

カメラを用いたエレベータ群管理システムにおける 一般乗客と優先対象者の待ち時間公平化

Fairness Improvement of Waiting Time between General Passengers
and Priority Access Passengers in Elevator Group Control System using Cameras

山内 智貴*¹
Tomoki Yamauchi

井手 理菜*²
Rina Ide

菅原 俊治*²
Toshiharu Sugawara

*¹早稲田大学 基幹理工学部 情報理工学科

Department of Computer Science and Engineering, Waseda University

*²早稲田大学 基幹理工学研究科 情報理工・情報通信専攻

Department of Computer Science and Communications Engineering, Waseda University

We propose the elevator group control method to fairly allocate the cars to all types of waiting passengers including ordinary passengers and priority access passengers who, for example, have strollers or need wheelchairs, in order to achieve fair waiting time as well as efficient transportation. Elevators are necessary for priority persons to move vertically within the building. However, due to the limited capacities, priority passengers who require more spaces often force to wait for a longer time until cars with vacant space arrive. On the other hand, many cameras that monitor the environments have become common and we can estimate the number of waiting passengers with the sizes of their possessions in elevator halls. Therefore, by using this information on passengers, the proposed control attempt to achieve fair latency. The experimental results using the simulated elevator control indicated that our method could make waiting time fairer and achieved the total efficiency to carry passengers.

1. はじめに

近年の建物の大規模化・高層化に伴い、エレベータは垂直輸送の手段として必要不可欠な存在になった。また、高層化された建物に対して複数台のエレベータが設置されていることが多く、効率的な制御が求められる。複数台のエレベータの制御を効率的に行うためのシステムとしてエレベータ群管理システム (Elevator Group Control System, 以下 EGCS) がある。EGCS はホールへの乗客の到着により発生するホール呼びに対して特定の基準で最適エレベータを選択し、それを配車するシステムである。しかし、EGCS にはホールでの待機人数や将来的な乗客の到着人数、待機客の目的階など、不確実な要素が非常に多いため、エレベータに対するホール呼び割り当て問題における最適解の計算は難しく、一般に NP 困難であるとされている [Fernandez 15]。

他方、近年の画像認識技術の高まりに伴い、カメラによる人数推定精度が向上してきている。カメラによる人数推定は EGCS の不確実性を減少させることに役立つと考えられる。加えてカメラは設置や維持にかかるコストが決して小さくなく、カメラ情報を利用した呼び割り当ては十分実現可能であると言える。

近年、社会全体のバリアフリーデザインへの関心の高まりから、大型の商業施設において優先エレベータの設置が増えてきた。しかしこの優先エレベータの設置により優先対象者 (車椅子やベビーカー利用者のことを以後このように呼ぶ) へのサービスの公平性が高まったとは言い切れない。優先対象者は階段やエスカレーターの利用が困難なうえに、一般乗客 (優先対象者以外の乗客を以後このように呼ぶ) と比較して乗車に必要なスペースが大きく、空きスペースがわずかだと長時間待たされることもある。その結果、一般乗客・優先対象者間には待ち時間に関する不公平が生じる。現状では優先エレベータはマークや説明の表示によって優先利用に対する人的な協力を促すものであり、それだけでは問題の根本的な解決には至らない。

そこで本研究では優先エレベータにおける待ち時間に関する公平性の問題を解決するため、以下の2つの研究目的を設定した。まず占有量を考慮した優先対象者モデルを新たに提案し、一般乗客・優先対象者という2種類の乗客モデルが混在する環境を想定する。また EGCS における不確実性へのアプローチとしてカメラ映像から人数と占有量をリアルタイムに取得できるものとする。第一にカメラを用いて取得した乗客の人数・占有量情報を利用した制御を提案し、全乗客の平均待ち時間 (Average Waiting Time, 以下 AWT) を短縮させる。さらに一般乗客・優先対象者間の待ち時間の公平性を高めることを第二目的とする。

