

ブレ画像を用いた衝突までの残り時間推定システムの提案

高梨, 幸政 / TAKANASHI, Yukimasa

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013040>

ブレ画像を用いた衝突までの残り時間推定システムの提案

ESTIMATION SYSTEM OF COLLISION PREDICTION TIME USING BLURRED IMAGES

高梨幸政

Yukitada TAKANASHI

指導教員 伊藤一之

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

Recently, automobile safe driving support, such as autonomous collision avoidance have attracted considerable attention. Automobiles are typically equipped with distance sensors or stereo cameras to detect obstacles in their path. The distance sensors estimate the distance between the car and the obstacle. In this study, we propose an algorithm that can estimate collision prediction time by using blurred images that are captured by a monocular camera without using distance information. We conducted experiments using actual vehicle in order to confirm the validity of the algorithm.

Key Words : ecological psychology, τ -margin, monocular camera, crush avoidance, blurred image, time to contact

1. はじめに

近年,自動車の安全技術に関して様々な研究や実験,実車への導入がされている.様々な安全技術の中でも前方の物体との衝突防止システムは特に注目を集めており,多くの自動車メーカーで衝突回避システムを搭載した車が販売されている [1][2].

現在,前方の物体と自動車との間の距離を測定する上で主流となっている方法と,各環境においての有用性を表 1 に示す[3].

表 1 各主流センサーの性能比較

	悪天候	暗闇環境	範囲	費用
ステレオカメラ	×	×	広い	中
赤外線センサー	×	○	狭い	低
ミリ波レーダー	○	○	狭い	高

通常,昼間のような明るい環境ではカメラから得られる視覚情報を用いて画像処理を行い衝突防止している.

しかし,夜間環境においては,カメラから得られる視覚情報が少なく,カメラとレーダーなど複数のセンサー類を用いる必要があるため,高度な画像処理が必要であり,また搭載するためのコストがかかってしまう.

一方,自然界で生活をしている昆虫などの下等な生物は上記のような複雑なセンサーを持たずに,昼夜や夜間に関係なく前方の物体に対して,衝突することなく移動をすることが可能である.このような行動に関して生態心理学では,距離情報を用いずに視覚から得られる情報

のみから前方にある物体に衝突するまでの残り時間を知覚し,衝突回避をしているのだと考えられている[4][5].

生態心理学では,衝突するまでの残り時間のことは“ τ マージン”と呼ばれており,前方の物体の視覚上の大きさとその時間的変化量のみで算出可能である[6].

従来研究では,実際の環境で単眼カメラから得られる視覚情報のみから τ マージンを算出するシステムが提案されており,実環境での有用性が示されている[7].

しかし,従来研究では昼間の明るい環境でのみ有用性が確認できており,夜間での暗い環境では取得画像がブレてしまい τ マージン取得が困難であった.

本研究では従来研究の問題点である夜間環境での τ マージンの取得を目的として,ブレ画像に含まれるテールランプなどの光源の軌跡に注目をし,夜間環境で取得されるブレ画像から τ マージンの取得を縮小環境と実車を用いた実環境で検証し有用性を確認する.

2. τ マージン

生態心理学では,生物は前方の物体との衝突を回避する際,自身の速度や物体までの距離といった情報を用いずに物体に衝突するまでの残り時間を知覚していると考えられている.この衝突までの残り時間は τ マージンと呼ばれている.

図 1 に前方の物体とカメラに映る像の関係図を示す.カメラの焦点距離を f ,前方の物体までの距離を D ,物体の大きさを S ,カメラに映る像の大きさを W ,衝突までの残り時間を τ とする.

