

出庫予測に基づき入店所要時間を 最小化する駐車場ナビゲーションの提案

劔 持 真 弘^{†1} 孫 為 華^{†1} 山内 由紀子^{†1}
柴 田 直 樹^{†2} 安 本 慶 一^{†1} 伊 藤 実^{†1}

混雑時の大型駐車場において駐車スペースを見つけるには長い時間を必要とする。この時間を短縮するために、車車間通信技術やセンシング技術などを用いた駐車場ナビゲーションの研究が多くなされているが、リアルタイム性やコスト、有効性などの点で実用性の低いものとなっている。本稿では駐車場の統計情報と、車両入出庫検知に基づいて各駐車ゾーンにおける駐車待ち時間を予測することで、車両が駐車場に入ってから駐車を完了するまでの時間と駐車場所から店舗に入るまでの歩行時間の合計が最小となるナビゲーション手法を提案する。提案手法では駐車場の統計情報により、各駐車ゾーンにおける駐車待ち時間を予測し、最新の車両の入出庫情報に基づいて、予測時間を更新する。この予測を用いて、提案手法は駐車時間と歩行時間の合計が最小となるゾーンをドライバーに提示する。

A Propose of Quick Parking Navigation Based on Parking Prediction

MASAHIRO KENMOTSU,^{†1} WEIHUA SUN,^{†1}
YUKIKO YAMAUCHI,^{†1} NAOKI SHIBATA,^{†2}
KEIICHI YASUMOTO^{†1} and MINORU ITO^{†1}

Finding a parking space in a crowded parking lot costs long time. In order to shorten the time, some researches using inter-vehicle communication technology and sensing technology are conducted. However, most of them are not practical because of some problems in real-time performance, cost and validity. In this paper, based on real-time parking detection information and statistical parking lot usage information, we propose a navigation system which minimizes total time for parking and walking (to shop gate) by using an parking time prediction in each parking zone. The proposed method predicts the waiting time in each parking zone, and adjusts the predicted waiting time by using the latest sensed parking/leaving information. Based on this prediction, the proposed method

provides each driver with a recommended parking zone by which the total time for parking and walking is minimum.

1. はじめに

現代の経済社会は人的・物的輸送に大きく依存している。しかし、二酸化炭素排出の削減が叫ばれ、グリーンイノベーションの促進がなされている一方で、車両の渋滞が大きな社会問題となっており、燃料の浪費により二酸化炭素排出量が増え、渋滞により社会活動が滞り、経済に悪影響を与えている。本研究は、渋滞と経済効果の代表的接点であるショッピングセンター駐車場に焦点を当てる。日本のショッピングセンターの多くは、複数の駐車ゾーンからなる大型立体駐車場を整備している。しかし、空きのゾーンがあるにも関わらず、入庫しようとする車両が特定のゾーンに集中し、駐車場内において渋滞が発生する。その場合、渋滞中の車両は空き駐車ロットを見つけることが困難であり、渋滞しているゾーンを脱出したくても身動きができない場合が多い。時間が浪費された結果、多くのドライバーは不快を感じ、ショッピング意欲の減退や時間の減少などにつながるケースも少なくない。ショッピングセンターにとっても渋滞による機会損失が発生する。そのため、ショッピングセンター駐車場における渋滞の解消と回避は重要な課題である。

駐車場における出入庫管理の研究は盛んに行われており、その多くは既に実用化されている。しかし、技術的、コスト的な制約により、これらのほとんどは駐車場全体の利用状況の表示など静的なサービスとなっている。近年、車車間・車路間で情報の自動的な散布と収集を可能にする車車間通信技術、及び配線を必要としない小型無線センサノード群によるセンシング技術の進歩により、大型駐車場内における詳細な入庫経路案内や駐車場に入場するまでの走行経路案内など駐車場におけるナビゲーションの効率を向上できる可能性がある。

近年、車車間通信とセンシング技術を利用したナビゲーションに関する研究(2章で詳述する)が行われている。しかし(1)導入コスト(2)車車間通信ユニットの普及率や利己的なドライバーの特性、を考慮した駐車場ナビゲーションはまだ実現されていない。本稿ではこれらを考慮した上で、駐車場内の走行時間、入庫待ち時間、歩行時間を合わせた全所要

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 滋賀大学
Shiga University

時間が最小となる駐車案内手法を提案する。

本稿では、複数出入口のある大型立体駐車場を対象とする。駐車場入口、駐車ゾーン、店舗入口を接続する経路の組み合わせが多く、また、人気の低いゾーンに早く駐車できて歩行時間が長くなったり、ドライバーが案内に従わずに利己的な駐車行為をしたりするなど、様々な制約が存在するため、提案手法は典型的な組み合わせ最適化問題である。本手法は出入庫車両数が動的に変化する状況の下で、リアルタイムにヒューリスティックな案内先(解)を求め、各車両に知らせる。図1は提案手法のイメージである。この例では、駐車場入口に到達した車両に対し、駐車場サーバが駐車所要時間の短い駐車ゾーンを複数提示する。ドライバーがカーナビでいずれかを選択すれば、この情報がサーバにフィードバックされる。