2. 関連研究

近年の画像認識技術の向上に伴い、カメラからの画像を解析することでエレベータ内部の乗客やホールの待機客の人数を検出することができるようになった [Liu 08]。[Kim 01] ではカメラによる人数推定と過去の乗客到着分布を利用した呼び割り当て手法が提案されている。また [Chou 18] ではカメラによる人数推定情報を利用することでサービスレベル (AWT) を維持しつつ、エネルギー消費量を最小化することを目的としたエレベータ割り当てシステムを提案している。カメラの画像認識技術が向上すれば一般の乗客とは異なる、ベビーカーや車椅子を持った、所謂優先対象者を検知して優先的な配車を行うことも可能ではあるが、これらの研究では乗客の人数しか考慮していないため優先対象者を検知しても一般乗客と同様に扱ってしまう。優先対象者は乗車時にある程度の空きスペースがないとそもそも乗車することができないという特徴を持つため、優先的な配車を行うためには人数だけでなく占有量の考慮も必要であると考えられる。[Patel 18] にはカメラから取得した占有量を考慮した研究は存在するが、占有量を考慮した優先対象者をモデルとして定義し、公平性の高いエレベータ群制御を目標とする研究や優先エレベータそのものの制御に関する研究は存在しない。

連絡先: 山内 智貴, 早稲田大学 基幹理工学部 情報理工学科,
t.yamauchi@isl.cs.waseda.ac.jp

3. 問題設定のモデル化

3.1 建物モデル

建物は $N(\geq 2)$ 階のホールと $M(\geq 1)$ 台のエレベータを有するものと定義する。建物には 1 つの建物制御エージェント (Building Control Agent, 以下 BCA) が存在し、ホールにて発生するホール呼び (Hall Call, 以下 HC) のエレベータ割り当て等を行う。ここでホール呼び HC を発生階での上下方向の移動要求として、カゴ呼び (Car Call, 以下 CC) を目標階への移動要求と定義する。なお、地下階が存在する建物にも対応可能とするため N は建物の最低階から数えた階床数として定義する。またエントランスのある階をメインフロア (Main Floor, 以下 MF) と定義する。シミュレーション時間として離散時間 (単位は step) を導入する。単位時間ごとにエレベータの移動や乗客の発生、エレベータへの乗降車等が行われる。

3.2 エレベータモデル

エレベータ M 台に対して 1 つのエレベータ制御エージェント (Elevator Control Agent, 以下 ECA) が存在し、各エレベータの移動制御や呼びのスケジューリング、優先度計算を行う。また m 番目のエレベータ $E^m (1 \leq m \leq M)$ は床面積 $TO_{capacity}^m$ ・運転速度 V^m [step/階]・停止時間 T_{stop}^m [step/階] を持つ。なお、本研究では待ち時間の計算を簡単にするため運転速度、停止時間ともに固定値とする。各エレベータには N 個の CC ボタンが設置されている。乗車した乗客は自身の目的階の CC ボタンの点灯状態を確認し、消灯していた場合には押すことで点灯させて CC を発生させる。また、エレベータ E^m で発生している CC と割り当てられている HC の合計を K 個とし、これらを経路リスト (Route List, 以下 RL) として持つ。また、各エレベータには 1 つのエレベータカメラが設置されており、毎時刻乗客の人数と占有量を観測している。

3.3 ホールモデル

ホール N 階に対して 1 つのホール制御エージェント (Hall Control Agent, 以下 HCA) が存在し、時刻ごとのドアの開閉状態の制御等を行う。最低階には上方向のみ 1 つ、最高階には下方向のみ 1 つ、残りの各ホールには上下 2 つの HC ボタンが設置されている。各ホールで発生した待機客は自身の移動方向の HC ボタンの点灯状態を確認し、消灯していた場合には押すことで点灯させて HC を発生させる。また、各ホールには 1 つのホールカメラが設置されており、毎時刻待機客の人数と占有量を観測している。

3.4 カメラモデル

カメラは各ホール、各エレベータに 1 つずつ配置されており、待機客や乗客の人数・占有量を毎時刻観測している。また、カメラは一般乗客と優先対象者を識別可能とし、それぞれの人数・占有量情報を取得できるものとする。

