

サーバーに充電が必要な待ち行列モデル

01009830 駒澤大学 *小沢 利久 OZAWA Toshihisa

1. はじめに

ドローンなど UAV (unmanned aerial vehicle) の応用検討や実証実験が盛んに行われている。ひとつの代表的な例がドローンによる物品配送サービスであろう。文献 [1] では、飛行特性を考慮したサービス時間の分析とともに待ち行列理論を用いた性能評価が詳細に行われている。文献 [2] では、複数の配送所がある場合について、待ち行列理論を適用した安定条件の導出とドローンの割当方式を意識したシミュレーション評価が行われている。

ドローンを使ったサービスを待ち行列モデルとして見た場合、バッテリー充電によって生じるサーバーの強制的な不稼働時間 (バケーション) が特徴の一つとして挙げられる。ガソリンエンジンなどを搭載したドローンなら十分な飛行時間を確保できるが、バッテリーにより電力を供給するタイプのもでは現状、フル充電で数十分程度の飛行時間であり、頻繁に充電を繰り返す必要がある。そのため、複数のバッテリーを用意しておき、バッテリー交換によって継続的な飛行を可能にするような運用が想定される。文献 [1] では、そのような運用と十分なバッテリー数を前提に、バッテリー充電によるサービスへの影響はないという仮定で分析を行なっている。

本報告では、十分な数のバッテリーが用意されていない場合や、目標とする性能条件を達成するために必要となるバッテリー数の算出などを想定し、充電による影響を考慮した待ち行列モデルを考え、基礎的な性能評価を行う。

2. 待ち行列モデル

待ち行列モデルでは一般に、サーバーと窓口を同一のものとして扱うが、ここでは別のものとし、以下、バッテリーをサーバー、ドローンを窓口と呼ぶ (図 1 参照)。客は窓口が空いていればそこに入り、空きの稼働可能なサーバーがあればそのサーバーによってサービスを受ける。これは、充電されたバッテリーを装着し、ドローンで荷物を運搬することに対応する。なお、ここでは配送所と配

送先をその都度往復しながら荷物を運搬する形態を想定している。

サーバーは 1 回のサービス終了ごとにバケーションに入る。これは、荷物を運び、戻ってきたらその都度バッテリーを充電することに対応する。一般には、何回か荷物を運び、バッテリーの容量が少なくなったら充電すると考えられるが、ここで取る方法は、そのような方法に対してバッテリーの充電を優先する方法となっている。このことが平均待ち時間などの性能にどう影響するかは別途検討することとしたい。

以上より、ここで扱う待ち行列モデルは、サービスごとにバケーションに入る複数サーバーモデルで、同時にサービスされる客数に制限があるモデルとなる。

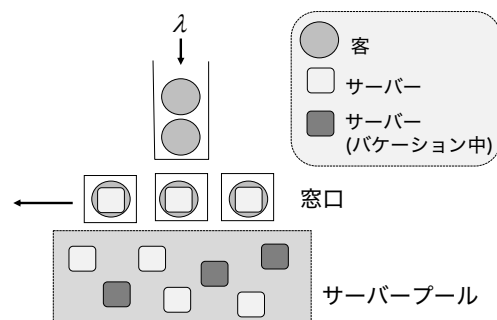


図 1: 待ち行列モデル

3. 単純な設定での性能評価

ここでは、前節で説明したモデルについて基礎的な性能評価を行う。客の到着は強度 (到着率) λ のポアソン過程に従うとする。サービス時間とそれに対応するバケーション時間は、一般には正の相関を持つとするのが適切であるが、ここでは両者は独立と仮定し、それぞれ平均 $1/\mu_s$ と $1/\mu_v$ の指数分布に従うとする。サーバー数を s_1 とし、窓口数を s_2 とする。以下では、 $s_1 > s_2$ とする。

以上の設定の下、この待ち行列モデルの挙動は準出生死滅過程 $\{Y(t)\} = \{(L(t), J(t))\}$ で表すことができる。 $L(t)$ は時刻 t での系内客数、 $J(t)$ はバケーション中のサーバー数である。 $\{Y(t)\}$ の状

態空間は $S = \mathbb{Z}_+ \times \{0, 1, \dots, s_1\}$ となる. $\{Y(t)\}$ の無限小生成行列を Q とすると, そのブロック行列表現は次で与えられる (各ブロック行列の表現は紙面の都合で省略する).

$$Q = \begin{pmatrix} B_0^{(0)} & B_1^{(0)} & & & & & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \\ & & & B_0^{(s_2-1)} & B_1^{(s_2-1)} & & \\ & & & & A_{-1} & A_0 & A_1 \\ & & & & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}$$

