

自転車の回避行動に関するデータ集積のためのエッジコンピューティングシステムの構築

八木 雅大¹・高橋 翔²・萩原 亨³

¹学生会員 北海道大学 大学院工学院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail:masahiro@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail:stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail:hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

現在, CCTVや車載カメラにより取得された多くの道路映像が, 道路管理者の元に集積されている。しかしながら, その多くは取得された画像や映像がそのまま集積されており, ネットワークを介した伝送や保存のための容量が膨大となっている。また, 変状や障害物が存在する道路状況では, 自転車は通常の走行が困難となり, それらを回避する走行を強いられる。したがって, このような回避行動を検出可能とすることで, 道路管理者による適切な道路状況の把握につながる。そこで, 本稿では, 自転車の回避行動に関するデータをエッジコンピューティングによって, データ量を削減しながら集積するシステムを提案する。このシステムにより, より適切かつ効率的な道路管理に向けた高度化が期待できる。

Key Words : Edge computing, Data accumulation, Road management, Bicycle, Avoidance behavior

1. はじめに

近年, インターネットや各種センサ技術の発展により, IoT (Internet of Things) が急速に普及している¹。この傾向は, 第五世代無線通信 (5G) の進展により, より一層加速すると考えられる。これはすなわち, 画像や動画などの大容量データが, ネットワークを介して多数やりとりされるようになると予想されるものである。しかしながら, ネットワークが許容できるデータ量・帯域には限りがあり, IoT機器の増加に伴ってデータ転送量が増加した場合には, 帯域があふれる可能性がある²。これは, 5Gの環境においても同様である。このような課題の解決方法としては, データ生成源付近にエッジサーバを設置する仕組みが有効であると考えられる。具体的には, データの生成源に近い場所でそのデータを分析し, 冗長なデータを除外することで, データの転送量を削減可能とする仕組みである。一般的に, このようなデータ処理基盤をエッジコンピューティングと呼び, 近年, 様々な分野への導入が検討されている³。

主要な社会インフラの一つである道路の管理業務においても, IoTによる取り組みが行われている。具体的

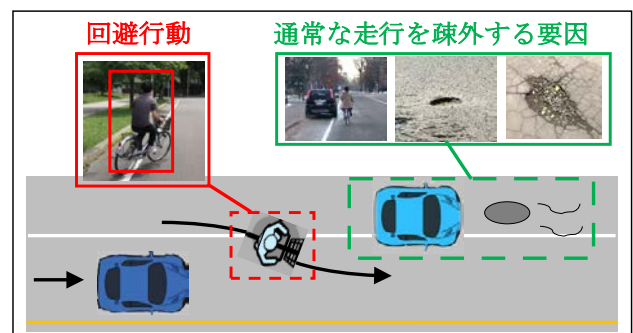


図-1 自転車が回避行動を強いられる道路状況の例。

には, CCTVや車載カメラによって取得された道路を撮像した映像 (以下, 道路映像) の多くが, 通信ネットワークを経由して, 道路管理者の元へ集積されている。これにより, 効果的・効率的な道路状況の把握を実現している。しかしながら, それらの多くは道路映像を取得された画のままに集積されているため, データの転送・保存の容量が膨大であり, 道路映像の分析には多大な労力を要する。したがって, 道路映像を自動で分析しながらデータ量を削減し, 道路状況に関するデータの集積および可視化を可能とするシステムが求められる。さらには, このようなシステムが利用可

能となることで、道路管理のさらなる高度化が期待できる。このため、道路映像から道路状況を把握可能とすることを目的とした研究³⁴⁾が、広く行われており、道路の変状や障害物を検出する手法の構築が進んでいる。しかしながら、道路の変状や障害物は遮蔽される場合がある。さらに、それらは多様であり、そのすべてを精度良く検出可能とすることは困難である。