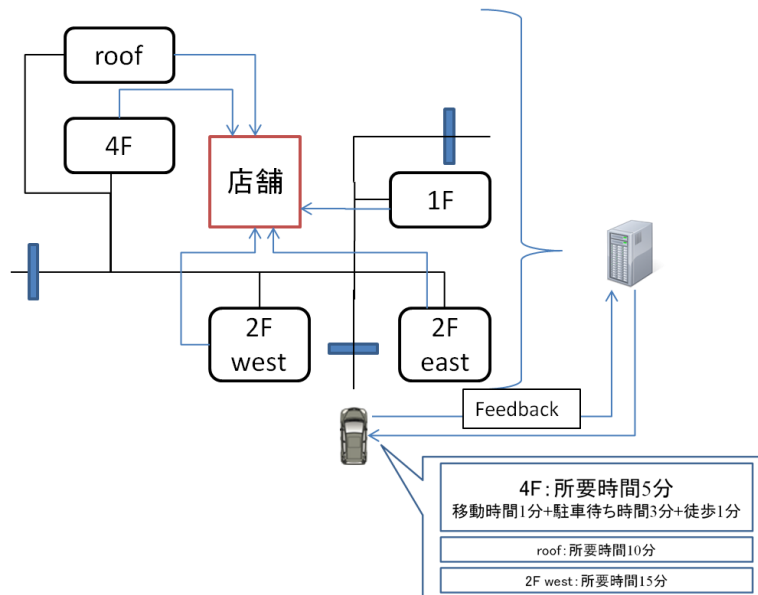


図1 提案手法のイメージ

提案手法では、駐車場の統計情報に実時間の車両入出庫センシング結果を加味することにより、各駐車ゾーンにおける今後の混み具合を予測し、これに基づき、混雑時でも各ドライ

バーの待ち時間が最小となるように到来車両を案内する。具体的には、駐車管理サーバを設け、各ゾーンの統計占有率(統計駐車台数/ロット数)、統計入庫率(統計入庫台数/一定時間)、統計出庫率(統計出庫台数/一定時間)を統計情報より計算する。センサを利用し、各ゾーンに入庫及び出庫する車両をセンシングし、サーバ側でその結果より実入庫率(実際に入庫台数/一定時間)と実出庫率(実際の出庫台数/一定時間)を計算し、実入庫・出庫率及び統計入庫・出庫率の差分を統計情報の占有率に掛けることで、今後の予測占有率を求める。

本稿では、駐車場の複数ある駐車ゾーンにおいて、渋滞時、それぞれの占有率が均等となる場合、車両の駐車に要する時間が最も短縮されると考える。これを実現するために、サーバは駐車場入り口において各到来車両に対し、各ゾーンにおける駐車待ち時間、ゾーンまでの走行時間、下車から店舗入口までの歩行時間それぞれを見積もり、合計が最小となるゾーンをドライバーに提示する。ドライバーがゾーンを選択すると、サーバは各駐車ゾーンの予測占有率を更新し、その結果を案内中のドライバーに提示した結果の所要時間に加味する。また、ドライバーにゾーンを案内する際に、常に最新の予測占有率データを用いて駐車所要時間を見積もる。

本稿において、2章では、駐車場問題に対するこれまでの取り組みについて述べ、3章では駐車場問題の定式化を行い、4章では提案手法とケーススタディについて述べ、5章でまとめと今後の研究計画について述べる。

2. 関連研究

駐車問題に対する研究開発のほとんどは、駐車場内の渋滞を軽減させ、駐車待ち時間を短縮することを目的としている。

センサ・フロップ方式は駐車場内の各駐車スペースにセンサを配備し、駐車状況を検知することで、空車状況の情報を取得する。この方式では、各駐車スペースごとの使用状況を正確に取得することが可能であるという利点があるが、コストが非常にかかるため、大型駐車場への採用は困難である。

ゲート方式は駐車場の入出口口にゲートを設置し、ゲートを通過する車両数の情報を取得することで、現在の駐車場内の車両数を把握し、駐車場の容量と比較することで、混雑状況の情報を取得している。この方式では、低コストで駐車場内の情報を取得することが可能であるが、場内の詳しい状況を取得することができない、精度が低いといった問題がある。

また、これらの方式に共通した問題点は、全てのドライバーに同じ情報を配信しているということである。その結果、多くのドライバーは同じ判断をするため、特定ゾーンへ車両

が殺到し、渋滞が発生する。また駐車をあきらめた車両が隣接ゾーンへの移動を試みても、駐車場の構造上、一度集まった集団はなかなか分散できず、渋滞の波及範囲が拡大する。

近年、ナビゲーションシステムや安全支援、交通管理システムなど ITS に関する研究が多くなされており¹⁾⁷⁾、それに伴い、センシング技術を利用した個々の車両に対する駐車場ナビゲーションに関する研究が行われ始めている²⁾³⁾⁸⁾。

