

M-CubITS を用いた車両測位実験

金 帝演^{†a)} 長谷川孝明[†]

Vehicle Positioning Experiments by Using M-CubITS

Jeyeon KIM^{†a)} and Takaaki HASEGAWA[†]

あらまし 本論文では地面をベースとした位置特定システムである M 系列マルチモーダルマーカ位置特定システム M-CubITS を提案し、データベースの構築を行い、基礎実験及び走行測位実験が行われている。M-CubITS は M-CubITS 素子を M 系列状に配置し、ユーザのカメラでそれらの素子の並びを検出し、データベースとの比較からカメラの位置と方向を特定する位置特定システムである。基礎実験では屋内と種々の環境での実験を行った上で、実用的な M-CubITS 素子の大きさや間隔について検討を行い、これらを用いて走行測位実験を行っている。走行測位実験では 2 台のカメラを車両に設置し、そのうち 1 台は路上に設置した巻尺を撮り、その 1 フレームごとの位置を真値とする。もう 1 台は前方を撮り、その 1 フレームごとに位置を特定した結果を推定値とする。走行測位実験は平均速度約 6.3 km/h, 32 km/h, 55 km/h で行われ、提案システムの有効性が示されている。

キーワード M-CubITS, EUPITS, GPS, 位置特定システム, M 系列レーンマーカ

1. ま え が き

近年、交通事故や渋滞の問題を解決するための新たな交通システムとして高度交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) の研究と開発が盛んに行われている [1]~[3]。ITS を「IT で高度化された人と物の移動システム」と定義した上で、ITS プラットフォームが提案されている [4], [5]。ITS 分野では情報通信と位置特定が重要であり、プラットフォームの観点から第 1 種, 第 2 種, 第 3 種 ITS プラットフォームに分けられている。特にその中で第 1 種 ITS プラットフォームではリアルタイムで高精度な位置特定が要求されている。この第 1 種 ITS プラットフォームのアプリケーションとして代表的なものに安全運転支援システムがある。

安全運転支援システムではロバストかつリアルタイムで高精度な位置特定が要求されている [6]。例えば、走行中、接触事故が起き、急停車する場合、直後を走行する車両にその情報が瞬時に伝えられるようなシス

テムが実現できればより多重事故を回避できる可能性が高まる。このとき、通信により伝送される情報の中で自車の位置情報・速度・方向は最も重要なものの一つである。高速道路でリアルタイムかつ高精度な位置特定ができれば、安全性が向上し、自動運転にもつながる。一般道路での事故は交差点付近で最も多い。特に、右折する車と対向車線を直進してくる車の衝突 (右直事故) が多い。ITS 技術によって事故低減のためには交差点付近でのリアルタイムで高精度な位置情報が要求されている。

ITS で一般的に用いられる位置特定システムとしてスペースベース位置特定システム (SBPS: Space Based Positioning System) である GPS (Global Positioning System) がある。GPS は四つの衛星から電波の到達時間差から 4 元連立二次方程式を解くことで位置を特定する。実際、見通しが良いところでは四つ以上の衛星が見えるので、すべて衛星を利用して最小二乗法または重み付き最小二乗法で位置を特定する。GPS の測位精度を向上させた DGPS (Differential GPS) と RTK-GPS (Real Time Kinematic GPS) がある [7], [8]。GPS は受信機が安価で、衛星が見える場所ならどこでも位置特定可能である。しかし、高層ビルが林立し、立体交差点や地下道が多い都市部では、マルチパスやシャドーイング、反射などにより高精度

[†] 埼玉大学大学院, さいたま市

Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, 255 Shimookubo, Sakura-ku, Saitama-shi, 338-8570 Japan

a) E-mail: jykim@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

な位置特定が困難である [9]。GPS 系の誤差の要因には大きく分けて二つの種類がある。一つには衛星の軌道の揺らぎや電離層などによる揺らぎから電波の到達時間の変化によって生じる誤差がある。高い建物がない郊外での誤差の主原因となる。もう一つには建造物などの反射による到達時間の変化から生じる誤差がある。都市部での誤差の主原因となる。ここでは次元を落として説明する。RTK-GPS の場合、図 1(a) のように見通しが良い場所では前者のような揺らぎによる誤差は小さくできる。しかし、後者のような反射による誤差は解決できない。例えば、図 1(b) のように直接波が見えない、反射波のみが見える場所ではビルの反対側に誤って位置を特定し、その位置で揺らぎが小さくなるのみである。文献 [11] で筆者らは RTK-GPS と M 系列レーンマーカ位置特定システムとの性能比較を行った。その結果、高架付近での推定値は大きくずれている。GPS を用いるカーナビゲーションではジャイロなど他のセンサのセンシング結果と統合し、地図上の道路にマッピングすることで安定的に見える。これらの理由から安全運転支援システムで要求されるリアルタイムで高精度な位置特定には不十分である。

前述の問題を解決するために、筆者らは地面（道路）をベースとした位置特定システム（GBPS: Ground Based Positioning System）である M 系列レーンマーカ（M-Sequence Lane Markers）位置特定システムを提案し、検討を行った [10], [11]。M 系列レーンマーカ位置特定システムはレーンマーカ（磁気マーカと電波マーカ）の真上ではリアルタイムで高精度な位置特定が可能であるが、レーンマーカから離れた場所では位置特定ができない。また敷設や道路管理面にコストがかかる上で位置特定のために専用センサ（磁気センサまたは電波受信機）を必要とする点から総コスト面でも問題がある。本論文ではこのような問題を解決する

