

バースト性 VCHS 待ち行列モデルの形態分析による 公衆無線回線の最適配置に関する研究

小林 敏也[†]

奥田 隆史[†]

井手口 哲夫[†]

田 学軍[†]

愛知県立大学 情報科学部 情報科学科[†]

1 はじめに

スマートフォンユーザは、自身の利用場所や電波状況に応じて公衆通信回線(以下、公衆回線)または公衆無線 LAN(以下、Wi-Fi)[1]に接続し、スマートフォン向けのサービスを利用している。ユーザはどちらに接続しても同じサービスを利用できるというメリットがあるため、接続要求回数は増加し、なおかつ接続要求分布もランダムというよりもバースト性を有する傾向がある。

バースト性を有する理由は、公衆回線と Wi-Fi の双方へアクセスすることができる主要駅でのユーザの行動から類推することができる。例えば、ある駅内へユーザが電車、交通手段を利用し到着する。到着したユーザは公衆回線または Wi-Fi のどちらかを選択し接続する。この時、ユーザは公衆回線を優先して選択すると仮定する(これを確率で表現する)。これは限られた場所でしか利用できない Wi-Fi よりも常時接続できる公衆回線を利用するユーザが多いためである。ただしユーザは複数の交通手段により駅内へ到着するため急激に増加する場合があります、結果としてバースト性を有することになる。

このような状況に対して、サービス提供者である通信キャリアは、初期配置や施設管理・維持のためのコストを勘案した上で、ユーザが満足する応答時間やブロック率などを満足するように公衆回線と Wi-Fi 設備をバランス良く配置する必要がある。一般的に公衆回線と Wi-Fi 設備とでは初期設置・維持管理コスト、回線速度などの性能の点で大きな開きがあることもバランスを考える上で重要なファクターとなる。

本研究では上記の問題を解決するために、公衆回線と Wi-Fi を併用するシステムを“多様な仕事を持つユーザに対して、多様な能力を持つサーバが処理を行う”待ち行列モデル VCHS(Various Customers, Heterogeneous Servers) 待ち行列 [4][5] として表現し、その性能評価特性の近似曲線を利用し、線形計画問題として定式化する手法を提案する。以下、第2節で設計方針を説明し、第3節では VCHS 待ち行列モデルを示す。次に第4で、数値例の一例から求めた多項式近似式を利用し、線形計画問題を解き最適配置数を示す。最後に第5節でまとめる。

2 設計方針

本研究では、ユーザを満足させる指標として平均応答時間と回線ブロック率を設定する。サービス提供者は、両指標が目標値以下となる制約の下、設置費用が最小となるように公衆・Wi-Fi 回線数を決定していると考えると、以下の線形計画問題：

線形計画問題

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } c_g s_g + c_w s_w \\ & \text{Subject to} \\ & w_g W_g + w_w W_w \leq \text{目標平均応答時間} \\ & w_g B_g + w_w B_w \leq \text{目標ブロック率} \\ & s_g, s_w \geq \text{最低システム数 (=1)} \end{aligned}$$

に帰着することになる。

ここで、 s_g, s_w は公衆回線、Wi-Fi のシステム数を示し、 c_g, c_w は各システムの台数あたりの設置コストを示す。また、 W_g, W_w は公衆回線と Wi-Fi それぞれの平均応答時間、 B_g, B_w はそれぞれブロック率を示している。

3 VCHS 待ち行列モデル

第2節で示した線形計画問題を解くためには、各システムの平均応答時間 W_g, W_w 、ブロック率 B_g, B_w を、 s_g と s_w の関数として表現する必要がある。しかしながら、当該システムにはバースト性を有する呼が到着することから、従来の電話ネットワークシステムのようなマルコフ型待ち行列モデル [3] の解析により得られる結果を利用することは困難である。

そこで、本研究では想定環境を踏まえ、公衆回線と Wi-Fi ではそれぞれ異なる能力を持つため VCHS 待ち行列モデル [5] を利用する(図1参照)。

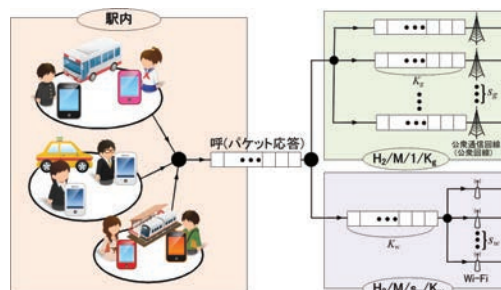


図1 待ち行列モデル

ここで、ユーザの到着はバースト性を有するため超指数分布に従い、サービス時間はデータから音声・画像までを送信することから平均処理時間 $h = 1/\mu$ に従う指数分布に従うものとする。なお、公衆回線と Wi-

Apply Bursty VCHS Queuing Models to Evaluate performance for Public and Wi-Fi Combine Network Systems

[†]Toshiya KOBAYASHI, Takashi OKUDA, Xuejun TIAN, Tetsuo IDEGUCHI

[†]Department of Information Science and Technology, Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

Fi をそれぞれ異なる形態の待ち行列モデルとして表現し、公衆回線を想定する待ち行列モデルではサーバ数 $s_g = 1$ でバッファ量は K_g である $H_2/M/1/K_g$ とする。一方、Wi-Fi を想定する待ち行列モデルでは、公衆回線と比較してサーバが s_w 倍の処理能力を持つとする $H_2/M/s_w/K_w$ とする。