文献 2) や 3) は駐車場内に無線センサネットワーク環境を用いることで、リアルタイムに駐車場の空車状況の情報を取得し、個々のドライバーにそれぞれ違った空車スペースの情報を提供する手法である。Tang ら²⁾ は低コストのセンサを用いることで、駐車場全体でのコストを軽減させるシステムを提案しているが、センサは時間経過とともに不正確になり、また機能が停止するといった問題が残っている。

一方、車車間通信 (VANET) 技術が注目されており⁴⁾⁵⁾⁶⁾¹⁰⁾¹¹⁾、車両への通信機の設置や、車両と通信を行う通信路側機の配備が自動車や通信メーカにより促進されてきている。文献 9) において、Lu らは車車間通信技術を用いた駐車場ナビゲーションシステム SPARK を提案している。この方式では、車車間、路車間の通信を用いて空車の駐車スペース情報を得て、入場してくる車両毎に異なる空車スペースの情報を与え、ナビゲーションする。そのため、駐車場内車両流量のバランスを取ることができ渋滞を軽減することができる。しかし、この手法は入場車両が必ずナビゲーションに従うという前提条件がある。そのため、ドライバーが案内された場所に向かう途中に空車スペースを発見し、そこに駐車してしまうという利己的な行為をすると、本来その駐車スペースに駐車するはずだった車両が行き場を失ってしまい、ナビゲーションが破たんするという問題がある。

Caliskan らは、車両入庫から出庫までの時間を見積もり、マルコフモデルを使った到来車両の入庫時間を推定する手法を提案している¹²⁾。しかし、これらの手法は (1) 車両の入庫を数学モデルまたはランダムと仮定しているが、現実には必ずしも同様な状況とは限らない (2) 駐車待ちの車両が全部駐車場内にあり、場内を自由に行き来ができると仮定しており、駐車場内が混みやすく、駐車場に進入する前に道路で待ち行列を作りがちな日本とは状況が異なる。

以上述べたとおり、既存研究では、(1) 導入コスト、(2) 駐車場内の車両流量のバランス、(3) 普及率や利己的なドライバー、の全てを考慮した駐車場ナビゲーションはまだ提案されていない。本稿では、複数出入り口のある大型立体駐車場を対象に、駐車場の時間あたりの出庫件数の統計情報を用いて次に空きが出るゾーンを予測し、各車両毎に入場してきた時点での予測情報を提示することで車両が駐車場に入場してからドライバーが店舗入口に到達

するまでの平均時間の最小化を目指し、(1)~(3) を考慮した出庫予測に基づく駐車場ナビゲーション手法を提案する。

3. 問題設定

本章では、諸仮定及び対象とする環境について述べ、次に問題の形式的な定義を与える。

3.1 想定する環境及び諸仮定

3.1.1 諸仮定

駐車場及び入場車両に対し、それぞれ以下のように仮定を置く。

駐車場に対する仮定

- 駐車ゾーンセンサー：車両検知センサーが各駐車ゾーンに設置されていると仮定する。車両のゾーンへの入庫及びゾーンからの出庫を検知し、その結果を有線で駐車管理サーバ (後述) に送信する。
- 駐車管理サーバ：提案手法を実行し、各種駐車経路を計算し、最短時間となる駐車経路を出力する計算機である。構造情報、統計利用情報及びリアルタイムにセンシングした車両入庫・出庫結果を管理する。各ゾーンについて過去の統計とセンサで取得した最新の時間あたりの入庫率と出庫率、及び駐車数を与えられ、現在の駐車数と駐車ゾーン容量よりゾーンの現在の占有率が計算できるとする。サーバは一台だけで、有線でネットワークに接続している。
- 路車間通信機：車車間通信ユニットを搭載した車両と双方向通信可能な通信機が駐車場内に設置されている。駐車管理サーバからの駐車案内情報を車両に送信し、その選択結果をサーバにフィードバックする。複数台の路車間通信機で駐車場全体をカバーできると仮定する。

車両には提案手法を搭載したカーナビが標準装備として内蔵されていると仮定する。車両側に関して、以下のように仮定する。

カーナビの機能についての仮定

- 車車間通信ユニット：短距離無線や WIFI を利用して車車間や路車間で双方向通信が可能なデバイスである。本稿では、駐車場に設置されている路車間通信機と通信できることを仮定する。
- 案内表示インタフェース：車内でドライバーに対し、駐車場から受信した駐車案内を表示する機能、及びドライバーの操作結果を車車間通信ユニットに出力する機能を併せ持つインタフェースと想定する。

通信に関する仮定

- 駐車ゾーンセンサーと駐車管理サーバ間の通信や、サーバと路車間通信機との通信など、駐車場側の通信はすべて有線を通して行われると仮定する。
- 路車間通信機と車両間の通信は、近距離無線または WIFI を利用する。既存の通信プロトコルを利用するものとし、パケットのロスや遅延など本稿では考慮しない。