以下, 数値例を示すが, すべての例において $1/\mu_s = 1, 1/\mu_v = 2, s_2 = 3$ とした. これは, 平均的にドローンの飛行時間の2倍の充電時間が必要となる場合に相当する (飛行の準備などの時間は無視した). よって, 充電も含めたバッテリーの使用時間は客一人当たり平均3となる. 窓口数 (ドローン数) は $s_2 = 3$ なので, ドローンを十分有効に使うためには最低でも $s_1 = 3 \times 3 = 9$ のバッテリーが必要になる. それを確かめるためにスループットをグラフ化したのが図2である. ここで, スループットとは単位時間あたりに処理できる平均客数の最大値であり, バッテリー充電の影響がない場合は3となる. $A_* = A_{-1} + A_0 + A_1, \pi_*$ を A_* の定常分布, $a = \pi_*(-A_{-1} + A_1)\mathbf{1}$ とすると, $\{Y(t)\}$ が定常分布を持つ条件は $a < 0$ で与えられるので, $a < 0$ を満たす範囲での到着率 λ の最大値がスループットとなる. 図2より, $s_1 = 9$ の場合のスループットは約2.6であり, ドローンを完全には使い切れていないことが分かる.

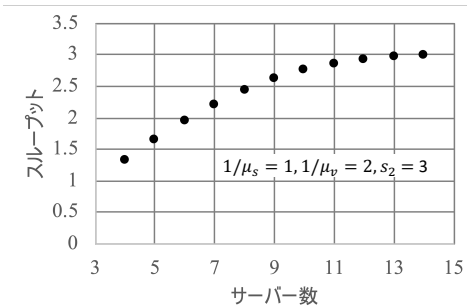


図2: サーバー数を変化させた場合のスループット

次に, サーバー数を $s_1 = 9$ に固定し, 到着率を変化させた場合の平均待ち時間を図3に示す. 平均待ち時間の値は, 行列解析法とリトルの式を用いることで得られる. 比較のために, 到着率 λ , サー

ビス率 μ_s である M/M/3 モデルの平均待ち時間を示した. バケーションのあるモデルでは, スループットが約2.6であり, 到着率がそれに近づくとも平均待ち時間が急激に増加するのが分かる.

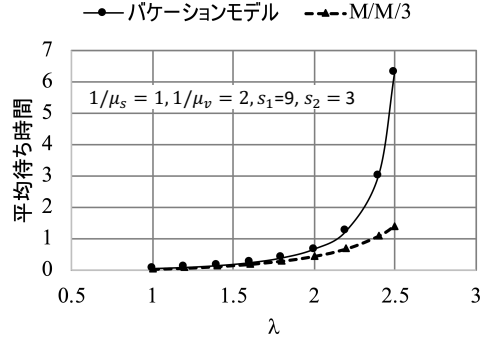


図3: 到着率を変化させた場合の平均待ち時間

到着率を $\lambda = 2.5$ に固定し, サーバー数 s_1 を増やした場合の平均待ち時間を図4に示す. サーバー数 (バッテリー数) を $s_1 = 9$ から2あるいは3増やせば, 平均待ち時間が M/M/3 の場合とほぼ同じになり, 充電による影響がほとんどなくなることが分かる.

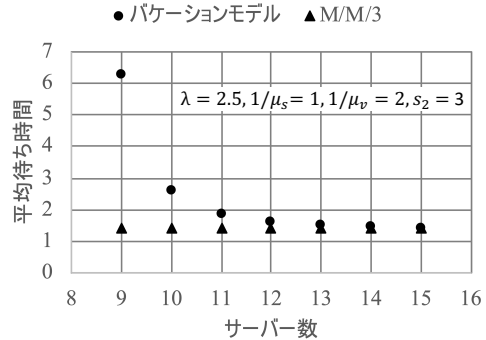


図4: サーバー数を変化させた場合の平均待ち時間

4. おわりに

サービスごとにバケーションに入る複数サーバーモデルで, 同時にサービスされる客数に制限があるモデルについて, 単純な設定での性能評価を行った. サービス時間の一般化やサービスとバケーションの相関導入などを考慮したモデルについては安定性の検討が有望と思われる.

参考文献

- [1] 栗田治, ドローンによる物品配送サービスの待ち行列モデル, 都市計画論文集 53(3), 2018.
- [2] R.Grippa, et al., Drone delivery systems: job assignment and dimensioning, Autonomous Robots 43 (2019).