

マイクを用いた車両検出システムにおける環境ノイズ削減手法の提案

李 承諭[†] 石田 繁巳[†] 久保 一雄[†] 内野 雅人[†] 田頭 茂明^{††}
福田 晃[†]

[†]九州大学大学院システム情報科学研究院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

^{††}関西大学総合情報学部 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

あらまし ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) において、道路を走行する車両を検出することは重要なタスクの1つである。交通量の少ない道路に対応した車両検出の実現を目指して、筆者らはマイクロフォンを用いた車両検出システムの開発を進めている。本システムは音声マイクロフォンに到達する時間差を相互相関を用いて算出することで低コストかつ高精度で車両を検出できることが確認されているが、雨などの環境ノイズの影響によって検出精度が低下するという問題がある。本稿では環境ノイズの影響を低減する手法を提案する。車両がない時の音声をノイズとして、その周波数成分の絶対値を原音声信号に加えることによりノイズが相互相関に与える影響を削減する。九州大学伊都キャンパス内の片側1車線道路で提案手法の実証評価を行い、車両検出システムの未検出が減少し、雨及び強雨環境下で検出精度がそれぞれ4ポイント及び13ポイント向上することを確認した。

キーワード 車両検出, 音響センシング, ノイズ削減

Proposal of Noise Suppression Method for Acoustic Vehicle Detector

Chengyu LI[†], Shigemi ISHIDA[†], Kazuo KUBO[†], Masato UCHINO[†], Shigeaki TAGASHIRA^{††},
and Akira FUKUDA[†]

[†] Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

^{††} Faculty of Informatics, Kansai University

Abstract In the ITS (Intelligent Transport Systems), detecting vehicles running on a road is one of the most important tasks. To detect vehicles running on a road with low traffic volume, we are developing a vehicle detector using stereo microphones. By calculating the time difference of arrival of vehicle sound signals on two microphones with cross-correlation, this system successfully detects vehicles with high accuracy at a low cost. However the accuracy of the detector is affected by environmental noise such as rain noise. This paper presents a de-noising method which can be used on the acoustic vehicle detector. We capture sound signals when no vehicle is passing and add the absolute values of frequency components of the sound signals to reduce the influence of noise in cross-correlation. To demonstrate the effectiveness of the proposed method, we conducted experimental evaluation in Kyushu University campus. The experimental evaluation demonstrated that the proposed method reduced the number of undetected vehicles and improved vehicle detection accuracy in raining and heavy raining conditions by 4 and 13 points, respectively.

Key words vehicle detection, acoustic sensing, noise reduction

1. はじめに

道路交通の発展とともに、ITS (Intelligent Transport Systems, 高度道路交通システム) の重要性が高まっている。ITSの主な目的は、情報技術を用いて道路交通の安全性・信頼性・効率などを向上させることである。ITSにおいて、道路の交通

状況をリアルタイムに取得することが必要となるため、道路を走行する車両を検出することは最も重要なタスクの1つである。

低コストなりリアルタイム車両検出の実現を目指して、筆者らはマイクロフォンを用いた車両検出システムの開発を進めている [1]。このシステムは2台のマイクロフォンを道路横に設置し、車両が発する音をマイクロフォンが受信した時刻の差を示

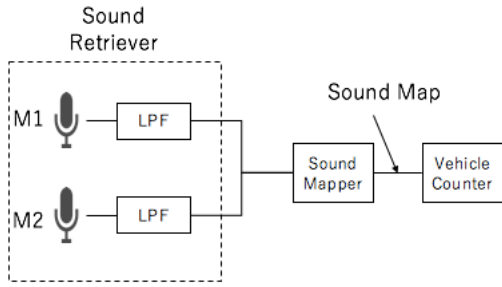


図 1: システム構成

す「サウンドマップ」を解析することで通過車両を検出する。

本システムはノイズの少ない通常環境において高精度での車両の検出が可能であることが確認されているが、降雨時には、周辺環境ノイズの影響によりサウンドマップ上に多くのノイズが生じ、誤検出が起こるといった問題点がある。