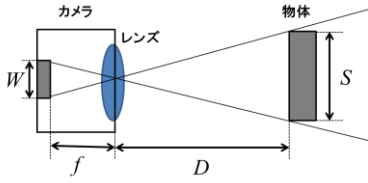


図1 カメラに映る像

図1よりカメラに映る像の大きさ W は(1)式より求められる。また、 W の時間的変化 $\dot{W}$ は(2)式のようになる。そして(1)、(2)式より(3)式が得られる。

ここで、 $\dot{D}$ は前方の物体との相対速度を表しており、 $-D/\dot{D}$ は物体との衝突までの残り時間を表している。

これより(3)式は、一定の速度で物体に接近していった時に、衝突までの残り時間 τ が対象までの距離および相対速度を用いることなく、対象の見かけ上の大きさとその時間的変化量のみによって特定されることを示している。

$$r = \frac{d}{D} S \quad (1)$$

$$\dot{W} = -\frac{dS}{D} \dot{D} \quad (2)$$

$$\frac{r}{\dot{r}} = -\frac{D}{\dot{D}} = \tau \quad (3)$$

3. 従来研究

従来研究では実際の環境で τ の推定を検証していた。

通常 τ は見かけ上の大きさとその変化量から算出するが、実際の環境では前方の対象物の他に様々な物体が存在するため全ての物体の大きさの変化を考えると膨大な計算量になってしまう。そのため、従来研究では物体を認識せずに画像上の画素の移動量から τ の推定を行った。

以下に従来研究でのアルゴリズムを示す。

(1) 画素の移動

図2に搭載した単眼カメラによって取得される画像上に極座標系を定義したものを示す。

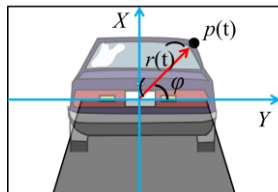


図2 極座標系による定義

前方の物体に対してカメラが直進していくと画像は放射状に拡大していく。ある時刻における画像上の画素を $P(t)$ 、座標系の中心から $P(t)$ までの距離を $r(t)$ 、 $r(t)$ と Y 軸とのなす角を θ とすると、 $P(t)$ は(4)式のように求められる。

また、 Δt [s]後の $P(t)$ の位置 $P(t + \Delta t)$ は(5)式のようになる。この(5)式に(3)式を代入すると(6)式が得られる。

$$P(t) = r(t)e^{i\theta} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P(t + \Delta t) &= \{r(t) + \dot{r}(t) \cdot \Delta t\} e^{i\theta} \\ &= \left\{ r(t) + \frac{1}{\tau(t)} r(t) \cdot \Delta t \right\} e^{i\theta} \end{aligned} \quad (5)$$

$$P(t + \Delta t) = P(t) \left\{ 1 + \frac{1}{\tau(t)} \cdot \Delta t \right\} \quad (6)$$

ここで $\left\{ 1 + \frac{1}{\tau(t)} \cdot \Delta t \right\}$ は画像の拡大率を表している。

(6)式より衝突までの残り時間 τ は Δt [s]間の画像上の画素の移動量とその拡大率により算出が可能であることを示している。

(2) 消失点の移動

消失点とは無限遠方へ向かう直線が交わる点のことである。カメラが直進する場合、拡大の中心点は画像の中心となる(図3)。しかし、車がカーブをする時などカメラの向きが進行方向に対して垂直ではない場合拡大の中心点は左右にずれる(図4)。

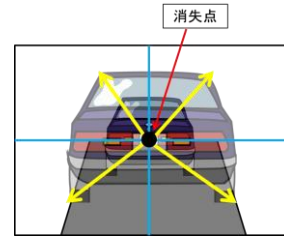
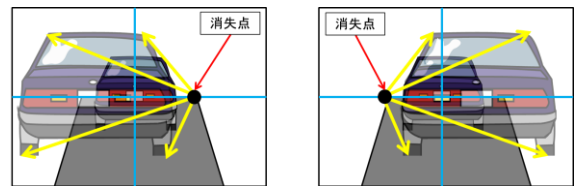


