

駐車待ち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[?]
柴 田 直 樹^{†2} 安 本 慶 一^{†1} 伊 藤 実^{†1}

混雑時の大型駐車場では駐車スペースを見つけるまで長い時間を要する。本稿では駐車場のゾーン間の移動にかかる時間の統計情報と、車両出入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が最小となる駐車経路を提示する手法を提案する。提案手法では駐車場に設置された中央サーバから、各駐車ゾーンへ移動にかかる推定時間、及びそのゾーンで駐車できる推定確率の情報が各車両へ送信され、車両がその情報を基に、駐車場内の全経路に対して駐車できるスペースを見つけるまでの時間期待値を計算することで、駐車待ち時間が最小となる経路をドライバーに提示する。

A Distributed Method of Quick Parking Navigation

MASAHIRO KENMOTSU,^{†1} WEIHUA SUN,^{†1}
YUKIKO YAMAUCHI,^{†3} NAOKI SHIBATA,^{†2}
KEIICHI YASUMOTO^{†1} and MINORU ITO^{†1}

Finding a parking space in a crowded parking lot costs long time. In this paper, based on real-time parking detection information and statistical parking lot usage information, we propose a navigation system which minimizes the parking time by using a parking time prediction scheme. By the proposed method, a parking server estimates the waiting time in each parking zone, adjusts the estimated waiting time by using the latest sensed parking/leaving information, and sends the estimated results to cars at the entrance gates. Based on this estimation, every car running, the proposed method provides each driver with a recommended parking route by which the expected parking time is minimum.

1. はじめに

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、空きのあるゾーンがあるにもかかわらず、入庫しようとする車両が特定の人気ゾーンに集中し、駐車場で渋滞が発生する。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、車両間・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、入庫待ち時間を合わせた駐車待ち時間時間が最小となる駐車案内手法を提案する。

本稿で対象とする、複数の出入り口のある大型立体駐車場では、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い。また、人気の低いゾーンに早く駐車が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

^{†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
^{†3} 九州大学
Kyushu University

するなど、様々な要因が存在する。提案手法は出入庫車両数が動的に変化する状況の下で、各入庫車両に対し、リアルタイムに駐車場の利用状況と駐車待ち時間を知らせ、それぞれの車両が自律分散的に駐車しやすい経路（解）を求める。

提案手法では、駐車場は複数の駐車スペースからなる駐車ゾーンと場内の分岐点をノード、通路をリンクとしたグラフで表現する。駐車場内のサーバに提案手法を搭載した車両のナビゲーションシステムからアクセス可能であると仮定し、サーバはナビゲーションシステムから駐車場の統計利用情報と各ゾーンで駐車したか通過したかの最新の駐車センシング情報を収集する。次に、各駐車ゾーンへ移動にかかる時間、及びそのゾーンで駐車できる確率を推定し、これらのデータを各車両へ送信する。車両はこのデータを基に駐車場内のゾーンを一定数経由する全経路に対して駐車スペースを見つけるまでの時間期待値を計算し、時間期待値が最小な経路へ向かう。図1は提案手法のイメージである。提案手法の有効性を確認するため、駐車場シミュレータ上で評価実験を行った。その結果、比較対象手法に比べ平均で20%程度、最大50~70%程度、駐車待ち時間を削減できることが分かった。