ために、現在自動車に搭載されつつある前方カメラを用いた新たな位置特定システム M-CubITS を提案し、基礎実験と走行測位実験を行う。2. では M-CubITS を提案し、3. では基礎実験を行い、4. で走行測位実験を行う。5. では誤りのある場合の位置特定について述べ、6. にむすびを示す。

2. M-CubITS の提案 [4], [15] ~ [19]

2.1 M-CubITS (M-sequence Multimodal Markers for ITS)

M-CubITS は図 2 のように M-CubITS 素子を M 系列に従って通行区分線上、路側帯、路側、駐車場、通路等に配置し、ユーザのカメラで M-CubITS 素子（以下素子）の並びを検出し、M 系列上でのチップ特定を行い、素子からカメラの位置と方向を特定し、地図上に表示する位置特定システムである。M-CubITS は自動車用、二輪自動車用と歩行者用に大別されるが、本論文では自動車用を対象とする。歩行者に関する研究は文献 [20] で行われている。

M-CubITS は M 系列レーンマーカ（磁気マーカと電波マーカ）から離れた場所から位置特定ができない M 系列レーンマーカ位置特定システムと異なり、素子から離れた場所からでもリアルタイムで高精度な位置特定が可能である。また、コスト面でも有利である。社会にシステムを導入するときの総コストは 1 台当りのコスト × 台数とインフラコストとランニングコストの和である。ここで 1 台当りのコストは台数に比例するため、総コストに大きな影響を与える。M 系列レーンマーカの場合は道路に磁気マーカまたは電波マーカの敷設が必要であり、インフラコストもかかる。更に、位置特定のために専用センサ（磁気センサまたは電波受信機）が必要であるので、1 台当りのコストが大き

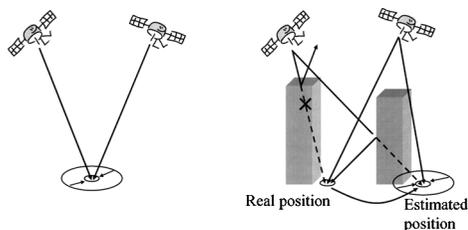


図 1 GPS 系の誤差
Fig. 1 Error of GPS.

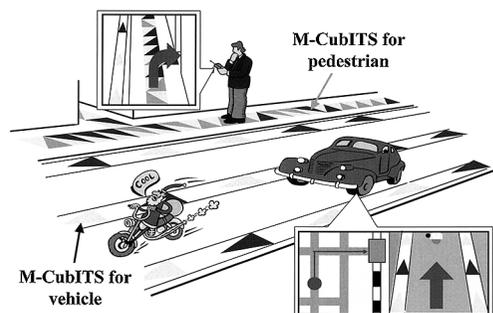


図 2 M-CubITS
Fig. 2 M-CubITS.

い。したがって、台数が多くなると総コストが大きくなる。M-CubITS の場合は、道路にペイントを施すことと、将来事実上に標準装備のように搭載されると期待される前方カメラ（既にある機器）を利用することで車載機ではソフトウェアの追加のみで十分であり、1 台当たりのコストが小さく、総コストも小さい。

2.2 M-CubITS 素子と配置方法

M-CubITS 素子はマルチモーダルマーカである。マルチモーダルとは色彩、形状、温度などマルチモードで識別することを意味する。温度で識別する方法は近赤外線カメラを利用して素子を検出し、形状による 0 か 1 かを識別する方法である。素子の色彩と形状は図 3 の (a) [4] や (b) [15] ~ [19] が考えられるが、本論文では (b) を対象とする。情報の割当は赤を 0、黄色を 1 とする。多種類の色彩と形状を用いた多値化素子へも容易に拡張可能であるが、ここでは 2 値で議論を行う。本論文で使用した素子の塗装にはガラスペースが入っている塗料を用いた。

素子の配置方法は図 4 のようにすべての車線で同じ M 系列を使用して素子を配置する。2 車線以上の場合、第何車線を走っているかはカメラから入力される映像

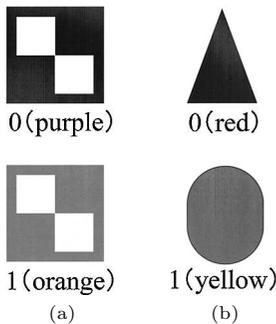


図 3 M-CubITS 素子
Fig. 3 M-CubITS elements.

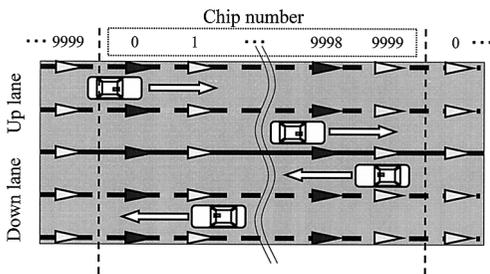


図 4 M-CubITS 素子の配列方法
Fig. 4 Arrangement method of M-CubITS elements.