図3 直進する場合の消失点



(a)進行方向に対して右向き (b)進行方向に対して左向き
図4 カメラの向きが変わる場合の消失点

従来研究では消失点の位置を考慮に入れたアルゴリズムを考案した。消失点座標を考慮するため、図5のような2つの座標系を定義する。一つは画面中心を原点とした座標系で、もう一つは消失点座標 (a, b) を中心とした極座標系である。これらを組み合わせることで消失点の移動を含めた τ 推定が可能となる。

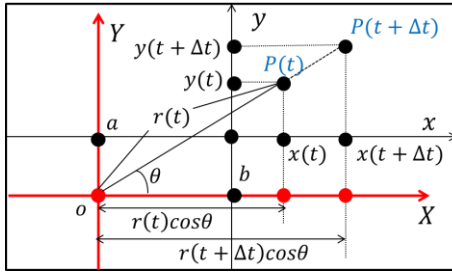


図5 消失点を考慮に入れた座標系

極座標の原点 (a, b) から $P(t)$ までの距離を $r(t)$ とすると、 $r(t)$ の x 成分は(7)式ようになる。また、 Δt [s] 後の $r(t)$ の位置 $r(t + \Delta t)$ の x 成分は(6)式より(8)、(9)式となる。そして、(8)、(9)式より(10)式が得られる。

同様に y 成分も求めると(11)式となる。

$$r(t) \cos \theta = x(t) - a \quad (7)$$

$$r(t + \Delta t) \cos \theta = \{x(t) - a\} \left\{1 + \frac{\Delta t}{\tau}\right\} \quad (8)$$

$$r(t + \Delta t) \cos \theta = x(t + \Delta t) - a \quad (9)$$

$$x(t + \Delta t) = \{x(t) - a\} \left\{1 + \frac{\Delta t}{\tau}\right\} + a \quad (10)$$

$$y(t + \Delta t) = \{y(t) - b\} \left\{1 + \frac{\Delta t}{\tau}\right\} + b \quad (11)$$

(10)、(11)式はある消失点において Δt [s] 間での画像上の画素の移動量とその拡大率により τ が算出可能であることを示している。この式により消失点の位置を考慮に入れた τ 推定が可能となる。

(3) 従来手法

従来研究では上記の手法を用いて、ある時刻での取得画像とその Δt [s] 前の画像とを比較し 2 つの画像の画素の移動量から最適な消失点座標と τ を推定していた(図6)。

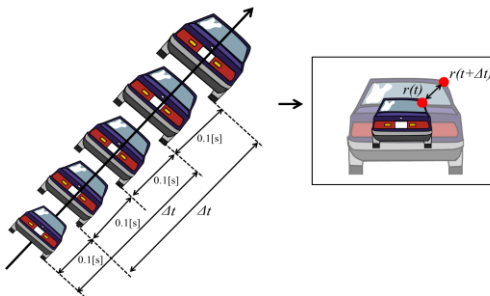


図6 従来手法

従来研究では取得画像の画素変化が大きい昼間のような明るい環境での有用性を検証していた。しかし、夜間のような暗い環境では画素変化が小さく有用性の確認ができなかった。また、暗い環境で撮影した画像はカメラのシャッタースピードが遅くなってしまい、ブレ画像となるため 2 つの画像を比較する従来手法では τ 推定が困難であった。

従って本研究では、従来手法で提案されている消失点を考慮に入れた τ 推定アルゴリズムを用いて、夜間環境での τ 推定アルゴリズムを提案する。そして、提案したアルゴリズムを用いて実環境での実験を行い、有用性の確認をする。

4. 提案手法

本研究では、ブレ画像を用いて τ マージンを推定するアルゴリズムを提案する。図7に暗い環境で撮影されるブレ画像の例を示す。

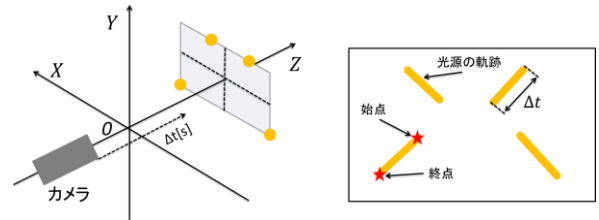


図7 暗い環境で撮影されるブレ画像

光源がカメラの進行方向に対して垂直な同一平面上にあるとき、光源の軌跡は消失点を中心として同倍率で拡大される。なので、取得された画像から消失点の座標と光源の拡大率を求めることで物体との衝突までの残り時間 τ を推定することができる。