3.5 人流モデル

待機客の発生分布はポアソン分布に従うとし、up-peak, down-peak, lunch-peak, interfloor の 4 つの人流パターンが存在する [Barney 15]。建物全体の 60 step あたりの平均乗客発生数を P_{arrive} [人/60step] とする。また、4.1 節で提案する優先対象者モデルの平均乗客発生数 P_{arrive} に対する割合を優先対象者発生確率 $P_{priority} (0 \leq P_{priority} \leq 1)$ と定義する。

4. 提案

4.1 優先対象者モデル

占有量を考慮した優先対象者モデルを乗客モデルの一種として提案する。まず乗客モデルの乗車について説明する。待機客の乗車は基本的に発生時刻順に行われ、乗り溢れが発生した場合にはエレベータ出発直後に再度 HC を発生させ待機する。

乗客 i の占有量 O_i は乗客自身の占有量 O_{own} と持ち物モデルの占有量 $O_{belongings}$ の合計として以下の式 (1) のように定義する。ここで一般乗客モデルにおける $O_{belongings}$ は 0、優先対象者モデルにおける $O_{belongings}$ は BP とする。

$$O_i = O_{own} + O_{belongings} \quad (1)$$

なお、エレベータへの乗車は基本的に発生時刻順と前述したが到着したエレベータの空き占有量が O_i 未満の場合には乗車は不可能であり、発生時刻が優先対象者モデルより後だった一般乗客モデルが先に乗車することもある。

4.2 カメラを用いた占有量の推測

次にエレベータカメラ・ホールカメラを用いた待機客および乗客の占有量の推定について説明する。まず占有量 O_i を用いてエレベータ E^m に乗客総占有量 TO_{ride}^m を、 n 階のホール H_n に待機客総占有量 TO_{wait}^n を定義する。エレベータ E^m に s_m 人の乗客が乗車している場合、乗客総占有量 TO_{ride}^m を以下の式 (2) で計算する。同様にホール H_n に q_n 人の待機客が待機している場合、以下の式 (3) で TO_{wait}^n を計算する。

$$TO_{ride}^m = \sum_{i=1}^{s_m} O_i \quad (2)$$

$$TO_{wait}^n = \sum_{j=1}^{q_n} O_j \quad (3)$$

これらの占有量を用いて E^m の推定空き占有量 EO_{free}^m と H_n の推定待機客占有量 EO_{wait}^n を求める。まずはエレベータの床面積 $TO_{capacity}^m$ と乗客総占有量 TO_{ride}^m に対して推定空き占有量 EO_{free}^m を以下の式 (4) で計算する。

$$EO_{free}^m = TO_{capacity}^m - TO_{ride}^m \quad (4)$$

次に待機客総占有量 TO_{wait}^n に対して推定待機客占有量 EO_{wait}^n を以下の式 (5) で計算する。上下両方向の HC ボタンが点灯している場合、カメラを用いてもそれぞれの方向の待機客人数を正確に推定するのは困難であるため、二分した待機客総占有量 TO_{wait}^n を各方向の推定待機客占有量 EO_{wait}^n として扱うことにする。

$$EO_{wait}^n = \begin{cases} TO_{wait}^n & (\text{片方向のみ点灯}) \\ \frac{TO_{wait}^n}{2} & (\text{上下両方向点灯}) \end{cases} \quad (5)$$

4.3 配車優先度計算

時刻 t に n 階で発生した $HC^m(t)$ に対して本研究では 2 つの配車優先度計算を行い、配車するエレベータを決定する。配車優先度とは $HC^m(t)$ に対する各エレベータの適応度を相対的に数値化したものであり、配車するエレベータを決定するための評価基準の一つである。本研究では以下に示す予想待ち時間優先度と空き占有量優先度を提案する。

