

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：94301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00446

研究課題名（和文）走行環境認識性能の継続的な向上を実現する動画収集解析基盤の研究

研究課題名（英文）A study on video collection and analysis framework for continuous improvement of performance on driving environment recognition

研究代表者

玉井 森彦（Tamai, Morihiko）

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・適応コミュニケーション研究所・主任研究員

研究者番号：90523077

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、機械学習に基づき車両の走行環境の認識を行うシステムにおいて、走行環境に応じた継続的なモデルの更新を実現するため、多数の車両を用いた走行動画の収集を行うシステムを対象とする。このようなシステムを運用するためには、動画収集に伴うセルラ通信の回線の圧迫を回避することが求められる。本研究では、同一の走行環境下で複数の車両により撮影された動画データは重複であるとみなし、この重複をできるだけ少なくすることで、アップロードされるデータ総量を削減しつつ、多様な環境下で撮影された動画データを収集する方式を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機械学習に基づく走行環境認識を行うシステムにおいて、走行環境の多様性に応じてモデルを継続的に更新するためには、多数の車両から走行中に撮影されたビデオを収集しモデルの更新に役立てることが有効である。本研究では、複数の車両により同一の走行環境上で撮影されたビデオの重複を削減する方式を提案し、このような動画収集システムを運用する上で消費されるセルラ通信網への負荷の軽減を実現する。

研究成果の概要（英文）：In this research, we explore the system that collects driving videos from a large number of sensing vehicles, where collected videos are used to continuously update machine learning-based models for driving environments recognition. In order to deploy such a system, it is important to minimize the load on the cellular network as much as possible. We propose a method that detects duplicates of the videos recorded at the same driving environments by multiple sensing vehicles, to reduce the total upload data volume and to collect videos from the various driving environments.

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：車両センシング DTN

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

移動体通信技術の発達、モバイル端末の軽量化、高性能化などにより、スマートフォンをセンサとみなし、端末位置、加速度、騒音レベル、無線信号強度などの様々な情報を多数のスマートフォンを用いて収集するクラウドセンシングシステム (Crowdsensing System) に関する研究が盛んに行われている。本研究では特に、車両内にマウントされたスマートフォンのカメラを用いて、車両走行中の動画を撮影し、それをクラウド上に収集するクラウドセンシングシステムに着目する。近年の機械学習に基づく画像認識技術の性能向上により、動画内に撮影された様々な物体を高精度に認識することで、様々なアプリケーションへの活用が可能となってきた。典型的には、前方の車両や歩行者などの認識を行い、自動運転に役立てることが挙げられるが、それ以外にも例えば、景観の良い道路の認識を行い、目的地までの複数の経路候補の内、もっとも景観の良い経路を提示するナビゲーションシステムや、前方を走行する車両数を多数の車両から収集し結果を統合することで、道路ごとの交通量を把握するシステムへの活用などが考えられる。

車両走行環境の認識を実現するための機械学習のモデルを構築するという観点において、一つの方向としては、あらゆる走行環境において常に高い認識性能を達成するような汎用的な単一のモデルの構築を目指すことが考えられる。しかし、車両走行環境は非常に多様である。例えば都市部や地方部の違い、道路の本数、幅、制限速度の違い、晴れや雨などの天候の違いなどにより画像上の見え方は様々であり、これらの多様な環境の違いに対し汎用的な単一のモデルで対応することを目指すのは困難であると思われる。多様な走行環境の違いに対応するためには、環境ごとに個別にモデルを構築した上で、現在認識を行いたい環境に応じて、モデルの使い分けを行うことが有効であると考えられる。さらに、それぞれのモデルは一旦構築したら終わりではなく、実際にそれを使用して認識を行った場合の結果をフィードバックすることで、継続的な性能向上のために更新し続けることが有効であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、走行環境に応じた継続的なモデルの更新を実現するため、クラウドセンシングシステムにより、多数の車両を用いた走行動画の収集を行うことを想定する。また、走行動画は各車両内のスマートフォンにより撮影され、5G 等のセルラ通信網を用いてサーバ上にアップロードされることを想定する。このようなシステムを運用する際に最も懸念されることの一つは、動画収集によるセルラ通信の回線の圧迫である。これを軽減するためには、車両により撮影された動画を無差別にアップロードすることは望ましくなく、複数の車両により撮影された動画データの集合の中から、何らかの方法で選別した動画データのみを収集することが求められる。本研究では、同一の環境下で複数の車両により撮影された動画データは重複であるとみなし、この重複をできるだけ少なくすることで、アップロードされるデータ総量を削減しつつ、多様な環境下で撮影された動画データを収集する方式を提案する。

