

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11314

研究課題名（和文）協調型交通における経路選択とプライバシー保護の基盤技術

研究課題名（英文）Foundation of path selection and privacy protection for collaborative transportation

研究代表者

浅野 泰仁（Asano, Yasuhito）

東洋大学・情報連携学部・教授

研究者番号：20361157

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ライドシェアリングに代表される協調型交通・輸送においてデータ工学上重要と考えられる以下の3種類の課題に取り組んだ。(1)経路選択について、中継可能な協調型市街地配送モデルを提案し、厳密アルゴリズムおよびオンデマンド配送にも対応できるヒューリスティックを構築した。また、予約利用者を考慮したオンデマンドバスのスケジューリング手法を提案した。(2)差分プライバシーに基づく、道路ネットワーク上のロケーションプライバシー保護技術を提案した。(3)複数の交通プロバイダのデータを集約してアライアンスを形成する際の、分散トランザクションを含む3種のデータ統合モデルとそのデモを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、UberやAmazon Flexに代表される協調型交通・輸送が急速に普及し、従来の交通・輸送モデルを大きく転換している。一方で、交通・輸送に関するデータ工学の従来の技術は協調型交通・輸送モデルにおいてはそのままでは成立しない。例えば経路選択においても従来モデルでは単純な最短経路を求めれば良かったが、協調型交通においては乗客の相乗り等を考慮した経路が必要となる。我々は協調型交通・輸送においてデータ工学上重要な3種類の課題である、(1)経路選択(2)位置情報プライバシーの保護(3)複数会社のデータ統合モデル、について研究した。本研究の成果は、今後協調型交通・輸送がさらに発展する基盤となり得る。

研究成果の概要（英文）：We addressed the following three issues that are considered important from the viewpoint of data engineering in collaborative transportation as typified by ridesharing: (1) Route selection. (1) For route selection, we proposed a relayable collaborative urban delivery model, and constructed a strict algorithm and a heuristic that enables to handle on-demand delivery. We also proposed an on-demand bus scheduling method that takes into account users with reservations. (2) We proposed a location privacy protection technique on road networks based on differential privacy. (3) We developed three types of data integration models and their demonstrations, including distributed transactions, for integrating data of multiple transportation providers to form an alliance.

研究分野：データ工学

キーワード：協調型交通 ネットワークアルゴリズム グラフ 位置情報プライバシー データ統合

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、Uber や Lyft を初めとするライドシェアリング、配送における UberEATS、AmazonFlex に代表される「協調型交通(輸送)」が急速に普及しつつあった。これらは利便性・コストの削減・渋滞の軽減・過疎化地域への導入可能性等の利点があるが、従来型交通と比較して経路選択の複雑化・ロケーションプライバシーの漏洩という解決すべきデータ工学的課題があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、この二点の課題の解決に必要な基盤技術の開発を行うことであった。特に、研究計画の時点では、特に普及している協調型交通であるライドシェアリングに対して、車両が単なる最短経路を取るのではなく、複数の乗客の相乗りや予約に対応して最適な経路を選択することができるモデルの構築と、同モデルに対応したロケーションプライバシー保護技術を構築することを予定していた。

研究開始後、この計画を基にした上で、関連研究の進展状況を踏まえ、研究目的を以下のように修正した。(1) いわゆるタクシーのような車両を用いた乗客のライドシェアリングのみならず、市街地における宅配などの協調型配送や、タクシーよりも多数の乗客を乗せられる協調型交通手段であるオンデマンドバスについて適用可能な経路選択手法を提案する(2) ロケーションプライバシーについて、既存の単なる平面に基づいた位置データではなく、道路ネットワークにおける位置データに適用可能な保護技術を提案し、ユーザのロケーションプライバシーを保護しつつ協調型交通を使用できるようにする(3) ライドシェアリング等において、複数の会社(サービスプロバイダと呼ぶ)のデータ(車両データ、顧客データ等)を統合した形態のサービス(サービスアライアンスと呼ぶ)が近年国内でも見られるようになってきた(GO, S.Ride 等)ことを踏まえ、新たなデータ工学的課題として複数プロバイダのデータ統合時の問題を解決するモデルを提案する。

