

画像センサによる速度計測に関する考察

業務部 交通管制課 高田 裕之
保全施設部 電気通信課 桃澤 宗夫
神戸管理部 施設保全課 今井 正彦

要 旨

現在、道路交通情報収集機能の高度化を図るため、交通流の状況を空間的にも時間的にも計測できる画像センサの導入が検討されており、実験的に阪神高速道路の本線上に画像センサが設置されている。画像センサは画像処理により交通流を計測する方式であるため、従来の道路交通情報収集センサに比べ、交通流の変化を詳細にとらえることが期待できる。本稿では画像センサから得られた車両速度の計測値について精度の検証を行い、画像センサにより得られた計測値を基に交通流の分析を試みる。

キーワード：画像処理，センサ，交通流，車両速度，計測

はじめに

道路交通管理業務において、交通状況を迅速かつ詳細に把握することが求められる。交通流監視テレビカメラによる交通状況の監視は、詳細な交通状況を迅速に知るために必要不可欠となっている。交通流監視テレビカメラは、画像を媒体として、人間による交通状況の判断を補助する装置と位置付けられる。この判断を自動化しようとする試みは以前からあった。例えば、10年ほど前に阪神高速で導入された突発事象検出装置は、事故多発地点における事故や停止車両を、テレビカメラでとらえた画像から自動的に検出することが目的であった。

最近では、従来超音波センサで行っていた車両速度等の交通流に関する計測値を画像から自動的に出力するシステムが研究されている。入力画像であるため、道路の一断面において交通計測を行う超音波センサに比べると、広範囲で詳細な計

測が期待できる。阪神高速においても数年前からこの画像処理方式による交通計測センサ（以下、画像センサと呼ぶ）の実験および検討がなされている。

以上の状況をふまえ、本稿では画像センサによる速度計測精度の検証を行い、画像センサの実用性について検討する。また、画像センサにより得られた計測値を基に交通流の分析を試みる。

1. 画像センサの概要

速度計測の議論に入る前に、画像センサによる交通流の計測の仕組みについて、装置構成、機能および設置方法の面から概略を述べる。

1-1 画像センサの仕組み

画像センサを用いて必要な交通流の計測値を得るまでの処理の流れは図-1に示すとおりである。画像センサは画像撮像装置（CCDカメラ）及び

画像処理装置（コンピュータ）から構成されている。

CCDカメラは道路上に設置し、道路及び走行車両の撮影を行う。この際、交通流が計測しやすいようにカメラの設置高さ、俯角、視野範囲などを考慮する必要がある。CCDカメラにより得られた映像は映像信号として画像処理装置に送られる。

画像処理装置では、まず、送られた画像に対し画像処理アルゴリズムにより車両の認識を行う。車両の認識までに必要な画像処理としては、レンズによる画像の歪みや振動による画像のぶれの除去、座標変換、輝度補正、車両及びその属性の抽出などがある。画像処理アルゴリズムの結果として、車両の位置、車両の移動量、車種等が計測できる。これらの計測値を一次処理情報としている。さらに、一次処理情報を時間軸に沿って記録し、統計的な処理を行うことによって、平均速度や道路に対する車両の占有率等の二次処理情報を算出している。

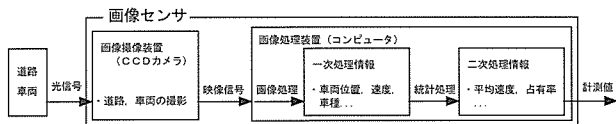


図-1 画像センサによる交通計測処理

一次処理情報と二次処理情報の区別は画像処理方式によって決まり、画像処理方式は複数提案されているため、計測値の種類ごとの厳密な区別はできないが、概ね一次処理情報は個別車両に対する瞬時の計測値、二次処理情報は複数の車両に対する統計的な計測値を表している。

画像センサでは画像そのもの、一次処理情報、二次処理情報のいずれについても出力とすることができる。しかし、画像そのものは他システムへの伝送の際に伝送容量を多く必要とし、一次処理情報は道路の振動、道路の照度、画像処理アルゴリズムの特性等を要因として誤差を生じるおそれがあるため、平均化などの統計処理により誤差の影響を少なくした二次処理情報を出力とすること

