

NaviView:動的環境センシングによる 運転者への視覚支援の取り組み

NaviView: Driver Vision Enhancement by Sensing Live Environment

田谷 文宏¹, 北原 格², 亀田 能成³, 大田 友一⁴

筑波大学大学院理工学研究科¹

筑波大学大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻^{2,3,4}

taya, kitahara, kameda, ohta@image.esys.tsukuba.ac.jp

Abstract: 道路監視カメラの映像を利用して車両周囲の情報を運転者に提供するシステム「NaviView」の一例として、交差点における視覚支援システムを提案する。本システムでは路上に設置された道路監視カメラの映像を利用することで、運転者にとって死角となる領域の情報を視覚的に提示する。本論文では、実交通環境でのシステム実現に向けた取り組みについて報告する。

Keywords: AHS, 道路監視カメラ, 画像処理, Mixed Reality, 交差点における死角

1. はじめに

ITS (Intelligent Transport Systems) とは最新の情報通信・制御技術を用いて道路交通の諸問題を解決するシステムである。現在 ITS に関する研究開発が盛んに行われており、高速道路の自動料金収受システム ETC 等、一部の技術は社会に普及しつつある。

運転の際に運転者が行う行動は認知・判断・操作であると言われている。運転者は運転中、他車両や歩行者の物体を発見し、認知する。そして、それらの物体が回避すべきであると判断をすれば、物体の回避などの車両操作を行う。交通事故の発生には、これらの行動のうち、「認知」の遅れが大きく影響している。例えば、見通しの悪い交差点で発生する、側方からの飛び出しに対する認知の遅れが引き起こす車両衝突事故などである。

この点に着目し、著者らは ITS の一例として、道路監視カメラの映像を利用し、車両周囲の情報を運転者に視覚的に提供するシステム「NaviView」を提案してきた¹⁾²⁾³⁾。NaviView では道路監視カメラによって獲得した周囲の情報を画像処理技術を用いて加工し、運転者にわかりやすい形で提供することで、運転者の認知を支援する。

本稿では NaviView システムの一例として、交差点における右折支援の実車環境での実現について述べる。まず 2 節で交差点における右折支援について述べ、3 節で実車環境でのシステム構築について述べる。更に 4 節で提示映像の生成手法について述べ、5 節で実験と考察について述べる。最後に 6 節でまとめを行う。

2. 道路全体の坂道状提示による右折支援

交差点における右折支援として、矢野らの提案した道路全体を坂道状に提示する手法²⁾の、実車環境での実現を行う。この手法では Fig.1 のような、支援を受ける運転車両 (Fig.1 中 A) が交差点を右折しようとしている状況を想定する。対向右折車線でも同様に右折しようとしている対向右折待ち車両 (B) が存在する場合、その車両の

ために死角が発生し、運転者からは対向直進車両 (C) を直接視認することは難しい。

そこで本研究では交差点内に設置された、運転車両と同じ方向を撮影する道路監視カメラの映像を利用する。道路監視カメラは信号灯付近といった、比較的高所に設置されることが一般的に想定されるため、運転者からは直接視認し難い対向直進車両を見下ろす形で撮影できる。また、運転車両には運転者視点に近い映像を獲得するため、前方向き車載カメラを設置しておく。道路監視カメラ映像を運転車両に配信し、その中の対向車線領域を、車載カメラ映像の停止線位置から始まる仮想的な坂道として重畳する (Fig.2)。この映像を車内モニタを通じて運転者に提示することで運転者に対向直進車両の存在を知らせる。

この提示映像の利点として、運転者が道路監視カメラの設置位置にかかわらず、一定の法則に従った提示映像を得られる点が挙げられる。単純に道路監視カメラ画像を運転車両にて提示した場合、道路監視カメラの設置位置が交差点毎に異なるため、運転車両と対向車両の相対位置が瞬時に判断し難いことが考えられる。本提示手法では対向車両を含む道路全体を常にその交差点に接続する坂道として提示するので、対向車両と自車との関係を見誤ることがなく、運転者の認知支援に有効であると考えられる。