ノイズ環境下での車両検出の実現に向けて、本稿ではノイズの周波数成分の絶対値を加えることで環境ノイズの影響を軽減する手法を提案する。本手法は車両がない時の音声をノイズとして保存し、保存したノイズの周波数成分の絶対値を原音声信号に加えてからサウンドマップを描くことでノイズをサウンドマップの中央部分に集中させる。雨の強度の変化などに伴ってノイズの周波数成分が変化することが予想されるため、車両が検出されない間は保存しているノイズデータを更新する。

提案するノイズ削減手法の有効性を検証するため、九州大学伊都キャンパス内片側1車線、合計2車線の道路において実証評価を行った。本システムを用いることで既存のシステムと比べて、雨及び強雨環境において車両検出システムのF値がそれぞれ4ポイントと13ポイント上昇したことを確認した。

本稿の構成は以下の通りである。2.ではマイクロフォンを用いた車両検出システムとノイズによる影響について述べる。3.ではノイズ軽減型車両検出システムを示す。4.では、実証評価によってノイズ軽減型車両検出システムの有効性を検証する。5.では環境ノイズ削減に関する関連研究について概観する。最後に6.でまとめとする。

2. マイクロフォンを用いた車両検出

2.1 車両検出システム概要

図1に路側設置マイクロフォンを用いた車両検出システムの構成を示す。本車両検出システムは、走行音取得ブロック (Sound Retriever)、サウンドマップ描画ブロック (Sound Mapper)、車両検出ブロック (Vehicle Counter) の3つのブロックから構成される。走行音取得ブロックは2台のマイクロフォンとLPF(Low-pass Filter)を接続したものである。2台のマイクロフォンを道路横の歩道上に設置し、道路を通過する車両の走行音を取得する。車両が走行する時にタイヤから発せられる音の主成分は2.0kHz以下であるため[2,3]、カットオフ周波数2.5kHzのLPFを適用した上で車両の走行音を取得する。サウンドマップ描画ブロックは2台のマイクロフォンが走行音を受信した時刻の差を求め、サウンドマップを描画する。最後に、

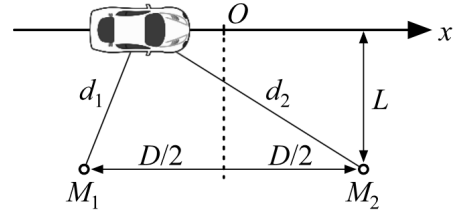


図 2: マイクロフォンの設置

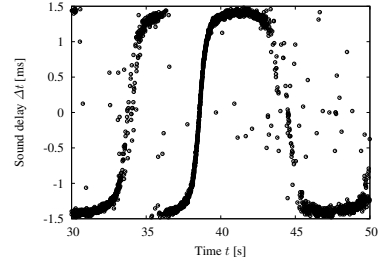


図 3: サウンドマップの例

サウンドマップを解析する検出アルゴリズムにより車両検出ブロックでマイクロフォンの前を通過した車両を検出する。

図2にマイクロフォンの設置状態を示す。本システムでは、2台のマイクロフォンを道路と並行に設置する。車両がマイクロフォンの前を通過する時、2台のマイクロフォンにおける走行音の到達時間差 Δt は、音速を c とし、車両の位置を x として

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{d_1 - d_2}{c} \\ &= \frac{1}{c} \left\{ \sqrt{\left(x + \frac{D}{2}\right)^2 + L^2} - \sqrt{\left(x - \frac{D}{2}\right)^2 + L^2} \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

と求まる。

サウンドマップは、走行音の到達時間差が時間とともに変化する様子を描いた図である。式(1)より、 x の値が車両の通過により増加または減少することによってサウンドマップ上にS字カーブが描かれることが分かる。図3はサウンドマップの一例である。図3のようなS字カーブをロバスト推定手法RANSACを用いて検出することで車両の通過を検出する。