から判別可能である。また、どの方向を走っているのかは、画像上の素子の向きから判別可能である。

2.3 位置計算手法

位置特定手法は前述したように、M 系列上での位置特定を行った後、素子からカメラの位置を計算し、地図に表示する。まず、M 系列上での位置特定について述べる。図 5 のように、カメラから入力された画像情報から道路にマーキングされている素子を検出し、色と形状により素子が 0 か 1 かを判別する。最も新しく検出された素子の情報 (0 か 1) を過去の記憶と合わせてデータベースと比較を行い、M 系列上の素子番号を特定する。

M 系列上での位置特定を行った後、素子からカメラまでの位置計算を行う。検出された素子の中で一番近い素子の重心点を求める。素子の画素座標の和の平均座標を素子の重心点とする。求められた重心点からカメラの位置を特定する。本論文では道路は完全な平面とし、素子の高さは 0 m、カメラの角度スウィング

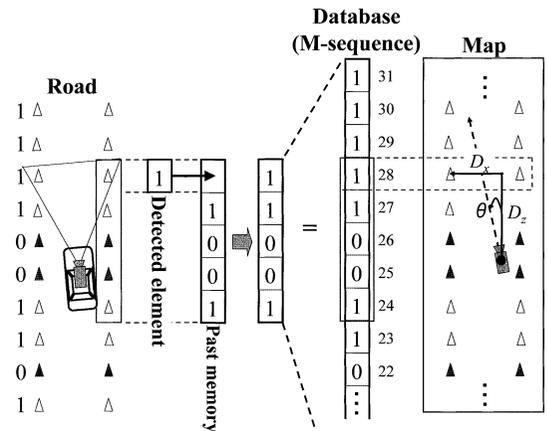


図 5 M-CubITS の位置特定手法
Fig. 5 Positioning method of M-CubITS.

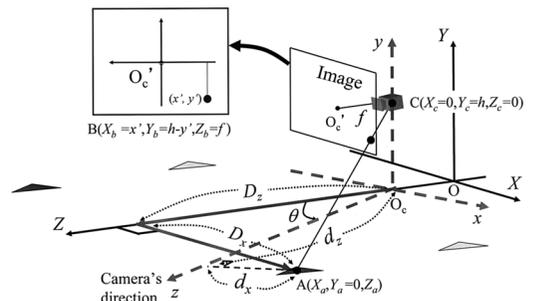


図 6 世界座標系
Fig. 6 World coordinates.

(Swing) とチルト (Tilt) は固定とする。

図 6 は世界座標系を表し、道路上の M-CubITS 素子の座標を $A(X_a, Y_a, Z_a)$ 、画像上に写る素子の座標を $B(X_b, Y_b, Z_b)$ 、カメラの座標を $C(X_c, Y_c, Z_c)$ 、カメラの焦点距離を f とする。世界座標系を基準とした素子からカメラまでの x 方向の距離を $D_x = X_a - X_c$ 、 z 方向の距離 $D_z = Z_a - Z_c$ とする。カメラの進行方向を基準とした素子から x 方向の距離を d_x 、 z 方向の距離を d_z とする。式 (1) を用いて D_x 、 D_z を求める (詳細は付録)。

$$d_x = \frac{h \times X_b}{Y_b - h}, \quad d_z = \frac{h \times f}{Y_b - h} \quad (1)$$

上記から求められた M 系列上での素子番号と素子からカメラまでの距離 (D_x 、 D_z) を用いて地図とマッピングし、地図の縮小を考慮して図 5 のように表示する。

2.4 データベース構築

ここではデータベースの構築について述べる。画像処理から得られた M-CubITS 素子列をデータベースに問合せして地図上の素子の位置を得る (図 7)。データベースを構築するためには素子の配置等の前提を決めておく必要がある。ある長さの M 系列を繰り返して使うことを考える。このとき、GPS で十分に判別可能な直径 1 km 以内では同じ並びがないような配置法を考える。一般道路と高速道路で二つに分けて考える。また、一般道路の場合、道路密度が高い地域を考慮して、例えば 1 km × 1 km の領域で道路が縦横ともに 33 m 間隔であると仮定すると、総延長が

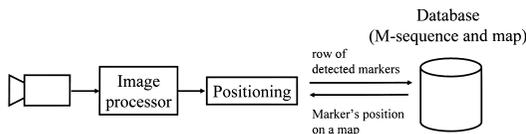


図 7 データベース構築
Fig. 7 Database construction.

表 1 データベースの一部

Table 1 A part of Database construction.

| Value of shift register | Marker's bit (0 or 1) | Chip number | Distance from a reference point |
|-------------------------|-----------------------|-------------|---------------------------------|
| ... | ... | ... | ... |
| 37125 | 1 | 23 | 69 m |
| 8715 | 1 | 24 | 72 m |
| 17431 | 0 | 25 | 75 m |
| 34862 | 0 | 26 | 78 m |
| 4189 | 1 | 27 | 81 m |
| ... | ... | ... | ... |

60 km (1 km × 30 × 2) になる。3. で述べるように、素子の間隔を 3 m にすると必要な符号長は 2 万チップであり、これを超えて最も短い M 系列の符号長 L は $2^{15} - 1 = 32767$ チップである。高速道路の場合は一般道路で使った残りの 1 万チップ (30 km に相当) をある基点から繰り返して用いることにする。

データベースは表 1 のように位置特定に必要なシフトレジスタの値、各素子の情報 (0 か 1)、チップ番号、電子地図上の M-CubITS 素子の位置情報 (ある基点からの距離) をもつ。例えば、シフトレジスタの値が 37125 とすれば、23 番目のチップで東北自動車高速道路の川口基点から 69 m 地点を意味する。

3. 基礎実験と性能評価 [15] ~ [19]

ここでは、基礎実験として屋内、種々の環境での M-CubITS 素子検出結果と車両走行測位実験のための素子の大きさ、素子の間隔について述べる。

3.1 実験システム

実験システムは台車の上に設置したビデオカメラから入力された画像データから素子を検出し、位置特定を行う。カメラの高さは 1.2 m である。入力される画像は 720 × 480 ピクセルの中、下半分 720 × 240 ピクセルを用いる。カメラの仕様は表 2 で示す。