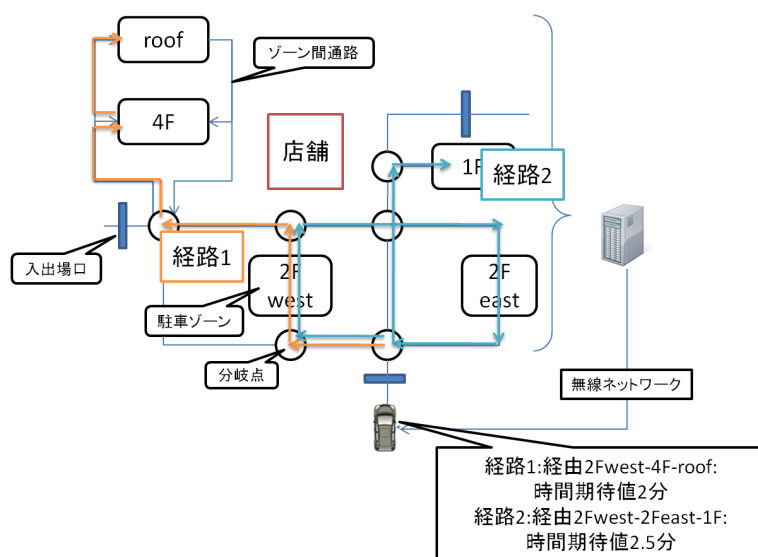


図1 提案手法のイメージ

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章では評価実験について述べ、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。この方式は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。この方式は精度が低いという問題がある。また、これらの方式は、全てのドライバーに同じ情報を配信し多くのドライバーが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に関する研究が多くなされてきおり¹⁾、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の研究が行われ始めている²⁾³⁾⁹⁾。

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。Tan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)技術が注目されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。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ー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、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

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⁾。この手法では(1)車両の出入庫を数学モデルまたはランダムと仮定している(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いる。しかし、駐車場内が混みやすく、駐車場へ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、(i) 導入コスト、(ii) 駐車場内の車両流量のバランス、(iii) 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。筆者らは予測上最も早く駐車できる駐車ゾーンをピンポイントドライバーに提示するナビゲーション手法¹³⁾を考案した。しかし、予測が外れた場合や駐車スペースが先に埋まってしまう場合では対処案がなく、実用性の観点では問題がある。本稿では、複数出入口のある大型立体駐車場を対象に、駐車場の各ゾーン間の移動にかかる時間、各ゾーンで駐車できる確率の情報を用いて、各車両で経路を計算することで車両が駐車場に入庫してからドライバーが駐車するまでの時間の最小化を目指し、(i) ~ (iii) を考慮した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、対象とする環境と仮定について述べ、次に問題の形式的な定義、及び提案手法を述べる。

3.1 想定する環境及び諸仮定

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。駐車場に対する仮定

- 駐車場各ゾーンの容量、配置、駐車場内各地点の移動所要時間といった構造上の情報は既知とし、駐車場は駐車ゾーンをノード、場内通路及び歩道をリンクとするグラフとして与えられるとする。また駐車ゾーンは複数の駐車スペースからなるとする。
- 駐車場グラフのリンクの一部にはセンサが搭載されており、各時間にそこを通過した車両台数が分かるとする。センサの位置は店側が決めているものとし、駐車場の入口には必ず置かれておりと仮定する。
- 中央サーバが設置されており、提案手法を搭載した車両によって収集したデータの蓄積と配信を行うとする。
- 駐車場が空の時に、入場口に車両が到達してから駐車して入店するまでの時間が短い

ゾーンほど人気が高いとする。

車両に対する仮定

- 各車両にはカーナビが搭載されており、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。
- 提案手法を搭載した車両は、自分が位置するゾーン、駐車したタイミング、買い物から戻り発車したタイミングが分かるとする。

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の立体駐車場である。駐車場は複数の車両出入口 $g \in G$ 、通路分岐点 $in \in IN$ 、駐車ゾーン $pz \in PZ$ 、店舗入り口 $ce \in CE$ から構成され、場内通路 $r \in R$ によって接続される。図 2, 3 は駐車場の構造例とグラフを示す。