3. 研究の方法

研究目的の項に記載した(1)、(2)、(3)それぞれについて説明する。

- (1) 市街地配送においては、配送されるべき荷物の出発地と目的地の最短経路間に中継点を設定し、そこで輸送者が交代しても良いとする「中継可能」な協調型配送モデル(図1)を考える。なお、輸送者はプロではなく一般のユーザとなるため、輸送者も自身の出発地と目的地がある。輸送者はその最短経路を取るのではなく、少し迂回することで荷物を運ぶことによって、その所要時間と引き換えに利得を得るわけである。また、荷物にも輸送者にも出発・到着時刻の制約がある。この中継可能な協調型配送モデルにおいて、その最適性条件を代表者らの合流経路最適化の研究で得られた経験に基づいて考察し、予約を前提とした厳密解法を検討するとともに、オンデマンド配送にも用いるためのヒューリスティックによる効率化を検討する。オンデマンドバスについては、郊外で頻繁に見られるケースとして複数の住宅地から一つの駅への乗客輸送をモデル化した「スター型デマンド」に着目し、予約乗客(定期券を購入し、ほぼ毎日同じ時刻に同じ出発地をとる乗客)が多い場合の輸送手法を検討する。

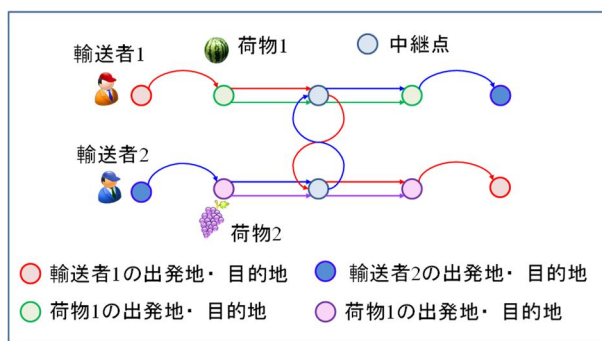


図1 中継可能な協調型配送モデル

- (2) ロケーションプライバシーについては、プライバシー保護効率ばかりを優先すると、ライドシェアリングのような位置情報利用サービス(LBS)の利便性が悪くなることは明らかであるため、協調型交通の課題として、この両者のトレードオフを高水準で可能にする必要がある。これについて、従来のロケーションプライバシー保護技術が単なる平面上の座標を用いていたため、道路がなく通れない部分の曖昧化や、道路の事前情報がある攻撃者に対して弱点があることを指摘し、その問題を解決するための「道路ネットワーク上におけるロケーションプライバシー保護技術」を考える。Dwork らの提案した差分プライバシーを、単なる平面上の位置データではなく、道路ネットワーク上の位置データに適用できる尺度を構築することが理論的焦点となる。

- (3) 複数プロバイダのデータ統合に関しては、北京大学の胡教授、大阪大学の鬼塚教授、京都

大学の吉川教授らとともに開発してきたデータ統合アーキテクチャである Dejima アーキテクチャ等に基づき、様々なサービスアライアンスの形式の実現可能性について考察し、適切なデータ統合モデルを考案する。また、具体例としてライドシェアリングのサービスアライアンスを考える。すなわち、複数のサービスプロバイダが車両のデータを持ち、そのデータを統合して管理するアライアンスに対して乗客が車両の検索・配車の要求を行えるようなユースケースを想定して、上記のデータ統合モデルに基づくデモを開発することを考える。