2.2 ノイズの影響

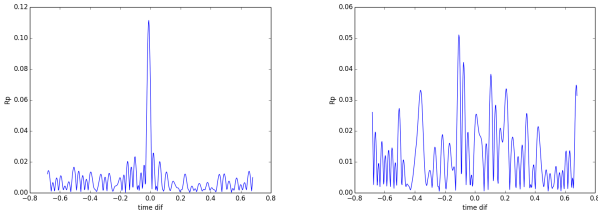
サウンドマップが示した音の到達時間差は相互相関関数によって求められる。2台のマイクロフォンが受信した音響信号を $s_1(t)$, $s_2(t)$ とすると、相互相関関数 $R(t)$ は以下で定義される。

$$R_{s_1 s_2}(t) = \int s_1(\tau) s_2(t + \tau) d\tau \quad (2)$$

本システムでは、PHAT(The Phase Transform)を用いて、GCC値

$$R_{s_1 s_2}^P(t) = \int \frac{G_{s_1 s_2}(f)}{|G_{s_1 s_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df \quad (3)$$

のピークを探すことによって音響信号の到達時間差を求める[4]。ここで



(a) ノイズの少ない環境 (b) 降雨環境

図 4: ノイズが少ない時と雨が降る時の GCC 値

$$G_{s_1 s_2}(f) = \overline{S_1(f)S_2(f)} \quad (4)$$

である。

2 台のマイクロフォンが同じ音響信号を時間差 Δt で受信したものとすると $s_1(t) = \alpha s_2(t + \Delta t)$ である。この時、

$$G_{s_1 s_2}(f) = \alpha G_{s_1 s_1}(f) e^{-j2\pi f \Delta t} df \quad (5)$$

となるため、GCC 値は

$$R_{s_1 s_2}^P(t) = \delta(t - \Delta t) \quad (6)$$

である。 $R_{s_1 s_2}^P(t)$ のピークを探すことで、到達時間差 Δt を求めることができる。

実際の検出環境においては車両走行音の他に雨などの環境ノイズが存在する。車両走行音を $v_1(t), v_2(t)$ 、環境ノイズを $n_1(t), n_2(t)$ とすると、マイクロフォンが受信する音響信号は

$$s_1(t) = v_1(t) + n_1(t) \quad (7a)$$

$$s_2(t) = v_2(t) + n_2(t) = \alpha v_1(t - \Delta t) + n_2(t) \quad (7b)$$

である。この時、 $V(t), N(t)$ をそれぞれ

$$V(t) = \int \frac{\alpha G_{v_1 v_1}(f)}{|\alpha G_{v_1 v_1}(f) e^{-j2\pi f \Delta t} + G_{n_1 n_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df \quad (8a)$$

$$N(t) = \int \frac{G_{n_1 n_2}(f)}{|\alpha G_{v_1 v_1}(f) e^{-j2\pi f \Delta t} + G_{n_1 n_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df \quad (8b)$$

とすると、GCC 値は

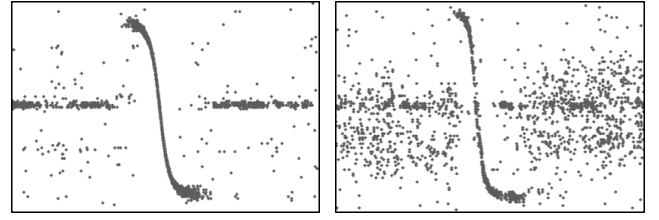
$$R_{s_1 s_2}^P(t) = V(t) \otimes \delta(t - \Delta t) + N(t) \quad (9)$$

となる。ここで、「 \otimes 」は畳み込み演算である。図 4 にノイズの少ない時と雨が降る時の GCC 値 $R_{s_1 s_2}^P(t)$ を示す。ノイズが少ない場合、 $R_{s_1 s_2}^P(t)$ はデルタ関数に近いが、雨が降る場合、雨ノイズの影響 $G_{n_1 n_2}(f)$ によって、 $R_{s_1 s_2}^P(t)$ はデルタ関数ではなく、 $t = \Delta t$ 以外の位置に最大値が検出される可能性が高くなる。そのため、サウンドマップにノイズが増え、車両検出システムの検出精度が低下する。図 5 に雨の影響によるサウンドマップの変化を示す。図 5 から雨影響によりサウンドマップ上のノイズが増加したことが分かる。

