

音響による接近車両検出における自車音の影響について

三好 史泰[†] 旭 健作[‡] 小川 明[†]

[†] 名城大学大学院 理工学研究科 情報科学専攻

[‡] 名城大学大学院 理工学研究科 電気電子工学専攻

〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501

E-mail: [†] m0632027@ccmailg.meijo-u.ac.jp, m0352501@ccmailg.meijo-u.ac.jp, aogawa@ccmfs.meijo-u.ac.jp

あらまし 出会い頭衝突事故の防止をするために、車両接近を検出する手段として接近車両から発せられる走行音に着目し、その検出方法に関して研究している。これまでは、自車からのエンジン音がある状態において実験を行い、2 個のマイクロホンを使用して接近車両の方向を決定していた。しかしこの方法では、自車エンジン音の影響により自車エンジン音がない状態に比べ、検出が遅くなっていた。そこで本稿では、これらの雑音による影響を軽減させるために、複数のマイクロホンをを用いる新たな検出方法を提案し、自車アイドル状態において、自車エンジン音による接近車両検出に対する影響を軽減させるために、車載するマイクロホンの設置数を実験的に評価する。

キーワード 音響センシング, 接近自動車検出, 出会い頭事故, 自車エンジン音, マイクロホンアレー

On the effect of the sound from own car in the detection of approaching cars through sound

Fumiyasu MIYOSHI[†] Kensaku ASAHI[‡] and Akira OGAWA[†]

[†] Department of Information Science, Graduate School of Science and Technology, Meijo University

[‡] Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Science and Technology, Meijo University

1-501 Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya, 468-8502 Japan

E-mail: [†] m0632027@ccmailg.meijo-u.ac.jp, m0352501@ccmailg.meijo-u.ac.jp, aogawa@ccmfs.meijo-u.ac.jp

Abstract We have been in research for preventing vehicles from head-on collision by sound, and focused on the sound from tires of vehicle. So far, the direction of approaching cars has been detected with two microphones onboard the vehicle. However, the detection time may be delayed with this method due to the sound of engine. We propose, therefore, a new detection method in which the direction of approaching cars is to be the detected from the sound captured with pairs of microphone array. In addition, experimental results on the effect of engine sound are shown in this paper.

Keyword Acoustic Sensing, Vehicle Detection, Head-on Collision, Sound of Engine from Own Car, Microphone Array

1. まえがき

近年の車両相互事故のうち、追突事故及び出会い頭衝突事故が全体の約 6 割を占めている[1]。そこで、この出会い頭衝突事故の防止をするために、我々は接近車両を検出する手段として接近車両のタイヤと路面との摩擦音を検出する方法を研究している。この方法は、見通しの悪い交差点における自動車の衝突事故防止に対して有効的な手段の 1 つになると考えられる。以前までの研究では、マイクロホンは車載せず、静かな環境で録音をしていた。また、2 個のマイクロホンを使用し、観測した音信号の相互相関値から接近車両の方向を決定していた。しかしこの方法では、自車エンジ

ン音や冷却ファンからの音による影響により、対象となる車両を検出できる時間が自車アイドル状態ではないときに比べ平均約 0.7[秒]遅くなっていた[2]。

そこで本稿では、複数マイクロホンをを用いて、その出力を融合する方法を提案する。また、マイクロホンの組み合わせを変更し、検出時間がどの程度改善されるか、実験的に評価する。

2. 解析手法

2.1. これまでの解析手法の概要

接近車両の方向を検出するには、同じ音源からの音であっても、方向によりそれぞれのマイクロホンに音が到達する時間差が生じる。この時間差を求めるため

に、それぞれ観測した音信号の相互相関を計算し、相関値が最大となった時間差から音源の方向を決定する。この為、接近車両の方向を特定するのに本章では、2個のマイクロホンを使用した場合を示す。この処理の流れについて図1に示す。

本研究において、検出する接近車両は自車の前方であると考える。その為マイクロホンは、自車の前方に設置するのが適当であると考えられる。しかし、このため自車アイドル時においては、自車エンジン音の影響により検出時間が遅くなってしまうと、考えられる。そこで、前方においてエンジン音の影響が少ないフロントガラスワイパー付近の付け根部分に設置している[3]。

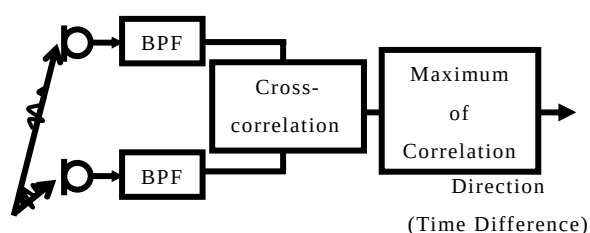


図1 マイクロホン2個での処理の流れ
Fig.1 Block diagram of using by two microphones.