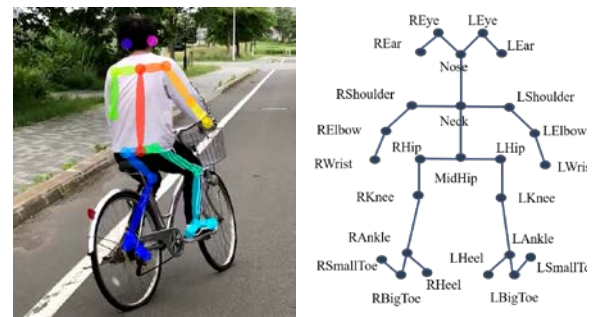
そこで、本研究では、主要な車両の一つである自転車に注目し、道路の変状や障害物そのものではなく、それらが存在することで自転車が通常に走行できなくなる様子の分析を試みている³⁵⁾。自転車は、図-1に示すように、ポットホールや路上駐車車両などが存在する道路状況ではそれらを回避する走行（以下、回避行動）を強いられる。したがって、そのような道路状況にあることを把握可能とすることは、より適切な道路管理につながる。

本稿では、文献⁶⁾に提案したライダーや自転車の動きに関する複数の特徴量に基づいて、自転車の回避行動に関するデータの集積を可能とするエッジコンピューティングのシステムを構築する。具体的に、本システムでは、回避行動の検出結果と特徴量および低容量の映像を集積する機能を有する。また、本システムは、バッテリーで駆動が可能なマイクロコンピュータ、およびUSB接続型の外部演算装置により構成される。これにより、様々なインフラ設備や車両などへの搭載が可能となる。本システムにおける自転車の回避行動の検出は、ライダーおよび自転車の動きに関する複数の特徴量、それぞれを入力とする識別器によって実現する。このシステムを用いることで、道路状況に関するデータの高効率な集積、さらには、道路管理のさらなる高度化が期待できる。

以降、本稿では、2. で映像から自転車の回避行動を検出するアルゴリズムを説明する。次に、3. でマイクロコンピュータに実装するデータ集積システムについて説明し、4. で、集積するデータについて説明する。さらに、5. では、アルゴリズムの有効性およびシステムの実現可能性を実験により確認する。最後に、6. で本稿のまとめを行う。

2. 道路映像からの自転車の回避行動の検出

本章では、道路映像から自転車の回避行動を検出するアルゴリズムについて説明する。道路の変状や障害物が存在する場合、自転車が通常に走行することが出来ずにそれらを回避する行動が強いられる。そこで、本アルゴリズムでは、自転車の回避行動をまっすぐでない走行と考え、自転車の走行がまっすぐか否かを映像から識別し、回避行動を検出する。また、本アルゴ



(a) OpenPoseによるデータ取得

(b) 関節の種類

図-2 Open Poseによる骨格データの取得。

表-1 ライダーの関節位置に基づく特徴量

ライダーの関節位置に基づく特徴の種類	次元数
相対座標の平均値	50
隣接フレーム間での相対座標の差分	100
関節角度の平均値	10
計	160

リズムは3つのステップにより構成され、3フレームからなるビデオクリップを用いる。具体的には、(1) まずライダーの骨格データを取得する。次に、(2) 得られたデータから、ライダーおよび自転車の動きに関する特徴量を求める。このとき、本アルゴリズムでは、ライダーの関節位置の動きを求めるだけではなく、骨格データに基づいて自転車とライダーの部分画像を取得し、オプティカルフローによる動きに関する特徴量の算出を可能とする。最後に、(3) 求めた特徴量それぞれを入力とする複数のSupport Vector Machine (SVM)⁷⁾を構築し、識別結果に対する確信度を用いて、回避行動を検出する。本章の以降では、それぞれのステップについて、詳述する。

(1) Step1: ライダーの骨格データの取得

OpenPose⁸⁾を用いて、ライダーの骨格データを取得する。OpenPoseは、画像に撮像された人間の関節の位置座標を取得可能であり、畳み込みニューラルネットワークによって構築されている。そこで、本アルゴリズムでは、OpenPoseを用いて道路映像の各フレームから、図-2に示すライダーの関節25点の位置座標を取得する。

(2) Step2: 特徴量の算出

本アルゴリズムでは、OpenPoseによって取得したライダーの骨格データからライダーおよび自転車の動きに関する特徴量を算出する。具体的には、骨格データからライダーの関節位置に基づく特徴量を算出するとともに、骨格データに基づいて取得する部分画像におけるオプティカルフローに基づく特徴量を算出する。