3. ノイズ削減手法

3.1 ノイズ軽減型車両検出システム

ノイズ軽減型車両検出システムでは、図 1 で示した車両検



(a) ノイズの少ない環境 (b) 降雨環境

図 5: ノイズが少ない時と雨が降る時のサウンドマップ

出システムにおいて環境ノイズの影響を削減する手法を適用する。図 6 に、ノイズ軽減型車両検出システムの構成を示す。本システムは車両通過推定ブロック (Vehicle Detector) によって車両の有無を判断し、車両がない時の音声データをノイズとして保存する。検出を行う時に、原音声信号から保存しているノイズデータの周波数成分の絶対値を加えることによってサウンドマップ上のノイズを中央に集中し、ノイズの影響を抑える。

3.2 サウンドマップ上のノイズ削減

車両がない時に 2 台のマイクロフォンが受信した音声信号の周波数成分を $\hat{N}_1(f), \hat{N}_2(f)$ とすると、サウンドマップを描くために用いる音声信号 $\hat{S}_1(f), \hat{S}_2(f)$ は

$$\hat{S}_1(f) = V_1(f) + N_1(f) + |\hat{N}_1(f)| \quad (10a)$$

$$\hat{S}_2(f) = V_2(f) + N_2(f) + |\hat{N}_2(f)| \quad (10b)$$

となる。この時、 $G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)$ を

$$G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f) = G_{v_1 v_2}(f) + G_{n_1 n_2}(f) + G_{|\hat{n}_1| |\hat{n}_2|}(f) \quad (11)$$

とすると、GCC 値は

$$R_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}^P(t) = \int \frac{G_{v_1 v_2}(f)}{|G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df + \int \frac{G_{n_1 n_2}(f)}{|G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df + \int \frac{G_{|\hat{n}_1| |\hat{n}_2|}(f)}{|G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df \quad (12)$$

である。

$\int \frac{G_{v_1 v_2}(f)}{|G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df, \int \frac{G_{n_1 n_2}(f)}{|G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df, \int \frac{G_{|\hat{n}_1| |\hat{n}_2|}(f)}{|G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df$ の最大値をそれぞれ $M_V, M_N, M_{|\hat{N}|}$ とすると、車両走行音は保存しているノイズよりパワーが大きい場合、

$$M_{|\hat{N}|} < M_V \quad (13)$$

である。また、保存しているノイズデータ $\hat{N}_1(f), \hat{N}_2(f)$ は実際の環境ノイズ $N_1(f), N_2(f)$ と大きな差がなければ、 $N_1(f) \approx \hat{N}_1(f), N_2(f) \approx \hat{N}_2(f)$ であるため、

$$M_N < M_{|\hat{N}|} \quad (14)$$

である。

$\int \frac{G_{|\hat{n}_1| |\hat{n}_2|}(f)}{|G_{\hat{s}_1 \hat{s}_2}(f)|} e^{j2\pi f t} df$ は $t = 0$ に最大値を取るため、車両がない時、GCC 値の最大値は $M_{|\hat{N}|}$ によって $t = 0$ 付近に現れ、車両がある時には GCC 値の最大値は M_V によって $t = \Delta t$ に現れる。すなわち、 $G_{|\hat{n}_1| |\hat{n}_2|}(f)$ を加えることにより、S 字カー