3.2 性能評価

3.2.1 屋内実験

基礎実験として距離とカメラの方向による誤差変化について検討を行う。素子の大きさは底辺が 20 cm、高さが 30 cm の二等辺三角形である。カメラの高さとカメラの仕様から一番近く見える素子からカメラまでの距離 (D_z) が約 4.2 m から 7.2 m である。ここでは素子の大きさを考慮して素子からカメラまでの距離が 4.58 m と 7.58 m 離れた場合の位置を推定し、真値と比較を行う。図 8 のように実験を 20 回ずつ行った。

真値 D_x 、 D_z に対して実験により得られる推定値をそれぞれ \hat{D}_x 、 \hat{D}_z とおく。図 9 は D_x が 1.5 m、 D_z が 4.58 m の場合の推定結果である。図 9 (a) は各角度

表 2 カメラの仕様

Table 2 Specifications of camera.

| Maker | SONY |
|--------------------------|---------------------------------------|
| Model | DCR-PC-100 |
| Finder image sensor | 1/4 inch CCD solid-state image sensor |
| Focus | 4.2 mm |
| Pitch of pixel | 0.000005 dot/m |
| Angle of view (Diagonal) | 50.9° |

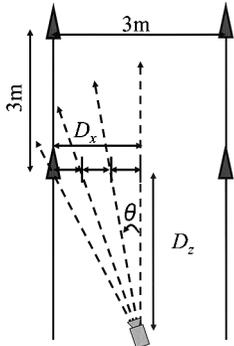
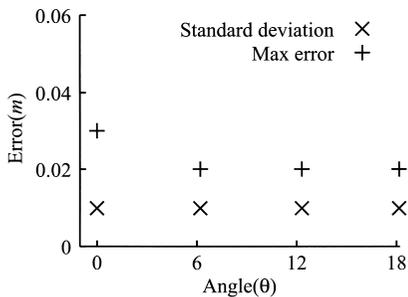
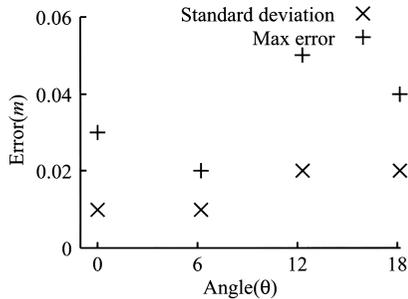


図 8 実験方法

Fig. 8 Method of basic experiment.



(a) Estimated results (\hat{D}_x)

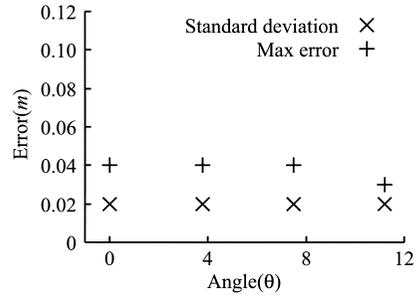


(b) Estimated results (\hat{D}_z)

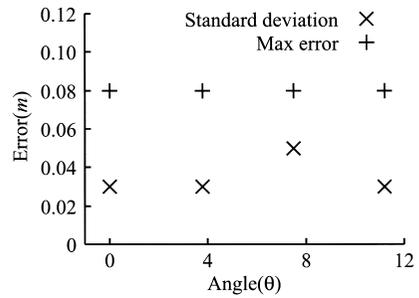
図 9 $D_x = 1.5 \text{ m}$, $D_z = 4.58 \text{ m}$ の場合、角度変化による標準偏差と最大誤差

Fig. 9 When $D_x = 1.5 \text{ m}$, and $D_z = 4.58 \text{ m}$, standard deviation and max error in every angle.

における \hat{D}_x の標準偏差と最大誤差を示し、図 9 (b) は \hat{D}_z の標準偏差と最大誤差を示している。検討した角度は 0° , 6.23° , 12.32° , 18.13° である。図 10 は D_x が 1.5 m , D_z が 7.58 m の場合の推定結果である。図 10 (a) と図 10 (b) は各角度における \hat{D}_x , \hat{D}_z の標準偏差と最大誤差である。角度は各 0° , 3.77° , 7.51° , 11.19° である。上記の結果から誤差は素子からカメラまでの距離が遠ければ遠いほど大きくなった。誤差の原因はピクセル当りの量子化誤差がカメラから素子ま



(a) Estimated results (\hat{D}_x)



(b) Estimated results (\hat{D}_z)

図 10 $D_x = 1.5 \text{ m}$, $D_z = 7.58 \text{ m}$ の場合、角度変化による標準偏差と最大誤差

Fig. 10 When $D_x = 1.5 \text{ m}$, and $D_z = 7.58 \text{ m}$, standard deviation and max error in every angle.



(a) When fair weather, original image



(b) Detected M-CubITS elements

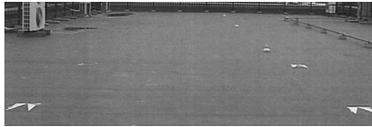
図 11 晴天時の原画像と M-CubITS 素子の検出結果

Fig. 11 When fair weather, original image and detected M-CubITS elements.

での距離が遠ければ遠いほど大きくなるからである。

3.2.2 種々の環境での実験

いろいろな環境で M-CubITS 素子の検出について実験を行った。図 11 と図 12 は晴天時と曇天時の原画像と素子検出結果である。図 13 は夜間に素子を検出した例である。図 13 (a) のように塗料に含まれているガラスピースが自動車のヘッドライトの光を反射する。本実験で用いた塗料は市販されているスプレー型の塗料で、そこに含まれるガラスピースが小さいため



(a) When cloudy weather, original image



(b) Detected M-CubITS elements

図 12 曇天時の原画像と M-CubITS 素子の検出結果
Fig. 12 When cloudy weather, original image and detected M-CubITS elements.