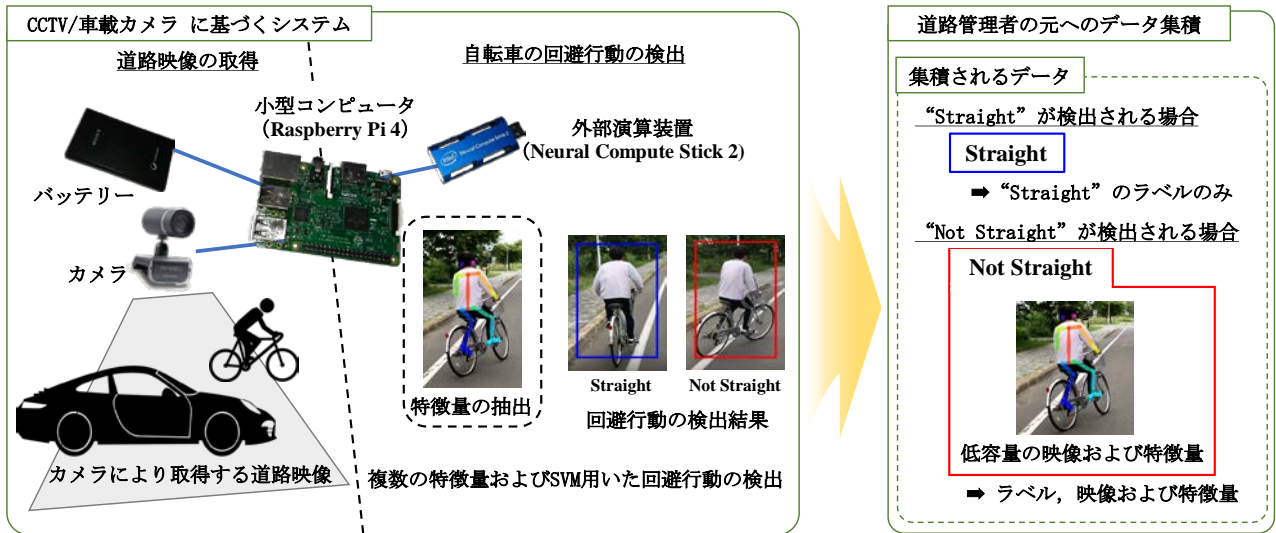


図-3 回避行動のデータ集積システムの概要.

a) ライダーの関節位置に基づく特徴量

本アルゴリズムでは、まず、OpenPose によって取得したライダーの関節の位置座標から、腰の座標を起点とした関節それぞれの相対座標を得る。最後に、取得した相対座標をもとに、表-1に示す特徴量を算出する。以上により、ライダーの関節位置の動きに関する160次元からなる特徴量 x^{pose} を取得する。

b) オプティカルフローに基づく特徴量

本アルゴリズムでは、OpenPose によって求めるライダーの位置より、その近傍の画素からなる部分画像を取得し、これに対するオプティカルフローに基づいた特徴量を算出する。具体的には、Shi-Tomasi のコーナー検出法⁹⁾を用いて、ライダーの上半身および下半身周辺における特徴点をそれぞれ 10 点ずつ検出し、それらの特徴点に対して、Lucas-Canade 法¹⁰⁾を適用することで、オプティカルフローを算出する。最後に、算出したオプティカルフローを、上半身および下半身周辺それぞれで、6方向に量子化し、そのヒストグラムを特徴量として求める。以上により、オプティカルフローに基づく、24次元からなる特徴量 $x^{optical}$ を取得する。

(3) Step3: 識別結果の確信度を用いた回避行動の検出

本アルゴリズムでは、2種類のSVMを前節までに求める特徴量に基づいて構築し、それらの識別結果に対する確信度を用いて、回避行動を検出する。具体的には、構築したそれぞれのSVMを用いて、自転車の走行がまっすぐか否かを識別し、以下の式によって最終的な、検出結果 y を得る。

$$y = \arg \max_{z \in \{st, nst\}} p_z^i, \quad (1)$$

表-2 Raspberry Pi 4 の主な仕様.

