

ICTを演用したフォーク型待ち行列システムの 提案とその性能評価

石川 未季 奥田 隆史 井手口 哲夫 田 学軍

愛知県立大学 情報科学部 地域情報科学科

あらまし 現在、社会生活領域に ICT(Information and Communications Technology) が浸透しつつある。そのため、ICT を利用することを前提とした組織や制度などの社会システムを設計・構築すること (ICT の演用) が可能となってきた。本研究では、身近な社会システムとして、ATM(現金自動支払機)の待機形態などで利用されるフォーク型待ち行列システムを ICT 演用により改善する手法を提案し、その性能評価を行う。フォーク型待ち行列システムの問題点は、(1) 客の待ち行列から窓口への移動に起因する行列処理効率低下、(2) 客の待機スペースの確保がある。筆者は、(1) については、文献 [6] において ICT を演用した改善方法を提案した。本稿では、(2) について、ICT の演用により待ち場所を分散することで改善する手法を提案し、マルチエージェントシミュレーションによりその性能を評価する。

Performance evaluation of ICT supported type fork queuing systems

Miki ISHIKAWA Takashi OKUDA Tetsuo IDEGUCHI Xuejun TIAN

Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

Abstract The ICT (information and communications technology) enactment frame work was introduced in Dr. Jane E. Fountain 's book "Building the virtual state " to social science researchers in 2001. Recently ICT has been rapidly growing and is becoming the motivating force for creating the future society. We have seen an increase in value and application from a variety of digital networks such as the Internet, mobile networks and digital broadcasting, to various digital devices such as information appliances and electronic tags. These technologies have made it possible to realize the ICT enactment society. In this paper, as an example of realizing the ICT enactment society, we propose ICT supported type fork queuing systems in public facilities and evaluate its performance by using multi-agent simulation technology.

1 はじめに

現在、社会生活の ICT(Information and Communication Technology) 化が進展している [1]。ICT 化により、時間や場所に関係なく、人間同士、人間と機器、機器と機器とがリアルタイムに情報交換することが容易となり、既存の社会システムの問題を改善することができる [1, 2]。例えば、小売店のレジで用いられる POS システムの小型化・モバイル化により、混雑時にのみ自由な場所にレジを設置することもできる [3]。このようなことから、ICT を利用することを前提とした組織や制度などの社会システムを設計・構築した (ICT の演用, ICT enactment) 社会の到来が期待できる [4]。また、ICT の演用により、制度設計において、選択肢が多くなる可能性がある。

本研究では、ICT を演用することにより、行政サービス提供施設や銀行 ATM(現金自動支払機)等の公共システムにおいて、サービス利用者(客)の待ち行列として利用されているフォーク型待ち行列システムの問題点を、改善する新しいタイプのフォーク型待ち行列システムを提

案するとともに、その性能を評価する。

フォーク型待ち行列システムの問題点は、

1. 移動時間問題: 客の待ち行列からサービス窓口への移動時のサービス窓口における無駄時間
2. 待機スペース問題: 客が待ち行列をつくるスペースの確保

がある [5]。移動時間問題に対する改善案として、我々の研究グループでは、文献 [6] において、現在進行中の窓口におけるサービスが完全に完了する前に、待ち行列先頭の客を窓口へ移動(歩行)させるという手法(歩行開始早期通知方式フォーク型待ち行列システム)を提案した。

本稿は、待機スペース問題を、ICT を演用することにより改善することを目的とする。具体的には、ICT の演用により窓口サービスを遠隔地から予約することを可能とし、客の待ち時間における待機場所を分散させることにより改善する手法(待ち場所分散方式フォーク型待ち行列システム)を提案するとともに、その性能評価を実施する。

以下、2節では、一般的なフォーク型待ち行列システムのメカニズム、利点と問題点、移動時間問題の改善手法である歩行開始早期通知方式フォーク型待ち行列システムについて述べる。3節では、待機スペース問題の改善手法である待ち場所分散方式フォーク型待ち行列システムについて述べる。4節では本稿において提案する待ち行列システムをマルチエージェントシステムとして捉えた性能評価モデルを示し、5節ではその性能を評価する。最後に、6節でまとめと今後の課題について述べる。