### 3. 研究の方法

様々な走行環境の違いに対する個別のモデルの構築を実現するため、走行環境全体を部分環境の集合に分割する。本研究では、各車両の現在位置を  $x$  座標と  $y$  座標の組で表現し、これに時間を加えた 3 次元空間を考え、この空間全体を同一サイズの直方体で等分割する。以下では、各部分空間をブロックと呼ぶ。各ブロックは、3 次元空間全体に対し、 $x$  軸上のある区間、 $y$  軸上のある区間、時間軸上のある区間の 3 つの区間の交わりを占めている部分空間である。ある車両  $v_i$  が時刻  $t$  に位置  $(x, y)$  で撮影を開始して取得した動画データを  $d_{x,y,t}^i$  とすると、 $(x, y, t) \in b_i$  となるブロック  $b_i$  が一つ決まる。なお、各動画データは数秒程度の長さのものを想定する。また、各車両は定期的 (例えば、10 秒に 1 回) に動画データの撮影を開始するものとする。提案方式では、できるだけ多くのブロックから動画データを収集することで、多様な走行環境からの動画データの収集を実現する。一方で、同一のブロックに属す動画データは重複であるとみなし、この重複をできるだけ少なくすることで、アップロードされる動画データの総量を削減する。

同一ブロックに属す動画データの重複数を減少させるため、本研究では、Delay Tolerant Network (DTN) を活用する。DTN はもともと過疎地などにおいて、各端末が常時ネットワークに接続された状態ではないような環境下でも、端末同士が偶然遭遇した機会を利用して端末間通信によりデータの送受信を行い、それを繰り返すことで、ある端末と別の端末間の通信を実現するものとして研究が進められた。DTN 上の通信では、ある端末から別の端末へデータを届けたいとして、そのデータが届くまでにかかる遅延を一定時間許容することで、そのデータの中継する端末間が偶然遭遇する機会を利用して通信を行う。本研究ではこれを応用し、各車両はセルラ通信により常にネットワークに接続された状態にあるものの、動画データが撮影された際にそれを即座にサーバへアップロードするのではなく、アップロードされるまでの間、一定時間の遅延を許容する。そして、その許容された時間内に、車両同士が偶然遭遇する機会を利用して端末間通信を行うことで、同一ブロックに属す動画データの重複を検出し、重複した

動画データについてはアップロードを抑制するようにする。

車両同士が偶然遭遇する機会を検出するため、各車両は一定周期でハローパケットを送信するものとする。ハローパケットを受信した車両は、ハローパケットの送信元との間で端末間通信による通信を行う。端末間通信を利用した同一ブロックに属す動画データの重複の検出と、重複した動画データのアップロードの抑制を次のように実現する：

- 各車両 $v_i$ は一つの動画データの撮影が完了すると、それをアップロード対象の動画データのリスト $U_i$ に加える。なお、動画データを $U_i$ に加える際に、リスト内に既に同一のブロックに属すデータが存在する場合には、どちらか一方のデータを選択してリストに残すものとする。これを以降、車両内重複削除と呼ぶ。各車両は一定周期（例えば、数百秒に1回）で、その時点で $U_i$ に属す各動画データをサーバへアップロードし、 $U_i$ を初期化する。
- 2つの車両 $v_i$ と $v_j$ が遭遇した際には、 $U_i$ に属す各データについて、 $U_i$ に残すか、 $U_j$ に移動するかを判断し、 $U_j$ に移動すると判断した場合には、端末間通信により $v_j$ に通知を行い、 $U_j$ に追加するとともに、 $U_i$ から削除を行う。なお、移動するか判断の方法については後に述べる。以上は $U_i$ に属す各データについて述べたが、 $U_j$ に属す各データも同様の操作を行う。さらに、動画データの移動を行った際に、そのデータと同一のブロックに属す動画データが移動先の車両のリスト内に既に存在する場合には、どちらか一方のデータを選択してリストに残すものとする。これを以降、車両間重複削除と呼ぶ。

以上の方法により、複数の車両で撮影された同一ブロックに属す動画データは、アップロードまでの許容遅延の時間内で、それらのデータが複数の車両間で端末間通信により移動する間に重複が検出され、その結果としてアップロード総量の削減が達成される。