4.3.1 予想待ち時間優先度

まずは予想待ち時間優先度を提案する。この優先度計算では4.4節で提案する方向優先スケジューリングアルゴリズム(Same Direction First Serve, 以下SDFS)を利用する。SDFSを用いて経路リスト RL を決定すると、エレベータの将来的な移動経路を推測することが可能となる。発生した $HC^n(t)$ がエレベータ E^m に割り当てられたと仮定して応答順序を決定する。この際、運転方向切り替え前後の終着階は不明であるため、上方向から下方向への切り替えを行う際には最高階に、下方向から上方向への切り替えを行う際には最低階に仮想的なCC(Virtual CC, 以下VC)を発生させる。こうすることで運転方向の切り替えが最悪でも最高階、または最低階で行われるという仮定での予想待ち時間を算出できる。エレベータ E^m に新たなホール呼び $HC^n(t)$ を割り当てて経路リスト RL^m をスケジューリングする。それに対してVCを発生させた場合の $HC^n(t)$ の応答順序が k 番目となると、 k 番目までの呼びの発生階を $H^m(i)$ ($0 \leq i \leq k-1$)として、移動階数 DH^m を次の式(6)で計算する。

$$DH^m = \sum_{i=0}^{k-1} \{|H^m(i+1) - H^m(i)|\} \quad (6)$$

そしてエレベータが $HC^n(t)$ の発生階に到着するまでの停止回数は $HC^n(t)$ より以前の呼びの数、すなわち $k-1$ 回となるため、運転速度 V^m 、停止時間 T_{stop}^m を用いて予想待ち時間 $WT_{estimated}^m$ を以下の式(7)で計算する。

$$WT_{estimated}^m = DH^m V^m + (k-1)T_{stop}^m \quad (7)$$

最後に $WT_{estimated}^m$ を用いて予想待ち時間優先度 I_{time}^m を次の式(8)で求める。

$$I_{time}^m = 1 - \frac{WT_{estimated}^m - \min(WT_{estimated})}{\max(WT_{estimated}) - \min(WT_{estimated})} \quad (8)$$

ここで、 I_{time}^m は $0 \leq I_{time}^m \leq 1$ となるように正規化した。この式は予想待ち時間が小さいエレベータほど優先度が高くなるように定義している。

4.3.2 空き占有量優先度

空き占有量優先度 I_{free}^m はエレベータ内部の空き具合を表し、推定空き占有量 EO_{free}^m を用いて以下の式(9)で計算する。なお、 I_{free}^m は $0 \leq I_{free}^m \leq 1$ となるように正規化した。

$$I_{free}^m = \frac{EO_{free}^m - \min(EO_{free})}{\max(EO_{free}) - \min(EO_{free})} \quad (9)$$

最後に以上の式(8)と式(9)からエレベータ E^m に対する配車優先度 I^m ($0 \leq I^m \leq 1$)を以下のように定義する。

$$I^m = w_1 I_{time}^m + w_2 I_{free}^m \quad (10)$$

ここで w_1, w_2 ($0 \leq w_1, w_2 \leq 1$)は I_{time}^m, I_{free}^m それぞれの重みを表し、 $w_1 + w_2 = 1$ とする。

4.3.3 呼び割り当てアルゴリズム

HCが発生してからエレベータに割り当てられるまでのアルゴリズムを図1に示す。呼びの割り当ては新たにHCボタンが押されてHCが発生したときに建物制御エージェントBCAが行う。まず推定空き占有量 EO_{free}^m が推定待機客占有量 EO_{wait}^n 以上、すなわち待機客を乗せられるエレベータが1台でも存在する場合にはその中から優先度最大のエレベータを選び、1台

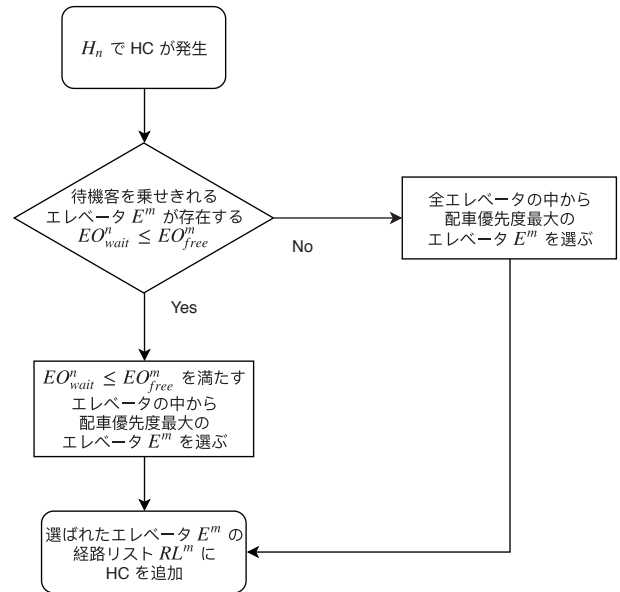


図1: 呼び割り当てアルゴリズム

も存在しない場合には全エレベータの中から優先度最大のエレベータを選ぶ。選ばれたエレベータ E^m の経路リスト RL^m にHCを追加することで呼びの割り当てを完了する。