2.2. 新たに考案した解析手法の概要

複数のマイクロホンを一直線状に設置し、この中から2個のマイクロホンの組から任意のマイクロホン組を作り、以前と同様に音信号の到達時間差を相関値により計算した。そして新たにそれぞれの相関値を加算し、ピークとなった点から音源の方向を決定した。この解析方法による処理の流れを図2に示す。また、車載したマイクロホンの写真を図3に示す。

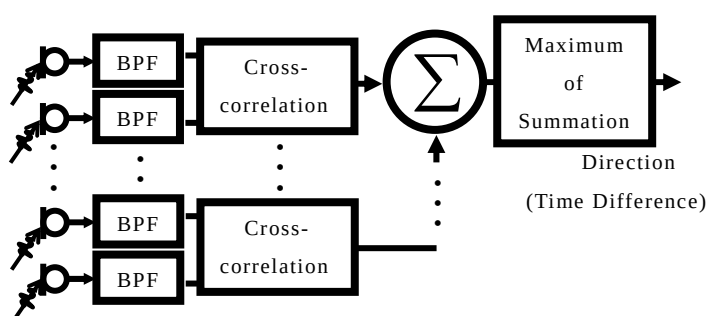


図2 複数マイクロホンでの処理の流れ
Fig.2 Block diagram of using by multiple microphones.

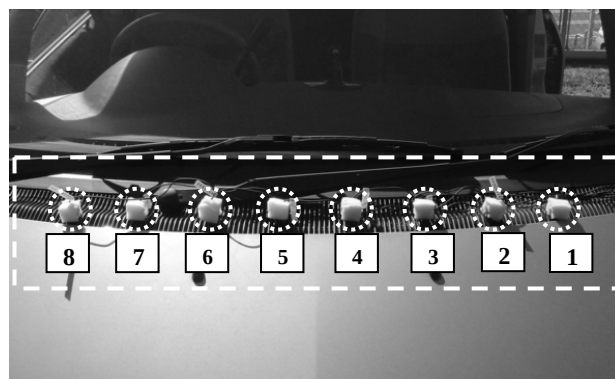


図3 複数マイクロホンの設置
Fig.3 Installation of multiple microphones.

3. 車両検出の判定

以前までは、フィルタ適用後の相関値を目視して接近車両の検出判断を行っていた。しかしこの方法では、目視による誤差を防ぎ、事故防止システムを実現するためには、ある基準を用いて自動的に判断することが望まれる。そこで本章では、検出された音の到達時間差(方向)の散らばりから車両検出の有無を判断するために、時間差の分散を計算して接近車両の有無を判断する方法と、各時刻での算出方向の平均を求め、接近方向を判定する方法を組み合わせた車両検出判定方法を提案する。

3.1. 分散による接近車両の判断

検出車両の方向(音の到達時間差)を求めた結果例を図4に示す。この結果例から算出方向においては、車両が接近しているときは、ほぼ同じところに集まっているのに対し、車両が接近していないときは、ほぼ無相関に散らばっていることがわかる。そこで今回は過去20点前から現時刻までの方向算出結果を用いて分散を求めた。また初期の20点は、0パディングして求めている(図7)。

また、分散を用いて接近車両の有無の判断をする場合、

- (1) 車両接近時において、算出方向の分散が小さいこと
- (2) より早い時期から算出方向の分散が小さくなること
- (3) 車両接近以外の状態では、算出方向の分散が大きくなること

などの条件を判定することにより、接近車両の有無が判断できると考えられる。

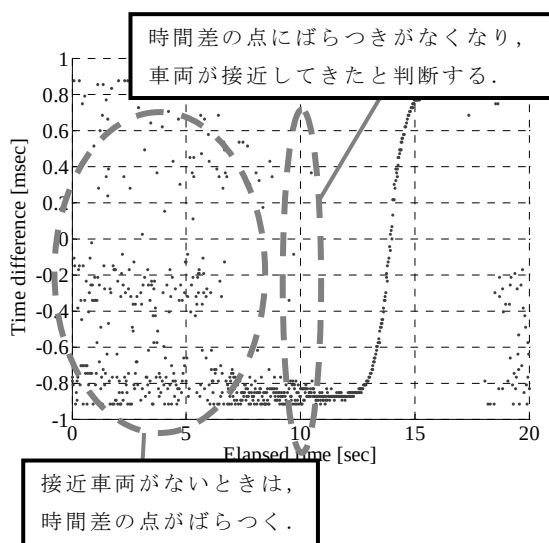


図 4 時間差を求めた検出結果例
Fig.4 An example of detection result of requesting time difference.

