

高速道路と一般道路交差点での M 系列レーンマーカの配列方法と再位置特定について

金 帝演^{†a)} 長谷川孝明[†]

On Arrangement Methods and Repositioning of M-Sequence Lane Markers on Highways and Intersections

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

あらまし 本論文では、M 系列レーンマーカの配列方法と再位置特定が検討されている。まず、高速道路と一般道路の交差点での 2 種類の M 系列レーンマーカ（磁気マーカと電波マーカ）の符号長及び配列方法が決定され、それに基づいて 3 種類の再位置特定方式の性能評価が行われている。車両が M 系列レーンマーカシステムのみを用いた場合、M 系列レーンマーカシステムに走行距離情報を併用した場合、M 系列レーンマーカシステムに走行距離情報及び角度情報を併用した場合について検討を行い、車線変更後の再位置特定に対して走行距離情報の有用性と 2 ビット情報をもっている電波マーカの方が性能が良いことが示されている。

キーワード ITS, PN 符号, M 系列, M 系列レーンマーカ, 再位置特定

1. ま え が き

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 ITS（高度交通システム）の研究と開発が盛んに行われている [1], [2]。その一つに、道路をコンピュータの OS のように考え、統一された基本 3 機能、すなわち、基本走行機能、リアルタイム位置特定機能、リアルタイムシームレス通信機能を提供する道路プラットフォーム“ドット ITS”が提案されている [3] ~ [7]。道路プラットフォーム“ドット ITS”に利用可能な位置特定システムは位置精度が高く、測位遅延が小さいものが要求される。すなわち、リアルタイムで高精度な位置特定情報を要求される。

ここで安全運転支援システムを考える。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により多重事故を回避できる可能性が高まる [8], [9]。このとき、通信により伝送される情報の中で自車の位

置情報は最も重要なものの一つである。安全運転支援システムでもリアルタイムで高精度な位置情報が要求される。

現在、地図情報と衛星測位による測位情報を利用したカーナビゲーションシステムが存在する。ここでも自車位置情報は自車の大きな位置を知って走行することに問題がない程度の精度で位置情報が得られているがこれは揺らぎのある瞬時瞬時の測位データを過去の経緯も含め、地図の道路上の点にマッピングしていることで実現している。GPS (Global Positioning System) などでも観測時間を長くすることで極めて高精度な測位が可能であるが、移動中リアルタイムに位置を高精度に測位することは難しい。特に、フェーディングやシャドーイング、リフレクション、マルチパス環境下でのリアルタイム高精度測位は極めて困難である [10] ~ [12]。文献 [13] では PN 符号化磁気マーカシステムと RTK-GPS の車両走行中の瞬時瞬時のデータ比較を行っているが、橋梁下の通過直後の RTK-GPS のデータの誤差が大きくなることが示されている。

道路プラットフォーム“ドット ITS”や安全運転支援システムに要求される測位条件を満たすことが期待されるシステムとして、MSLM (M-Sequence Lane Makers) システムが提案され、実装実験を行い、リア

[†] 埼玉大学工学部, さいたま市

Dept. of Electrical and Electronic Systems Engineering, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Sakuraku, Saitama-shi, 338-8570 Japan

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

リアルタイムで高精度な位置特定が実現されている [14] ~ [17] . 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 . しかし, 従来の位置特定技術として最も利用されている GPS の位置情報を用いた自動運転は前述したように大変難しい . リアルタイムで高精度な位置特定が可能な MSLM はこのような場面での利用が期待される .

一般道路での事故は交差点付近が最も多い . 特に, 右折する車と反対側から直進してくる車の衝突 (右直) 事故が多い . ITS 技術によって事故削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の取得が要求される . 一般道路は高速道路と異なり, マーカを埋め込む方法は, コストとマイグレーションを考慮して, 事故が多い交差点付近を中心に敷設すればよい .

しかし, 各種の道路に応じて埋め込む際の具体的な配列方法の詳細, 及び車線変更等による車線離脱後の再位置特定についての検討はほとんどなされていない .

本論文では, まず道路プラットフォーム “ドット ITS” における MSLM システムについて簡単に説明し, 高速道路での MSLM の符号長決定と配列方法の検討を行った後, MSLM システムの性能評価を行う . また, 一般道路の交差点での MSLM の符号長決定と配列方法について検討した後, MSLM の性能評価を行う .

2. 道路プラットフォーム “ドット ITS” における MSLM システム

2.1 道路プラットフォーム “ドット ITS” [3] ~ [7]

道路をコンピュータの OS のように考え, ITS の SA (システムアーキテクチャ) や想定可能なサービスから, 道路プラットフォーム “ドット ITS” の提供すべき基本 3 機能は基本走行機能, リアルタイム位置特定機能, リアルタイムシームレス通信機能である .