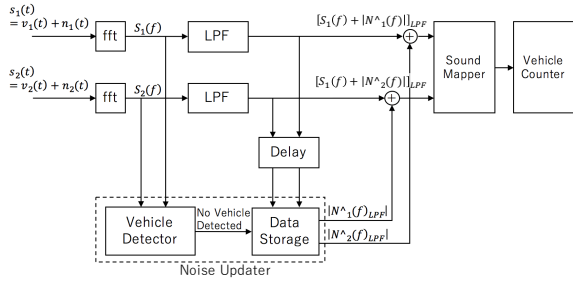


図 6: ノイズ削減システムの構成

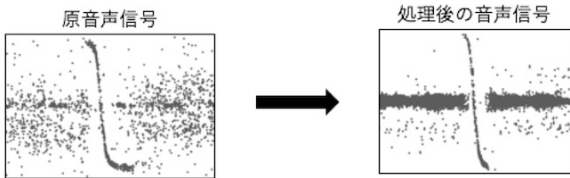


図 7: ノイズ削減によるサウンドマップの変化

への影響を抑えながらノイズがもたらした影響を $t = 0$ 付近に集中させ、車両検出に対する影響を軽減することが可能となる。

図 7 はノイズ削減手法を用いたサウンドマップの変化を示している。図 7 から、ノイズの周波数成分の絶対値を加えることによりサウンドマップ上のノイズが中央に集中し、S 字カーブに大きな差がないことが確認できる。

3.3 ノイズデータ更新

長時間の検出において、周りの環境ノイズは必ず変化をする。図 8 は雨の日のある時点のノイズとその 10 分後雨が強くなった時のノイズの周波数成分を示して。図 8 より、時間によって雨の強度が変わるとその周波数成分も大きく変わることが分かる。

削減対象のノイズと保存しているノイズデータに大きな差異があると、 $M_N < M_{|\hat{N}|}$ が成立せず、ノイズの影響を抑えることが困難になる。ノイズ変化に対応するため、本手法では定期的にノイズデータの更新を行う。車両通過推定ブロックにおいて車両有無を判定し、車両が存在する確率が極めて低い場合の音声データを新しいノイズとしてノイズデータを更新する。

車両通過推定ブロックは音声データから車両走行音の有無を判定する。判定方法としては Haar ウェーブレット変換を用いた車両検出手法の適用を想定している [5]。マイクロフォンが受信した音声データから Haar ウェーブレット変換により異なる周波数成分を含んでいる 6 個のウェーブレット係数群のごとの最大値を特徴量として抽出し、特徴量から車両走行の確率 P を求める。音声データの特徴を $X_0 \dots X_w$ として、その音声データに車両走行音が入っている確率は式 (15) で求められる。

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(B_0 + B_1 X_0 \dots B_{w+1} X_w)}} \quad (15)$$

ここで、 B_0 と $B_1 \dots B_{w+1}$ はそれぞれロジスティック回帰分析で求めた定数と偏回帰係数である。式 (15) により、音声データに対して車両走行音の有無を表す確率を求め、閾値をもとに車

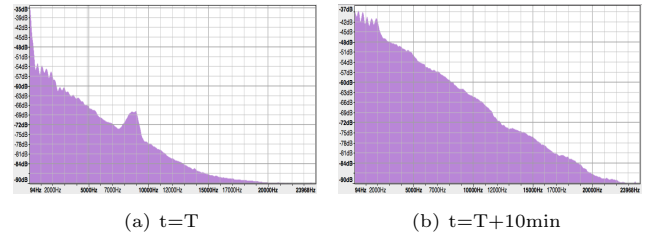


図 8: 雨強度の変化によるノイズ周波数成分の変化

両ありと車両なしを判定する。車両走行音をノイズとして保存すると、 $M_{|\hat{N}|} > M_V$ となり、S 字カーブが中央に集中して車両を検出できなくなるため、確実に車両がない時の音を用いるために車両通過判定の閾値を低めに設定する。

4. 評価

ノイズ削減手法の有効性を検証するため、九州大学伊都キャンパス内の道路において実証評価を行った。

4.1 評価環境

対象となる道路は片側 1 車線、合計 2 車線の道路である。2 台のマイクロフォンを高さ 1m、道路の中心から約 2m 離れた歩道上に間隔 D を 30cm として設置し、雨の強度が弱い時と強い時の車両走行音をそれぞれ約 23 分間と約 45 分間録音した。IC レコーダはソニー社製 HDR-MV1、マイクロフォンは AZDEN 社製 SGM-990 である。録音はサンプリングレート 48kHz、量子化ビット数 16bit で行った。