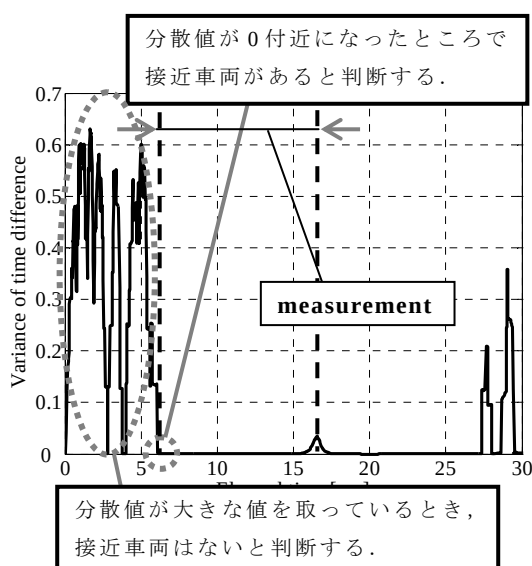


図 5 分散を求めた図 4 の結果
Fig.5 A result of Fig.4 where variance was requested.

3.2. 平均による接近車両の判断

3.1 章と同様に、初期の 20 点を 0 パディングし、平均は、過去 20 点前から現時刻までの点を用いて求めた。図 4 から平均を求めた結果を図 6 に示す。

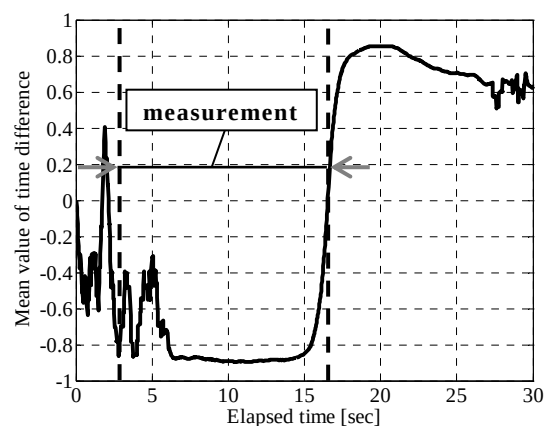


図 6 平均を求めた図 4 の結果
Fig.6 A result of Fig.4 where mean was requested.

4. 実験

4.1. 実験方法

測定環境は、住宅街の静かな交差点において、非優先道路を走行する自車両が、交差点の手前で一時停止することを想定し、一時停止常態において接近車両の方向を検出する。

マイクロホンは無指向性のコンデンサマイクロホンを使用した。自車のエンジン音による影響を調べるために、周囲の騒音レベルが 31~33[dBA]の、静かなところで録音を行った。また、タイヤ音以外の影響を軽減させる為 500~2000[Hz]の帯域通過フィルタを使用し、フィルタは 512 次の FIR 型フィルタを用い、窓関数法により設計を行った。用いた窓関数は Hamming 窓である。相関処理はデータ数を 1024 サンプル、処理間隔は 1024 サンプル (21.3[msec]) 毎に行った。

本実験では、自車のエンジンがアイドルしている状態とアイドルしていない状態の 2 状態にて録音し、車両検出における自車エンジン音の影響について比較する。実験日の気象条件・実験条件について表 2~3、車両の位置関係を図 7 に示す。

表 2 実験日の気象条件

Table2. Weather condition at experiment day.

計測日時	2006 年 3 月 9 日 14 時頃
天候	晴れ
気温	13.9[℃]

表 3 実験条件

Table3. Experimental condition.

自車エンジン	1800[cc]・直列 4 気筒
接近車両エンジン	2000[cc]・直列 4 気筒
マイクロホン間距離	0.1[m]
接近車両の速度	20,30,40,50 [km/h]
マイクロホン設置場所	ワイパー付近

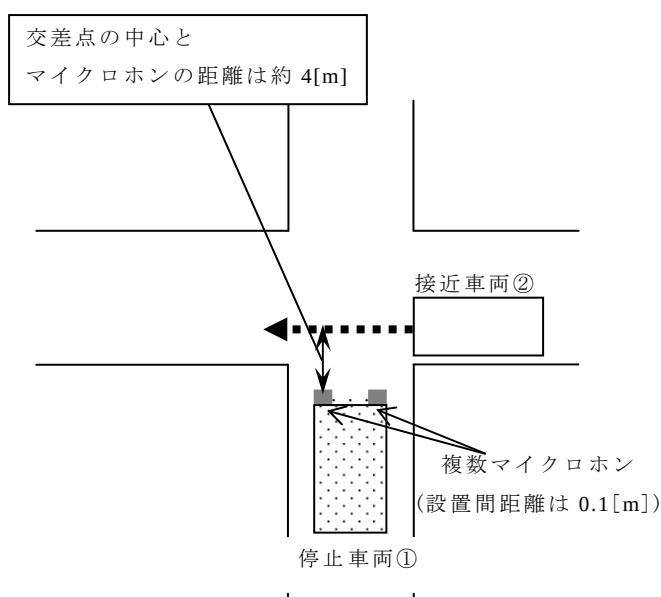


図 7 本実験における車両の位置関係
Fig.7 Position of vehicle in experiment.