取得された画像に映る点光源の軌跡はカメラが Δt [s] 間に動いた軌跡である。つまり、ある時点での取得画像の光源軌跡の始点と Δt [s] 前の画像の光源軌跡の終点が一致することがわかる。そのことから、取得画像をある消失点を中心に縮小していき、元画像と縮小画像とを比較し、元画像の光源軌跡の始点と縮小画像の光源軌跡の終点が一致するときの縮小率を算出することで τ が推定できる。

縮小画像の作成には(10)、(11)式を変形した(12)、(13)式を用いて画素の移動から縮小画像を作成する。

$$x(t - \Delta t) = \{x(t) - a\} \left\{1 + \frac{\Delta t}{\tau(t - \Delta t)}\right\} + a \quad (12)$$

$$y(t - \Delta t) = \{y(t) - b\} \left\{1 + \frac{\Delta t}{\tau(t - \Delta t)}\right\} + b \quad (13)$$

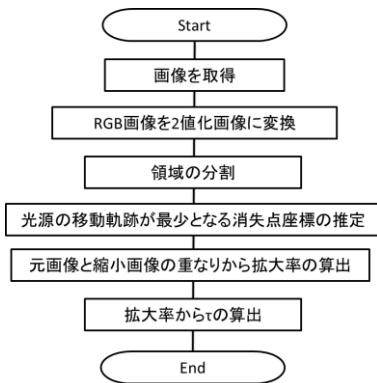


図8 提案手法(1)のフローチャート

(1) 消失点座標の推定

縮小画像を作成する際に消失点座標を中心に縮小する必要がある。推定消失点座標を $(\hat{a}, \hat{b})$ として, (12), (13)式の (a, b) に代入し画像を縮小していく。ここで, 推定消失点座標が誤っている場合, 図9のように元画像の光源軌跡と重なることなく画像は縮小される。反対に推定消失点座標が正しい場合は図10のように元画像の光源軌跡と重なりながら画像は縮小される。そして, 最終的に図11のように元画像の始点と縮小画像の終点が一致する。

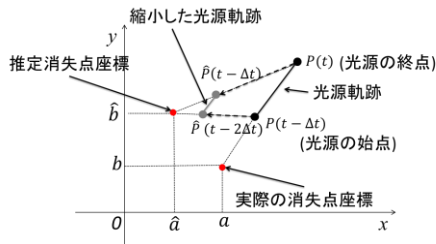


図9 光源の縮小(消失点座標が誤っている場合)

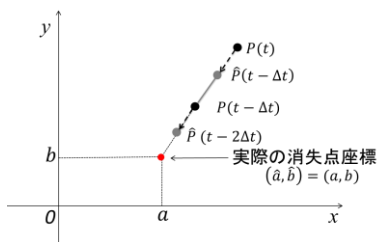


図10 光源の縮小(消失点座標が正しい場合)

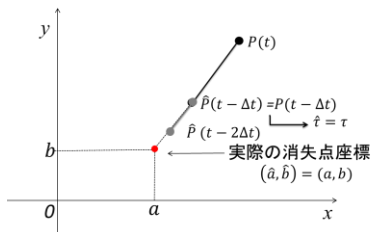


図11 元画像の始点と縮小画像の終点との一致

画像を縮小していく際の消失点座標の違いによる光源軌跡の動きを図12に示す。

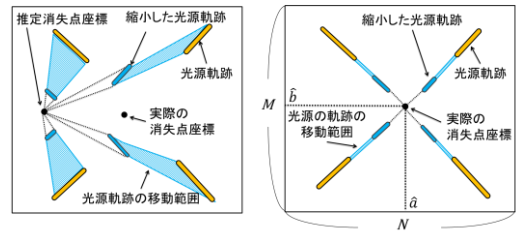


図12 消失点座標の違いによる光源軌跡の動き

図12からわかるように, 推定消失点座標が正しければ元画像と縮小画像の光源軌跡の移動範囲が最小となる。このような座標 $(\hat{a}, \hat{b})$ を消失点座標と考える。