項目	内容
使用 SoC	Broadcom BCM2711
CPU (型名)	ARM Cortex A72
コア数	4
クロック [Hz]	1.5G
GPU	Broadcom VideoCore IV 500MHz
RAM [Bite]	1/2/4G
最大消費電力	1250mA, 6.25W
本体質量	46g
外形寸法	88 × 58 × 19.5 mm

ここで、 $p_z^i (i \in \{pose, optical\}, z \in \{st, nst\})$ は、特徴量 x^i に基づく識別結果に対する確信度を表し、 st は“まっすぐな走行”， nst は“まっすぐでない走行”を意味する。

以上により、道路映像からの自転車の回避行動の検出が実現する。

3. 回避行動のデータ集積システム

本章では、回避行動のデータ集積システムについて説明する。本システムは、バッテリーでの駆動が可能なマイクロコンピュータ、カメラ、およびUSB接続型の外部演算装置によって構成する。本システムは、小型かつバッテリー駆動が可能であるため、様々なインフラ設備や車両への搭載が可能となる。また、本システムでは、2で説明した道路映像からの自転車の回避行動を検出するアルゴリズムを演算可能なプログラムを実装する。図-3に構築するシステムの概要を示す。本

システムでは、マイクロコンピュータとして、Raspberry Pi 4¹を用いる。表-2に、Raspberry Pi 4の仕様を示す。また、本システムでは、Full HD (1920×1080)での撮影が可能なカメラを搭載する。本システムに実装するアルゴリズムに含まれるOpenPoseは、深層学習による骨格データの取得手法であり、比較的大きな計算コストを必要とする。したがって、本システムでは、外部演算装置によってその演算を可能とする。具体的には、USB接続型の外部演算装置であるIntel Neural Compute Stick 2²を用いる。Intel Neural Compute Stick 2は、コンピュータビジョンや深層学習の各種関数を提供するSoftware Development Kitとして、OpenVINOが利用可能である。本システムでは、Intel Neural Compute Stick 2とOpenVINOを用いることで、マイクロコンピュータ上での深層学習の演算を実現する。また、本システムでは、USB接続型のSSDおよびネットワークを介したデータ伝送によるデータ集積を可能としている。特にネットワークを介したデータ伝送の機能については、簡便に構築可能なApacheサーバとWebDAVによって実現している。

4. 集積されるデータ

本章では、本システムにより集積されるデータについて説明する。図-3の右側に、その例を示す。本システムでは、自転車の回避行動の検出結果を常に集積するとともに、回避行動が検出されたビデオクリップの特徴量、および低容量の映像を集積する。ここで、本システムが算出する特徴量の次元数は、2.で説明したとおり、わずか184 (= 160 + 24)次元である。また、集積する映像の解像度や画像サイズについては、適応的に決定することができる。したがって、道路映像を撮影された画のままに集積する場合に比べ、より小さな容量でのデータ伝送、および道路映像の集積が可能となる。また、本システムによって自転車の回避行動に関するデータが自動で集積可能となるため、回避行動が発生しやすい道路状況の迅速な把握が可能となる。したがって、より安全な道路交通の実現に向けた道路管理の高度化が期待できる。

5. 実験

本章では、実験により、アルゴリズムの有効性およびシステムの実現可能性を確認する。まず、アルゴリズムの有効性を確認するための実験を行う。なお、本稿で構築するデータ集積システムは、映像をファイル

表-3 実験で用いるデータセットの内訳。

ラベル	映像数	ビデオクリップ数
st	67	32,318
nst	72	38,075

表-4 各手法における再現率、適合率およびF値

	st			nst		
	Ours	CM1	CM2	Ours	CM1	CM2
再現率	0.898	0.887	0.689	0.875	0.870	0.689
適合率	0.874	0.868	0.655	0.909	0.900	0.724
F値	0.884	0.876	0.670	0.890	0.882	0.705