4.2. マイクロホン間隔の検討

4.2.1. 実験条件

これまでの報告[4]では、マイクロホンの間隔を 0.2[m]とした場合が最も適したマイクロホンの間隔であるとされていた。しかしこの報告では、マイクロホンは車載せず、エンジン音がない状態にて実験を行っていた。そこで今回は、マイクロホンの間隔を 0.2, 0.3, 0.4[m]と変更して実験を行った。このとき、同一の走行音で比較するために、複数マイクロホンを用いて実験を行い、それぞれ組み合わせを変更して間隔を変更した。

今回は車両検出の条件として分散の閾値を 0.1 とし、分散値が閾値以下となり、なおかつ、時間差の閾値を ± 0.6 として、閾値以下の値になった時刻から時間差が 0 になった時刻までを検出時間として求めた。

また、接近車両の速度は 50[km/h]、自車はアイドル状態とアイドルしていない状態で実験を行った。

4.2.2. 実験結果

自車アイドル状態にて、マイクロホンの間隔を 0.3[m]とした場合の実験結果を図 8(a)~(c)に示す。(a)は、2つのマイクロホンにおける時間差(方向)を求めた結果、(b)は(a)の結果から分散を求めた結果、(c)は(a)から平均を求めた結果である。(b)では、自車両の正面に接近車両を通過 3.1 秒前から検出可能であった。また(c)では、実験開始時刻より車両通過 3.2 秒前から車両接近検出が可能であった。

マイクロホン間隔を変更したときの接近車両を検出できた時間を表 4 に示す。この表から、自車がアイドルしている状態としていない状態ともに、マイクロホン間の距離を 0.3[m]とした場合が最も早く検出できることがわかった。これは、マイクロホン間の距離を 0.2[m]とした場合のものと比べ、両マイクロホンを雑音源であるエンジンから比較的離れたところに車載している。これにより、自車エンジン音による影響が少なくなったためであると考えられる。また、マイクロホン間の距離を 0.4[m]とした場合と比較した場合、マイクロホンの間隔が広くなると、2 個のマイクロホンから取得した音の相関性が小さくなってしまい、車両接近有無の判断が遅くなると考えられる。よって、マイクロホン間隔は 0.3[m]が最も適していると考えられる。

4.3. マイクロホン対の変更

4.3.1. 実験条件

4.2.において、最も早く車両検出ができたマイクロホン間隔 0.3[m]を用いて、表 5 に示すように 4 個のマイクロホンから 2 組のマイクロホン対を作る。この組み合わせで相関値の加算を行い、その後最大値を求め時間差を検出する。本章の実験でも、分散と平均の結果から求めた検出時間が重なった時刻で車両検出を判断した。

本章では、まず接近車両の速度は 50[km/h]、自車はアイドル状態とアイドルしていない状態にて適したマイクロホン対の組み合わせを検討する。次に、適したマイクロホン対にて接近車両の速度を 20[km/h]~50[km/h]と変更し、自車アイドル状態のみで、検出時間の違いを比較する。最後に、接近車両の速度を 50[km/h]、自車はアイドル状態の場合にて、マイクロホン対の加算する数を変更する。このときの検出時間について比較を検討・評価を行う。

4.3.2. 実験結果

自車アイドルしている状態の場合のマイクロホンの組み合わせを(i)にした場合の実験結果を図 9(a)~(c)に示す。また、自車アイドルしていない場合のマイクロホンの組み合わせを(ii)にした場合の実験結果を図 10(a)~(c)に示す。図 9 (b), (c)に示す分散、平均の結

果とも、接近車通過の 4.4 秒前から検出可能になり、マイクロホン 2 個の場合と比較すると、1.3 秒前から検出可能になった。これは、自車エンジン音や他の雑音が接近車両の音響などの影響により、音の到達する時間差(算出方向)が、接近車両時の時間差と異なる。また、各マイクロホン対によって、自車エンジン音や他の雑音が接近車両の音響などの音の到達する時間差(算出方向)は、マイクロホンを設置している場所が異なるため、それぞれ異なった時間差(方向)で取得される。そこで、各マイクロホン対の相関値を加算したことにより、接近車両の音響の相関値は強調されるが、それ以外の雑音は相関値を加算を行っても強調されないの、より早くから検出が可能になった、と考えられる。(図 9(a)において、横軸(Time)が 0~30[sec], 縦軸(Time Difference)が -0.2~-0.4[msec]付近に集まっている点は、自車エンジン音によるものであると思われる。)