(2) τ の推定

推定された消失点座標 $(\hat{a}, \hat{b})$ で画像を縮小していく際の光源の動きを図13に示す。

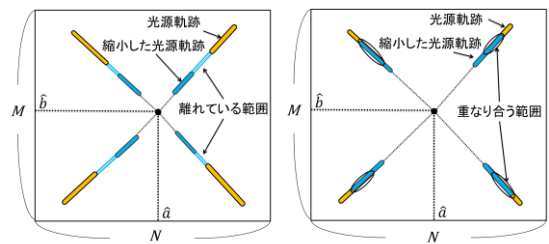


図13 画像を縮小していく際の光源の動き

この時, 元画像と縮小画像の光源軌跡が重なっている, または離れている部分の範囲が最小となる $\hat{\tau}$ を τ の推定値とする。

ここで, 取得画像に含まれている各物体が進行方向に対して同一平面上にない場合(図14), 画像全体で上記の処理を行ってしまうと正確な値が取得できない。そのため, 実際の環境では画像を複数の領域に分け, 処理を行う必要がある。そして, 各領域において上記の手法を用いて τ の推定を行う。

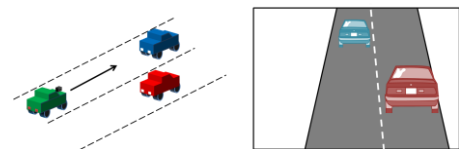


図14 実環境での見え方

5. 実験

(1) 縮小環境における実験

提案手法の有用性を確かめるため, 縮小環境にて実験を行った。図15のような環境で行い, 等速でカメラを接近していった際の取得画像は図16のようになる。シャッタースピードは0.5[s], 使用したPCのスペックとアプリケーションを表2に示す。今後行うすべての動画画像処理は表2の環境で行う。

なお, 今回の実験では光源を進行方向に対して同一平面上に設置するので, 処理は画像全体で行っている。

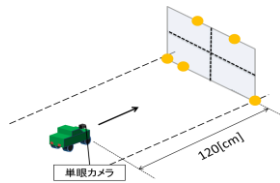
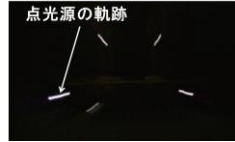


図 1 5 縮小環境での実験環境



(a) 停止時の画像



(b) 接近時の画像

図 1 6 縮小環境での取得画像

表 2 PC 環境

OS	Windows 7 Enterprise
CPU	Intel(R) Core(TM) i3 1.33GHz
メモリ	4GB
アプリケーション	MATLAB R2015a

実験結果を以下に示す．時間が経過する，すなわち物体に接近していくにつれて衝突までの残り時間 τ が線形的に減少していくのが確認できる．

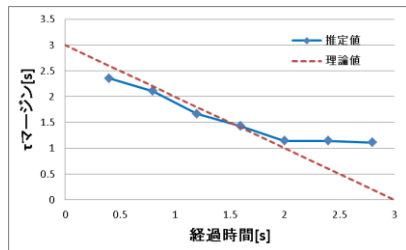


図 1 7 縮小環境での実験結果

この結果から，暗い環境で撮影されたブレ画像から点光源の軌跡を用いて τ を推定できることが確認できた．

(2) 実環境における実験

次に実際の環境で実験を行う．停止している先行車に対して等速で接近していった際の動画を撮影し，取得画像から先行車のテールランプの軌跡を用いて τ の推定を行う．図 1 8 に実験環境，表 3 に本実験の設定を示す．