4.4 スケジューリングアルゴリズム

エレベータ E^m に割り当てられ、経路リスト RL^m に追加されたHCとCCは一定のルールに従ってスケジューリングされ、エレベータはそのスケジュール結果によって次に向かうべき目標階や運行方向を決定する。まずエレベータ運行では原則としてエレベータ内に乗客がいる場合、CCの応答が完了するまでは運転方向は変わらず、CCの目標階には必ず停車しなければならない。この原則に従った上でHCの応答順序をスケジューリングし、効率的な運行を行う。なお、HCのスケジューリングに関しては一般に明確なルールは定められていないが、CCの応答中でも現在の運行方向と移動方向が同じHCが移動経路上に存在する場合には応答できる。

そこで本研究では方向優先SDFSというスケジューリング手法を提案する。これは経路リスト RL^m の中で現在の運行方向と同じ方向のHCを優先的に対処していくスケジューリングアルゴリズムのことである。運転方向を変更するのは同じ方向のHCがない、または最低階・最高階に到着したときのみとする。この手法は運転方向を切り替える回数が少なくて済むため無駄な動きを減らすことができるメリットを持つ。

5. 実験・考察

5.1 実験環境

本研究におけるシミュレーション実験の環境設定を表1に示す。シミュレーション時間は7200[step]としてそれぞれの設定で実験を100回ずつ行い、その平均を実験結果とした。占有量 O について、今回は基準となる乗客自身の占有量 O_{own} を1とし、優先対象者モデルにおける $O_{belongings}$ である BP を4と設定した。また、 BP は物理的スペースだけでなく、乗車時の心理的スペースも考慮して少し大きめの値にした。よって式(1)より、一般乗客の占有量は1、優先対象者の占有量は計5と

表 1: 実験環境設定

パラメータ	値
ビルの階数 N	15 階
エレベータ台数 M	5 台
床面積 $TO_{capacity}^m$	20
運転速度 V^m	2 step/階
停止時間 T_{stop}^m	8 step/階
メインフロア MF	4

なっている. なお, 比較対象は [Chou 18] より, カメラを用いたルールを追加した Nearest Car アルゴリズムを用いた.

5.2 公平性の比較

公平性の比較には優先対象者の AWT から一般乗客の AWT を引いた差を評価指標とする. 人流パターンを interfloor とし, 平均乗客発生数 $P_{arrive} = 40$ [人/60step] で優先対象者発生確率 $P_{priority}$ を 0 から 0.2 まで変化させた際の AWT の推移を図 2 に, AWT の差の推移を図 3 に示す. なお式 10 の重み付け w_1, w_2 はともに 0.5 とした. これらの結果より $P_{priority} = 0$, つまり優先対象者が存在しない環境では AWT, AWT の差ともに既存手法と提案手法には大きな差がないことがわかる. そして優先対象者の割合が増加するにしたがって既存手法では AWT, AWT の差ともに急激に増加するが, 提案手法では増加の仕方が非常に緩やかである. よって占有量を考慮した配車を行う提案手法は, 占有量を持った優先対象者という特殊な乗客モデルの増加に対して非常に高い適応能力を持つと言える. この結果, 一般乗客・優先対象者間の待ち時間の公平性を大幅に改善することができた.

また, 本実験の結果より一般乗客・優先対象者間の公平性を向上させることは乗客全体の待ち時間の短縮にも繋がると考察できる. 優先対象者は一般乗客と比較して大きな空きスペースがないと乗車できないため, 占有量を考慮しない既存手法では優先対象者を何度も乗り溢れさせてしまう可能性が高い. これは特定の階に何度も HC を発生させ続けるため, 乗り溢れた優先対象者の待ち時間が長くなるだけでなく, 最終的には建物全体でエレベータの運用効率を大きく下げる. 一方提案手法では, 占有量を考慮した配車を行なうため優先対象者が何度も乗り溢れるという可能性は低くなり, 全体の運用効率の低下も少ないと考えられる.