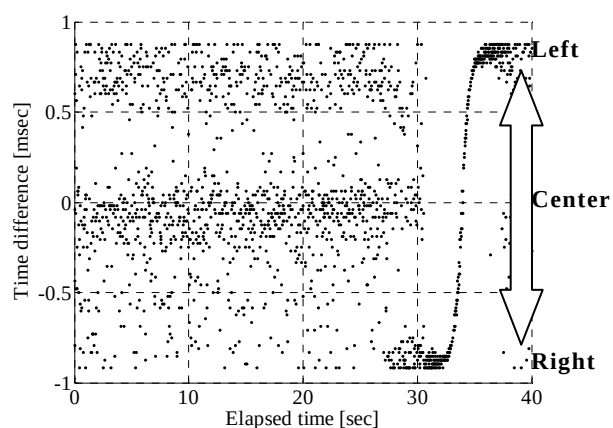
表 6 にマイクロホン対の組み合わせを変更した場合の検出時間を示す。この結果、自車アイドルしている状態のときは組み合わせ(i)が、自車アイドル状態していないときは、組み合わせ(iii)が最も早く検出可能であることがわかった。

次に、接近車両の速度が変化した場合の違いを表 7 に示す。速度が遅い場合は、接近車両の走行音が小さくなるため、検出可能時間は遅くなってしまった。しかし、速度に関係なくマイクロホン対の相関値を加算すれば、検出時間が早くなる効果が得られることがわかった。

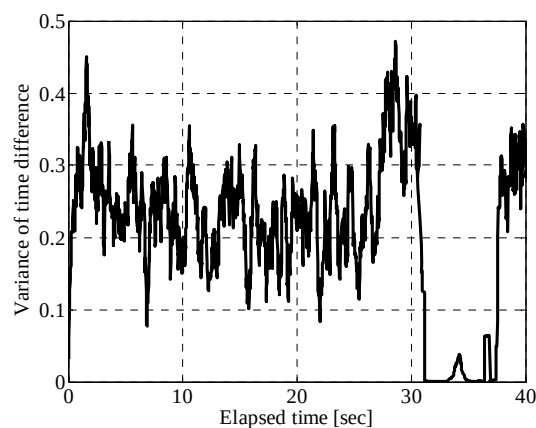
マイクロホン対の加算する数を変更したときの組み合わせを表 8 に示す。また、3 組を加算したときの結果を図 11 に、5 組を加算したときの結果を図 12 に示し、その検出可能時間を表 9 にまとめる。この結果より、加算するマイクロホン対の数を増加させると、マイクロホン対を 3 組加算した場合を除き、検出時間が改善される傾向になった。

5. 考察

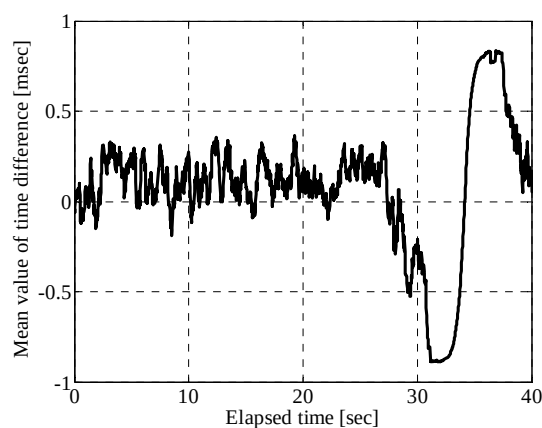
自車エンジン音に対して複数マイクロホン対を用いると、各マイクロホン対からエンジンに対する方向がそれぞれ異なる。また、接近車両の方向は、各マイクロホンに対して同一方向である。これらより、接近車両の音の時間差が強調され、更に早い時刻から検出可能になったと考えられる。また、加算するマイクロホン対を増やした場合、更に接近車両の音響の相関値(時間差)が大きくなり、方向を推定する時間差が強調される。この結果、加算するマイクロホン対を増やすことにより、加算しないものに比べ最大 1.9 秒前から検出可能になったと考えられる。