が多い。

1-2 画像センサの設置状況

本稿の計測で用いた画像センサは、3号神戸線京橋付近の中央分離帯にある照明柱に仮設置されたものである。図-2に示すように、CCDカメラは大阪向き（東向き）、俯角約11度で照明柱上部に取り付けられている。この取付状態で、道路の進行方向に対し約120m区間の計測が可能である。本稿では車両の後尾を追う形で大阪方面の2車線を計測している。

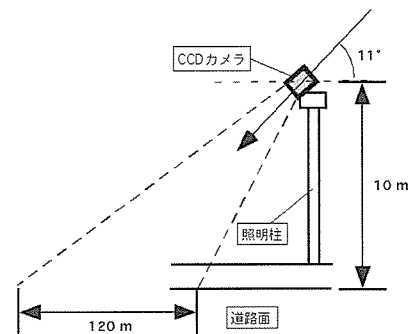


図-2 CCDカメラ設置状況

2. 速度計測精度の検証

画像センサでは車両速度計測、通過車両台数計測、車種判定、異常事象検出などが可能といわれている。本稿では車両速度の計測に関することに限定して以下詳述する。まず、画像センサによって計測された車両速度について精度検証を行う。

車両速度の検証は、録画された映像を目視によって計測した速度を基準値とし、画像センサ計測値と比較することにより行う。画像センサはこの目視による作業を自動的に行うものといえる。目視による基準値に対して有意差がなければ、計測値として実用性があると言える。

なお、目視計測には画像センサとは別のカメラを用意して映像を録画している。このカメラはビルの屋上から真下を見るように設置されることから、道路の振動による影響が少なく、道路の進行方向に対する遠近差も小さいため、計測しやすい条件となっている。

2-1 計測速度の算出方法

目視による計測速度と画像センサによる計測速度の算出方法について述べる。基になる情報は画像センサから得られた画像と上述の目視計測用カメラからの画像である。まず、一定期間2つの映像を記録する。次に、これら2つの映像を再生し、ある同一の時刻で停止させ、その時点で同じ計測領域内にある車両の平均速度を比較の対象とする。

目視による計測の場合は、比較の対象となる時点から遡って、一定間隔(10m)で引かれている路面上の白線1つ分を通過する時間を各車両につ

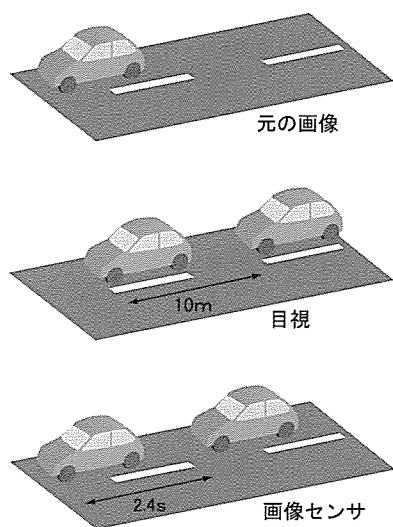


図-3 目視及び画像センサでの計測方法

いて測る(図-3中)。この一定間隔を車両の通過時間で割れば、各車両の速度が計算でき、この速度の相加平均を取ることで平均速度を算出している。

一方、画像センサの場合は記録映像を一定時間(本稿では2.4秒としている)巻き戻して、画像センサにより各車両の移動距離を計測する(図-3下)。各車両についての移動距離を足し合わせて一定時間で割ることにより、平均速度を算出している。

2-2 全データによる検証

画像センサによる計測速度と目視による計測速度との一致の度合いを計測された全データを対象として検証する。

検証の方法としては統計的手法の1つである仮説検定¹⁾を用いる。本来統計学が計測誤差の理論から出発していることも考えると、方法としては妥当であろう。検定対象となるデータは計測速度から算出される誤差率を用いる。これは画像センサによる計測速度をx、目視による計測速度をyとしたとき、 $100(x - y) / y$ (%)で表される値である。検定対象のデータとして計測速度そのものを用いないのは、車両速度の分布が正規分布であるかどうか不明であるからである。誤差率に速度差でなく速度比を用いているのは、速度が低いときの単位速度の違いが高い速度のときに比べて無視できなくなると考えられるからである。この誤差率が平均0の正規分布にしたがっていれば、仮に計測誤差があったとしても、計測上問題となる偏りは見られないといえる。また、仮説検定にはいくつかの種類があるが、誤差率が平均0、分散不明の正規分布に従うと仮定してt検定を用いることとする。