2 フォーク型待ち行列システム

本節では、フォーク型待ち行列システムにおけるメカニズム、このシステムの利点と問題点、移動時間問題の改善手法である歩行開始早期通知方式フォーク型待ち行列システムについて述べる。

フォーク型待ち行列システムのメカニズム

フォーク型待ち行列システムは、公共サービス提供窓口、銀行ATM、JRみどりの窓口などにおける客の待ち行列で使用されている。このシステムでは、複数のサービス窓口はあるが、客が窓口サービスを受けるために並ぶ行列は一列のみ存在する [7] (図1)。サービスを受けるために到着する客は、いずれかの窓口が他の客にサービスを提供していない状態(以下、空き状態)である場合、空き状態である窓口を任意に選ぶ(あるいは、呼び出されてから)、直ちにサービスを受けることができる。

一方、客の到着時に、空き状態である窓口がない場合は、客は待ち行列の最後尾に並ぶ。客は待ち行列先頭になるまで行列で待ち、いずれかの窓口が空き状態となった後、その窓口へ移動し、サービスを受ける(FIFO: First In First Out 規律)。

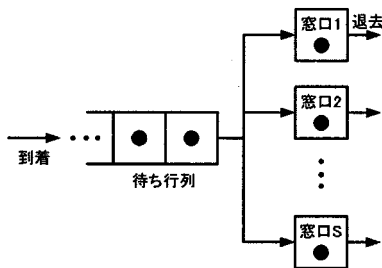


図1: フォーク型待ち行列システム

フォーク型待ち行列システムの利点と問題点

複数の窓口から構成される他の待ち行列システムの形態には、スーパーのレジなどにおける待機形態として使用されている、各窓口に一列ずつ待ち行列がある並列型待ち行列システムがある。このシステムでは、各待ち行列により客の待ち時間が不公平になるという問題点がある。

一方、フォーク型待ち行列システムは、複数の窓口に対して待ち行列が一列であるため、待ち行列内における各客の待ち時間が公平という利点が挙げられる。しかし、移動時間問題や待機スペース問題がある [5]。

移動時間問題は、待ち行列から窓口までに距離がある場合に生じる問題で、客の移動時には、窓口が空いていたとしてもサービスをすることができないことが原因となって生ずる問題である。

場合によっては、単位時間当たりに窓口サービスを提供する客の人数は、並列型待ち行列システムと比較する

と劣る場合がある。また、客は待つという行為に対して敏感であるため、苛立ちを覚えたりする場合もある [8]。

待機スペース問題は、窓口サービスを待つ客に対する待機スペースを確保しなくてはならない問題である。利用客数が増加すると、一時的に待ち行列が長くなることがあり、混乱を招くことが度々報告されている。待機スペース問題を根本的に解決する方法は、物理的にスペースを拡大することである。しかし、公共施設の敷地面積を広げることは困難であることが多く、容易にスペースを拡大することは難しい。本論文では、この待機スペース問題を解決することを目的としている。

移動時間問題の解決 (文献 [6])

移動時間問題の解決手法として、文献 [6] において提案・評価をした歩行開始早期通知方式フォーク型待ち行列システムを紹介する。提案システムでは、客は携帯情報端末を所持しているものとし、Bluetooth等の狭域無線ネットワークにより、窓口からの情報(通知)を得ることができることを前提としている。さらに、窓口では、現在進行中である窓口サービスにおける仕事残量の終了時刻が確率的に計算することができ、現在進行中のサービスがあらかじめ定めた残量に達すると、現在進行中のサービスが完了する前に、待ち行列の先頭の客に歩行開始通知を送信することができる。このことにより無駄時間を短縮する。

歩行開始通知を受信した客は、指定された窓口へ移動を開始する。窓口へ到着したとき、その窓口が空き状態である場合、直ちにサービスを受けることができる。しかし、進行中であったサービスが完了していない場合、そのサービスが完了した後、サービスを受ける。このようなケースは、進行中サービスの終了時刻が予想以上に遅くなった場合、歩行開始通知を早く送信したことによるため生ずる。

3 ICT 演用による待機スペース問題の解決

本節では、2節で述べたフォーク型待ち行列システムにおける待機スペース問題を、ICTを演用することにより改善する。

待機スペース問題を解決するために、ICTを演用し、客の待ち場所を分散することにより待機所の混雑を解消する待ち場所分散方式フォーク型待ち行列システムを提案する。その概念図を図2に示す。