(a) 時間差を求めた結果

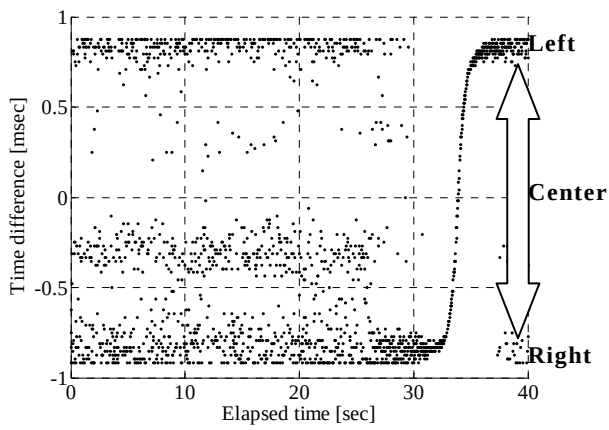


(b) 分散値

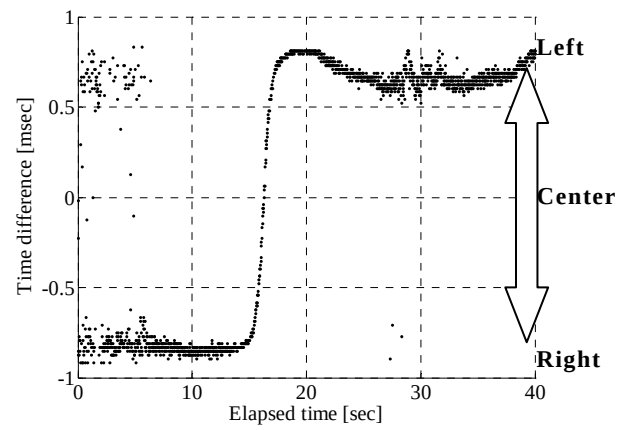


(c) 平均値

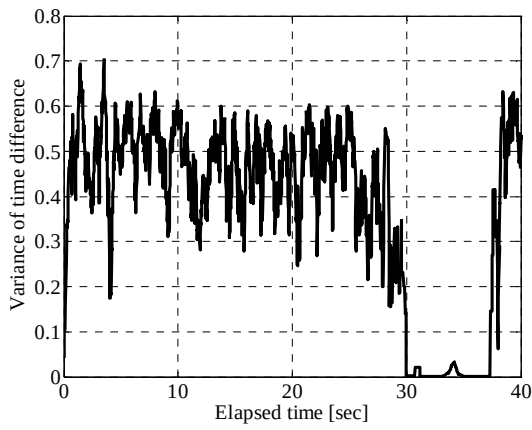
図 8 マイクロホン間隔 0.3[m]のときの実験結果
Fig.8 Experimental result that the distance between adjacent microphones is 0.3[m].