データについては、「阪神高速道路交通管制施設仕様検討業務(平成9年度)」で計測されたもの²⁾を用いている。晴天、雨天、曇天の各気象状況、渋滞、非渋滞の各交通状況、早朝、昼間、薄暮、

夜間の各時間帯についてデータ数はほぼ同一となっているため、これらの各条件に起因するデータ特性の偏りは少ないと考えられる。また、計測は走行車線、追越車線の両方で行われており、データについても両車線の計測結果を用いている。

これらの条件のもとで、全データを用いた仮説検定を行った。帰無仮説として上述の誤差率平均が0となること、対立仮説として誤差率平均が0にならないこととしている。有意水準は5%である。なお、仮説検定による計測値の精度評価については上述の報告書では行われていない。結果の概要については表-1、誤差率分布については図-4に示す通りである。

表-1から、 $|t| \leq t_{0.025}(309)$ であり、有意水準5%

表-1 計測速度検定結果

標本数 n	310
画像センサによる平均速度 (km/h)	49.90
目視による平均速度 (km/h)	50.63
誤差率平均 (%)	1.144
誤差率分散	180.4
検定統計量 t	1.500
t分布表の両側5%点 $t_{0.025}(n-1)$	1.968

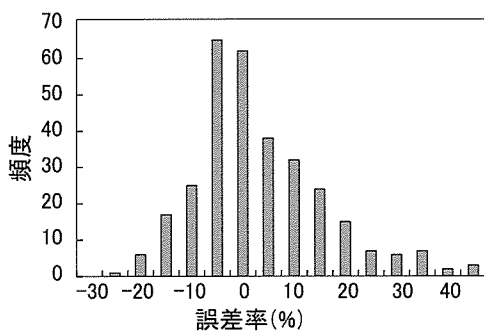


図-4 誤差率分布

で帰無仮説は棄却できないという結果が得られた。言い換えると、画像センサによる速度計測値と目視による速度計測値の間に有意差があるとはいえないということになる。しかし、誤差率の標準偏差が表-1の誤差率分散から $\sqrt{108.4} = 13.43(\%)$ と比較的大きく、tの値も採択の範囲内ではあるが両側5%点に近い値であることから、誤差を大きく

している何らかの要因が存在する可能性もあり、計測値の特性について更に詳細に分析する必要がある。

2-3 速度別検証

誤差率が速度に依存しないと仮定すれば、どの速度領域においても誤差率に偏りは見られず、誤差率は正規分布をとるはずである。そこで、今度は目視による速度をいくつかの速度領域に分けた上で、前項と同様にt検定を行った。用いたデータは前項と同じものであるが、速度領域が表に示す範囲から外れたデータについては除外している。帰無仮説、対立仮説は前項と同様、誤差率平均が0か0でないかである。有意水準はいずれも両側5%である。検定結果は表-2に示すとおりである。

表-2 速度別検定結果

速度領域 (km/h)	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90
標本数 n	52	85	53	53	57
誤差率平均 (%)	8.638	4.305	-0.747	-2.120	-8.029
誤差率分散	303.1	152.1	63.81	60.37	38.87
検定統計量 t	3.578	3.218	-0.681	-1.986	-9.723
t分布表の両側5%点 $t_{0.025}(n-1)$	2.008	1.989	2.007	2.006	2.003
帰無仮説 (誤差率=0)	棄却	棄却	採択	採択	棄却

表-2では各速度領域に対して、 $|t| \leq t_{0.025}(n-1)$ であれば、誤差率平均が0であるという帰無仮説を採択、そうでなければ棄却としている。この結果から、速度領域が45km/hから75km/hの場合は、画像センサによる計測速度と目視による計測速度の間に有意差が見られないことがわかる。また、誤差率平均については速度が高くなるほど小さく、速度が低くなるほど大きくなっている。このことは画像センサによる計測速度が目視による計測速度に比べ、速度が高い場合は小さく、速度が低い場合は大きく計測されていることを意味している。さらに、誤差率の分散については速度が低くなるほど大きくなっている。