3. システム構成

前述の手法を実現するためのシステム構成を Fig.3 に示す。本システムは交差点映像配信部と車載画像処理部に大別される。

交差点映像配信部では、道路監視カメラによって獲得した対向車線の映像を圧縮し、無線 LAN を通じて運転車両に配信する。

車載画像生成部は車載カメラ、GPS、慣性センサ、磁気方位センサ、無線 LAN 機器、そしてクライアント PC から構成される。

データ処理の流れとしては、まず道路監視カメラ画像

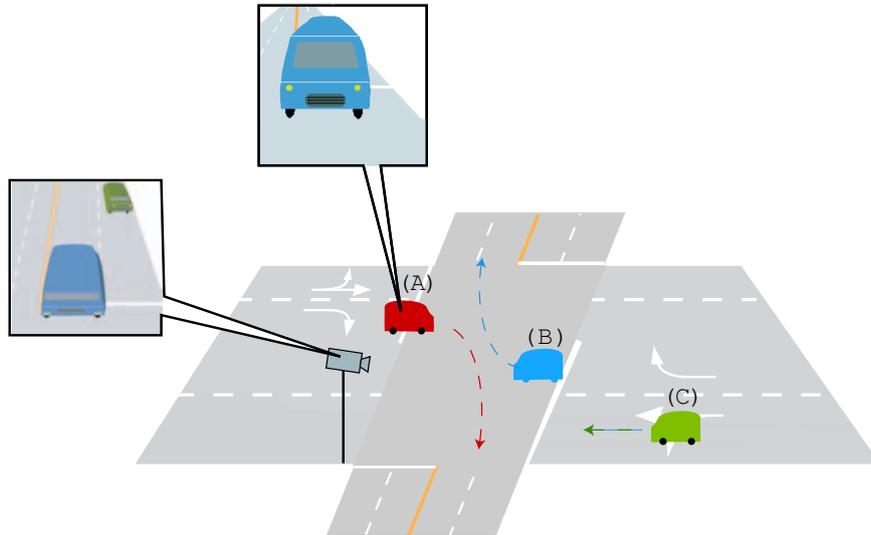


Figure 1: 想定状況

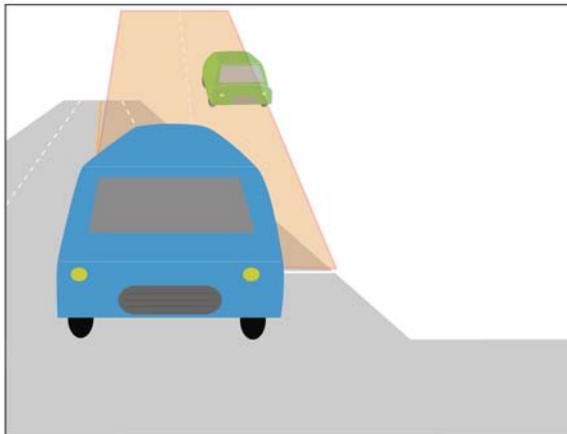


Figure 2: 坂道型提示映像

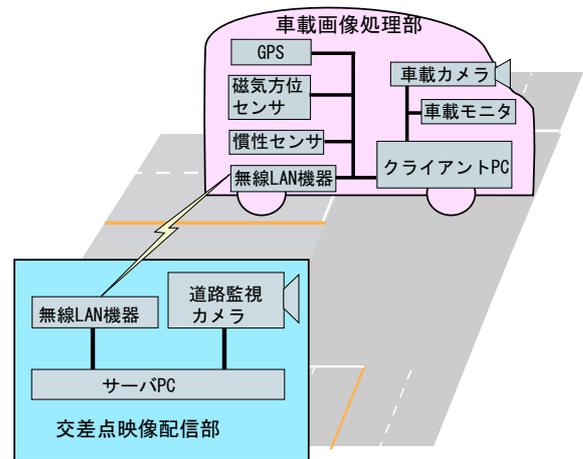


Figure 3: システム構成

を無線 LAN を経由して車中のシステムで受信する．次いで運転者視点となる車載カメラ画像中に受信した道路監視カメラ画像を重畳し，提示映像を生成する．提示映像の生成に必要な運転車両の交差点内での位置姿勢は GPS および磁気方位センサによって獲得する．最後に提示映像を，運転車両内の車載モニタによって運転者に提示する．