以上より占有量を考慮した提案手法は優先対象者の乗り溢れを減らし, 建物全体でエレベータの運用効率の低下を抑えることで, 一般乗客・優先対象者間の公平性だけでなく全乗客の AWT も改善することができたと考察できる.

6. 結論・今後の課題

本研究では占有量を考慮した優先対象者モデルとカメラを用いて取得した人数・占有量情報を考慮したエレベータ制御方式を提案した. 実験結果より, 占有量を考慮することで提案手法が一般乗客・優先対象者間の待ち時間の公平性を大幅に改善できることを示した. また, 優先対象者の乗り溢れを減らし, 建物全体でエレベータの運用効率の低下を抑えることで, 全乗客の AWT も改善できた.

本研究では配車優先度の重み付けを固定値としたが, 待機客の状況に合わせた動的な調整が今後の課題として挙げられる. わずかな空きスペースでも乗車可能な一般乗客と十分な空きス

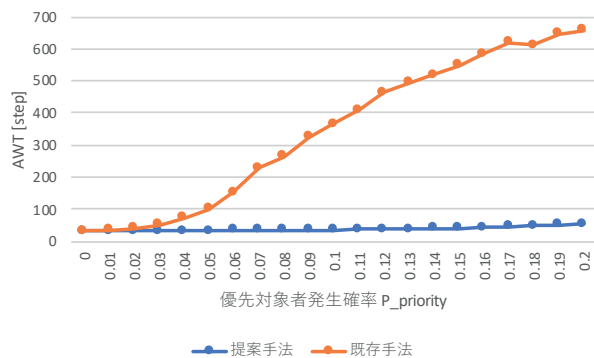


図 2: 優先対象者発生確率と AWT の関係

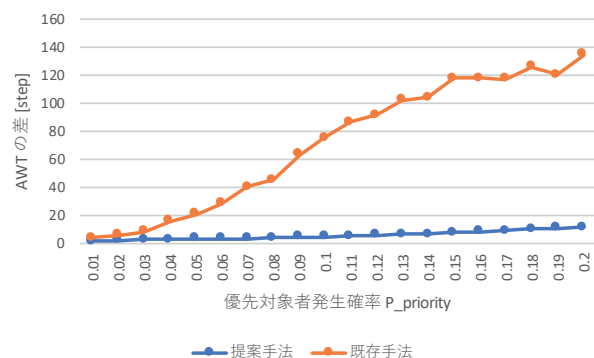


図 3: 優先対象者発生確率と AWT の差の関係

ペースがないと乗車不可能な優先対象者ではエレベータの需要には差がある. カメラを用いることで HC 発生階で待機している一般乗客・優先対象者それぞれの人数を取得できるため, それらを利用して需要に合わせた配車を行うことでより高い公平性と柔軟性を持ったシステムを構築できると考えられる.

参考文献

- [Barney 15] Barney, G. and Al-Sharif, L.: *Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice*, Taylor & Francis, 2 edition (2015)
- [Chou 18] Chou, S.-Y., Budhi, D. A., Dewabharata, A., and Zulvia, F. E.: Improving elevator dynamic control policies based on energy and demand visibility, in *2018 3rd International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, pp. 1–4IEEE (2018)
- [Fernandez 15] Fernandez, J. R. and Cortes, P.: A Survey of Elevator Group Control Systems for Vertical Transportation: A Look at Recent Literature, *IEEE Control Systems*, Vol. 35, No. 4, pp. 38–55 (2015)
- [Kim 01] Kim, J.-H. and Moon, B.-R.: Adaptive Elevator Group Control with Cameras, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 48, pp. 377–382, IEEE (2001)
- [Liu 08] Liu, H., Yue-Liangqian, , Liu, Q., and Li, J.-T.: Count Passengers Based on Haar-like Feature in Elevator Application, in *Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pp. 1202–1206, IEEE (2008)
- [Patel 18] Patel, B.: Smart elevator movement (2018), US Patent App. 15/332,617