前項で速度領域を分けずに検証した場合は有意

差がないという結論であったが、速度領域毎の検証では差が目立っている。誤差率平均の速度による傾向が前項の検証では打ち消されてしまうことが分かる。

誤差が大きくなる要因については現在のところ特定はできていないが、いくつかのことが考えられる。誤差率の平均については、速度が大きくなるほど誤差率平均が小さくなるという一定の傾向をもっていることから、何らかの画像センサ固有の要因であると考えられる。また、この現象がすべての画像センサに共通であるか、今回実験に用いた画像センサや設置条件に依存するかについても考慮を要する。低速度領域では画像センサと目視とで計測領域が各車両について原理上ほぼ一致するにもかかわらず分散が大きい。車両が低速度になるほど、計測する車両位置のわずかなずれが計測速度に及ぼす影響が大きく、目視の計測速度はその方法から真の値に近いものとなり、これに上述の画像センサの要因が重なって分散が大きくなると考えられる。

3. 計測速度を用いた交通流の分析

次に、前節での画像センサによる速度計測の結果を考慮の上、地点ごとの交通流について分析を試みる。道路線形が直線的な地点と曲線的な地点

とを選定し、2地点間で車両速度の変化に異なる傾向が見られるかどうかを分析する。

3-1 分析の方法

まず、分析に必要なデータを得る場所であるが、神戸線30.6kp付近の照明柱（照明柱番号：京-21）とその照明柱から車両の進行方向に対して約120m下流側にある照明柱（照明柱番号：京-24）にそれぞれカメラが設置されているので、この2地点でデータ採取を行っている。この付近の道路線形およびカメラ設置位置は図-5に示すとおりである。上流側は図からも分かるように計測領域がほぼ直線区間である。一方、下流側は計測領域の後半部分が一定半径の曲線区間となっている。なお、図-5にある擦付部は曲線半径が徐々に小さくなる区間である。2地点の映像例はそれぞれ図-6、図-7に示すとおりである。計測は晴れた日の昼間に任意に5分間を選定して行っている。データについては、上記の地点で図-6、図-7に示すような処理前の画像と、処理結果として各時刻における車両の位置情報とを用いている。図-8でプロットされた各点が車両の位置を表している。なお、実際のシステムでは図-8上をそのまま計測結果とするのではなく、何らかの補正処理を行って、車両とみなされないものについては除外している。