4. 研究成果

項目3と同様に、(1)、(2)、(3)それぞれについて説明する。

(1) 「中継可能」な協調型配送モデルについては、最適条件を理論的に証明し、予約を前提とした厳密解法を提案した。さらに費用や時間などの様々な条件を考慮した枝刈りを用いて効率化するアルゴリズムを提案し、市街地規模の道路ネットワーク(京都市内の道路データ)を用いて想定されるオンデマンド配送に実用可能な速度が出ることを計算機実験により検証した。この成果は国内学会 DEIM 2020(第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム)および DBSJ の論文誌に採録された。オンデマンドバスについては、従来の固定路線バスと同等の効率を確保しながら、一般的オンデマンドバスよりも予約(定期)利用者を確実に受理できる手法を提案した。さらに、京都市交通局のバスの乗降数データや、バスの検索データを用いて提案手法の性能検証実験を行い、この主張を確かめた。この成果は国際学会 DEXA 2020 に採録された。

(2) 道路ネットワーク上におけるロケーションプライバシー保護技術については、京都大学の吉川教授、曹助教、高木氏らとともに、道路ネットワークに適用できる差分プライバシー尺度 Geo-Graph-Indistinguishability(GeoGI)と、その尺度の下で従来手法よりもプライバシー保護効率と協調型交通のような LBS 使用時の利便性のトレードオフが高水準で可能なメカニズムを提案した。項目3に記載した既存の平面上の位置データに対する差分プライバシー尺度(Andrés ら 2013 による Geo-Indistinguishability)は、一般の差分プライバシーの比較的単純な拡張であり、この尺度を良好に実現するためのメカニズムも、一般の差分プライバシーに用いられるラプラス変換をユークリッド平面に拡張したものであった。それに対して、我々の提案した GeoGI は、道路ネットワークを無向グラフと見なし、その上での最短経路に基づく差分プライバシー尺度になっており、GeoI の緩和であると共に道路ネットワークに特化したものとなっている。これによって、この尺度を良好に実現するためのメカニズムも、最短経路長や道路上の人口事前分布の利用が可能となり、従来のメカニズムよりもプライバシー保護効率と LBS 使用時の利便性両方を高水準に保つことができるようになった。実際の道路ネットワークデータ(東京、秋田、京都の道路網の一部)で従来のメカニズムとの比較検証実験を行い、この主張を確かめた。この成果は DEIM2019 (第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム)において、最優秀論文賞を受賞した他、国際会議 DBSec 2019, AsiaCCS 2020 および IEICE 英文論文誌に採録された。

(3) 複数プロバイダのデータ統合によるアライアンス構築に関しては、ライドシェアリングアライアンス等に適用できる、調停者モデル・プロバイダモデル・ユーザモデルと名付けた3種のアライアンスモデルを提案し、Dejima アーキテクチャ等のデータ統合アーキテクチャによる実装可能性と問題点をそれぞれのモデルについて議論した。その上で、分散データ統合およびトランザクション

の機能を実装した Dejima アーキテクチャを用いてデモシステムを実装した。図2、図3、図4はこのデモシステムの画面キャプチャである。このデモにはサービスプロバイダ3社(A, B, C)とサービスアライアンス2社(1, 2)が含まれており、図2はサービスプロバイダA, Bのデータを統合するアライアンス1にユーザ1が配車を要求し、迎車が完了した状態である。図3はサービスプロバイダB, Cのデータを統合するアライアンス2の、現在利用可能な車両である。例え

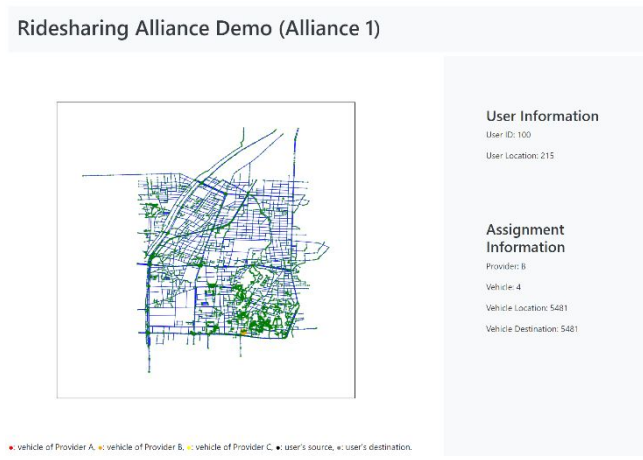


図2 デモシステム(アライアンス1)

