

機関番号：12102  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20500061  
 研究課題名（和文）資源の動的最適配分法の理論とその無線周波数帯域割当て及びサービス科学への応用  
 研究課題名（英文）Theory for optimal dynamic resource allocation and its applications to radio spectrum planning and service sciences  
 研究代表者  
 高木 英明（TAKAGI Hideaki）  
 筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授  
 研究者番号：30260467

研究成果の概要（和文）：移動体無線通信網やサービスシステムにおいて、変動する需要に対応して有限の資源を最適配分するための方法を確率過程論に基づいて研究した。具体的には、(1) パケット通信における公平な送信権を確保する分散処理方式、(2) セルラ移動体通信網におけるハンドオーバー数の計算と端末の動的な位置管理設計への応用、(3) オペレータの後処理と顧客の待合わせ放棄があるコールセンターの性能評価、(4) 関連する待ち行列やランダムウォーク等の確率過程を研究した。

研究成果の概要（英文）：Various methods for allocation of finite resource to meet dynamic user demands in mobile radio communication and other service systems have been studied based on the theory of stochastic processes. Specific subjects include (1) distributed fair queueing in packet-switching communication, (2) counting the number of handovers and the terminal location management in cellular mobile communication networks, (3) performance evaluation of call centers with abandonment of customers and after-call work of operators, and (4) relevant stochastic processes of queueing systems and random walks.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：情報通信システム、移動体無線通信網、コールセンター、サービスサイエンス、応用確率過程、待ち行列

## 1. 研究開始当初の背景

情報通信網における通信媒体資源は、有線通信では光ファイバーの帯域幅の驚異的増加とそれを必要な本数だけ備えることにより、もはやボトルネックではなくなったが、無線通信においては、電磁波の物理的性質と

人為的な周波数割当てにより、依然として、その効果的利用法を考えなければならない希少資源である。通信周波数は、従来、平均的またはピーク時の予想通信量を基に、時間的・空間的・符号的に、時刻に依存しない静的な無線周波数資源の割当てがなされてき

たので、突発時に回線容量不足のために通信障害が起り、逆に平時には資源が浪費されるという状態になっている。無線周波数資源の有効活用の要請は、コグニティブ無線の開発を促していた。

同様に、近年ビジネス量が拡大しているコールセンターに典型的に現れるように、ヒトと設備が関わるサービスシステムにおいても、時間的に変動する顧客の需要に応じてオペレータや応答機器を配置するキャパシティ・マネジメントを効果的・効率的に行うことが求められている。サービス産業における生産性向上とイノベーションに科学的・工学的方法を適用しようとするサービスサイエンスが2005年に提唱され、その研究と人材育成が始まっていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、移動体無線通信網やサービスシステムにおいて、変動する需要に対応して有限の資源を最適配分するための方法を確率過程論に基づいて研究することが目的であった。また、同様の方法を、コールセンター等のヒトと設備が関わるサービスシステムのキャパシティ・マネジメントに応用し、サービス・イノベーションのための数理的アプローチを開拓することも目指した。

具体的なテーマとして、(1) パケット通信における公平な送信権を確保する分散処理方式の提案とその性能評価、(2) セルラ移動体通信網におけるハンドオーバー数の計算と端末の動的位置管理設計への応用、(3) オペレータの後処理と顧客の待合わせ放棄があるコールセンターの性能評価、(4) 関連する待ち行列やランダムウォークの確率過程等を研究した。

## 3. 研究の方法

情報通信網に関する研究においては、研究代表者(高木)が理論研究を行い、分担者(張)がシミュレーションで検証した。また、指導する大学院生が数値計算等を行った。特に、サービスシステムの研究では、現実に運用されているシステムの担当者と連携し、新しい理論モデルの作成と、実データを使用した数値計算に当たった。また、国内外で積極的に研究発表を行うとともに、他機関の研究者から助言を得た。

研究代表者(高木)は、平成20年度までは、主として、情報通信網における資源配分の研究に関わったが、平成21-22年度に経済産業省 産業技術人材育成支援事業(サービス工学人材分野)「大学院生と企業の実務者等が一堂に学ぶサービス進化システムを先導する人材の育成」の受託を受けるとともに、サービスシステムへの応用に重点を移した。