提案するシステムは以下の前提条件があるものとする。
前提条件: 要求管理サーバ

提案システムにおける窓口サービスは、フォーク型待ち行列をとり、郊外に位置した施設で提供され、待機所のスペースが狭いものとする。そのため、度々、客が待機所から溢れる問題が生じていた。そこで、本研究では、客の窓口サービスへの要求の到着を管理する要求管理サーバを施設内に導入する。客がオンラインで要求管理サーバにアクセスすることができるため、窓口サービスを要求する物理的な場所を特定しない。そのため、客の要求は、施設内からだけではなく、施設外からも到着する。また、要求管理サーバは、客の要求到着の順序を管理しており、要求の到着順に、移動指示通知(施設への移動を指示する通知(開始予定時刻も含む))、歩行開始通知(サービス窓口への移動を指示する通知)を客へ送信する。

前提条件: 客の種類

客は一般客と予約客からなるものとする。一般客は、施設内に到着してから、その場で要求管理サーバへ窓口サービスを要求する。サービス開始までの待ち時間は待機所

で待機し、いずれかの窓口からの歩行開始通知を受領後、その窓口へ移動し、サービスを受ける。

予約客は、施設から一定範囲内の遠隔地において、広域無線ネットワークを利用し、窓口サービスの利用要求(窓口予約)をする。予約客は、待ち時間中は窓口予約が可能なエリア(予約エリア)内の任意の場所(カフェ、書店など)において待機することができる。予約客は、待機中に要求管理サーバから移動指示通知を受信する。このとき、予約客には、移動指示通知を受信後、施設へ直ちに移動する客(Unselfishな予約客)と直ちには移動しない客(Selfishな予約客)がいる。施設へ到着した予約客は、一般客と同様、待機所で歩行開始通知を受信するまで待機する。

前提条件：遅刻客

Unselfishな予約客とSelfishな予約客のどちらの予約客であっても、移動指示通知受領後の移動であるため、窓口サービスの開始に到着が遅れることがある(遅刻客)。この場合、窓口は、遅刻客の次の順番となる客へ窓口サービスを提供する。また、本システムでは、遅刻客に対して遅刻に対するペナルティはなく、遅刻客が待機所へ到着後、現在進行中の窓口サービスが最も早く完了した窓口においてサービスを提供する。

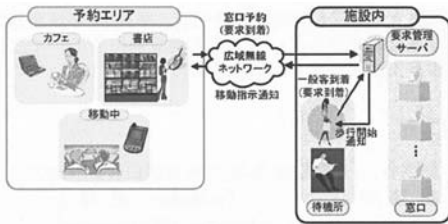


図2: 待ち場所分散方式フォーク型待ち行列システム

4 性能評価モデル

図2において示すような提案システムを、システム環境を Env 、客を Ag_t としたマルチエージェントシステム $S = \{Env, Ag_t\}$ として捉える [9]。提案システムの性能評価モデルを図3に示す。

Env における予約エリアの半径を A とする。待機所から窓口までの距離を D 、窓口数を N_s とする。予約客に対する移動指示通知は、窓口サービス開始予定時刻の最低 T_n 時間前に送信する。なお、一般客、予約客のサービス要求は、それぞれ到着率 λ_{gc} 、 λ_{rc} のポアソン分布に従い到着するものとする。

Ag_t には、一般客 C_g と予約客 C_r が存在する。以下に、各エージェントの属性を示す。

C_g : 一般客

C_g は、待機位置から窓口まで S_w の歩行速度で移動し、 T_s 時間の窓口サービスを受ける。ここで、 S_w と T_s は一般客と予約客とも同様とし、 S_w は平均歩行速度 μ_w 、分散 σ_w^2 の正規分布 (μ_w, σ_w^2) 、 T_s は平均サービス時間 $1/\mu_s$ の指数分布に従うものとする。

C_r : 予約客

C_r は、移動指示通知を受信した後の行動により、

C_{ra} : Unselfishな予約客

C_{rb} : Selfishな予約客

に分類する。 C_{ra} は、移動指示通知を受信した直後に施設へ移動を開始する。 C_{rb} は、移動指示通知を受信し、 T_{an}

時間経過後、施設へ移動を開始する。 C_{ra} と C_{rb} は、共に S_r の速度で施設へ移動する。このとき、施設への移動手段は自動車とし、 S_r は、平均走行速度 μ_r 、分散 σ_r^2 の正規分布 (μ_r, σ_r^2) に従う。

