

連携型待ち行列ネットワークシステムにおける施設間負荷分散の効果に関する研究

情報科学科 高木健斗

1 はじめに

サービス提供施設では、サービス利用客（利用客）の過度な増加によりサービス品質低下が生じる [1, 2, 3]。例えば医療施設においては、利用客である患者が適切な治療を受けられないことや、診察待ち時間増加による利用客の不満増加 [4] などである。この問題の原因は、利用客の集中が様々な箇所が発生していることである。

本研究では、待ち時間の短縮によりサービス品質低下が予防できることを離散シミュレーションにより検証する。まず、複数のサービス提供施設を待ち行列ネットワークシステム (QN) としてモデリングする。次に、QN の各ユニットの待ち時間を短縮するため各 QN が連携した連携型 QN を構築し、後述する 2 つの負荷分散手法を施す。

2 連携型 QN

連携型 QN は図 1 で示すように、M 個の互いにつながっている QN で構成されている。QN 内で混雑が発生した場合、人的・物的資源（リソース）の貸し借りや利用客の移動を行う。

QN は独立した n 個のユニットから構成される。QN に到着した利用客は 1 番目のユニットの待ち行列の後ろに並ぶ。各ユニットでは先頭の利用客から順にサービスを受け次のユニットへ進む。 n 番目のユニットでのサービスを利用し終えたとき QN から退出する。利用客は到着率 λ の指数分布に従い到着する。 i 番目のユニットの窓口数を S_i とする。窓口のサービス時間は正規分布に従い、平均サービス時間は h_i [分]、標準偏差を σ_i [分] とする。

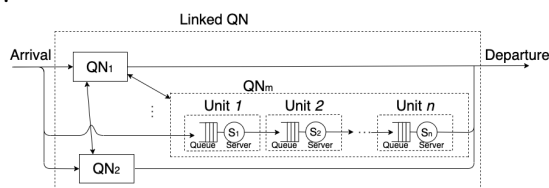


図1 連携型 QN モデル

3 負荷分散手法

複数の利用客が一つの QN に集中すると各 QN の利用客数に差が生じる。そこで、連携型 QN を用いて負荷が集中していない QN から負荷が集中している QN へ 2 つの負荷分散手法を適用する。以下で各手法を述べる。

(1) リソース提供手法：各 QN 内のユニットに着目する。ユニット内に利用客が集中している場合、他の QN は負荷が集中している QN へリソースを提供する。これにより、各ユニットのサービス提供者数が増加する。また、リソース提供手法は 2 つの種類に分類できる。

(1-1) サービス効率化：ベテランスタッフ、機械の導入等によりサービス提供を円滑に行うことができる。サービス短縮時間を Δh_i [分] とすると、サービス効率化後の平均サービス時間は $h_i - \Delta h_i$ となる。

(1-2) 窓口増設：人員の増加、食券機や自動精算機などの機械を提供することにより窓口数が増加する。窓口増加分を ΔS_i とすると、窓口増設後の窓口数は $S_i + \Delta S_i$ となる。

(2) 利用客移動手法：利用客に着目する。各 QN 内のユニットの待ち行列長を比較し、利用客数に N 人以上差が生じた場合、他の QN に移動させることにより負荷を分散する。なお、移動時間は m [分] とする。

4 数値例

医療施設モデルを作成し、負荷分散手法を施した場合の結果を示す。ここでは、手法 (1-1)、(1-2) のみ紹介する。医療施設モデルを受付、診察、会計のユニット数 $n = 3$ で構成する。利用客は次の手順でサービスを利用する。初めに利用客である患者は受付室に入室し、診察の手続きを行う。次に診察室で診察

を受け、最後に会計を済ませ医療施設から出る。なお、患者は到着順にサービスの提供が行われることとする。

また、本研究における医療施設モデルの基準となるパラメータを表 1 に示す。

表 1 医療施設モデルのパラメータ

番号	ユニット名	h_i [分]	σ_i [分]
1	受付	10	2
2	診察	10	3
3	会計	8	2

次に、本研究では負荷分散手法であるリソースの提供法の (1-1)、(1-2) を用いて次のとおりにパラメータを追加する。

(1-1)：サービス短縮時間 $\Delta h_1 = 2$ [分]

(1-2)：窓口増加数 $\Delta S_i = 1$

シミュレーションにおける到着率 $\lambda = 0.1$ [分] とする。また、窓口数 $S_i = 1$ ($i = 1, 2, 3$) であり、待ち行列の最大長は無限とする。シミュレーション時間は 8 時間とし、シミュレーションの評価指標はシミュレーション 30 回あたりの各ユニットにおける患者の平均待ち時間 [分] を算出した値を用いる。なおシミュレーションには汎用シミュレーションパッケージ S-quattro Simulation System [5] を使用した。

負荷分散手法 (1-1)、(1-2) を適用した結果を図 2 に示す。図 2 は縦軸が平均待ち時間 [分] を示している。図 2 から受付の待ち時間が短縮されると、より多くの患者が診察室に入るため、診察室の待ち時間が増加した。

診察室で待ち時間が発生すると、中待合室で待つことになるため、患者の総待ち時間は変化しない。そのため、QN ではボトルネックとなる受付の混雑を解消するだけでなく、全体の待ち時間を減らす工夫が求められる。

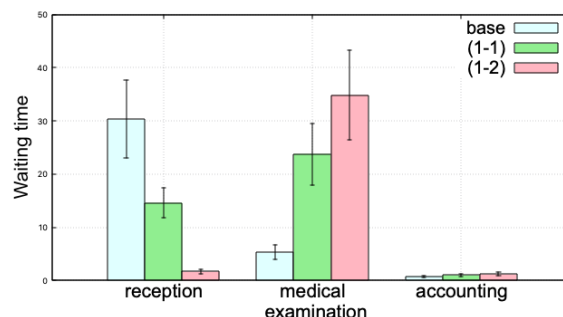


図2 シミュレーション結果

5 おわりに

本研究では、負荷分散手法の効果を検証するために、医療施設を QN としてモデリングした。このとき、負荷分散手法 (1-1)、(1-2) が医療施設モデルの各ユニットの待ち時間に与える影響を離散シミュレーションにより検証した。その結果、1 個のユニットの負荷を過剰に減少させた場合、他のユニットに負荷が集中するという結果を得られた。

今後の課題は、飲食店や百貨店などのさまざまなサービス提供施設に応用することや検証結果の有効性の検証などである。

参考文献

- [1] 伊藤益生, 『例題で学ぶオペレーションズ・リサーチ入門』, 森北出版, 2015.
- [2] 圓川隆夫, 『現代オペレーションズ・マネジメント: IoT 時代の品質・生産性向上と顧客価値創造』, 朝倉書店, 2017.
- [3] V.G.Kulkarni, 『Introduction to Modeling and Analysis of Stochastic Systems』, Springer, 2011.
- [4] 大島敏子, 叶谷由香, 『ケースで学ぶ看護の質を高めるデータ活用術』, MC メディカ出版, 2017.
- [5] NTT データ数理システム, “S4 Simulation System”, <https://www.msi.co.jp/s4/>, 2020 年 12 月 12 日閲覧.