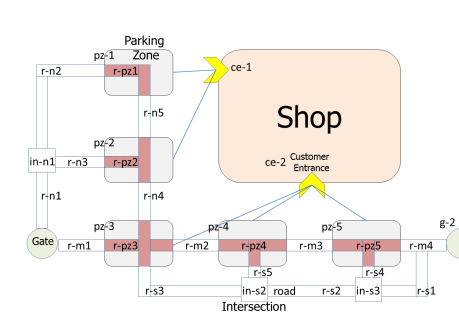


図 2 駐車場の構造例

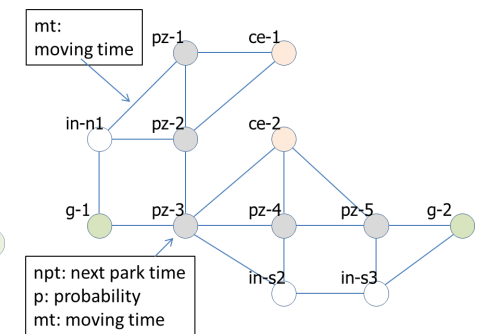


図 3 駐車場グラフ

3.2 提案手法

提案手法では推薦駐車ルート (rpr, Recommended Parking Route) が出力される。中央サーバは入り口に到達した車両のドライバーに対し、推薦駐車ルートを提案する。rpr は複数の駐車ゾーン、通路と分岐点から構成され、 $rpr = [r1, pz1, r2, in2, pz2...]$ のように表現される。ドライバーは推薦駐車ルートに従えば、最も渋滞に巻き込まれにくい経路を通り、最短時間で駐車できるようになる。rpr を求める提案手法は以下の 2 つのアルゴリズムからなる。

- アルゴリズム 1

ゾーン間を移動するのに必要な時間の期待値と、各ゾーンで駐車できる確率の計算

● アルゴリズム 2

駐車するまでの時間の期待値が最も低い経路の提示

アルゴリズム 1

アルゴリズム 1 ではゾーン間を移動するのに必要な時間の期待値 Exp_{pz} と、各ゾーンで駐車できる確率 P_{pz} の計算を行う。近隣ゾーン間を移動するのにかかった時間と、過去一時間でそのゾーンに駐車できた割合から、このゾーンに駐車できる確率を計算する。車両があるゾーンに駐車した場合、それまでに通過したゾーンのうち、駐車したゾーンより人気の高いゾーンは全て空きがなかったと判断する。各ゾーンに駐車できる割合はある提案システム搭載車が到来した時より過去一定時間内に、各ゾーンを通過した他の提案システム搭載車が駐車できた確率とし、一定時間内に一台も他の提案システム搭載車が通過しておらず未知の場合は 50% とした。例えば、過去 1 時間以内にゾーン 1 を提案システム搭載車が 4 台通過し、3 台駐車できている場合はゾーン 1 に駐車できる確率は 75% とする。なお、本稿では一定時間を 30 分とした。

入出力

アルゴリズム 1 は各車両がゾーン間を移動するのにかかった時間、各自動車がゾーンを通過したか、駐車したかの情報、それらの過去の情報、及び駐車場の地図を入力とする。また、アルゴリズム 1 の出力はゾーン間を移動するのに必要な時間の期待値 E 、各ゾーンで駐車できる確率 P_{pz} である。

アルゴリズム 2

アルゴリズム 2 ではアルゴリズムの出力を受けて、ある経路が与えられたとき駐車可能なスペースを見つけるまでの時間の期待値を計算する。本来は任意の長さの経路全てについて期待値を計算する必要があるが、提案手法では決められた長さまでで計算を打ち切り、これを近似値として扱う。本稿ではこの長さをゾーン 4 つ通過するまでとした。駐車場が混雑する際、同時に入構する複数の車両に同じ情報を与え、それぞれの車両が計算した駐車経路が被り、同じ駐車経路を辿ることによって、予想駐車時間を大幅に超えることも考えられる。そこで、提案手法では、各車両は求めたベスト 3 の経路からランダムにお勧め経路を選択し、ドライバーに提示することで、推薦経路の被り問題を回避する。

入出力

アルゴリズム 2 の入力アルゴリズム 1 の出力と駐車場の地図であり、駐車可能なスペースを見つけるまでの時間の期待値が最も低い経路 r_{pr} を出力する。出力ルート r_{pr} の期待

値 $Exp_{r_{pr}}$ で表現する。 $Exp_{r_{pr}}$ はルート r_{pr} に含まれる全駐車ゾーンにおける駐車期待値の総和であり、下記の式で表す。

$$Exp_{r_{pr}} = P_{pz1} * E_{pz1} + (1 - P_{pz1}) * (P_{pz2} * E_{pz2}) + (1 - P_{pz1}) * (1 - P_{pz2}) * (P_{pz3} * E_{pz3}) + \dots (1)$$

例: 図 4 の経路に対する $Exp_{r_{pr}}$ は以下のように計算される。ただしノードは駐車ゾーン、リンクは通路を表し、ノードの中の値はそのゾーンに駐車できる確率 P_{pz} 、リンクの上の数字はその経路の通貨に要する時間の期待値 E である。

$$Exp_{r_{pr}} = 0.5 * 5 + (1 - 0.5) * (0.3 * 10) + (1 - 0.5) * (1 - 0.3) * (0.2 * 15) = 5.05$$