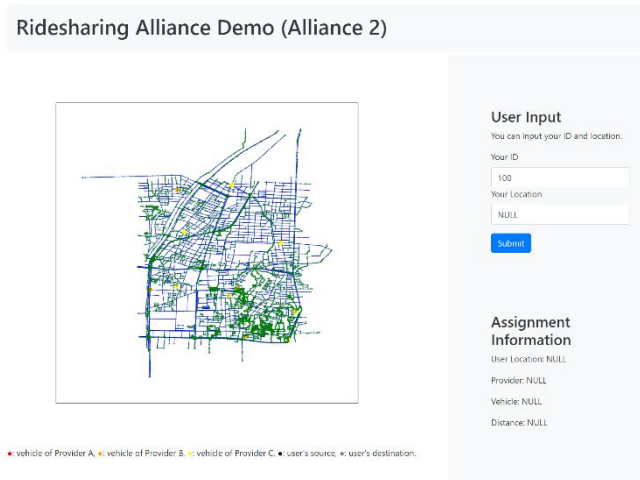


図 3 デモシステム(アライアンス 2)

Mediator1-db				
vid	location	dest	rid	provider
1	1127	1127	0	A
2	3586	3586	0	A
3	523	523	0	A
4	1128	1128	0	A
5	8366	8366	0	A
1	3950	3950	0	B
3	6410	6410	0	B
4	5481	5481	0	B
5	2389	2389	0	B

Mediator2-db				
provider	vid	location	dest	rid
B	1	3950	3950	0
B	2	1579	1579	0
B	4	5481	5481	0
B	6	7193	7193	0
C	1	3070	3070	0
C	3	479	479	0
C	4	2566	2566	0
C	6	1804	1804	0
C	7	3789	3789	0
C	9	711	711	0
C	10	2960	2960	0

ProviderA-db			
vid	location	dest	rid
1	1127	1127	0
2	3586	3586	0
3	523	523	0
4	1128	1128	0
5	8366	8366	0

ProviderB-db					
vid	location	dest	rid	alt1	alt2
1	3950	3950	0	True	True
2	1579	1579	0	False	True
3	6410	6410	0	True	False
4	5481	5481	0	True	True
5	2389	2389	0	True	False
6	7193	7193	0	False	True

ProviderC-db					
vid	carType	location	dest	rid	alt2
1	Sedan	3070	3070	0	True
2	Station Wagon	1079	1079	0	False
3	Sedan	479	479	0	True
4	Sedan	2566	2566	0	True
5	Station Wagon	2967	2967	0	False
6	Sedan	1804	1804	0	True
7	Sedan	3789	3789	0	True

図 4 デモシステム(DB)