走行音の取得と同時にビデオカメラで道路を撮影し、この映像を真値として True Positive(TP)、False Negative(FN)、False Positive(FP) の回数を評価した。TP, FN, FP の値はそれぞれ車両がある時に車両検出をした回数、車両がある時に車両検出をしなかった回数、車両がない時に車両検出をした回数である。True Negative(TN)、すなわち走行車両がない時に車両検出をしなかった回数は本実験において数えることができないため評価から除外した。

TP, FN, FP の値を用い、以下で定義される精度 (Precision)、網羅率 (Recall)、F 値 (F-measure) をそれぞれ算出した。

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (16a)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (16b)$$

$$F_{\text{measure}} = \frac{2 \cdot \text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (16c)$$

精度は車両の通過と判定したデータのうち実際に車両が通過した割合である。網羅率は通過した車両のうち車両通過と判定された割合である。F 値は精度と網羅率の調和平均であり、総合的な評価を表す指標である。

ノイズ削減の効果を確認するため、ノイズ削減手法を適用する場合とノイズ削減手法を適用しない場合での比較を行った。また、雨ノイズの影響は雨の強度によって異なることから雨強度別に評価を行った。

4.2 評価結果

表 1 に TP, FN, FP の回数及びこれらから計算された精度, 網羅率, F 値を示す. 表 1 ではノイズ削減ブロックを適用したシステムと適用していない既存のシステムそれぞれについて, 車両の通過方向別に結果を示している. 表 1 より以下のことが分かる.

- (1) ノイズ削減手法を適用した車両検出システムでは適用しないシステムと比べて F 値が 4 ポイント上昇した. ノイズ軽減型車両検出システムの F 値は 0.92 で, 人手による観測とほぼ変わらない精度で車両検出ができた [6].
- (2) ノイズ削減により, 網羅率が大きく向上した. 雨によってノイズが増加し, 既存システムでは車両の未検出が多発している. ノイズ削減手法を適用することによって車両検出システムの未検出が減少したと言える.
- (3) 本車両検出システムにおいて, FP がほぼゼロであることから, システムにおける精度低下の原因は主に FN, すなわち未検出車両が多いことにあると言える.

以上の結果から, 降雨環境において提案するノイズ軽減型システムによって FN 値が減少し, F 値が 0.92 まで上昇したことが分かる. ノイズ影響下においても本提案システムを用いることでノイズが少ない環境と同じ精度で車両検出ができることを確認した.

雨が強いほど検出精度が下がることが予想されるため, 雨が強い環境で評価を行った. 表 2 に強い雨環境の TP, FN, FP の回数及びそれらから計算した正確度, 精度, 網羅率, F 値を示す. 表 1 と比べて, 表 2 より以下のことが分かる.

- (1) 雨が強くなると車両検出システムの精度が低下する. 既存システムの F 値は 0.76 であり, 表 1 と比べて, F 値が 12 ポイント下がった.
- (2) ノイズ削減によって F 値は 0.76 から 0.9 まで向上した. 表 1 と比べて, F 値が 2 ポイント下がった. 雨が強くなると検出精度が影響されるが, 提案システムによって雨ノイズの影響が抑えられたといえる.

以上の結果から, 提案システムによってノイズを削減し, 車両検出システムの精度を向上できることを確認した.

4.3 ノイズ削減によって生じる誤検出

表 1 から, 既存の車両検出システムの FP は 0 であるが, ノイズ削減によって FP は 1 増加したことが分かる. すなわち, ノイズ削減によって生じる誤検出が存在する.