(a) 20 cm (width), 30 cm (height)



(b) 20 cm (width), 40 cm (height)



(c) 20 cm (width), 50 cm (height)

図 14 M-CubITS 素子の大きさごとの検出結果
Fig. 14 Detected M-CubITS elements in every marker.



(a) Original image (Small glass pieces)



(b) Detected M-CubITS elements (Small glass pieces)



(c) Detected M-CubITS elements (Large glass pieces)

図 13 夜間での M-CubITS 素子の検出結果
Fig. 13 Detected M-CubITS elements in nighttime.

に、光の反射が弱く、検出された素子は図 13(b) のように変形している。その対策として大きなガラスピースを入れた素子を自作して実験を行った。その結果、図 13(c) のように素子からカメラまで遠くても位置特定に十分利用できることが分かった。

次に実用的な素子の大きさについて検討を行う。図 14 は素子の大きさごとに素子から 7.58 m 離れた場所から撮影した検出結果である。表 3 は素子の大きさが底辺 20 cm、高さ 50 cm (図 14(c)) の場合の推定結果である。素子の大きさが底辺 20 cm、高さ 30 cm の場合の結果と比較するとほぼ同じ結果が得られた。更に、図 14 より形状による判別の点では素子の大きさが底辺 20 cm、高さ 50 cm の場合が最も有利であり、雑音除去にも有効である。以上より 4. で行う走行測位実験では底辺 20 cm、高さ 50 cm の素子を用いるこ

表 3 M-CubITS 素子の大きさが底辺 20 cm、高さ 50 cm の場合の推定結果

Table 3 When a size of M-CubITS elements is 20 cm (width), 50 cm (height), estimated results.

| True value | Estimated value | |
|--------------|--------------------|-----------|
| | Standard deviation | Max error |
| $D_x=1.50$ m | 0.01 m | 0.02 m |
| $D_z=4.58$ m | 0.02 m | 0.04 m |
| $D_x=1.50$ m | 0.02 m | 0.04 m |
| $D_z=7.58$ m | 0.04 m | 0.12 m |

とにする。

3.2.3 処理時間

ここでは本システムの処理時間とサンプリング定理により制限される車両速度について述べる。処理時間には画像の処理時間と、M 系列上で位置特定した後の地図とのマッピング時間がある。本システムでは、用いた M 系列と地図が小さいため、画像の処理時間が支配的である。本システムの処理時間は CPU が Pentium4 3 GHz の場合で約 0.076 s となった。ただし、コンピュータの処理性能は今後も向上が見込まれ、将来十分にリアルタイム処理が可能になると考えられる。専用システムを用いる場合は処理時間の短縮ができると考えられる。

サンプリング定理により制限される車両速度について検討する。システム単独でサンプリング定理を考慮しない場合、現在のフレーム (k 番目) で検出された素子が、前フレーム ($k-1$ 番目) で検出された素子と同じ素子が新たに現れた素子が分からず、車両が前

進したか、後進したか判別できない．このような問題のため、サンプリング定理を考慮する必要がある．移動距離が素子の間隔の半分を超えない、サンプリング定理を満たす速度であれば位置特定は一意に保証される．ただし、速度計などから速度情報が得られる場合、サンプリング定理を考慮しなくてよい．

処理時間やサンプリング定理による実用上十分な素子の間隔を検討する．素子の間隔が 3m の場合、1 フレームを 1/30 秒以内に処理できれば $1.5\text{m}/(1/30\text{s}) \times 3.6 = 162\text{km/h}$ まで位置特定が可能である．この素子の間隔は実用上十分な間隔であると考えられる．本実験システムでは 1 フレームを処理するのに 0.076 s かかるため、位置特定が保証できる速度は $1.5\text{m}/(0.076\text{s}) \times 3.6 = 71\text{km/h}$ までである．

4. 走行測位実験 [18], [19]

4.1 実験方法

ここでは、実際にカメラを車両に搭載し、本システムの測位精度についての性能評価を行う．実験場所は大学構内駐車場であり、約 40 m の区間に素子を設置した．図 15 のように車載カメラ (A, B) を設置し、実験を行った．カメラ A は 1 フレームごとの真値を得るために用い、カメラ B は 1 フレームごとの推定値を得るために用いる．図 16 (a) のようにカメラ A は路上に設置した巻尺を撮る．図 16 (b) はその撮影画像である．カメラの重心と巻尺の目盛を考慮して画像 1 フレームごとの位置を真値とする．図 17 (a) のようにカメラ B を設置し、進行方向の素子を撮り、1 フレームごとに位置特定した結果を推定値とする．図 17 (b) はカメラから入力された画像であり、図 17 (c) は画像処理による素子を検出した結果である．

4.2 性能評価

実験は平均速度約 6.3 km/h, 32 km/h, 55 km/h の 3 種類で行った．図 18, 図 19, 図 20 は速度ごとの誤差分布と軌跡を表す．使用したフレーム数はそれぞれ

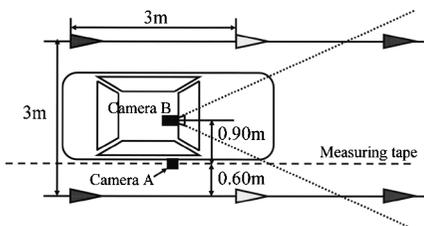
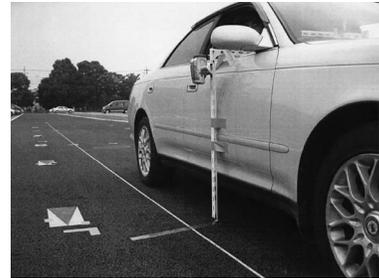


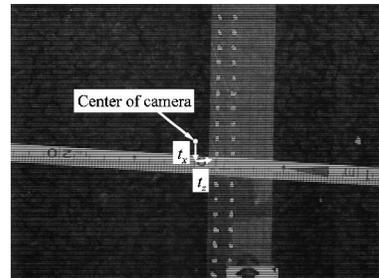
図 15 実験方法

Fig. 15 Experiments method.