ばプロバイダ B の車両データは両方のアライアンスに用いられているが、その車両の位置がプロバイダ B の DB(図 4 参照)上で更新されれば、両方のアライアンスそれぞれの DB(図 4, mediator-1,2 参照)でもその車両の情報が更新される。図 4 はプロバイダおよびアライアンスの DB の一部であり、これらの DB はそれぞれ別のホスト上に存在する分散 DB となっている。これらの分散 DB が DeJima アーキテクチャによって統合され、上述の更新反映に相当するトランザクションが可能になっている。このデモシステムを用いて、協調型交通に欠かせない、車両の検索・配車要求(予約)等のサービスに加えて、送迎と賃走における車両の位置情報更新に相当するデータ更新トランザクションが、複数のプロバイダのデータに対して想定通りに稼働することを確かめた。さらに、前述のアライアンスデータ統合モデルをさらに発展させ、階層型アライアンスモデルを提案し、既存アーキテクチャによる実現性および問題点を議論した。この成果は国際学会 SFDI 2019(2 件)、SFDI 2020、SFDI 2021(招待論文)に採録された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 藤井貴彬, 浅野泰仁	4. 巻 18-J
2. 論文標題 中継可能な協調型輸送の提案とアルゴリズムの効率化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 DBSJ Japanese Journal	6. 最初と最後の頁 Article 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shun Takagi, Yang Cao, Yasuhito Asano, Masatoshi Yoshikawa	4. 巻 106-D
2. 論文標題 Geo-Graph-Indistinguishability: Location Privacy on Road Networks with Differential Privacy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 877-894
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2022DAP0011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Yasuhito Asano, Yang Cao, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Yasunori Ishihara, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Makoto Onizuka, Yuya Sasaki, Toshiyuki Shimizu, Masato Takeichi, Chuan Xiao & Masatoshi Yoshikawa
2. 発表標題 Bidirectional Collaborative Frameworks for Decentralized Data Management
3. 学会等名 SFDI 2021: Software Foundations for Data Interoperability (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhito Asano, Tatsuro Ogawa, Shigeyuki Shichino, Satoshi Ueha, Koji Matsushima, Atsushi Ogura
2. 発表標題 Time-Series Analysis of Gene Correlation Networks based on Single-Cell Transcriptome Data.
3. 学会等名 BIBM 2021 Workshop: Computational methods and their applications on single cell multiomic data (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Shun Takagi, Yang Cao, Yasuhito Asano, Masatoshi Yoshikawa
2 . 発表標題 POSTER: Protecting Location Privacy on Road Networks
3 . 学会等名 ASIA CCS '20: The 15th ACM Asia Conference on Computer and Communications Security (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Yuuri Sakai, Yasuhito Asano, Masatoshi Yoshikawa
2 . 発表標題 Schedule for Detour-Type Demand Bus with Regular Usage Data
3 . 学会等名 Database and Expert Systems Applications - 31st International Conference, DEXA 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Yasuhito Asano, Zhenjiang Hu, Yasunori Ishihara, Makoto Onizuka, Masato Takeichi, Masatoshi Yoshikawa
2 . 発表標題 Data Integration Models and Architectures for Service Alliances
3 . 学会等名 Software Foundations for Data Interoperability and Large Scale Graph Data Analytics - 4th International Workshop, SFDI 2020held in Conjunction with VLDB 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Shun Takagi, Yang Cao, Yasuhito Asano, Masatoshi Yoshikawa
2 . 発表標題 Geo-Graph-Indistinguishability: Protecting Location Privacy for LBS over Road Networks
3 . 学会等名 33rd Annual IFIP WG 11.3 Conference on Data and Applications Security and Privacy (DBSec'19) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井貴彬, 浅野泰仁, 吉川正俊
2. 発表標題 市街地配送における中継可能な協調型輸送モデルの有用性の検証
3. 学会等名 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuhito Asano, Zhenjiang Hu, Yasunori Ishihara, Hiroyuki Kato, Makoto Onizuka and Masatoshi Yoshikawa
2. 発表標題 Controlling and Sharing Distributed Data for Implementing Service Alliance
3. 学会等名 The Second Workshop on Software Foundations for Data Interoperability (SFDI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木 駿, 曹 洋, 浅野 泰仁, 吉川 正俊
2. 発表標題 道路ネットワークにおける位置情報プライバシー
3. 学会等名 DEIM2019 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井 貴彬, 浅野 泰仁
2. 発表標題 中継可能な協調型輸送の提案とアルゴリズムの効率化
3. 学会等名 DEIM2019 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂井 佑理, 浅野 泰仁
2. 発表標題 スター型デマンド分布に対する寄り道型デマンドバスの活用手法の提案
3. 学会等名 DEIM2019 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------