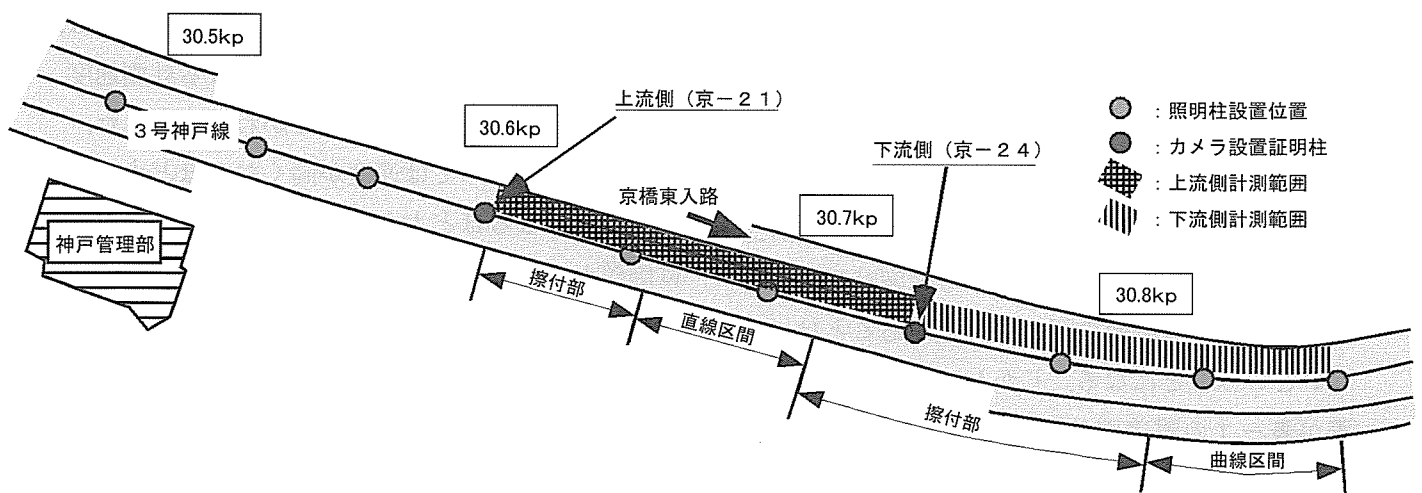


図-5 画像センサ設置位置付近の道路線形



図-6 上流側（京-21）映像例

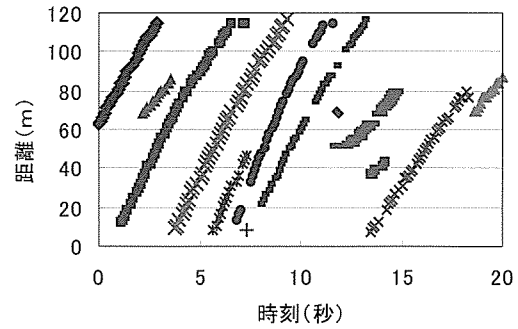


図-7 下流側（京-24）映像例

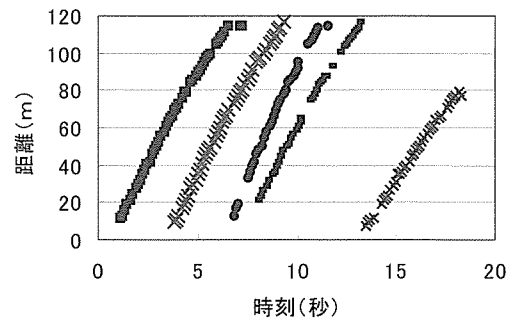
図-8上ではいくつかの特徴が見られる。まず、同一の車両についてプロットされた各点が時間軸に沿って滑らかになっていない。道路の振動や照度の変化を要因として、位置に誤差を生じているものと考えられる。また、検出が途切れている箇所が見られる。特定の時刻に同時に発生しているものについては、処理上の問題と考えられるが、同時刻で特定の車両にだけ発生している場合もある。いくつかの要因が複合していると考えられる。

図-8の縦軸は画像センサ設置位置からの距離を表しているが、最も遠い部分で車両が停止したような計測結果となっている部分がある。画像センサから遠くなるにつれて、1つの画素に対応する実際の距離が大きくなるため、移動の検出が困難になっているものと考えられる。さらに、遠い部分で計測が途切れている場合もあった。前後を

走る車両の重なりにより検出ができなくなったものと考えられる。



↓ データ抽出



↓ 速度推定

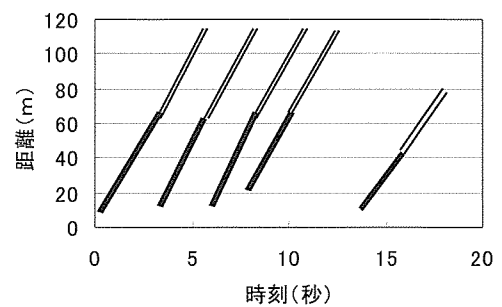


図-8 計測データからの速度の推定

一方、これらの特徴に対して、処理前の画像の目視による確認も行っている。晴れた日の昼間であったため、走行車線側では追越車線を走る大型車の影が、追越車線側では対抗車線を走る大型車の影ができ、それらがプロットされている場合があった。また、計測期間中に停止等の異常走行をする車両は見当たらなかった。下流側の走行車線については入路があるため、計測領域内の途中から認識されている場合が少なからずあった。なお、

計測期間内に車線変更する車両はほとんど見られなかった。

次に、元のデータから分析に必要なデータを抽出する方法について述べる。前節では単位計測時間の平均速度による検証を行い、45km/h～75km/hの範囲であれば誤差の少ない計測ができているという結果であった。また、各地点において各車両の速度が変化する様子を知るためには1つの画像センサの計測領域内で2回速度を計測する必要がある。以上を考慮し、

- ① 単位計測時間の2倍以上の時間にわたって計測ができている。
- ② 前半および後半の単位計測時間における推定速度がいずれも45km/h～75km/hの範囲にある。
- ③ 計測中に停止または逆行の状態に陥っていない。

の3つの条件をすべて満たすデータのみ抽出した。各車両の単位計測時間内の平均速度については最小二乗法を用いた線形回帰関数による推定を行っている。計測データから速度を推定するまでの流れは図-8に示す通りである。