688 フレーム, 135 フレーム, 76 フレームである．表 4 はそれぞれの速度における標準偏差と最大誤差を表す．表 4 から分かるように標準偏差は速度が速くなればな



(a) Installation of camera A



(b) Inputted image from camera A

図 16 カメラ A の設置と入力された画像

Fig. 16 Installation of camera A and inputted image.



(a) Installation of camera B



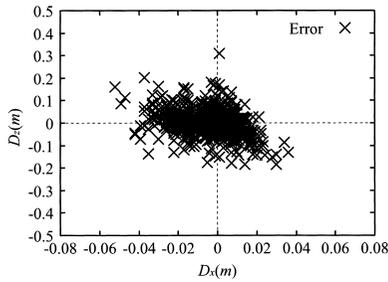
(b) Inputted image from camera B



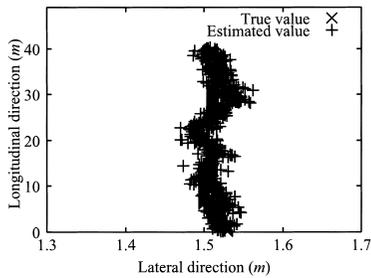
(c) Detected M-CubITS elements

図 17 カメラ B の設置と入力された画像と検出結果

Fig. 17 Installation of camera B and inputted image.

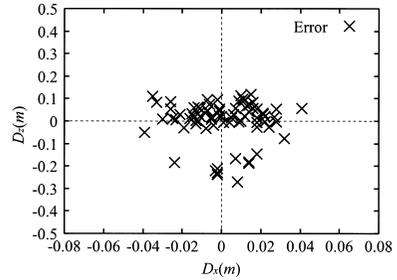


(a) Error distribution

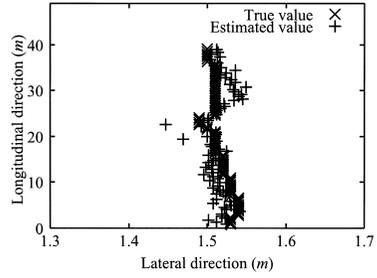


(b) Trajectory of vehicle

図 18 平均速度約 6.3 km/h の場合の推定結果
Fig. 18 Estimated results that average velocity is about 6.3 km/h.



(a) Error distribution



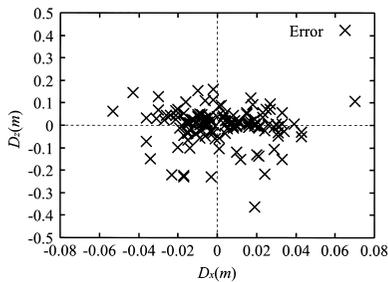
(b) Trajectory of vehicle

図 20 平均速度約 55 km/h の場合の推定結果
Fig. 20 Estimated results that average velocity is about 55 km/h.

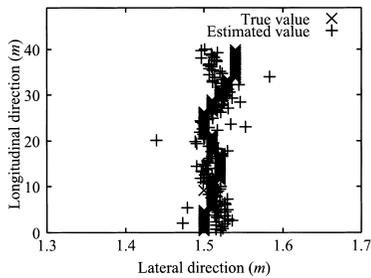
表 4 速度ごとの測定結果

Table 4 Estimated results in every velocity.

| Velocity | | \hat{D}_x | \hat{D}_z | $\sqrt{\hat{D}_x^2 + \hat{D}_z^2}$ |
|----------|--------------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| 6.3 km/h | Standard deviation | 0.01 m | 0.06 m | 0.04 m |
| | Max error | 0.05 m | 0.31 m | 0.31 m |
| 32 km/h | Standard deviation | 0.02 m | 0.08 m | 0.04 m |
| | Max error | 0.07 m | 0.36 m | 0.36 m |
| 55 km/h | Standard deviation | 0.02 m | 0.09 m | 0.06 m |
| | Max error | 0.04 m | 0.27 m | 0.27 m |



(a) Error distribution



(b) Trajectory of vehicle

図 19 平均速度約 32 km/h の場合の推定結果
Fig. 19 Estimated results that average velocity is about 32 km/h.

るほど精度の劣化が見えた．具体的には速度 6.3 km/h より速度 55 km/h の標準偏差が 0.03 m 大きい結果となった．誤差が大きな部分は，例えば k 番目のフレームで画像上一番近い素子の番号が n で，次の $k+1$ 番目のフレームで一番近い素子の番号が $n+1$ になった場合，素子からカメラまでの距離が遠くなるので，基礎実験の結果と同様に誤差が大きくなった．

誤差要因には，誤差分布の重心が原点からずれる誤差要因と，標準偏差に影響のある誤差要因がある．誤差分布の重心が原点からずれる要因にはカメラの初期設置キャリブレーションの精度の不足がある．本実験での誤差分布の重心は原点に近いことから，カメラ