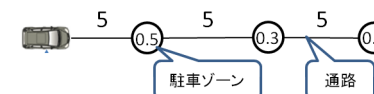


図 4 ルート例

目的関数

本問題の目的関数は最小時間期待値を有するルートを見つけることであり以下の式で表す。

$$Function_{subject} = Minimize(Exp_{r_{pr}}) \quad (2)$$

4. 評価実験

本章では、評価実験及び、実験に用いたシミュレーション環境について述べる。

4.1 実験シミュレータ

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駐車場シミュレータを用いた。実験シミュレータでは図 5 のようにセルの集合で駐車場を表現し、駐車スペースや通路にセルを対応させたセルオートマトンで駐車場を実現した。各車両は隣接 8 セルにのみ移動でき、移動先セルに他の車両が入っている場合、そこに移動できない。車両のセル間移動速度は、速度パラメータで指定できる。シミュレータ上の駐車場は奈良市内の大型ショッピングセンター駐車場を模したものとした。入場車両の分布は実環境のデータを用いて行い、駐車時間は 30 分、60 分、90 分の 3 つよりランダムに決定した。

4.2 シミュレーション環境

駐車場グラフを図 6 に示す。駐車場は 5 つのゾーンからなっており、駐車ゾーンの容量や、店舗入口までの歩行時間を表 1 に表す。その他、 in, g, ce はそれぞれ駐車場内道路の分岐点、車両出入り口、店舗入り口を示す。提案システムを搭載している車両は全体の 10%、及び

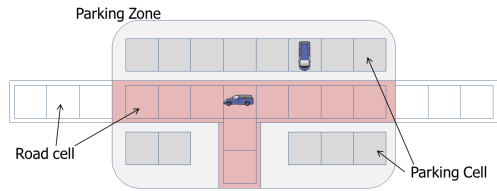


図 5 セルオートマトンの概要図

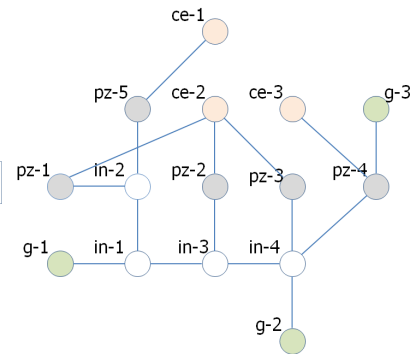


図 6 シミュレータの駐車場グラフ

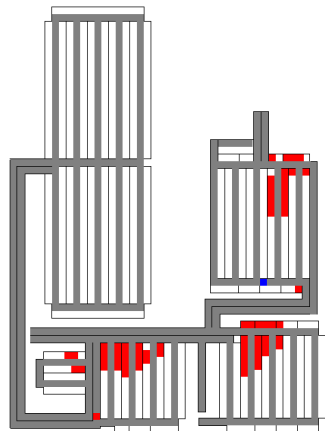


図 7 駐車場シミュレータ図

| 駐車ゾーン | 駐車容量 | 歩行時間 (秒) |
|-------|------|----------|
| pz-1 | 28 | 40 |
| pz-2 | 100 | 20 |
| pz-3 | 121 | 40 |
| pz-4 | 169 | 20 |
| pz-5 | 400 | 20 |

表 1 駐車ゾーンのパラメータ

100%とした。また駐車場の初期状態は空とし、入場してくる車両台数は実際の大型ショッピングセンターの一日分の時間あたりの入場車両分布を用いてフィッティングした。今回のシミュレーションでは駐車場内が完全に満車の場合は新たな到来車両を入場させないとした。