ドライバーに関する仮定

- ドライバーはシステムに提示された駐車ゾーンに向かう途中、空車スペースのある駐車ゾーンを発見した場合、一定の確率でそのゾーンに駐車に向かう。この仮定で利己的な行為を再現する。

3.1.2 駐車場モデル

本稿で想定した環境は大型ショッピングセンターによくある典型的な立体駐車場である。駐車場のモデル図の簡単な例を図 2 に示す。

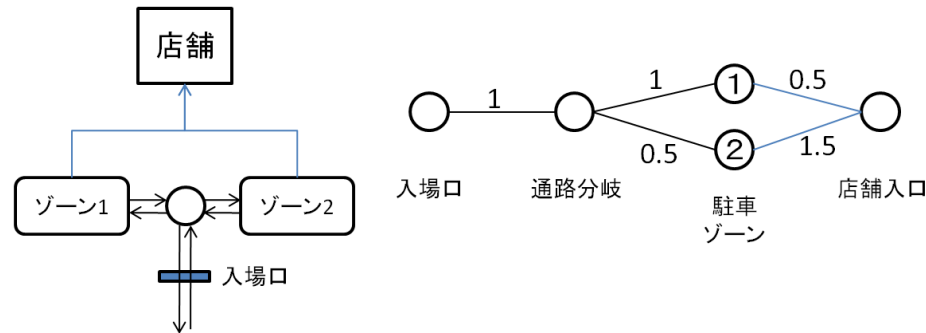


図 2 駐車場モデルとグラフ図

本稿で想定する駐車場は複数のゾーンからなっている。すべてのゾーンは入口及び出口と道路で接続されており、他のゾーンを経由する必要はない。

グラフにおける各リンクは駐車場内の車道及び、各ゾーンから店舗入口までの歩道を表しており、各ノードは入口、通路分岐、及び駐車ゾーンを表している。各リンクには、そのリンクの移動にかかる時間が重みとして与えられている。また、各駐車ゾーンのノードには、そのゾーンの容量が与えられている。

駐車場の占有率がある閾値より高く、車両が駐車ゾーンに入ってもすぐに駐車ができず、

時間をかけて駐車スペースを探さざるを得ない状況を混雑と定義する。駐車場のいずれかのゾーンで混雑が発生しても、そのゾーンに接続している通路まで影響を及ぼさず、リンクの重みは不変であると仮定する。

3.2 問題定義

3.2.1 入力と符号の定義

本手法で扱う問題の入力として、以下の三つを考える。

- 構造情報：各駐車ゾーンの容量、配置、駐車場内各地点間の移動所要時間といった構造上の情報。既知であると仮定する。
- 統計情報：各駐車ゾーン過去の利用情報、すなわち入庫車両台数、出庫車両台数、駐車台数の一定時間ごとの平均値の情報である。
- 最新情報：駐車ゾーンセンサーから得られる最新の車両入庫率、出庫率の情報である。

本問題で用いる時間符号を図 3 に示す。時間符号は $t, t+1, t_{cur}, t'_{cur}$ である。 t はある時間帯を表し、その長さは定数長である。 $t+1$ は t の次の時間帯を表す。 t_{cur} は時間帯 t における一部の経過時間を表し、 t'_{cur} は t_{cur} から $t+1$ までの時間を表す。

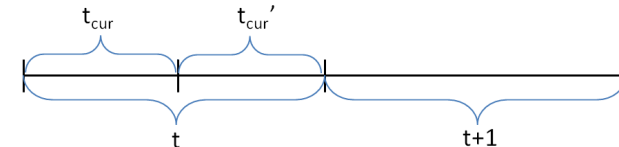


図 3 本問題で用いる時間符号

また、問題を定義する際に使用する符号を表 1 にまとめている。それぞれの符号に対し、必要に応じて文中にて説明する。

3.2.2 駐車時間最小化問題

各ドライバー d に対し、駐車場内での走行時間、駐車待ち時間、歩行時間の総和である全所要時間を $d_{totalTime}$ とする。提案手法の目的は任意のドライバーにとって最小となる全所要時間 $d_{totalTime}$ を求め、それを実現する駐車ゾーンを結果としてドライバーに提示することである。

$d_{totalTime}$ を求めるには、駐車場内の各種所要時間を求めなければならない。駐車ゾーン、ゾーンの駐車容量をそれぞれ $p, p.cap$ で表す。駐車場グラフのリンクに与えられてい