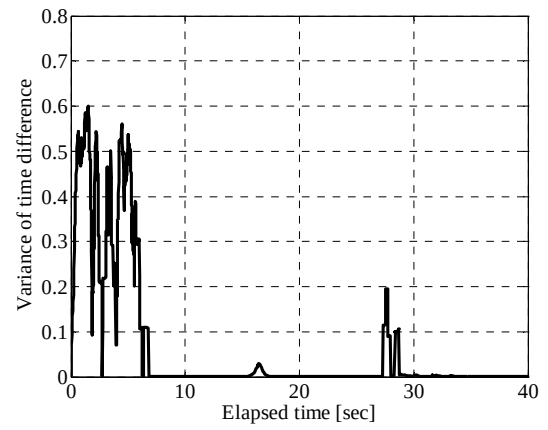
(a) 時間差を求めた結果



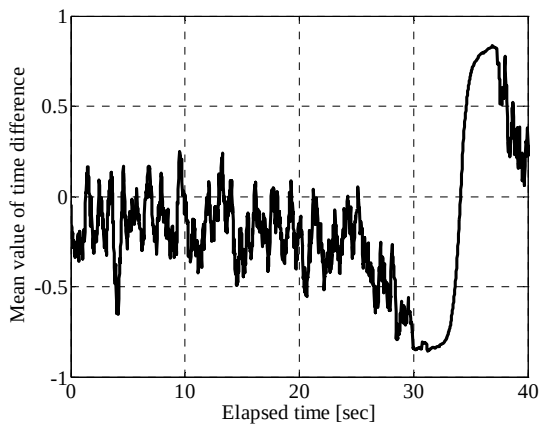
(a) 時間差を求めた結果



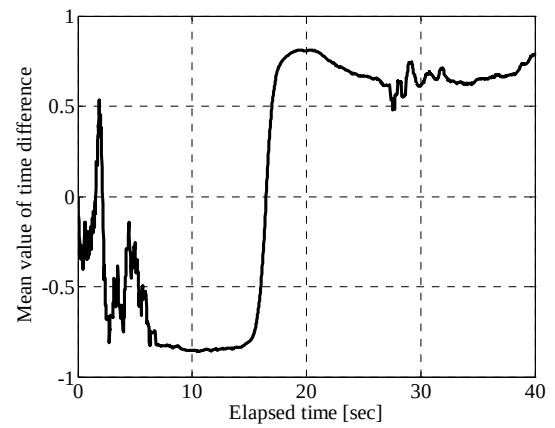
(b) 分散値



(b) 分散値



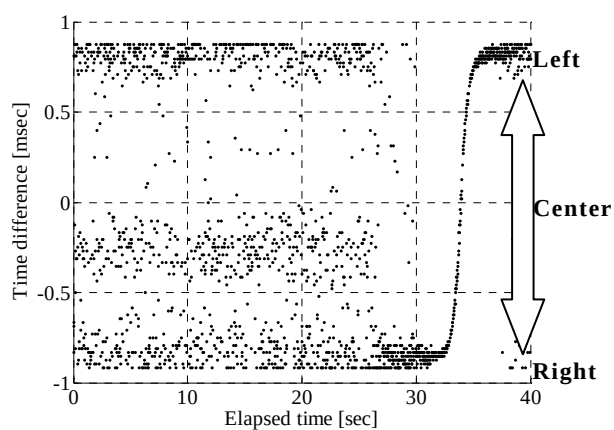
(c) 平均値



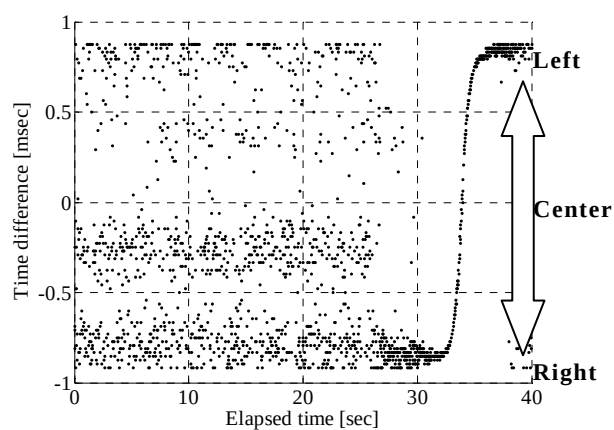
(c) 平均値

図9 組み合わせ(i)における
自車アイドルしている状態の実験結果例
Fig.9 Example of experimental result through
combination (i)

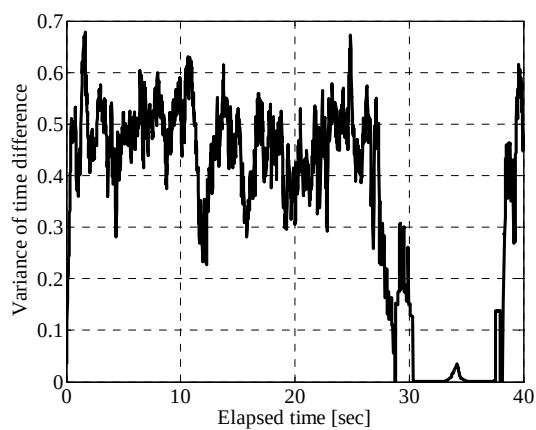
図10 組み合わせ(i)における
自車アイドルしていない状態の実験結果例
Fig.10 Example of experimental result through
combination (i)



