARCH 15  
(2008) 481-508 査読有

2. Wei FENG and Masashi Kowada  
Analysis of a finite buffer model with two servers and two nonpreemptive priority classes

European Journal of Operational  
Research 192 (2009) 151-172

査読有

3. Wei FENG  
Optimal multi-threshold control for wireless mobile network

Proceeding of 2009 International  
Conference on Communication and  
Mobile Computing, IEEE Computer  
Society 2 (2009) 337-343

査読有

〔学会発表〕（計 3 件）

1. 馮 偉 小和田 正

Performance analysis for wireless  
mobile networks with hysteresis m  
ulti-threshold control

日本オペレーションズ・リサーチ学  
会秋季研究発表会 2008年9月  
札幌コンベンションセンター  
査読無

2. 馮 偉 新子 陽平 荒井 崇史  
セルラー方式とアドホック技術を統  
合した無線通信ネットワークの性能  
解析

日本オペレーションズ・リサーチ学  
会 2009年3月 中部品質管理協会  
第1研修室  
査読無

3. 馮 偉 高岡 弘幸  
ポーリングシステムを用いた無線  
通信ネットワークの解析

日本オペレーションズ・リサーチ学  
会 2009年3月 中部品質管理協会  
第1研修室  
査読無

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

馮 偉 (WEI FENG)  
名古屋工業大学・工学研究科・准教授  
研究者番号： 30252307

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

小和田 正 (KOWADA MASASHI)  
中部大学・経営情報学部・教授  
研究者番号： 80015875