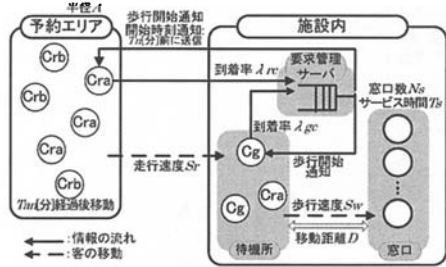


図3: 性能評価モデル

5 数値例

提案した性能評価モデルを用いて、マルチエージェントモデルを *artisoc*[10] により構築し、待機所における待ち客数 L_q [人] を評価する。客 C_g 、 C_{ra} 、 C_{rb} における客種別の待機所での待ち時間 W_{qg} 、 W_{qra} 、 W_{qrb} [分] についても示す。さらに、予約客 C_r の遅刻により生ずる窓口未使用時間を、窓口サービスの受付時間に対する割合 R_w を指標として評価する。なお、窓口サービスの受付時間は、一般的な公共施設の一日当たりの営業時間である 8.5 時間 [11] とし、上記の評価指標 L_q 、 W_{qg} 、 W_{qra} 、 W_{qrb} 、 R_w は、30 日間の平均値である。

シミュレーションに用いたパラメータは、 Env に関しては、WiMAX による広域無線ネットワークの利用を想定し $A = 1.0$ [km]、 $D = 5.0$ [m]、 $N_s = 3$ [個]、 $T_n = 5.0$ [分] とする。

C_g に関するパラメータは、文献 [12, 13] に従い、 $\mu_w = 1.33$ [m/s](4.8[km/h])、 $\sigma_w^2 = 0.57^2$ 、 $1/\mu_s = 5.0$ [分] とする。 C_r に関するパラメータは、 $\mu_r = 12.5$ [m/s](45.0[km/h])、分散 $\sigma_r^2 = 2.08^2$ に従うものとする。 C_{rb} の C_r 全体に占める割合は、 $\alpha = 0.0, 0.4, 0.8$ とする。 T_{an} は 5.0 ~ 20.0[分] の一様分布に従う。

$\lambda_{gc} + \lambda_{rc} = 0.7$ を満たすように λ_{gc} と λ_{rc} 、また、 α を変化した場合の評価結果を図4~図7に示す。

$\alpha = 0.0$ である場合の評価結果について考察する。

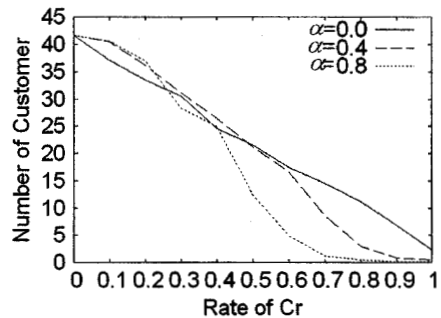


図4: 平均待ち客数 L_q

図4から、客が C_g のみである場合の L_q は 41.6[人] であるが、 C_r の増加に伴い L_q は減少していることがわか

る。 Lq の減少により、施設は、窓口サービスを待つ客における待機所の混雑を解消することができる。

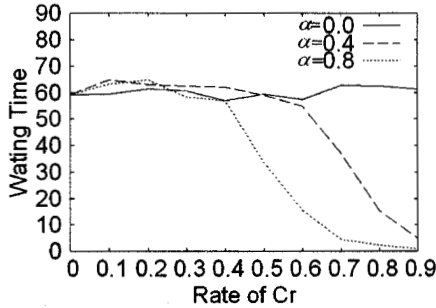


図 5: 平均待ち時間 Wq_g

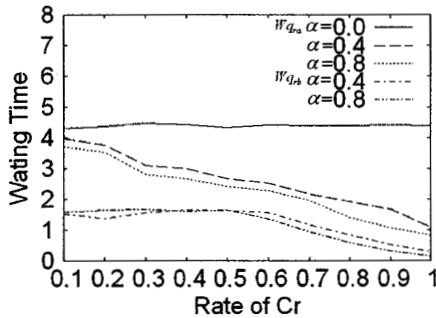


図 6: 平均待ち時間 Wq_{ra}, Wq_{rb}

図 5、図 6 から、 C_g の Wq_g と比較し、 C_{ra} と C_{rb} の Wq_{ra} と Wq_{rb} は、0.075 倍程度減少していることがわかる。客の待機所における待ち時間の減少は、客にとって待ち時間による苛立ちなどの負担を解消することが可能となる。