4. 道路監視カメラ画像の車載カメラ画像への重畳手法

道路監視カメラ映像を車載カメラ映像に重畳する際に必要な幾何変換について述べる．

本研究では以下の 4 つの座標系を定義する．

- 交差点座標系 (x, y, z) - 交差点に対して固定された 3 次元座標系

- 道路監視カメラ画像座標系 (u_r, v_r) - 道路監視カメラ画像内の 2 次元座標系
- 運転車両座標系 (x_v, y_v, z_v) - 運転車両に対して固定された 3 次元座標系
- 車載カメラ画像座標系 (u_v, v_v) - 車載カメラ画像内の 2 次元座標系

道路監視カメラ画像座標系から車載カメラ画像座標系への変換を以下の手順に従って求める．

4.1 道路監視カメラ画像座標系 - 交差点座標系間の変換行列の算出

道路監視カメラは交差点座標系に対して固定されているので，交差点座標から道路監視カメラ画像座標系を表す 3 行 4 列の射影行列 P_r をカメラキャリブレーションに

よってあらかじめ求めておくことができる。

$$\lambda_{r1} \begin{bmatrix} u_r \\ v_r \\ 1 \end{bmatrix} = P_r \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし λ_{r1} はスカラー量である。

道路を平面と仮定し、交差点座標系の z 軸を鉛直方向とすると、射影されるべき道路上の 1 点は (x, y) を与えるだけで決定できるので、式 (1) は次のように簡単化できる。

$$\lambda_{r2} \begin{bmatrix} u_r \\ v_r \\ 1 \end{bmatrix} = P'_r \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 P'_r は 3 行 3 列の行列である。この P'_r は逆行列が存在するため、

$$\lambda'_{r2} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = P_{r3 \times 3}^{-1} \begin{bmatrix} u_r \\ v_r \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

が得られる。なお、 $\lambda_{r2}, \lambda'_{r2}$ はスカラー量である。式 (3) によって画像上のある点が道路上のどこに対応するかを求めることができる。

4.2 交差点座標系 – 運転車両座標系間の変換行列の算出

交差点座標系における運転車両の位置姿勢は GPS と磁気方位センサによって求める。

GPS による車両位置の測定

GPS から得られる緯度 λ 、経度 ϕ 、高度 h は式 (4) に従って、まず地心直交座標系 (x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) に変換される。なお、地心直交座標系は地球の重心を原点とし、経度 0 度の子午線と赤道との交点方向に x 軸、東経 90 度の子午線と赤道の交点方向に y 軸、地球の自転軸の北方向に z 軸をとる座標系である。

$$\begin{aligned} x_{mg} &= (N + h) \cos \phi \cos \lambda \\ y_{mg} &= (N + h) \cos \phi \sin \lambda \\ z_{mg} &= (N(1 - e^2) + h) \sin \phi \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 $N = a / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$ 、 a は赤道半径、 e は離心率とする。

次に地心直交座標系から交差点座標系への変換を行う。その変換を行う剛体変換行列は、交差点内で地心直交座標と交差点座標の両方が既知の点を数点用意し、最小自乗法を用いてあらかじめ求めておく。

これにより、運転車両の交差点座標系上での位置が求められる。

慣性センサによる車両姿勢の測定

慣性センサに内蔵された磁気方位センサによって、地球の重心方向を z 軸、東の方角に y 軸、北の方角に x 軸を持つセンサ座標系でのロール ϕ 、ピッチ θ 、ヨー ψ 値が得られ、センサ座標系での姿勢変化 R を求めることができる。慣性センサは運転車両に固定されているので、結局、 R は運転車両の姿勢変化を表していると思なすことができる。