で入力する場合においても、回避行動の検出アルゴリズムを実行可能としており、この機能によって本実験を行う。本実験では、自転車が走行している139本の映像からなるデータセットを用いた。道路映像の画像サイズは1920×1080であり、フレームレートは30fpsである。また、これらの映像は、自転車が後方から撮像されているものであり、“まっすぐな走行”および“まっすぐでない走行”の2種類である。本実験では、各ビデオクリップを2種類のラベル z ($z \in \{st, nst\}$)に分類する。本実験で用いるデータセットの内訳を表-3に示す。本実験では、アルゴリズムの有効性を確認するために、次の2つの比較手法を用いる。具体的に、比較手法1は、ライダーの関節位置に基づく特徴量のみを用いた手法であり、比較手法2は、オプティカルフローに基づく特徴量のみを用いた手法である。本実験は5分割交差検定によって行われる。また、SVMにはガウシアンカーネルを用い、各種パラメータはグリッドサーチ³⁾により決定する。評価指標として、以下に示す、ラベル z における再現率 $Recall_z$ 、適合率 $Precision_z$ およびF値 $F - measure_z$ を用いる。

$$Recall_z = \frac{\text{ラベル}z\text{に正しく分類されたビデオクリップの総数}}{\text{ラベル}z\text{であるビデオクリップの総数}}, \quad (2)$$

$$Precision_z = \frac{\text{ラベル}z\text{に正しく分類されたビデオクリップの総数}}{\text{ラベル}z\text{に分類されたビデオクリップの総数}}, \quad (3)$$

$$F - measure_z = \frac{2 \times Recall_z \times Precision_z}{Recall_z + Precision_z}. \quad (4)$$

実験結果を表-4および図-4に示す。ここで、CMは比較手法を表す。表-4より、全ての評価指標において、本アルゴリズムが比較手法の精度を上回ることが確認で

¹ <https://www.raspberrypi.org/>

² <https://software.intel.com/en-us/neural-compute-stick/>

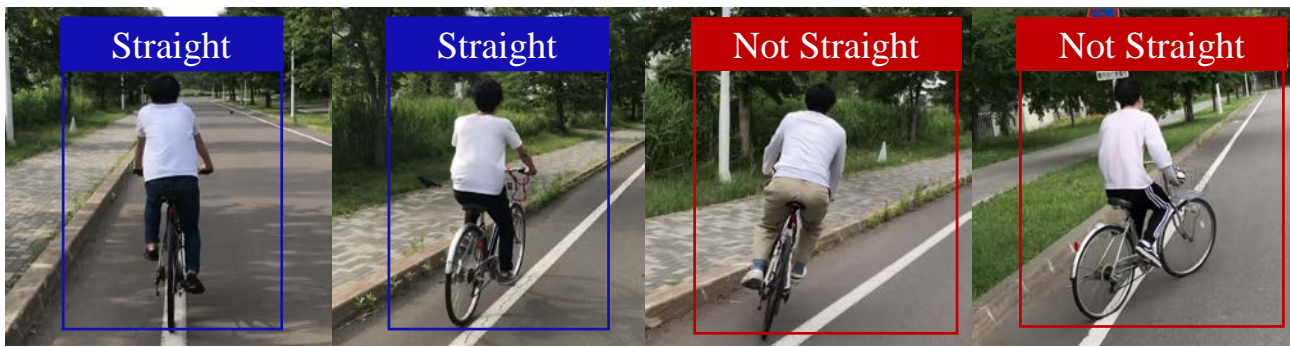


図4 実験結果と重畳表示した映像の例.

きる。以上より、道路映像からの自転車の回避行動の検出において、本アルゴリズムを用いることの有効性が確認された。

次に、システムの実現可能性を確認するために、回避行動を検出するアルゴリズムを実装したデータ集積システムを試作した。具体的には、図-5に示すように、小型カメラ、Raspberry Pi 4 (RAM=4GB) および Intel Neural Compute Stick 2を用いた。実験では、実際にカメラにより映像を取得し、アルゴリズムに基づく回避行動の検出、およびその検出結果に基づくデータ集積が可能であることを確認した。これにより、本システムの実現可能性が確認された。本システムを用いることで、例えば、回避行動が1時間に30秒観測される場合には、1/120以上のデータ量を削減したデータ集積が可能となることが期待できる。

6. まとめ

本稿では、自転車の回避行動に関するデータの集積を可能とするエッジコンピューティングのシステムを構築した。具体的には、本システムは、バッテリーで駆動が可能なマイクロコンピュータ、カメラ、および外部演算装置から構成された。また、複数の特徴量およびSVMに基づくアルゴリズムにより、回避行動を検出し、その検出結果に基づいたデータ集積を可能とした。さらに、実験により、アルゴリズムの有効性およびシステムの実現可能性を確認した。本システムにより、道路状況に関するデータの高効率な集積、さらには、道路管理のさらなる高度化が期待できる。