の初期設置キャリブレーションの精度の不足による誤差は小さいと考えられる。標準偏差に影響のある要因は画像処理による画像上の雑音、カメラのぶれ（車両速度、シャッタースピード、明るさ）、解像度、車両と路面による振動やサスペンションなど機械系の影響によってカメラの向き（角度）の変化などがある。車両の速度、シャッタースピードと明るさの関係から車両速度が一定で周りが暗いときは、シャッタースピードが遅くなるため、検出された素子のぶれにより誤差が大きくなる。しかし、車両速度が一定で周りが明るいとき、シャッタースピードは速くなるため、誤差は小さくなる。本実験では画像処理により検出された素子の形状に雑音が入った場合と車両の振動による誤差が大きいことが分かった。

以上の結果から第 1 種 ITS プラットフォームのアプリケーションである安全運転支援システムで要求されるリアルタイムで高精度な位置特定に利用できることが期待される。

5. 誤りのある場合の位置特定についての考察

誤りにはビットの極性誤りと未検出誤りがある。ビットの極性誤りは素子を検出したときにビットの反転が起きた場合に生じる誤りである。未検出誤りは悪い環境などで読み飛ばしが起きた場合生じる誤りである。

まず、初期位置特定の場合の誤り訂正について述べる。誤りのある場合は M 系列のシフトレジスタ長と同じ数の素子の検出では初期位置特定ができない。し

かし、シフトレジスタ長より多くの素子を検出すれば、初期位置特定ができる。

再位置特定の場合について述べる。ビットの極性誤りの場合、誤り訂正は例えば図 21 (a) のように、シフトレジスタ長より長い過去の記憶（図の点線）と検出された素子との比較を行い、誤り訂正を行う。未検出誤りの誤り訂正は、例えば図 21 (b) のような未検出が起きた場合、そのまま誤り訂正を行うとずれが生じ、連続に間違った訂正を行ってしまう。対策としては素子の位置や間隔を既にデータベースとしてもち、素子があるべきところがない場合はビットの極性誤りと同様に誤り訂正を行い、図 21 (b) のような連続的に誤った訂正を行わないようにする。これらについての検討は既に文献 [11] で実証実験を行った。

6. む す び

本論文では地面をベースとした M 系列マルチモーダルマーカ位置特定システム M-CubITS を提案し、データベースの構築を行い、基礎実験及び走行測位実験を行った。M-CubITS は M-CubITS 素子を M 系列状に配置し、ユーザのカメラでこれら素子の並びを検出し、データベースとの比較からカメラの位置や方向を特定する位置特定システムである。

基礎実験として屋内や種々の環境での実験を行い、実用的な素子の大きさや素子の間隔について検討を行った。M-CubITS 素子の大きさは底辺 20 cm、高さ 50 cm の二等辺三角形とし、素子の間隔は 3 m とした。走行実験は 2 台のカメラを車両に設置し、実験を行った。1 台は巻尺を撮り、カメラの重心と巻尺の目盛を考慮して画像 1 フレームごとの位置を真値とし、もう 1 台は進行方向の素子を撮り、位置特定した結果を推定値とする。車両走行測位実験は平均速度約 6.3 km/h、32 km/h、55 km/h の 3 通りで行った。その結果、6.3 km/h より 55 km/h の方が約 0.03 m 程度の精度の劣化が見られた。誤差要因には誤差分布の重心が原点からずれる誤差要因と標準偏差に影響のある誤差要因がある。本論文では、初期設置キャリブレーションの精度不足による誤差より、画像処理と車両の振動による誤差が大きいことが分かった。

以上の結果から第 1 種 ITS プラットフォームのアプリケーションである安全運転支援システムで要求されるリアルタイムで高精度な位置特定に利用できることが期待される。

今後の課題としてはリアルタイム処理、角度 (Swing,

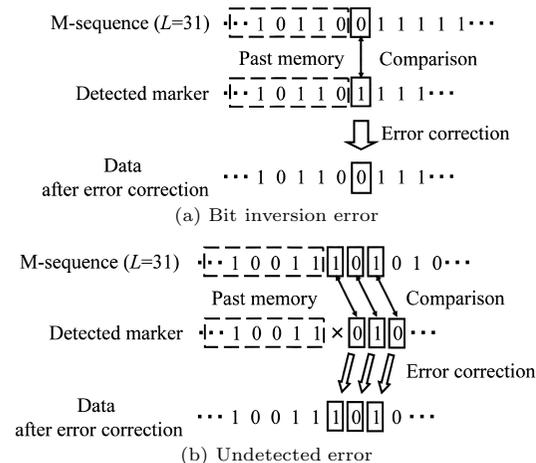


図 21 誤り訂正
Fig. 21 Error correction.

Tilt) を考慮した位置特定, 夜間での実験, 実際道路に適用するためのデータベースの検討などがある.