2つの車両 $v_i$ と $v_j$ が遭遇した際、 $U_i$ に属す各データについて、 $U_i$ に残すか、 $U_j$ に移動するかを判断する方式について、以下のものを検討した。

- ランダムな数値の割り当てに基づく方式：この方式では、あらかじめ各車両にランダムな数値を割り当てておく。車両 $v_i$ と $v_j$ が遭遇した際には、 $v_i$ に割り当てられた数値と $v_j$ に割り当てられた数値とを比較し、 $v_i$ の値の方が大きい場合には、 $U_i$ に属す全ての動画データを $U_j$ に移動する。この方式では、動画データのリストが、車両全体の集合の中でより大きい数値の割り当てられた車両によって集中的に収集されるようにすることで、同一ブロックで撮影された動画データの重複の検出率を高める。
- 車両の現在位置に基づく方式： $U_i$ に属す各データ $d_i$ について、 $d_i$ が属すブロックの x-y 平面上の重心位置 $c(d_i)$ に対し、 $v_j$ の現在位置が $v_i$ の現在位置に比べ $c(d_i)$ により近い場合、 $d_i$ を $v_j$ に移動する。この方式では、各データ $d_i$ について、それが撮影された位置にできるだけ近い位置を現在走行する車両が保持するリストに $d_i$ を保持させることで、互いに $d_i$ をリストに持つ車両間の遭遇の可能性を高め、同一ブロックで撮影された動画データの重複の検出率を高める。
- 車両の目的地までの経路に基づく方式： $U_i$ に属す各データ $d_i$ について、 $d_i$ が属すブロックの x-y 平面上の重心位置 $c(d_i)$ に対し、 $v_i$ と $v_j$ のそれぞれについて、目的地までの経路上で $c(d_i)$ までの距離が最も小さくなる距離を比較し、その距離が $v_i$ に比べ $v_j$ の方がより小さい場合、 $d_i$ を $v_j$ に移動する。なお、各車両の目的地までの経路については、車両の日々の走行の履歴や、ナビゲーションシステムへの入力などから得られることを想定する。この方式では、上記の車両の現在位置に基づく方式と同じく、データ $d_i$ が撮影された位置にできるだけ近い位置を走行する車両が保持するリストに $d_i$ を保持させるように動作するが、このとき、車両の目的地までの経路上でデータ $d_i$ が撮影された位置により近づく車両が保持するリストに $d_i$ を保持させることで、互いに $d_i$ をリストに持つ車両間の遭遇の可能性を高める。

車両間の遭遇時において、あるデータ $d_i$ を $v_i$ から $v_j$ に移動させる際には、動画データ自体を移動させる必要はなく、 $d_i$ が属すブロックと、その動画データを保持する車両の識別子の情報のみを移動させれば十分である。ある車両のアップロードのタイミングにおいて、実際には自身が保持していない動画データがリスト内にある場合には、その動画データを保持する車両の識別子をサーバへ送信し、サーバはその識別子を基に、実際に動画データを保持している車両に動画データのアップロードを要求し取得することができる。

車両内重複削除、および車両間重複削除を実行する際には、同一ブロックで撮影された2つの動画データの内、どちらを削除するかを選択する必要がある。この選択において、以下で述べる追加の情報を考慮することで、車両間の公平性や動画データの重要度を考慮することが可能となる。

- 車両間の公平性の考慮：車両全体の集合の内、特定の車両のみが動画データのアップロードを行う状況は公平性の観点から望ましくない。そこで、各車両 $v_i$ において自身がこれまでにアップロードした動画データの個数 $n(v_i)$ をカウントしておく。 $v_i$ は、撮影が完了した動画データをアップロード対象の動画データのリスト $U_i$ に加える際、それに $n(v_i)$ も付与するようにする。車両間重複削除の際には、 $n(v_i)$ の値がより小さい方の動画データをリストに残すようにする。これにより、 $n(v_i)$ の値がより大きい車両ほど、動画データをアップロードする可能性が低くなり、車両間の公平性を向上することができる。
- 動画データの重要度の考慮：機械学習による継続的な環境認識性能の向上に向けては、構築されたモデルでの検出結果をフィードバックし、誤検出がある場合には、それをモデル