符号	意味	符号	意味
d	ドライバー	$USAGE(p, t)$	時間帯 t における駐車ゾーン p の占有率
$d_{totalTime}$	車両移動時間、駐車待ち時間及び歩行時間を合わせた全所要時間	α	駐車ゾーンが混雑にいたるまでの占有率の閾値
p	駐車ゾーン	$f(p, t, \alpha)$	時間帯 t における駐車ゾーン p の駐車待ち時間を求める関数
$p.cap$	駐車ゾーンの駐車可能台数	C	駐車に必要な定数時間
$RT(pos_1, pos_2)$	場所 pos_1 から pos_2 までの車両移動時間	$PARKING(p, t)$	時間帯 t における駐車ゾーン p の駐車台数
$WT(pos_1, pos_2)$	場所 pos_1 から pos_2 までの歩行移動時間	$ARRIVE(p, t)$	時間帯 t における駐車ゾーン p への入庫台数
$PT(p, t)$	時間帯 t における駐車ゾーン p での駐車待ち時間	$LEAVE(p, t)$	時間帯 t における駐車ゾーン p からの出庫台数
$PARKING_R(p, t)$	時間帯 t における駐車ゾーン p での駐車率	$LEAVE_R(p, t)$	時間帯 t における駐車ゾーン p からの出庫率
$PARK_T(p, t)$	平均駐車時間		

表 1 本問題で扱う符号

る、入場口から駐車ゾーンまでの走行時間、及び駐車ゾーンから店舗入口までの歩行時間をそれぞれ $RT(pos_1, pos_2)$, $WT(pos_1, pos_2)$ とする。ただし、 pos_1, pos_2 は駐車場グラフのノードを表す。前述したように、駐車ゾーンの混雑が道路に影響を及ぼさないと想定するため、走行時間 $RT(pos_1, pos_2)$ が既知である。また、歩行時間 $WT(pos_1, pos_2)$ も同様に既知であり、 $RT(pos_1, pos_2)$ 、及び $WT(pos_1, pos_2)$ は不変である。よって $d_{totalTime}$ を求めるのに、駐車待ち時間 $PT(p, t)$ を求めればよい。式 (1) はドライバー d が時間帯 t においてショッピングセンターを訪れる際の駐車場の入場口 $gate$ から駐車ゾーン p までの走行時間、 p での駐車待ち時間、及び p で下車後店舗 $shop$ まで歩行時間の全所要時間を表す。

$$d_{totalTime} = d.RT(gate, p) + d.PT(p, t) + d.WT(p, shop) \quad (1)$$

駐車待ち時間 PT は、駐車ゾーンの混み具合に依存する。駐車ゾーンに空きスペースがたくさんあるとき、定数時間 C 以内に駐車できると考えられる。駐車ゾーンが混んでいる時、各ゾーンにおける駐車待ち時間 PT を駐車台数及び混み具合で計算する。混み具合を表すために占有率 $USAGE$ を定義する。 $USAGE(p, t)$ とは、駐車ゾーン p において、時間帯 t の間に駐車した総車両台数の駐車容量 $p.cap$ に対する比率である。すでにゾーン p に駐車してある車両台数と $t+1$ までにさらに増える駐車台数をそれぞれ $PARKING(p, t_{cur})$, $PARKING(p, t'_{cur})$ で表せば、 $USAGE$ が以下の式 (2) で求められる。

$$USAGE(p, t) = \frac{PARKING(p, t_{cur}) + PARKING(p, t'_{cur})}{p.cap} \quad (2)$$

また、駐車ゾーンが混雑に至る占有率の閾値を α とした場合、 $\alpha, USAGE$ を用いて、 PT を式 (3) のように定義する。 $USAGE$ が高いほど、駐車待ち時間が長くなる。駐車場の統計利用情報から関数 $f(p, t, \alpha)$ を推定できると仮定する。 $f(p, t, \alpha)$ を用いることによって、駐車ゾーンに到達してから駐車完了するまでの必要時間が求められる。本稿では、 $f(p, t, \alpha)$ の一例として 4.1 節の式 (6) を用いる。

$$PT(p, t) = \begin{cases} C & (USAGE(p, t) < \alpha) \\ f(p, t, \alpha) & (USAGE(p, t) \geq \alpha) \end{cases} \quad (3)$$

サーバは時間帯 t_{cur} において、各駐車ゾーン p に対し、すでにセンシングした車両の入庫台数、出庫台数、駐車台数をそれぞれ、 $ARRIVE(p, t_{cur})$, $LEAVE(p, t_{cur})$, $PARKING(p, t_{cur})$ として把握している。駐車ゾーン占有率 $USAGE$ を求めるには、 $t+1$ までに増える車両数 $PARKING(p, t'_{cur})$ を求めれば良い。

統計利用情報より、駐車場各ゾーンにおける入庫車両台数、出庫車両台数、駐車台数、平均駐車時間が一定時間ごとの平均値として既知であり、時間帯 t において $ARRIVE(p, t)$, $LEAVE(p, t)$, $PARKING(p, t)$, $PARK_T(p, t)$ で表現され、駐車ゾーン p の単位時間駐車率 $PARKING_R(p, t)$ を式 (4) で求められる。

$$PARKING_R(p, t) = \frac{ARRIVE(p, t) - LEAVE(p, t)}{t} \quad (4)$$

そこで、統計駐車数 $PARKING(p, t)$ と統計駐車率 $PARKING_R(p, t)$ に対し、センシング結果である最新駐車数 $PARKING(p, t_{cur})$ と最新駐車率 $PARKING_R(p, t_{cur})$ が式 (5) を満たすと思われる。

$$\frac{PARKING(p, t)}{PARKING(p, t_{cur}) + PARKING(p, t'_{cur})} = \frac{PARKING_R(p, t)}{PARKING_R(p, t_{cur})} \quad (5)$$