図 9 に誤検出が生じた時のサウンドマップの例を示す. 誤検出は同一方向に 2 台の車両が連続または同時に通過した場合に発生する. 図 10 に示したように, 同一方向に 2 台の車両が連続通過する場合, ノイズ削減によって車両軌跡の間のノイズが中央に集中され, 逆方向の誤検出が生じる可能性がある. また, 車両が連続通過する場合, サウンドマップ上の S 字カーブが薄くなり, あるいは一部が消えることがあるため, 車両の未検出の原因になっている. このため, 精度向上に向けて複数台の車両が存在する場合への対応が必須と言える.

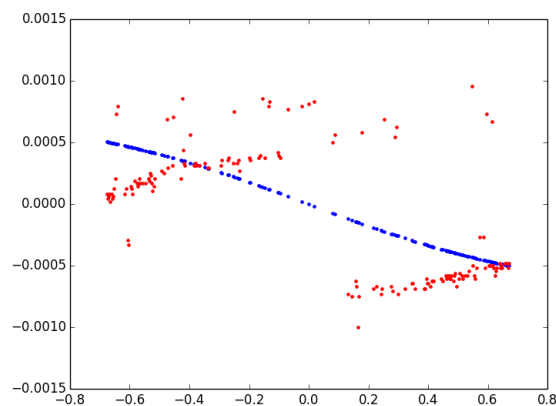


図 9: 誤検出例



図 10: ノイズ削減によって生じる誤検出

5. 関連研究

サウンドマップ上のノイズ影響削減に関する研究はこれまで行われていない. 本節ではこれまでに報告されている音響センサに対するノイズ削減手法について俯瞰する.

音響センサに対するノイズ削減手法として, EMD (Empirical Mode Decomposition) を用いたノイズ削減手法が報告されている [7-9]. 音声信号を EMD を用いて異なる周波数成分に分解し, 信号とノイズの IMF (Intrinsic Mode Function: 固有モード関数) を判断して分け, ノイズが少ない IMF を用いて音声信号を再構成することによってノイズを削減している. 信号とノイズの IMF を分けるため, SNR や Hurst 指数など信号とノイズの特性を確定する必要がある. しかしながら, 音響センサを用いた車両検出システムにおいて, 車両のタイヤが発する音と雨の音は車種と雨の強度によって異なるため, 信号とノイズの特性が変わり続けており, 信号を再構成する IMF の選択が難しい. また, この手法には音響センサが少なくとも 3 つ以上が必要であり, 設置と運用にコストが高くなる.

マイクロフォンアレイを用いたノイズ削減手法も報告されている [10]. これらの手法では音源位置推定法の 1 つである SRP-PHAT (Steered Response Power with the Phase Transform) と GCC (Generalized Cross-Correlation) を組み合わせることで音声のパワーフィールドを用いて音源を定位するため, 音声のパワーフィールドからノイズのパワーフィールドを引くことにより, ノイズの削減が可能となる. しかし車両検出システムでは音声の相互相関で車両を検出しており, ノイズの相互相関関数は平均値 0 のランダム関数であるため, ノイズの相互相関関数を引くことでノイズの影響が抑えられない.

環境ノイズを削減する手法として, STH (Soft Thresholding) と TSF (Time Scale Filter) を用いた手法がある [11]. 音声信

表 1: 雨環境における評価結果

	Proposed system			Conventional system		
	Left to Right	Right to Left	Total	Left to Right	Right to Left	Total
TP	39	41	80	34	39	73
FN	12	1	13	17	3	20
FP	0	1	1	0	0	0
Precision	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
Recall	0.77	0.98	0.86	0.67	0.93	0.79
F-measure	0.87	0.98	0.92	0.80	0.96	0.88

表 2: 強い雨環境における評価結果

	Proposed system			Conventional system		
	Left to Right	Right to Left	Total	Left to Right	Right to Left	Total
TP	74	62	136	54	49	103
FN	20	9	29	40	22	62
FP	0	0	0	0	0	0
Precision	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Recall	0.79	0.87	0.82	0.57	0.69	0.62
F-measure	0.88	0.93	0.90	0.73	0.82	0.77