なお，領域分けに関しては，前方車両と他車線や街灯などの物体を考慮に入れるため，取得画像を中心と上下左右の 5 ヶ所に分けてそれぞれの τ を推定する(図 1 9)．

また，本実験では処理時間の関係からオフラインで実験を行う．

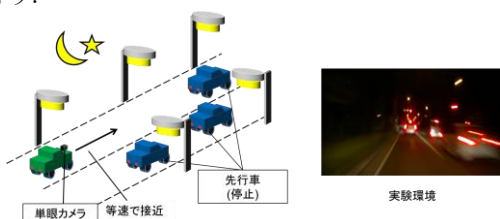


図 1 8 実験環境

表 3 実験の設定

接近速度[km/h]	50
イメージサイズ[pixel]	270×480
シャッタースピード[s]	0.5

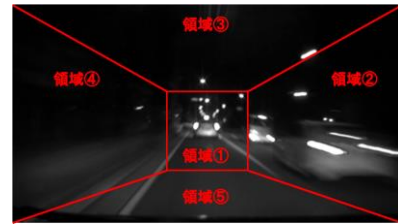


図 1 9 領域の分け方

ここで，提案手法の有用性を検証するために画像中の光源軌跡を個別に認識し，各光源軌跡の τ を推定するプログラムを作成し，その値を理論値として提案手法での結果と比較する．今回の実験環境で取得された動画では領域④と⑤では光源が映らなかったため，領域①～③での実験結果を以下に示す．

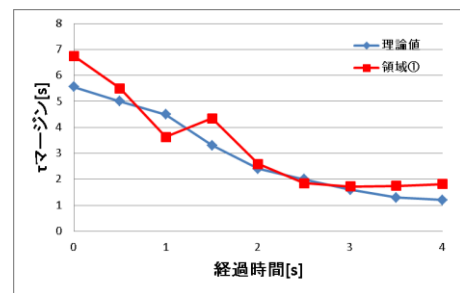


図 2 0 領域①の実験結果

領域①では前方車両に接近していく画像が取得される．図 2 0 より，経過時間に伴って τ が線形的に減少している．また，理論値と比較をしてもあまり誤差は見られない．そのため，正確な τ が推定できることが確認できた．

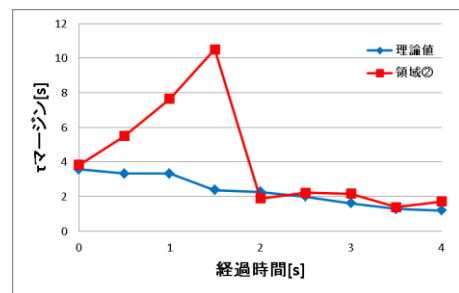


図 2 1 領域②の実験結果

領域②では右車線に停止している車両の画像が取得される．図 2 1 より，経過時間が 0～2[s]での値で大きな誤差が出ている．この理由として，領域内に進行方向に対して同一平面上にない物体が複数存在しているためであると考えられる．経過時間が 0.5[s]の時の画像を確認してみると(図 2 2)，領域②の中には右車線に停止している 2

台の車両が確認でき、これら2台の車両の光源軌跡を取得してしまい誤差となっている。経過時間が2~4[s]では手前に止まっている先行車①を通り越しており、領域②内には先行車②のみが映っているため、理論値と同じような結果となり τ が推定できることが確認できた。