式 (5) を解くことにより、 $PARKING(p, t'_{cur})$ が得られ、駐車待ち時間 $PT(p, t)$ も求まり、全所要時間である $d_{totalTime}$ を求めることができる。提案手法は、各々のドライバーに対し、すべての駐車ゾーンを駐車先候補とし、最小の $d_{totalTime}$ を有する駐車ゾーンへの駐車を推薦する。

4. 提案手法及びケーススタディ

本章では、提案手法の概要、及びケーススタディを述べる。

4.1 提案手法の概要

提案手法の目的は各ドライバーの全所要時間 $d_{totalTime}$ を最小化することである。駐車ゾーン内での駐車待ち時間 $PT(p, t)$ を予測することで、全所要時間 $d_{totalTime}$ の最小化を考える。

3章で述べたように、提案手法では、駐車管理サーバが各ゾーンの統計情報と最新情報を把握している。そこで、最新の駐車率 $PARKING_R(p, t_{cur})$ と統計駐車率 $PARKING_R(p, t)$ を比較することで、駐車ゾーンの今後の予測占有率を見積もることができる。 $PARKING_R(p, t_{cur})$ が $PARKING_R(p, t)$ を上回れば、予測占有率が統計情報の占有率より高くなり、逆の場合、予測占有率が低くなる。

駐車待ち時間を計算するために、式(3)で用いた入庫待ち時間を計算する関数 $f(p, t, \alpha)$ を用いる。本稿では、 $f(p, t, \alpha)$ を式(6)のように解釈する。

$$f(p, t, \alpha) = \frac{PARKING(p, t_{cur}) + PARKING(p, t'_{cur}) - p.cap * \alpha}{LEAVE_R(p, t_{cur})} + C \quad (6)$$

式(6)では、駐車ゾーン p を混雑状態 (α) 以上に至らせた車両台数を求め、その台数の車両が最新の在庫率 $LEAVE_R(p, t_{cur})$ で出庫するのに必要な時間を求める。この時間に駐車定数時間 C を足した結果が駐車待ち時間である。ただし、最新の在庫率 $LEAVE_R(p, t_{cur})$ は最新の在庫車両数 $LEAVE(p, t_{cur})$ を経過時間 t_{cur} で割った値である。

また、ドライバーが経路を選択するたびに、その選択結果がサーバへとフィードバックされ、サーバ上で各駐車ゾーンの予測占有率を更新し、その結果を案内中のドライバーに提示した経路の所要時間に加味する。本稿では、すべてのドライバーは利己的であるとする。すなわち、ドライバーは店舗入口まで遠く離れているゾーンに案内された場合、移動する途中で入口に近い駐車ゾーンに空きスペースを発見すれば、すぐさまそこに駐車する。これに対処するために、本手法では、各駐車ゾーンにてリアルタイムに入庫状況をセンシングし、常に最新の予測占有率を用いて全所要時間を見積もり、新たに到着したドライバーに経路案内を提供する。

4.2 ケーススタディ

提案手法により、駐車待ち時間がどの程度削減できるか評価するためにケーススタディによるシミュレーションを行う。

駐車ゾーン	駐車容量 (台)	歩行時間 (分)
1F	134	2
2F west	122	2
2F east	122	4
4F	353	4
roof	407	6

表 2 駐車ゾーンの属性

通路	距離 (m)	走行時間 (分)
N1-N2	20	1
N1-N3	40	2
N1-4F	40	1
4F-roof	20	1
N2-2west	10	0.5
N2-N5	20	1
N3-N6	20	1
N3-2F west	10	0.5
N4-1F	10	0.5
N4-N5	30	1.5
N5-N6	30	1.5
N5-2F east	40	2
N6-2F east	40	2

表 3 各通路の属性

駐車ゾーン	駐車台数	占有率
1F	130	0.97
2F west	122	1.0
2F east	100	0.81
4F	320	0.9
roof	350	0.87