号をウェーブレット変換で分解し、適切な閾値を適用してノイズ成分を抑えて信号を再構成することによってノイズを低減させる方法である。この方法は蝦が発する音と雨の音を削減に効果があるといわれているが、異なる信号とノイズに対して異なる閾値を適用する必要がある。不適切な閾値を使用すると、ノイズ削減の効果が低下する可能性がある。そのため、車種と雨の強度が変化している環境において、この方法は適切とは言えない。

6. おわりに

本稿では、マイクロフォンを用いた車両検出システムにおける環境ノイズ削減手法を提案し、そのノイズ削減手法を適用したノイズ軽減型車両検出システムを示した。本システムでは車両走行音の2台のマイクロフォンに到着する時間差を「サウンドマップ」として描くことによって車両の検出を行う。車両走行音がない時の音声はノイズとなる。そこで車両が通過する直前の音声をノイズデータとして保存し、検出する時に音声信号から保存したノイズの周波数成分の絶対値を加え、サウンドマップ上のノイズを集中させることによってノイズの影響を削減する。九州大学伊都キャンパス内の片側1車線道路において実証評価を行い、既存システムとの比較を行ったところ、本システムにより未検出が減少し、雨環境と強雨環境においてF値がそれぞれ4ポイントと13ポイント上昇したことを確認した。

謝辞 本稿で示した研究の一部は、学研費（JP15H05708, JP17K19983, JP17H01741）及び東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究の助成で行われた。

文 献

- [1] 石田繁巳, 三村晃平, 劉嵩, 田頭茂明, 福田晃他, “路側設置マイクロフォンによる車両カウントシステム,” 情報処理学会論文誌, vol.58, no.1, pp.89–98, 2017.
- [2] H. Wu, M. Siegel, and P. Khosla, “Vehicle sound signature recognition by frequency vector principal component analy-

sis,” Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1998. IMTC/98. Conference Proceedings. IEEE, vol.1.IEEE, pp.429–434 1998.

- [3] 花塚泰史, “時間整合アルゴリズムに基づくタイヤ振動解析法—リアルタイム路面状態判別システムの開発—,” 博士論文, 総合研究大学院大学, 2013.
- [4] C. Knapp and G. Carter, “The generalized correlation method for estimation of time delay,” IEEE transactions on acoustics, speech, and signal processing, vol.24, no.4, pp.320–327, 1976.
- [5] 久保一雄, 李承諭, 石田繁巳, 田頭茂明, 福田晃他, “離散ウェーブレット変換を用いた路側設置マイクによる省リソース車両検出手法の検討,” 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), vol.2017, no.21, pp.1–6, 2017.
- [6] 井坪慎二, “IT を用いた交通調査の高度化・効率化に関する研究,” 博士論文, 京都大学, 2009.
- [7] L. Xiaofeng and L. Mingjie, “The de-noising method of emd threshold based on correlation,” Signal Processing (ICSP), 2010 IEEE 10th International Conference on IEEE, pp.2613–2616 2010.
- [8] L. Zao, R. Coelho, and P. Flandrin, “Speech enhancement with emd and hurst-based mode selection,” IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol.22, no.5, pp.899–911, 2014.
- [9] N. Chatlani and J.J. Soraghan, “Emd-based filtering (emdf) of low-frequency noise for speech enhancement,” IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol.20, no.4, pp.1158–1166, 2012.
- [10] J. Moragues, L. Vergara, J. Gosalbez, T. Machmer, A. Swerdlow, and K. Kroschel, “Background noise suppression for acoustic localization by means of an adaptive energy detection approach,” Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008. ICASSP 2008. IEEE International Conference on IEEE, pp.2421–2424 2008.
- [11] S. Ganapathi, S.M. Kumar, and M. Deivasigamani, “Noise reduction in underwater acoustic signals for tropical and subtropical coastal waters,” Ocean Acoustics (COA), 2016 IEEE/OES ChinaIEEE, pp.1–6 2016.