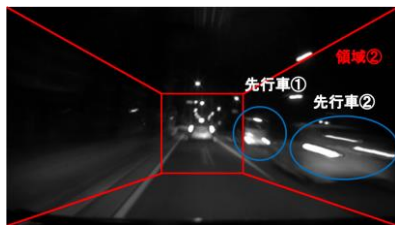


図 2 2 経過時間=0.5[s]での取得画像

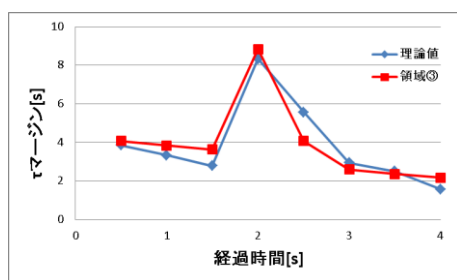


図 2 3 領域③の実験結果

領域③では画面の上に映る街灯等の光源の動きが取得される。経過時間が0[s]の時は領域③内には光源が映っていないため、0.5[s]からの結果となっている。図2-3より、理論値と測定値で誤差はあまり見られないので正確な τ が推定できることが確認できた。ここで、理論値、測定値共に経過時間が2[s]時までは線形的に τ が減少し、2[s]の時に急激に τ が増え、また線形的に減少しているのが確認できた。この理由として、経過時間が2[s]までは手前にある街灯①の光源が画像上に映っており(図2-4)、2[s]からは街灯①を通り越し、街灯②の光源が軌跡となって映っている(図2-5)ことから、2[s]までは街灯①の τ 、2[s]からは街灯②の τ を推定しているためである。



図 2 4 経過時間=0.5[s]での取得画像



図 2 5 経過時間=3.5[s]での取得画像

この結果から、領域内に複数の物体が入り込んでしまう際に τ の誤認はあるが、従来研究では有用性が確認できなかった輝度変化が少なくブレ画像が取得されてしまう暗い環境での τ の推定を行うことができ、本研究の有用性を確認することができた。また、領域分けを行うことで前方の物体だけでなく他車線の物体の τ も推定可能であることが確認できた。

6. 結論

本研究では、単眼カメラから得られる視覚情報のみを用いて衝突までの残り時間 τ を推定するシステムの開発を目的として、従来研究では有用性が確認できなかった夜間などの暗い環境において光源の移動軌跡を用いたシステムを提案した。

そして、実車を用いて実環境での提案手法の有用性の検証を行った。結果として、理論値と近い値での τ 推定が可能であり、前方の物体の接近が知覚できたことから、提案手法の有用性を確認できた。また、進行方向に対して同一平面上にない物体が領域内に複数存在する際には誤差が大きくなってしまいが、領域分けを行うことで他車線の車両の τ 推定も可能となるため、車線変更時の衝突回避等に応用できると考えられる。

謝辞：最後に本研究を進めるにあたり度重なるご指導を頂いた指導教員の伊藤一之准教授に心から感謝致します。また、本研究に関する実験に協力してくださいました研究室の皆様に感謝致します。

参考文献

- 1) I. Joung and I. Ahn, "Two-dimensional depth data measurement using an active omni-directional range sensor," IEICE Trans. Fund. Electron., Commun. Comp. Sci., vol. E84-A, no. 5, 2001, pp. 1288-1292.
- 2) B. D. Lucas and T. Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", Proc 7th Intl Joint Conf on Artificial Intelligence, 1981, pp. 674-679.
- 3) Nikkei Electronics:NE Handbook series Sensor Networks: Nikkei Business Publications, Inc., June, 2014, pp. 16-19.
- 4) J. J. Gibson, "Reasons for Realism: Essays in Feminist Theory," Lawrence Erlbaum Associates, 1982.
- 5) J. J. Gibson, "The Ecological Approach to Visual Perception," Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- 6) D. N. Lee, "The optic flow field: The foundation of vision," Phil. Trans. Royal Soc. London B, vol. 290, no. 1038, 1980, pp. 169-179.
- 7) Y. Kawai and K. Ito, "Estimation Method for Time to Contact from Visual Information - A Simple Approach That Requires No Recognition of Objects -"International Conference, IEEE 2014, Bali, Indonesia, 5-10th December, Robotics and Biomimetics, 2014, pp. 469-474.