その中で、特に、ヒトと設備が関わるサービスシステムのキャパシティ・マネジメントをテーマとして、コールセンター、病院、駐車場等を訪問して、実システムの分析とデータ収集を行った。

情報通信網もサービスシステムの一つであり、運用性能の解析と、運用資源の設計に使われる理論は同じものである点が興味深い。しかし、両システムでは、利用者(顧客)が関心のあるサービス品質の評価尺度が異なることと、ヒト(従業員)がサービスを提供するシステムでは、従業員満足度に焦点を当てた性能解析と設計の理論が必要である点が異なる。それらを考慮して、各研究テーマに当たった。

## 4. 研究成果

(1) パケット通信におけるユーザ間の公平な送信権を分散処理で確保する方式の提案とその性能評価。

複数のユーザを公平にサービスする Fair Queueing を分散処理で行う有効な方式として、処理ビット数を基準とする方法を新規に考案し、その性能をシミュレーションにより確認した。これは、従来方式のように集中処理を必要としない点が特徴であり、パケット交換方式の有線及び無線通信網における交換機において使うことができる。

(2) セルラ移動体通信網におけるハンドオーバー数の計算とその応用。

セル方式の移動体通信システムにおいては、ユーザが通話中に隣のセルに移ると、そのセルで新たに周波数を割当てたり、位置情報を更新したりするハンドオーバーが必要となる。ハンドオーバーの失敗は、通話の強制切断につながるため、ハンドオーバー数の評価は重要である。本研究では、ランダムな長さをもつ通話時間中に横切るセルの個数を確率的に計算するための再生過程理論を構築し(図1)、それをモバイル端末の動的位置管理の設計に応用するモデルを開発した。将来は会話のみならず、情報端末の使用が増えることを考慮し、通話時間の分布として、単純な指数分布ではなく、相型分布等を扱えるように、計算法を拡張した。

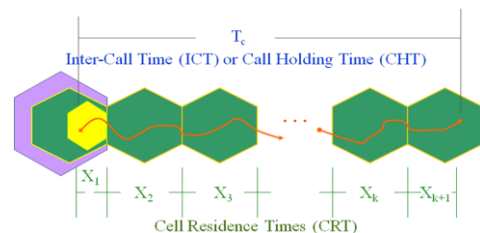


図1 ハンドオーバー数の計算モデル

(3) オペレータの後処理と顧客の待合わせ放棄があるコールセンターの性能評価。

コールセンターのサービス資源は、通信回線とオペレータであるが、オペレータは、顧客との通話時間の他に、同程度の時間を通話内容の記録等の後処理に使う。従来の研究では、コールセンターは、オペレータが顧客へのサービスを行うが、客の待合わせ放棄がある待ち行列システムとしてモデル化されていた。本研究では、顧客の待合わせ放棄に加えて、オペレータの後処理を考慮に入れ待ち行列でモデル化し (図 2)、それを連続時間 Markov 過程として定式化した。後処理に携わるオペレータの存在により、従来の待ち行列モデルとは異なり、システム内に収容できる全顧客数よりも多いオペレータが必要となる点に新規性がある。そして、解析解と数値計算により、顧客満足度に係る性能 (呼損率、顧客が待つ確率、待合わせ放棄確率、平均待ち時間等) と、従業員満足度に係る性能 (オペレータの稼働率等) を算出し、オペレータの配置計画の基礎を作った。モデルの作成とトラヒックの実データについては、コールセンター運営会社及び通信機器販売会社でヒヤリングを行った。