なお、センサ座標系–交差点座標系間の剛体変換行列は、カメラキャリブレーションを用いてあらかじめ求めておく。

以上のことから運転車両の交差点座標に対する位置と姿勢が得られれば、交差点座標系から運転車両座標系への剛体変換行列を求められる。

4.3 運転車両座標系 – 車載カメラ画像座標系の変換行列の算出

車載カメラは運転車両に対して固定されているため 4.1 と同様に、交差点座標から道路監視カメラ画像座標系を表す 3 行 4 列の射影行列 P_v をカメラキャリブレーションによってあらかじめ求めておくことができる。ただし λ_v はスカラー量である。

$$\lambda_v \begin{bmatrix} u_v \\ v_v \\ 1 \end{bmatrix} = P_v \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

4.4 重畳位置の補正

前節で述べた変換により道路監視カメラ画像の車載カメラ画像への重畳が行える。しかし、交差点座標系 – 運転車両座標系間の変換の際に用いる GPS および磁気方位センサには誤差が含まれるために、正確な重畳が行えない。そのため、画像内の重畳誤差を最小化する ICP アルゴリズム⁴⁾⁵⁾を用いてこれらの誤差の補正を行う。

まず、交差点内に存在する特徴的な物体について、交差点座標系での位置及び画像を登録しておく。この物体をランドマークと呼ぶ。走行時には現在の運転車両位置姿勢からランドマークが車載カメラに撮影されるかを求める。このときの車載カメラ画像中でのランドマーク m の投影位置を X_m とする。また、各ランドマーク m に対し、 X_m 近傍におけるテンプレートマッチングを行う。ここでテンプレートマッチングによって類似度が高いと判定された位置を $X_{m_n} (n = 1, 2, \dots, N)$ とする。

そして、各テンプレート m に対し X_m と最も近い X_{m_n} との距離を求めてゆき、それらの和が最小となるように車両位置および姿勢の補正を行う。この後補正とランドマークの投影を繰り返し行い、その誤差が十分に小さくなれば補正終了である。

5. 実験

5.1 実車環境におけるシステム構築

本提示手法を実車環境で実現するため、筑波大学構内に道路監視カメラ及び無線 LAN アンテナを設置した



Figure 4: 実験環境



Figure 6: 実験車両



Figure 5: 道路監視カメラ



Figure 7: 運転車両上部

(Fig.4,5)．道路監視カメラは道路表面から約5m上方地点に設置した．

実験車両 (Fig. 6) には、ダッシュボード上に車載カメラと磁気方位センサを設置し、車両上部に無線LANアンテナ、GPSアンテナを設置した (Fig.7)．また、車載モニタとして、運転車両内のナビゲーション用モニタを利用する (Fig.8)．

5.2 提示映像の生成

Fig.9に車載カメラ画像を、Fig.10にその一部を拡大したものを示す．また Fig.11に同時刻に撮影された道路監視カメラ画像を示す．Fig.9中では対向直進車両の存在が、対向右折待ち車両によって発生した死角によって直接視認できない．これは実験時の運転者も同様である．しかし道路監視カメラによって対向直進車両が撮影されていることが Fig.11 から分かる．

Fig.12に生成した提示画像を、Fig.13にその一部を拡大したものを示す．運転者は提示画像によって対向直進車両の存在を認知することができる．

5.3 車両位置姿勢の補正

比較のため、ICPアルゴリズムによる車両位置姿勢の補正を行わない場合の提示映像と行った場合の提示映像を Fig.14, Fig.15に示す．また、その際に用いたランドマー

クを Fig.16中に、Fig. 16中Aのランドマークについて、車載カメラ画像上での位置を Fig.17中に示す．Fig.17中実線で囲まれた領域が初期投影位置、破線で囲まれた領域が補正後の投影位置である．

車載カメラ1画像中への道路監視カメラ領域の重畳基準点である停止線の位置のずれを測定したところ、補正を行わない場合は10~20 pixelほどのずれが存在したが、補正によってそのずれは5~15 pixel程度にまで減少することが確認できた．

しかし、この補正処理はテンプレートマッチングに基づいているため、ランドマークの部分的な隠れに大きく影響を受ける事が考えられる．現在、より良い補正処理手法について検討中である．

6. おわりに

本研究では、道路監視カメラを用いて視覚支援を行うシステム「NaviView」の一環として、交差点での右折衝突事故防止支援となる、道路全体を坂道状に提示するシステムを構築した．今後の課題として、より良い車両位置補正手法の検討や、提示映像の運転者に与える効果などのシステム評価が挙げられる．