表 4 各駐車ゾーンの占有率状況

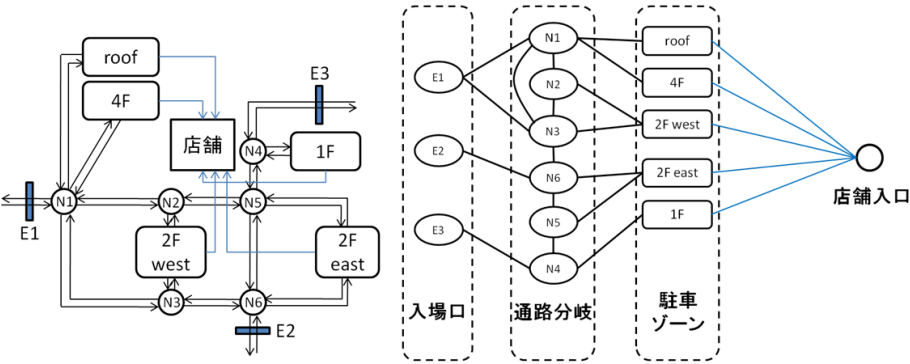


図 4 ケーススタディに用いた駐車場モデルとグラフ図

4.2.1 環境設定

シミュレーションで用いた駐車場は奈良県内の大型ショッピングセンターの駐車場であり、各種の属性も現実と同じ設定となっている。用いた駐車場のモデル図とグラフを図4に、それぞれの駐車ゾーン、及びその属性を表2に示し、駐車場内通路を通過するのに必要な時間を表2に示す。走行時間は歩行者や誘導スタッフなどの関係から、平均として表3のように定義した。ケーススタディを行う際の、各駐車ゾーンの状況は表4のようになっているとする。駐車場全体に対し、今後10分に到来する50台の車両を対象として行い、車両は3箇所の入場口から均等に入场してくるとする。また平均駐車時間は1.5時間とし、各駐車ゾーンから1分に1台の割合で出庫するとする。駐車ゾーンが混雑に至る占有率の閾値 α を0.9とし、駐車待ちにかかる時間Cは2分とした。

比較を行う手法としては、以下の2手法を挙げた。それぞれの手法で得た結果を図5と表5に示した。

- ナビゲーション無し(手法1)

店舗入口の近くを優先して駐車に向かう車両が50%、ランダムに駐車ゾーンを決定する車両が50%存在する。

- 全員に同じ情報を提示する手法(手法2)

ドライバーに各駐車ゾーンに空・満の情報を提供する。駐車ゾーンの占有率が100%になると満車表示になるとする。入場車両は、現在空車のあるゾーンに向かう場合、空車のある駐車ゾーンが複数ある場合、50%の車両が歩行時間の最小となる駐車ゾーンに向かい、50%が入場口から近いゾーンに向かうとする。

4.2.2 評価結果

手法1の場合、ナビゲーションなしのため、店舗入口に近い1F、2F West 駐車ゾーンに多くの車両が移動することとなり、そこで渋滞に引き込まれ、長い駐車待ちを強いられた。手法2の場合、各駐車ゾーン空・満の情報がドライバーに提供されているため、ほとんどの車両の待ち時間が手法1より短くなったが、同様な判断をした複数の車両(41, 44, 45)は同じゾーンに入ってしまった、待ち時間が大きく伸びた。

また、提案手法は上記2手法とは異なり、それぞれの車両に対し、全所要時間が最短となる経路を案内している。その結果、提案手法は各車両の所要時間が全体にわたって安定しており、平均時間、最大時間、最小時間いずれにおいても最短となっている。とりわけ、このケースのピーク時には提案手法を用いることで比較対象手法の25%程度の時間で入店できている。

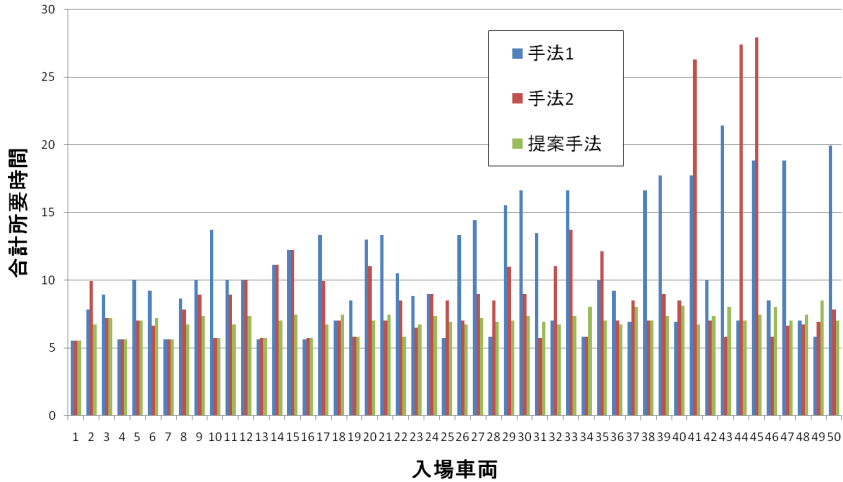


図5 ケーススタディの結果

手法	平均時間(分)	最大時間(分)	最小時間(分)
手法1	10.8	21.4	5.5
手法2	9.2	27.9	5.5
提案手法	7.0	8.1	5.5

表5 詳細結果

また、「利己的行動」を考慮したドライバーの行動モデルにおいても、提案手法は短い入店所要時間を達成しているため、ノイズに対する耐力があると考えられる。

4.2.3 さらなる検討

ケーススタディにおいて、提案手法は良い性能を示せた。しかし、提案手法のさらなる有効性評価が不可欠である。以下に挙げた課題を対処できるように提案手法を拡張しながら、より多くの既存手法と比較実験を行う予定である。