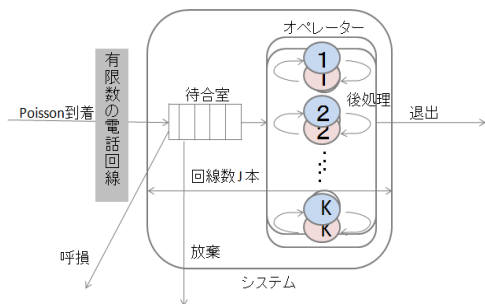


図 2 コールセンターの待ち行列モデル

(4) 関連する確率過程の理論的研究。

情報通信やサービスシステムに現れるサービス提供資源への需要が時刻に依存して変化する場合の基本的な待ち行列モデルの確率過程について、時間依存する厳密解を計算した。リアルタイム情報通信のモデルとして、複数種類の客が通信資源を要求し、待合せのない呼損システムを研究した。また、サービスシステムのモデル化のために、複数のサーバをもつ待ち行列を取り上げた。また、有限区間の両端に吸収壁または反射壁をもつ1次元ランダムウォーク、Brown 運動 (Wiener 過程)、及び Ornstein-Uhlenbeck 過程について、時刻に依存する状態滞在確率と壁までの初到達時間の確率分布を厳密に求め、種々の理論結果を整理した。

## 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 5 件)

- ① 高木英明・岡田幸彦・吉瀬章子・繁野麻衣子, 顧客志向ビジネス・イノベーションのためのサービス科学に基づく高度専門職業人育成プログラムの開発, 人工知能学会誌, Vol. 25, pp. 726-734, 2010 (査読無).
- ② 高木英明, サービスサイエンスとは, 体育の科学, Vol. 60, pp. 80-84, 2010 (査読無).
- ③ R. M. Rodriguez-Dagnino and H. Takagi, Application of Renewal Theory to Call Handover Counting and Dynamic Location Management in Cellular Mobile Networks, European Journal of Operational Research, Vol. 204, pp. 1-13, 2010 (査読有).
- ④ A. M. K. Tarabia, H. Takagi and A. H. El-Baz, Transient Solution of a Non-empty Chemical Queueing System, Mathematical Methods of Operations Research, Vol. 70, No. 1, pp. 77-98, 2009 (査読有).
- ⑤ S.-Y. Kim and H. Takagi, Channel-Aware Distributed Throughput-Based Fair Queueing for Wired and Wireless Packet Communication Networks, Vol. E59-B, pp. 1025-1033, 2008 (査読有).

[学会発表] (計 8 件)

- ① 高木英明・星野厚・堀川寛司, 2画面並列進行によるプレゼンテーションの効果・効率向上, 2011年3月17日, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2010年度春季研究発表会, 東京 (電気通信大学).
- ② 木村行雄・高木英明, サービスドミナントロジックの視点から見た国内製造業の評価, 2011年3月17日, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2010年度春季研究発表会, 東京 (電気通信大学).
- ③ 田口裕太郎・高木英明, オペレータの後処理があるコールセンターの待ち行列モデルの解析, 2011年1月18日, 京都市.
- ④ 高木英明, サービス・イノベーション人材育成の試み, 第3回横幹連合総合シンポジウム, 2010年9月6日, 東京 (早稲田大学).
- ⑤ H. Takagi, Y. Okada and A. Yoshise, Joint human resource development for local service industries and graduate students, 19<sup>th</sup> Annual Frontiers in Service Conference, 2010年6月11日, Karlstadt, Sweden.
- ⑥ 高木英明, コールセンターの待ち行列モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 サービスサイエンス研究部会, 2010年5月22日, 名古屋市 (名城大学).

⑦ H. Takagi and C. Hishinuma, Modeling Call Centers by Queues with Impatient Customers, 2009年10月15日, 東北大学.

⑧ H. Takagi, Creation of a Service Science Curriculum for Customer-Oriented Business Innovation, 17<sup>th</sup> Annual Frontiers in Service Conference, 2008年10月3日, Washington, D.C., U.S.A.

〔図書〕(計1件)

① R. M. Rodriguez-Dagnino and H. Takagi, Handover Analysis and Dynamic Mobility Management for Wireless Cellular Networks, In: Quality of Service Architectures for Wireless Networks: Performance Metrics and Management, pp.257-279 (23ページ), 2010, IGI Global.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称: 移動体位置追跡システムおよびプログラム

発明者: 張勇兵

権利者: 筑波大学

種類、番号: 特願 2008-300921

出願年月日: 2008年11月26日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高木英明 (TAKAGI Hideaki)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号: 30260467

### (2) 研究分担者

張勇兵 (Zhang Yongbing)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号: 80242353