Figure 8: 車載モニタ



Figure 9: 車載カメラ画像



Figure 10: 車載カメラ画像 (拡大)



Figure 11: 道路監視カメラ画像



Figure 12: 提示画像



Figure 13: 提示画像 (拡大)

References

- [1] 市原栄太郎, 高尾広行, 大田友一, "NaviView: 仮想車載カメラ映像による運転者への視覚支援", 信学論 (D-II), Vol. J82-D-II, No. 10, pp. 1816-1825, 2005.
- [2] 矢野孝明, 大田友一, "NaviView: 道路監視カメラ映像を用いた運転者への視覚支援 - 交差点における死角削減-", Proc. ITS シンポジウム 2002, Vol. 1, pp. 65-70, 2002.
- [3] 小島和浩, 亀田能成, 大田友一, "Naviview: 見通しの悪い交差点での仮想ミラー提示による運転者への視覚支援", 電子情報通信学会 技術研究報告 (PRMU), Vol. 103, No. 737, PRMU2003-259, pp. 19-24, 2004.
- [4] Paul J. Besl and Neil D. McKay, "HA Method for Registration of 3-D Shapes", IEEE Trans. On PAMI, vol. 14, No. 2, pp. 239-256, 1992.
- [5] Yoshinari KAMEDA, Taisuke TAKEMASA, and Yuichi OHTA, "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras", IEEE and ACM International Symposium on Mixed Augmented Reality, pp. 151-160, 2004.



Figure 14: 提示画像 (ICP アルゴリズムによる補正なし)



Figure 15: 提示画像 (ICP アルゴリズムによる補正あり)



Figure 17: ランドマークの車載カメラ画像への投影

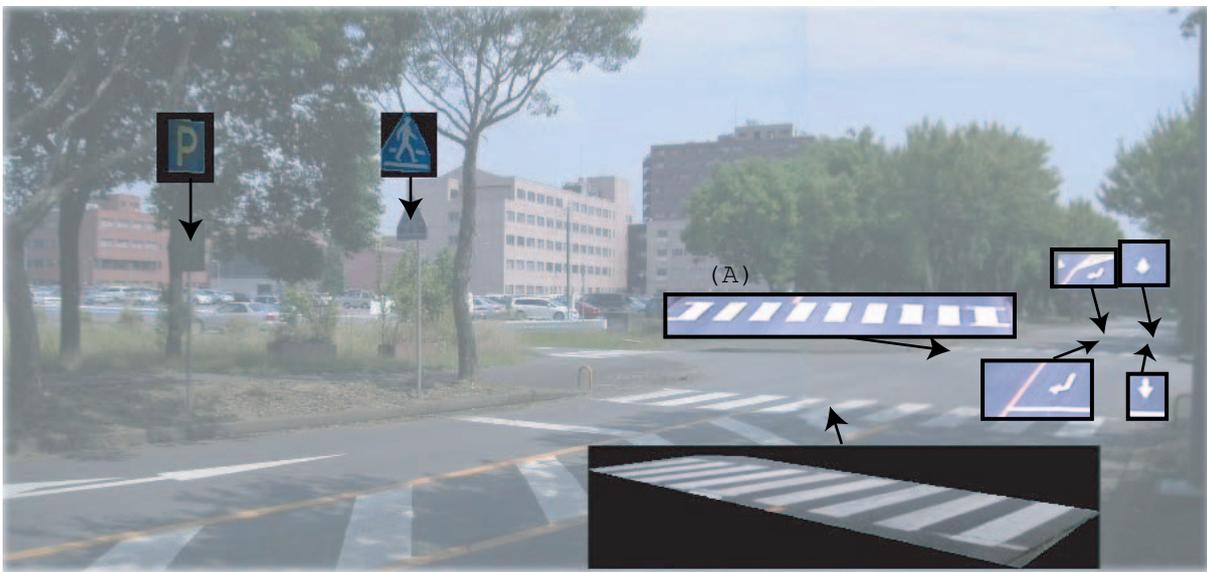


Figure 16: ランドマーク