- システム普及率：今回はシステム普及率を100%と考えているが、ITS設備普及の現状から考慮すると、現実の駐車場において本手法を適用する際に、低い普及率に対する耐性が必ず必要となる。
- 統計情報の誤差：ケーススタディでは統計情報は完全に信用できるものとしているが、

現実では必ずしもそうではない。統計情報は天気、曜日、イベントなど多くの要素に影響され、その平均値が必ずしも代表性のあるものとは言えない。なお、実際の大型ショッピングセンターなどでは、駐車場の無料開放などにより、統計情報が不完全となることがよくある。このような統計情報を用いても正確に動作する手法でなければならない。

- センシングの誤差： ケーススタディではセンシングの結果を完全に信用している。しかし、駐車場全スペースがフロップ式でセンサーを配置しない限り、完全に正確な入出庫車両数をセンシングすることが困難とも言われている。そのため、ある程度の誤差を考慮した上で手法を設計しなければならない。
- 道路までの渋滞： 本稿では、各駐車ゾーンで渋滞が発生しても、道路まで渋滞が拡大しないと仮定している。しかし、現実では、場内道路どころか、渋滞が場外道路まで波及することも少なくない。そのような状況では、リンクの重みが動的に変化し、さらに、利己的なドライバーの行動によって、リンクの重みが予測困難になる可能性がある。そのような場合でも対処する手法が望ましい。

5. ま と め

本稿では、混雑時の大型駐車場での各車両の、入場からドライバーが店舗入口に到達するまでの全所要時間を最小化するナビゲーション手法を提案した。

奈良市内の大型ショッピングセンターの駐車場を模したモデルを用い、ケーススタディを行った結果、提案手法を用いることで従来手法に比べ最大 75%程度、全所要時間が削減できたことが分かった。

一方、前節で述べたように、実用化に向けて、対処すべき問題が多く残っている。これらに対応できるよう、提案手法の拡張を検討したい。また、本手法の有効性を確かめるために、駐車場構造と車両数、センシングの誤差、道路までの渋滞システム普及率を調整して一般性のあるシナリオに対するコンピュータシミュレーションを計画している。比較対象手法 1 と 2 の他、SPARK やその他有名手法との比較評価実験も行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省道路局 ITS ホームページ
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>
- 2) V. Tang, Y. Zheng, and J. Cao, " An intelligent car park management system based

- on wireless sensor networks, " in Proc. of the First International Symposium on Pervasive Computing and Applications, Urumchi, Xinjiang, P.R. China, pp. 65-70, August 2006.
- 3) J. Chinrungrueng, U. Sunantachaikul, and S. Triamlumlerd, " Smart parking: an application of opticalwireless sensor network, " in Proc. of the the 2007 International Symposium on Applications and the Internet Workshops (SAINTW '07), Hiroshima, Japan, pp. 66-69, January 2007.
- 4) Y. Peng, Z. Abichar, and J. M. Chang, " Roadside-aided routing (RAR) in vehicular networks ", in Proc. IEEE ICC 2006, Vol. 8, pp. 3602-3607, Istanbul, Turkey, June 2006.
- 5) J. P. Hubaux, S. Capkun, and J. Luo, " The security and privacy of smart vehicles ", IEEE Security and Privacy Magazine, Vol. 2, No. 3, pp. 49- 55, 2004.
- 6) M. Lott, R. Halfmann, E. Schultz, and M. Radimirsch, " Medium access and radio resource management for ad hoc networks based on UTRA TDD ", in Proc. ACM MobiHoc 2001, pp. 76-86, October 2001.
- 7) Q. Xu, T. Mak, J. Ko, and R. Sengupta, " Medium access control protocol design for vehicle-vehicle safety messages ", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 56, No. 2, pp. 499-518, 2007.
- 8) Y. Bi, L. Sun, H. Zhu, T. Yan, and Z. Luo, " A parking management system based on wireless sensor network, " ACTA AUTOMATICA SINICA, Vol. 32, No. 6, pp. 38-45, November 2003
- 9) R. Lu, X. Lin, H. Zhu, and X. Shen, " SPARK: A New VANET-based Smart Parking Scheme for Large Parking Lots "in Proc. IEEE INFOCOM2009, pp1413-1421, 19-25 April 2009.
- 10) M. Caliskan, D. Graupner, and M. Mauve, " Decentralized discovery of free parking places, " in Proc. of the Third ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2006), Los Angeles, CA, USA, pp. 30-39, Sept. 2006.
- 11) R. Panayappan, J. Trivedi, A. Studer, and A. Perrig, " VANET-based approach for parking space availability, " in Proc. of the Fourth ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2007), Montreal, Quebec, Canada, pp. 75-76, Sept. 2007.
- 12) M. Caliskan, A. Barthels, B. Scheuermann, M. Mauve, " Predicting Parking Lot Occupancy in Vehicular Ad-Hoc Networks " in Proc. IEEE VTC 2007 Spring pp. 277-281, 2007.