文 献

- [1] 交通工学研究会 (編), ITS-インテリジェント交通システム, 丸善, 1997.
- [2] 国土交通省道路局 ITS ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html>
- [3] ITS japan ホームページ, <http://www.its-jp.org/>
- [4] 長谷川孝明, “ITS プラットフォーム “EUPITS” —実現へのアプローチ” 信学技報, ITS2003-8, May 2003.
- [5] 長谷川孝明, “ITS とシステム創成に関する一考察” 信学技報, ITS2002-120, March 2003.
- [6] 津川定之, “高度道路交通システムにおける通信システム” 信学論 (B), vol.J82-B, no.11, pp.1958-1965, Nov. 1999.
- [7] 安田明夫, “GPS 技術の展望” 信学論 (B), vol.J84-B, no.12, pp.2082-2091, Dec. 2001.
- [8] A. Kleusberg and P.J.G. Teuisen (eds.), GPS for Geodesy, Springer, 1996.
- [9] 醍醐英治, 高橋寿平, “移動体用高精度位置標定システムに関する調査研究” 自動車研究, vol.27, no.10, pp.63-68, Oct. 2005.
- [10] T. Hasegawa and A. Widodo, “The vehicle positioning system by using PN coded magnetic markers and it's applications,” Proc. ISITA '98, pp.384-387, Oct. 1998.
- [11] 上村克成, 長谷川孝明, “PN 符号化磁気マーカーによるポジショニングについて—GPS 方式との比較” 信学技報, ITS2000-64, March 2001.
- [12] J. Kim and T. Hasegawa, “On repositioning of the PN coded magnetic markers in road platform,” Proc. ITSC2002, pp.259-262, Sept. 2002.
- [13] 金 帝演, 長谷川孝明, “M 系列電波マーカーを用いた再位置特定について” 第 2 回 ITS シンポジウムプロシーディングス, pp.79-84, Dec. 2003.
- [14] 金 帝演, 長谷川孝明, “高速道路と一般道路交差点での M 系列レーンマーカーの配列方法及び再位置特定について” 信学論 (A), vol.J88-A, no.2, pp.257-268, Feb. 2005.
- [15] 金 帝演, 長谷川孝明, “M-CubITS によるポジショニングの実験的検討” 信学技報, ITS2003-71, Feb. 2004.
- [16] 金 帝演, 長谷川孝明, “M-CubITS における色と形状によるポジショニングに関する一検討” 信学技報, ITS2004-2, May 2004.
- [17] 金 帝演, 長谷川孝明, “M-CubITS におけるポジショニングに関する一検討” 第 3 回 ITS シンポジウムプロシーディングス, pp.283-288, Oct. 2004.
- [18] 金 帝演, 長谷川孝明, “M-CubITS における車両走行測位実験” 第 4 回 ITS シンポジウムプロシーディングス, pp.423-428, Dec. 2005.
- [19] 佐藤 理, 金 帝演, 長谷川孝明, “M-CubITS の実車実験について” 信学技報, ITS2004-96, 2005.
- [20] 山下清司, 長谷川孝明, “視覚障害者誘導用ブロックを用いた M-CubITS 歩行者ナビゲーションシステムについて” 信学論 (A), vol.J88-A, no.2, pp.269-276, Feb. 2005.

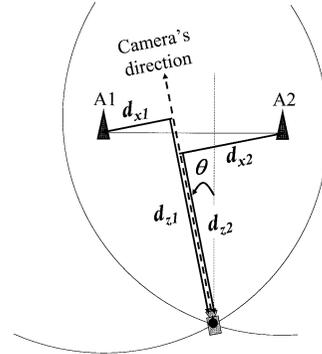


図 A.1 D_x, D_z を求める方法
Fig. A.1 Calculation method of D_x, D_z .

付 録

d_x, d_z は図 6 の 3 点から得られた三次元直線方程式である式 (A.1) を解くと得られる.

$$\begin{aligned} \frac{x}{d_x} &= \frac{y-h}{-h} = \frac{z}{-d_z} \\ \frac{x-X_b}{d_x} &= \frac{y-Y_b}{-h} = \frac{z-f}{d_z} \\ \frac{x-X_a}{d_x} &= \frac{y}{-h} = \frac{z-Z_a}{d_z} \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

ここで, 図 A.1 のように d_x, d_z は M-CubITS 素子から距離 ($\sqrt{d_x^2 + d_z^2}$) 離れた円を表している. 二つの素子から $d_{x1}, d_{z1}, d_{x2}, d_{z2}$ を求める. 素子間の x 方向の間隔を mdx , z 方向の間隔 mdz とすると次の式が得られる. 式 (A.2) を解き, 2 点の交点からカメラの位置 (D_x, D_z) が特定できる.

$$\begin{aligned} x^2 + z^2 &= d_{x1}^2 + d_{z1}^2 \\ (x - mdx)^2 + (z - mdz)^2 &= d_{x2}^2 + d_{z2}^2 \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

カメラの進行方向 (θ) は式 (A.3) から得られる.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d_{z2} - d_{z1}}{d_{x1} + d_{x2}} \right) \quad (\text{A.3})$$

(平成 18 年 2 月 3 日受付, 4 月 23 日再受付,
7 月 14 日最終原稿受付)



金 帝演 (学生員)

1998 韓国大邱大・電子卒。2001 埼玉大学理工学部研究科電気電子システム専攻入学。現在、同博士後期程在学中。ITS における位置特定に関する研究に従事。



長谷川孝明 (正員)

昭 56 慶大・工・電気卒。昭 61 同大大学院博士課程了。同年埼玉大・工・電気助手。同助教授を経て、現在、同大学院理工学研究科教授。工博。平 7~8 カナダ・ビクトリア大客員研究員。現在の興味は、IT (Information Technology) による人と物の移動の高度化のシステム創成論的アプローチにある。スペクトル拡散通信システム、CDMA、ニューラルネットとその情報システムへの応用、画像入力マイクロホンなどの人間の意思伝達を含む情報通信の方式・情報と信号の処理の研究を経て、近年は、システム創成論的アプローチにより、ITS プラットフォーム、システムアーキテクチャ、下位レイヤでそれらを支える ITS 要素技術としての情報通信・ポジショニング・HMI、上位レイヤで展開される ITS アプリケーションを楽しんでいる。平 2 年度本会篠原記念学術奨励賞受賞、著書「スペクトル拡散技術の基礎と応用」(分担執筆)、「プライマリー C 言語ノート」、「モバイル・コンピューティング教科書」(分担執筆)など。IEEE ITS ソサイエティ Board of Governors メンバ、情報処理学会、国際交通安全学会、情報理論とその応用学会各会員。米国 TRB (Transportation Research Board of The National Academies) メンバ。