4 数値例 (多項式近似～線形計画問題)

各形態の到着率は $\lambda = 1/5 = 0.2$ で一定とし、平均サービス時間 h はサーバ1つあたりの付加である利用率 $\rho (= \lambda h)$ の値が $\rho = \{0.1, 0.2, \dots, 1.0\}$ となるように値を定め、分散 σ^2 の値を $\sigma^2 = \{30, 60, \dots, 210\}$ と変化させる。各形態のサーバ数 s_g, s_w は $H_2/M/1/K_g$ では $s_g = 1$, $H_2/M/s_w/K_w$ では $s_w = 30$ とする。システムの容量 (K_g, K_w) はそれぞれ $K_g = 10, K_w = 10$ とする。

ユーザは公衆回線を使う機会、また場所が多いことからユーザが駅に到着した時にはすでに公衆回線に接続されている場合が多い。そこでユーザが $H_2/M/s_w/K_w$ に接続する確率は $H_2/M/1/K_g$ の $1/10$ とする。

この条件のもとで離散事象シミュレーションパッケージ Csim20[6] を利用し、シミュレーションを行い、平均応答時間とブロック率を求めることができる。ここでは参考までに、利用率 ρ ならびに分散 σ^2 と平均応答時間との関係を、図2, 3に示す。また同様に、ブロック率との関係を図4, 5に示す。

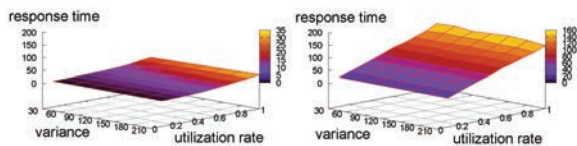


図2 $H_2/M/1/K_g$ 図3 $H_2/M/s_w/K_w$

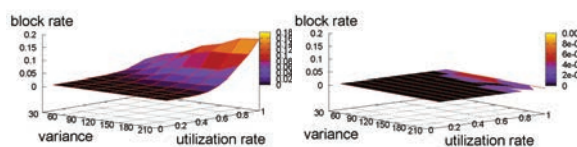


図4 $H_2/M/1/K_g$ 図5 $H_2/M/s_w/K_w$

上記の数値結果(図2~5)を利用し、多変量解析により、公衆回線、Wi-Fiそれぞれの応答時間 (W_g, W_w), ブロック率 (B_g, B_w) を、利用率 ρ , 分散 σ^2 とシステム数 s_g, s_w の多項式による近似式として表現すると、

$$\begin{aligned}
 W_g &= 23.5\rho + 0.015\sigma^2 + (-2.58)s_g - 1.64 \\
 W_w &= 356.2\rho + 0.007\sigma^2 + (-7.18)s_w + 80.4 \\
 B_g &= 0.078\rho + 0.000149\sigma^2 + (-0.00881)s_g - 0.025 \\
 B_w &= 0.010\rho + 1.5 \times 10^{-6}\sigma^2 + (-0.00036)s_w + 0.0034
 \end{aligned}$$

となる。なお、第2節で示した線形計画問題では、所与の到着条件に対する s_g, s_w を求めることが目的であることから、利用率 ρ , 分散 σ^2 には定数を用いる。

以上の結果から、所与の目標平均応答時間は50単位時間、目標ブロック率は2%、その他のパラメータは表1に示す値とし、線形計画問題を解くと制約条件を満たす両システムの設置台数は、**公衆回線が1個、Wi-Fiが33個**であることがわかった。なお、今回の数値例では変数量も少ないことから表計算ソフトに実装されているソルバー機能を利用した。

表1 想定モデルのパラメータ

利用率	分散	コスト(円)		重み	
ρ	σ^2	c_g	c_w	w_g	w_w
0.8	150	5,000,000	5000	0.7	0.3

5 まとめ

本研究では現代のスマートフォンを中心とするネットワークシステムにおいてサービス提供者である通信キャリアが公衆通信回線、Wi-Fiの配置を検討する場合において、ユーザを満足させるには各システム数がどれほど必要かという問題を解決するために、線形計画問題による最適解を求めた。

今回はユーザ満足指標として、平均応答時間とブロック率を利用した問題の最適解を解いたが、今後は新たな指標を追加し、よりきめ細かな設計手法を開発していきたい。

参考文献

- [1] “Wi-Fi オフロードにまい進する通信事業者”, 日経コミュニケーション, pp.84-85, 2011年9月号.
- [2] 松井泰子, 根本俊男, 宇野毅明, 『入門オペレーションズ・リサーチ』, 東海大学出版会, 2008.
- [3] 村上泰司, 『わかりやすい情報交換工学』, 森北出版, 2009.
- [4] 清水哲, 能上慎也, “量的・質的 VCHS 問題のシミュレーション評価”, 信学技報, vol.110, no.108, pp.63-68, Dec.2010.
- [5] 木村龍明, 奥田隆史他, “公衆無線 LAN によるデータダウンロードサービスにおけるユーザの協調行動の有効性に関する研究”, 電子情報通信学会論文誌 (B), vol. J96-B, no.7, pp.662-669, 2013.
- [6] Mesquite Software, <http://www.mesquite.com>.