の更新に利用できることが重要である。従って、撮影された動画データ $d_i$ について、モデルの更新に寄与する可能性が高い動画データほど重要度 $s(d_i)$ が高いものとし、各車両 $v_i$ は、撮影が完了した動画データをアップロード対象の動画データのリスト $U_i$ に加える際、それに $s(d_i)$ も付与するようにする。車両内重複削除、または車両間重複削除の際には、 $s(d_i)$ の値がより大きい方の動画データをリストに残すようにする。これにより、重要度のより大きい動画データを優先的に収集することができる。モデルの更新に寄与する可能性が高い動画データとしては、例えば、動画データに含まれる連続したフレームの集合について、車両等のオブジェクトが検出されたフレームによって前後が挟まれる形で、検出が失敗したフレームが存在するものが考えられる。そのような動画データを入力として、検出が失敗したフレームに対し正しく検出が行われるようにモデルを更新することで、モデルの認識性能向上に寄与できる可能性がある。

#### 4. 研究成果

検討した方式において、同一ブロックで撮影された動画データの重複削減の効果を調べるため、シミュレータを用いた実験を行った。シミュレータでは、東京都内のある範囲(2 km 四方)の道路ネットワークを表すグラフ構造を入力とし、グラフの各頂点を出発地点、または目的地とし、出発地点と目的地を結ぶ最短の辺の列を走行経路として移動する点を車両(計 200 台)として、車両間の遭遇を模擬した。シミュレーション開始時、各車両は出発地点と目的地をランダムに選択し、移動を行う。移動速度は、 $[5.5, 11, 1]$  m/s の区間でランダムとした。目的地まで移動すると、次の目的地をランダムに選択し、さらに移動を行う。各車両は 10 秒に 1 回、一つの動画データの撮影を完了する。各ブロックは、x 軸、y 軸上の区間をそれぞれ 250 m とし、時間軸上の区間を 100 秒とした。

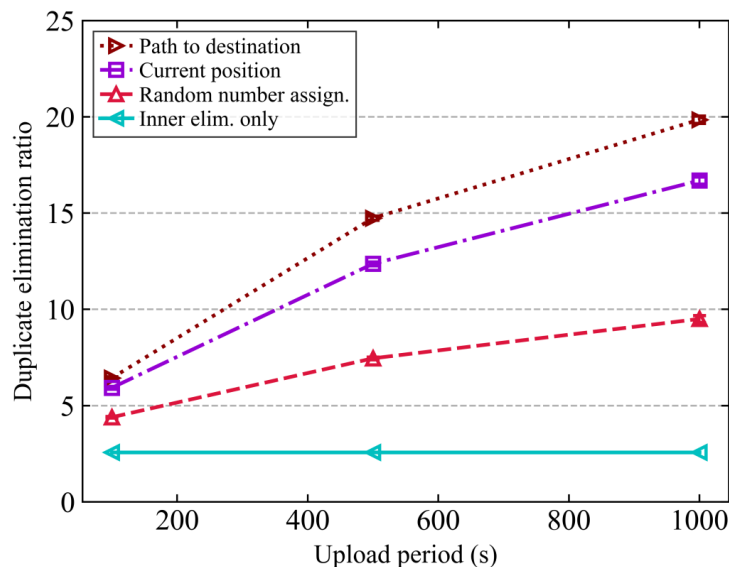


図 1 各方式における動画データの重複削減の効果

上記の各方式では動画データが撮影されてからアップロードまでに許容される遅延が大きいほど、より多くの車両同士の遭遇の機会が得られるため、重複削減の効果が大きくなる。そこで、アップロードまでの許容遅延を 100 秒、500 秒、1000 秒と変化させた場合の、各方式による重複削減の性能をシミュレーションにより求めた。結果を図 1 に示す。なお図の縦軸は、あるブロックにおける重複削減前の動画データの個数を $n_1$ 、重複削減後の動画データの個数を $n_2$ とすると、 $n_1/n_2$ で算出される値についての、全てのブロックに対する平均値であり、値が大きいほど重複削減の性能が高いことを意味する。なお、図では参考のため、車両間重複削減を行わず、車両内重複削減のみを行った場合の結果 (Inner elim. only) も示している。本結果より、車両間重複削減を行う各方式においてアップロードまでの許容遅延時間が長くなるほど重複削減の性能が向上することが分かる。また、許容遅延時間が 1000 秒の場合、車両内重複削減のみを行う場合に比べ、ランダムな数値割り当てに基づく方式で約 3.7 倍、車両の現在位置に基づく方式で約 6.5 倍、車両の目的地までの経路に基づく方式で約 7.7 倍の重複削減性能を達成可能なことが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----