謝辞：本研究の一部は、JSPS 科研費JP17K00148およびJP19H02254の助成を受けて行われた。

参考文献

- 1) 総務省：平成 30 年度版情報通信白書，
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h-30/index.html> (参照 2020-03-04)。
- 2) 千川直人：エッジコンピューティング，映像情報メ

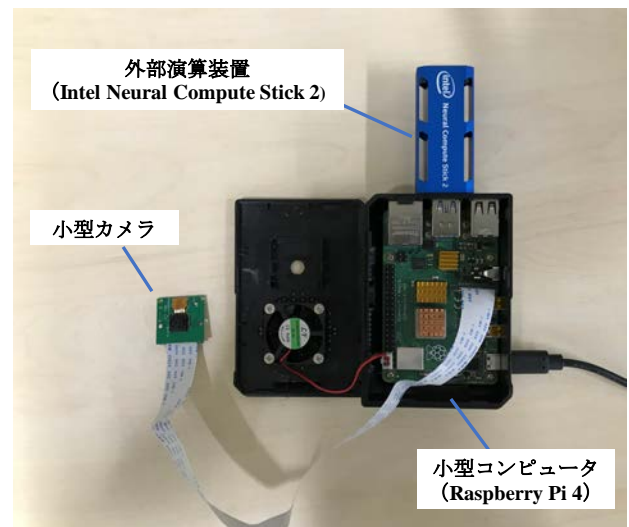


図5 データ集積システムの試作機.

ディア学会誌， vol. 73, no. 4, pp. 707-709, 2019.

- 3) S. Varadharajan, S. Jose, K. Sharma, L. Wander and C. Mertz : Vision for road inspection, Proc. In IEEE Winter Conference on Applications of Computer vision, pp. 115-122, 2014.
- 4) T. Hagiwara, Y. Ota, Y. Kaneda, Y. Nagata, K. Araki : A Method of Processing CCTV Digital Images for Poor Visibility Identification, Transportation Research Records: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1973, no. 1, pp. 95-104, 2006.
- 5) M. Yagi, S. Takahashi and T. Hagiwara : An Evaluation Method of Obstacle Avoidance Behavior on Bicycle Trip Using Rider's Gesture, Proc. In the IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 522-523, 2019.
- 6) 八木雅大, 高橋翔, 萩原亨：異なる複数の特徴量を用いた自転車の回避行動の検出に関する検討，令和元年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会，pp. 165-166, 2019.
- 7) C. Cortes and V. Vapnik : Support-vector networks, Machine learning, Vol. 20, no. 3, pp. 273-297, 1995.
- 8) Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei and Y. Sheikh : Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields, Proc. In the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 7291-7299, 2017.
- 9) J. Shi and C. Tomasi : Good Features to Track, Proc. In the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593-600, 1994.
- 10) B. D. Lucas and T. Kanade : An Iterative Image

Registration Technique with an Application to Stereo Vision, Proc. In the International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 674-679, 1981.

partment of Computer Science, pp. 1-16, 2003.

- 11) C.-W. Hsu, C.-C. Chang and C.-J. Lin : A practical guide to support vector classification, Technical Report, De-

(?)

EDGE COMPUTING SYSTEM FOR ACCUMULATING DATA OF AVOIDANCE BEHAVIOR ON BICYCLE TRIPS

Masahiro YAGI, Sho TAKAHASHI and Toru HAGIWARA

Many road videos obtained by CCTV and dashcams are accumulated in organization of road administrators. However, since these data are simply accumulated as original video files, the data transmission via networks is very high cost and huge sized storage is required. Also, in the road situations where some obstacles such as damaged parts of roads and any unsafe objects from point of view on transportation exist, bicycles cannot travel normally and are forced to avoid them. Therefore, by realizing detection of the avoidance behavior on bicycle trips, more effective road management by road administrators can be expected. In this paper, we propose an edge computing system for accumulating the data of the avoidance behavior on bicycle trips while reducing the data size. This edge computing system contributes to realizing more effective and efficient road management.