最後に、抽出されたデータの分析を行う。上述の方法で各車両について前半の単位計測時間における速度 v_1 、後半の単位計測時間における速度 v_2 が算出できるので、それらの速度変化率を求める。速度変化率は $100(v_2 - v_1)/v_1(\%)$ で表される。もし、統計上速度の変化が見られないとすれば、速度変化率は平均0の正規分布をとるのであろう。したがって、速度変化率が平均0、分散不明の正規分布に従うと仮定してt検定を用いることとする。

3-2 分析結果

前項で述べた方法に従い、上流側および下流側の2地点での分析を行った結果を表-3に示す。各地点について走行車線と追越車線に分けた上で分析を行っている。検定は有意水準を両側5%としている。各地点の走行車線または追越車線にお

いて、速度変化率に対する検定統計量 t が $|t| \leq t_{0.025}(n-1)$ であれば、速度変化率平均が0であるという帰無仮説を採択し、そうでなければ帰無仮説を棄却としている。

表-3で上流側の走行車線では帰無仮説が採択となっており、この区間内での車両の速度変化に有意差は見られない。一方、下流側の走行車線の平均速度に注目すると、後半の平均速度が前半のそれに比べ著しく低く計測されており、帰無仮説が棄却であるという検定結果からも、速度に変化が出ていることが分かる。上流側の道路線形がほとんど直線であり、下流側が曲線の合流部であることを考えると、自然な結果といえる。

追越車線では、上流側および下流側のどちらにおいても75km/h以上の計測速度を示す車両が多いため、抽出条件に適合したデータ数は少なく、結果についても参考程度と考えられる。表-3において上流側で前半と後半の平均速度を比較すると後半の平均速度がわずかに大きくなっている。一方、下流側では速度変化は比較的大きいが、検定の結果では採択となっており、後半部分で速度を落としているとは断言できないという結果になっている。下流側の追越車線では走行車線ほど合流部の影響を受けていないものと考えられる。

表-3 2地点の速度変化の分析結果

	上流側(京-21)		下流側(京-24)	
	走行車線	追越車線	走行車線	追越車線
標本数 n	29	5	16	5
前半2.4秒の平均速度 (km/h)	60.08	56.38	63.27	69.00
後半2.4秒の平均速度 (km/h)	58.92	56.74	52.25	60.21
速度変化率平均 (%)	-1.692	1.46	-16.81	-12.2
速度変化率分散	56.09	96.39	40.52	136.8
検定統計量 t	-1.217	0.331	-10.56	-2.326
t分布表の両側5%点 $t_{0.025}(n-1)$	2.048	2.776	2.131	2.776
帰無仮説 ((変化率平均) = 0)	採択	採択	棄却	採択

4. おわりに

本稿では画像センサによる速度計測のデータを基に、計測精度の検証と画像センサ応用の例を示した。

速度計測精度の検証については、ある一定の速度領域で目視による計測と画像センサによる計測に有意差が見られないという結果であった。実用化に向けてさらなる精度向上が望まれるところである。また、画像センサでは車両台数、車種等の車両速度以外の交通流に関する計測もできるため、これらの計測精度についての検証も別途必要であろう。

一方、画像センサ応用例として車両速度の分析を行った。数十メートル程度のごく短い距離においても車両速度が変化する可能性があることが示された。しかし、速度計測精度の評価結果による制

約もあり、あまり多くのことは分析できなかった。この点については今後他の実験を行い、多面的に分析を進めていくことで解決を図りたい。また、対象となるデータを増やすことができれば、交通流に対するさらに高度な分析が可能になると思われる。この点も今後の課題である。

参考文献

- 1) 東京大学教養学部統計学教室：統計学入門，東京大学出版会1991. 7.
- 2) 阪神高速道路公団：阪神高速道路交通管制施設仕様検討業務報告書1998. 3.

STUDY OF VELOCITY MEASUREMENT BY IMAGE SENSOR

Hiroyuki TAKADA, Muneo MOMOZAWA and Masahiko IMAI

We have been investigating sensors that measure traffic flow with image processing technology (we call them Image Sensors) for a few years. Through this investigation we have reached the conclusion that the work those engaged in road management should do before introducing them is to evaluate measured values and to clarify their purpose. In this paper we show some examples of this work using the velocity of cars measured by Image Sensors.