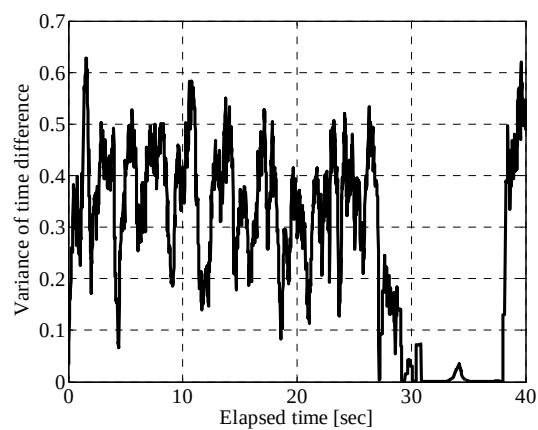
(a) 時間差を求めた結果



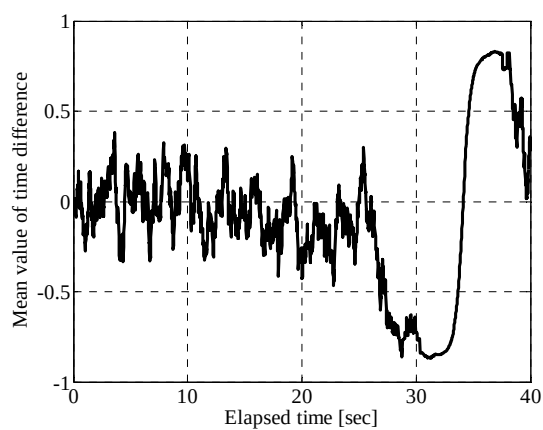
(a) 時間差を求めた結果



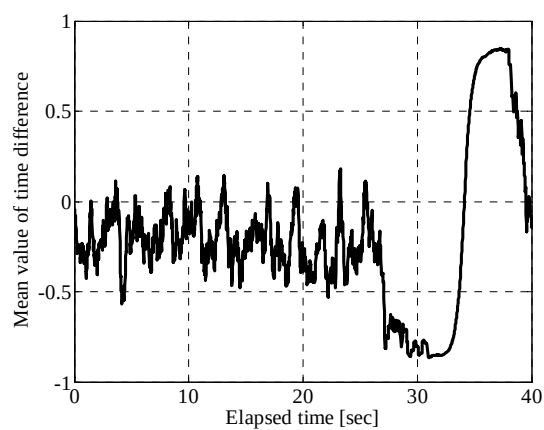
(b) 分散値



(b) 分散値



(c) 平均値



(c) 平均値

図 11 マイクロホン対 3 組を加算
Fig.11 Summation of three microphones pair.

図 12 マイクロホン対 5 組を加算
Fig.12 Summation of five microphones pair.

表 4 組み合わせを変更した検出時間の比較

Table.4 Comparison of vehicle detection time to change combination of microphones.

マイクロホン 間隔[m]	自車アイドル あり	自車アイドル なし
0.2	2.7 秒前	9.1 秒前
0.3	3.1 秒前	10.1 秒前
0.4	2.8 秒前	8.1 秒前

表 5 マイクロホン対の組み合わせ

Table5. Combination of microphone pairs.

組み合わせ	マイクロホン対
(i)	1-4,5-8
(ii)	1-4,4-7
(iii)	1-4,3-6
(iv)	1-4,2-5

表 6 自車アイドル有無による結果の比較

Table.6 Comparison of results through car idle existence.

マイクロホン	自車アイドル あり	自車アイドル なし
2 個	3.1 秒前	10.1 秒前
組み合わせ(i)	4.4 秒前	9.8 秒前
組み合わせ(ii)	3.3 秒前	9.8 秒前
組み合わせ(iii)	3.0 秒前	10.3 秒前
組み合わせ(iv)	2.9 秒前	10.1 秒前

表 7 速度の違いによる結果の比較

Table.7 Comparison of results by difference velocity.

接近速度[km/h]	マイクロホン 2 個	マイクロホン 4 個
20	2.1 秒前	2.7 秒前
30	2.1 秒前	3.7 秒前
40	2.6 秒前	3.5 秒前
50	3.1 秒前	4.4 秒前

表 8 加算したマイクロホン対の組

Table.8 Combination of summed microphone pairs.

加算した マイクロホン対の組	マイクロホン対
3 組を加算	1-4,3-6,5-8
4 組を加算	1-4,2-5,3-6,5-8
5 組を加算	1-4,2-5,3-6,4-7,5-8

表 9 加算数を変更したときの検出時間

Table.9 Relation between number of summation and detection time.

加算した マイクロホン対の組	検出可能時間
2 組を加算	4.4 秒前
3 組を加算	3.9 秒前
4 組を加算	4.5 秒前
5 組を加算	5.0 秒前

6. まとめ

今までは、相関値の時間差を目視にて車両検出の判断を行ってきたが、時間差の分散と平均を求め、接近車両の検出手段について検討した。一直線状に設置した複数マイクロホンから 2 個のマイクロホンから任意のマイクロホン対をいくつか作り、それらの相関値を加算することにより接近車両の方向を強調する手法を提案し、その効果について実験を行い評価した。その結果、問題となっていた自車エンジン音による影響が軽減され、接近車両の方向が強調されることにより、従来の加算を行わない場合に比べ、最大 1.9[s]改善された。また、速度に関係なく、マイクロホン対の相関値を加算することにより、検出時間が早くなる効果が得られることがわかった。

文 献

- [1] 警察庁交通局：“平成 17 年中の交通事故発状況”，(<http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu29/20060224.pdf>)
- [2] 三好,旭,小川：“音響による接近自動車検出における自車エンジン音の影響について”，第 28 回情報理論とその応用シンポジウム SITA2005,pp.921-924,2005-11
- [3] 旭,三好,小川：“音響による接近自動車検出における自車音の影響軽減に関する一考察”，電子情報通信学会技術研究報告, vol.SN2006-17, pp.105-110, 2006-1
- [4] 旭,小川：走行音による自動車検出の基礎的検討”，電子情報通信学会技術研究報告, vol.SN2004-3, pp.11-16, 2004-12