基本走行機能は, 照明を含み, 滑らかでかつ滑りにくい路面を提供する機能である . 位置特定機能は, 自車, 他車の位置, 渋滞末尾, 工事中の場所などをリアルタイムに精確に位置特定する機能を指す . 通信機能は, 車車間通信, 路車間通信を含み, 走行支援などのサービスを鑑みればリアルタイム性, シームレス性は重要である .

道路プラットフォーム “ドット ITS” は図 1 のように, 道路を 100 m 単位のセクタにする . これを基本単位とし, 道路の照明灯などにつけた基地局とパケットのやり取りを行う . ここで, このセクタをサブドメインとする . これを 10 セクタ集めて, 1 km とし 1 クラスタ

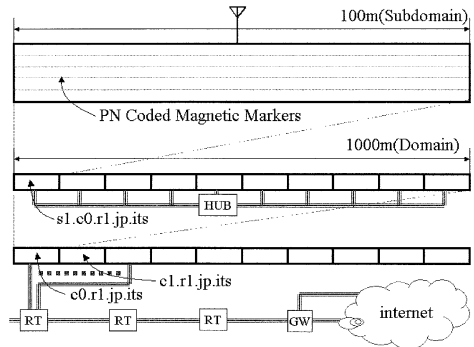


図 1 道路プラットフォーム “ドット ITS”
Fig. 1 Road platform “dot ITS.”

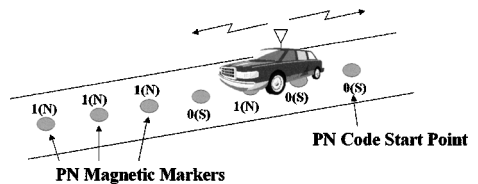
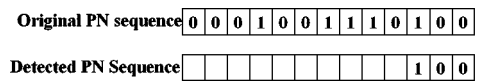


図 2 M 系列レーンマーカシステム
Fig. 2 M-sequence lane marker system.

とする . 位置情報は 1 km を線返しの単位とする . この 1 km の 1 クラスタをドメインとする . 車両同士の情報交換は半径 100 m の通信が確保されれば効果がある [7] . このことから, 100 m のセクタごとの基地局で集めた車両の走行情報の ITS パケットは当核セクタ及び前後のセクタの基地局を介して, ブロードキャストすればよい [5] .

また, 遠くへ飛ばすべき情報はルータによりルーティングされて, しかるべきクラスタ (ドメイン) のしかるべきセクタに飛ばせばよい . このようにすることで, ドメイン, サブドメインがそのまま道路に沿った位置を意味し, 緊急情報を含む配信すべき情報の配信先を簡単かつきめ細かく指定可能となる .

2.2 MSLM システム [17] ~ [22]

MSLM はラテラル制御に用いられる磁気マーカの極性を SSSSS や SNSNS などのように単純な配列で埋め込むのではなく, M 系列の 1 と 0 を磁気マーカの S と N に対応させ, 図 2 のように M 系列状に埋め込むことで, ロンジチュージナル方向にも位置特定を可能とするシステムで, リアルタイムで極めて高精度かつロバストな位置特定が可能となる .

一般に、符号長 $L = 2^m - 1$ の M 系列の初期推定 (捕そく) は、用いられている系列以外に何の情報もない場合には m チップの観測が必要となる。しかしながら、車線変更では過去の記憶や他のセンサ情報を用いることにより、 m チップより短いチップ数で捕捉が可能となる。

レーンマーカの種類には磁気式、電波式、カメラにより白線検出する光学式がある [23], [24]。磁気式は 1 ビットの情報が得られる。電波式は 1 ビット以上の情報が得られ、反射位相 2 ビットの電波マーカが開発されている [24]。本論文では 2 ビット情報を得られる場合を検討する。

3. 高速道路での再位置特定

3.1 MSLM の配列方法と符号長決定

図 3 で示すように道路プラトホーム “ドット ITS” の基本ユニットである 1 クラスタ (1 km) の片側 8 車線に 2 m 間隔で埋め込むようにすると 4000 個のレーンマーカが必要である。日本の高速道路は片側 3 車線だが、アメリカ合衆国の高速道路は片側 8 車線も存在しているため、片側 8 車線と想定する [25]。

磁気マーカの場合は 4000 チップ、電波マーカの場合は 8000 チップの部分系列が必要である。磁気マーカの場合は 4000 より長く、最も短い系列という点から 12 ビットのシフトレジスタから生成される M 系列、すなわち 4095 チップとなる。一方、電波マーカの場合は 8000 より長く、最も短い M 系列として 13 ビットのシフトレジスタから生成される M 系列、すなわち 8191 チップとなる。