実験は 3 つの入場口から均等に車両が入場してくる場合 (実験 1) と入場口ごとに到来する車両数に偏りがある場合 (実験 2) の 2 パターン行った。実験 2 の偏りは入場口 $g-3$ に

| | 車両 | 平均時間 (秒) | 最大時間 (秒) | 最小時間 (秒) |
|------|---------------|----------|----------|----------|
| 実験 1 | 搭載率 100% | 79.2 | 216.0 | 27.0 |
| | 搭載率 10%(搭載車) | 96.1 | 219.0 | 27.0 |
| | 搭載率 10%(非搭載車) | 124.0 | 961.0 | 27.0 |
| | 比較手法 1 | 121.4 | 1184.0 | 27.0 |
| 実験 2 | 比較手法 2 | 109.4 | 997.0 | 27.0 |
| | 搭載率 100% | 100.0 | 549.0 | 27.0 |
| | 搭載率 10%(搭載車) | 109.1 | 575.0 | 27.0 |
| | 搭載率 10%(非搭載車) | 132.3 | 1193.0 | 27.0 |
| | 比較手法 1 | 226.0 | 1792.0 | 27.0 |
| | 比較手法 2 | 161.4 | 1716.0 | 27.0 |

表 2 駐車所要時間

全体の 1/2 の車両が到来するとし、 $g-1$ 、 $g-2$ にそれぞれ全体の 1/4 の車両が到来するとした。

比較手法としては以下の 2 つの手法を用いた。

- 比較手法 1:行き先をランダムに決定する。行き先のゾーンが満車だった場合、再度行き先をランダムに決定し、駐車するまで繰り返す。
- 比較手法 2:入場口で各ゾーンの空車スペースの有無の情報を与え、店舗入口により近い空車スペースのあるゾーンに向かう。行き先のゾーンが満車だった場合、その後は比較手法 1 と同じようにランダムに行き先を決定する。

またこれらの手法いずれも、行き先に到達するまでに空きスペースを発見すると、そこに駐車するとした。提案手法ではシステムを搭載していない車両は空車情報に沿って目的地に向かう手法 2 のものとした。

4.3 実験結果

提案手法を用いて実験を行った際の提案システム搭載車と未搭載車それぞれの駐車時間の結果を表 2 に示す。

提案手法搭載率 100%の場合は 10%の場合と比べ、搭載率が高いほど、車両全体の流れが統率され、平均駐車所要時間が短くなることがわかり、実験 1 の短縮率は 25%、実験 2 の短縮率は 10%である。また、提案手法搭載率 10%の場合、提案手法搭載車と搭載しない車両のパフォーマンスの差が大きく、実験 1 では平均 23%、実験 2 では平均 18%短縮できることがわかった。

各手法で実験を行った際の全車両の駐車所要時間の累積分布図を図8, 9に示す。

実験1では、各入場口から車両の入庫負荷が均等であるため、比較手法1と2が提案手法搭載率10%と拮抗した性能を示している。一方、提案手法搭載率10%の場合、搭載車両が明らかに入庫所要時間が短縮されている。なお、提案手法搭載率100%の場合、駐車パフォーマンスが最も良いことが確認された。

実験2では、各入場口に到来車両に偏りが生じている。ランダムに駐車する比較手法1が明らかに性能が悪くなる。これと比べ、大まかな案内情報に頼る手法2は手法1より良い性能を達している。一方、提案手法の搭載率がさほど高くない場合でも、明らかに駐車所要時間が短縮できた。この実験結果から、提案手法は到来車両に偏りが発生する場合において、最も良い性能が発揮できる。

また今回の実験では場内があまり混雑していない状況では、提案手法と比較手法で駐車時間に差はなく、混雑時に大きな差が見られた。特に実験2で提案手法と比較手法の差が大きかったのは、車両の多くが入場口 $g-3$ から入場してくるため、ゾーン $pz-4$ が非常に混雑したためである。比較手法1は車両の大半がゾーン $pz-4$ の混雑に巻き込まれてしまったため、駐車待ち時間の大幅な増加が見られた。比較手法2は入場時に各ゾーンが満車が空車かの情報を得るため、ゾーン $pz-4$ の中でスペースを探すことなく他のゾーンに向かう。しかし、今回の実験で用いた駐車場は $pz-4$, $in-4$ 間の通路の距離が長い為、入場時に空車だった目的ゾーンが到達時に満車になってしまっているということが見られ、比較手法2は一つ目の目的ゾーンが満車であると、その後、比較手法1と同じくランダムに移動してしまうため、駐車待ち時間の増加が見られた。これらの現象は実際の駐車場でもしばしば見受けられる現象である。一方、提案手法では $pz-4$ を避け、最初の目的ゾーンが満車であっても、次のゾーンが指示されており、またゾーンを4つ経過することに新たなルートが与えられるため、駐車待ち時間が大幅に増加することはなかった。