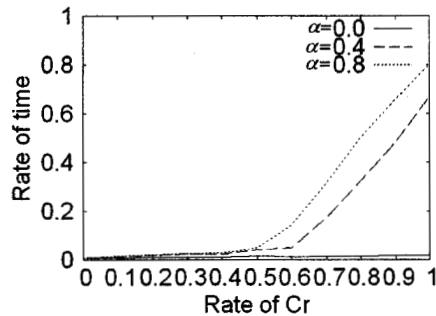


図 7: 窓口未使用率 R_w

図 7 から、 C_r の変化による R_w の大きな変化は見られない。しかし、 $\alpha = 0.4, 0.8$ の場合、 $\alpha = 0.0$ の場合と比較すると、待機所における平均待ち客数 Lq と各種客における平均待ち時間は減少しているが、遅刻客が増加す

るため R_w が大きくなる。 R_w の増大により、施設における人件費などのコスト浪費が懸念される。窓口サービスへの遅刻客を減少させる対策として、遅刻客へペナルティを課するという方法が考えられる。

6 おわりに

本稿では、フォーク型待ち行列システムにおける客の待機スペースの確保という問題に対し、ICT を演用することにより、窓口サービス開始までの客の待機場所を分散する待ち場所分散方式フォーク型待ち行列システムを提案した。提案システムをマルチエージェントシステムとして捉えた性能評価モデルにより、待機所における待ち客数と各客の待ち時間、窓口の利用率の点から評価を行った。

今後の課題としては、窓口サービスの開始時刻に遅刻する客に対してペナルティを課したモデルへの拡張や、客のサービスに対する満足度を示すユーザ効用を考慮した評価を行うことがある。

謝辞

なお、本研究の一部は、文部科学省平成 19 年度文部科学省科学研究費補助金(課題番号 19206044)、平成 19 年度愛知県立大学学長特別教員研究費、平成 19 年度愛知県立大学教育研究センター「共生と地域連携をテーマとした学生自主企画研究」の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] 総務省、『平成 19 年版 情報通信白書』, 2007.
- [2] 総務省, 『u-Japan 政策』, http://www.soumu.go.jp/menu_02/ict/u-japan/
- [3] (株) 寺岡精工, 『(株) 寺岡精工ニュース』, http://www.teraokaseiko.com/news/event/07_03_07/index.html
- [4] Jane E. Fountain, 『仮想国家の建設 米国に見る情報技術と行政制度の変容』, 一藝社, 2005.
- [5] 佐々木玲子, “日経プラス 1: 「フォーク並び」 いつから”, 日本経済新聞, 2007 年 1 月 20 日.
- [6] 石川未季, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “ユビキタスネットワークが可能とする高齢社会における待ち行列処理方法の提案”, 情報学ワークショップ 2007 (WiNF2007) 論文集, pp.239-242, 2007.
- [7] 吉岡良雄, 『待ち行列と確率分布—情報システム解析への応用—』, 森北出版株式会社, 2004.
- [8] 野口智雄, 『店舗戦略ハンドブック—出店計画から売場戦略まで, 売れるお店づくりのルール』, PHP 研究所, 2004.
- [9] 大内東, 山本雅人, 川村秀憲, 『マルチエージェントシステムの基礎と応用』, コロナ社, 2002.
- [10] 構造計画研究所, <http://www2.kke.co.jp/>.
- [11] 名古屋市公式ウェブサイト, <http://www.city.nagoya.jp/>.
- [12] “首相就任 1ヶ月 福田流は軽妙洒脱”, 朝日新聞, 2007 年 10 月 26 日.
- [13] 堀宗朗, 犬飼洋平, 小国健二, 市村強, “地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究”, 社会技術研究論文集, vol.13, pp138-145, 2005.