5. まとめ

本稿では、大型駐車場で各車両の、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を模したモデルを用い、評価シミュレーションを行った結果、提案手法を用いることで比べ最大70%程度、入店所要時間が削減できることが分かった。一方、本稿の実験において比較手法1などの駐車場内での車両の動きを、完全にランダムとして実験しているが、現実ではドライバーは駐車場内の状況に応じて経路を決定するため、必ずしも現実にそぐわない

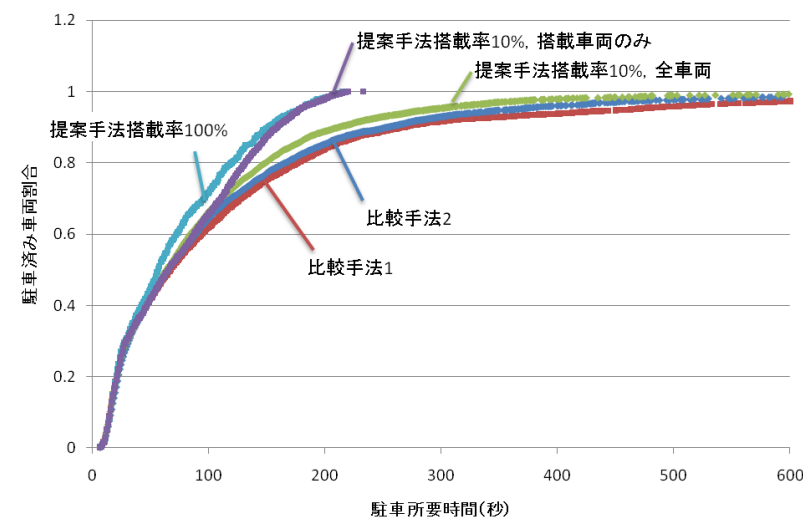


図8 駐車所要時間の累積分布関数 (CDF) (実験1:入場負荷が均等)

部分があり、駐車時間が大幅に延びるといったことが見られた。提案システム搭載車両にも未搭載車のランダムな振る舞いが影響を及ぼすため、実験を行う度に結果が変化するということも見られた。今後、より現実的なドライバーの振る舞いを考慮することや、SPARK手法⁹⁾等との比較を検討している。

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 optical/wireless 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.

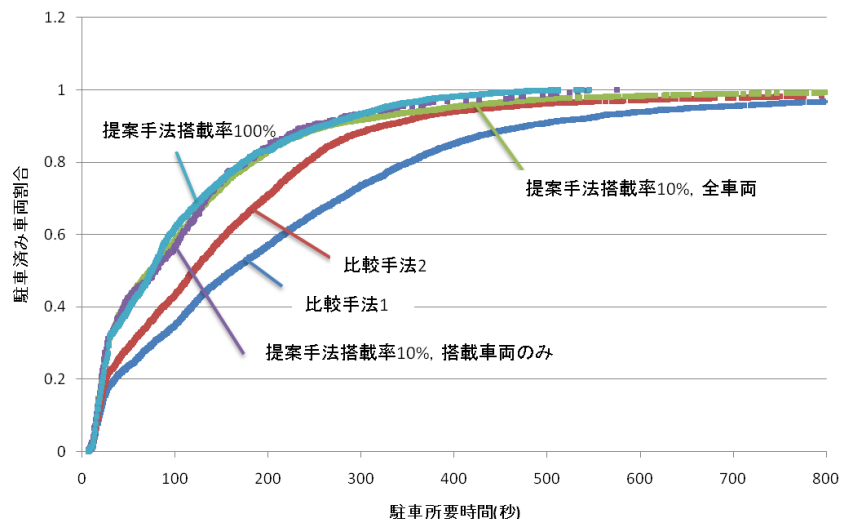


図9 駐車所要時間の累積分布関数 (CDF) (実験 2:入場負荷が均等でない)

- 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.
- 13) 剣持真弘, 孫為華, 山内由紀子, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤実, " 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 ", 情報処理学会高度交通システム (ITS) 研究会, Vol.2011-ITS-44 No.13, pp 1-8, 2011.