しかし、例えば、図 4 のように車がクラスタの境界

を通過する場合、検出された PN 符号のシフトレジスタと同じマーカの並びのシフトレジスタが残りのチップの中に生じてしまう。

上記の問題より、境界を狭んで初期位置特定する場合、初期位置特定までかかるチップ数がシフトレジスタの長さより長くなる場合がある。

また、車線変更後の再位置特定の場合は許容誤差範囲以内に同じマーカの並びがあると再位置特定の誤りが生じるおそれがあり、再位置特定までかかるチップ数が大きくなる。

同じマーカの並びが出てきてしまう問題を解決するためには、より長い符号長の M 系列からある部分系列を選んで用いればよい。 $m = 12, 13, 14$ から生成された M 系列の中の部分系列を用いる場合、同じマーカの並びが出てきてしまう問題が生じたが、 $m = 15$ の場合は上記問題が生じない部分系列があり、本論文では $m = 15$ から生成された M 系列の中の部分系列を検討対象として用いる。性能比較は $m = 15$ の系列と長周期系列である $m = 33$ で行う。

$m = 33$ とは日本全国の一般道路、自動車専用道路を片側 3 車線往復 6 車線と仮定し、各車線を 1 m 間隔で重複することなく埋められる、すなわち全国の各車線上で一意に位置を表すことができる符号長である [15], [22]。本論文ではこれを長い系列の代表として扱う。その中の一部の連続した磁気マーカの場合は 4000 チップ、電波マーカの場合は 8000 チップを用いることにする。 $m = 15, 33$ の場合の初期位置特定までかかるチップ数は 15, 33 である。

なお、筆者らのグループは $m = 10$ に加え、 $m = 33$ の場合の磁気マーカの実験も土木研究所 (現在、国土技術政策総合研究所) 内の実験路で行っている [17]。

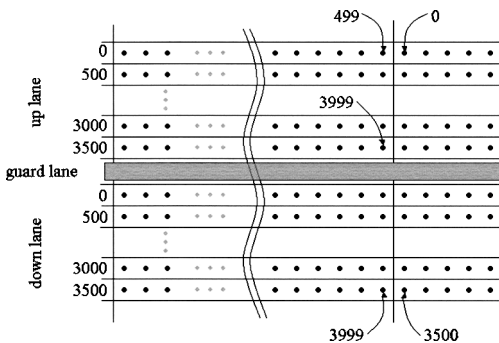


図 3 高速道路での MSLM の配列方法
Fig. 3 The arrangement method of MSLM in highways.

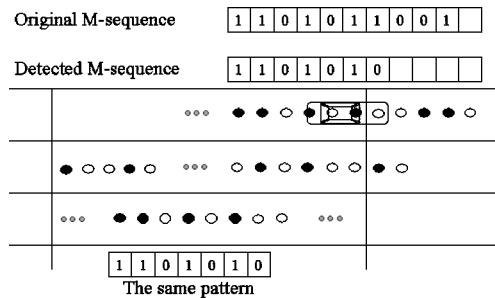


図 4 同じマーカの並びの問題
Fig. 4 The problem of the same pattern row.

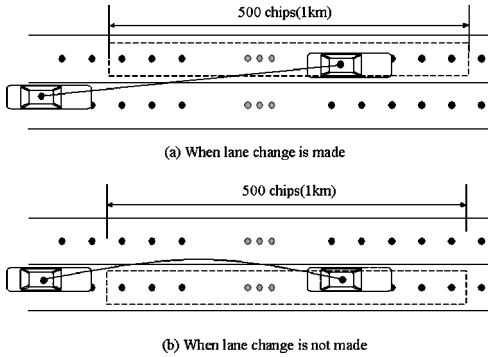


図 5 MSLM システムのみを用いた場合 (システム A)
Fig. 5 MSLM positioning system by itself (Scheme A).

3.2 再位置特定手法

再位置特定手法は 3 種の手法で行う。手法として MSLM システムのみを用いた場合 (システム A), MSLM システムに自動車の走行距離情報を併用した場合 (システム B), そして MSLM システムに走行距離情報及び角度情報を併用した場合 (システム C) について検討を行う。

システム A の MSLM システムのみを用いた再位置特定の方式では車線変更後の位置特定のために、探索範囲は図 5 (a) の点線のように車線変更前に位置特定できた車の位置から隣接車線の前方 500 個を探索範囲とする。500 個とした理由は、車線変更時、位置特定できた最終地点から新たな車線のマーカを検出するまでの走行距離を未知としたためである。

レーンマーカは本来ラテラル制御のために用いられるものであり、レーンマーカ列に対して車両が左から進入したか、右から進入したかは容易に知ることができる。これを用いると車線の探索範囲は 1 車線に絞られる。車線変更を途中で中止して戻った場合は図 5 (b) のように自車線の前方 500 個を探索範囲とする。

システム B の探索範囲は距離計の推定誤差を含んだ走行距離を考慮すると図 6 のように車線離脱後の走行距離 d によって探索範囲が決められる。ここで、走行距離 d は車線変更する直前の最後に読み込んだマーカから車線変更後の最初に読み込んだマーカまでの距離とする。

車両の速度が速いほど走行距離 d は長くなる。探索範囲は保証される最大推定誤差によって決められる。例えば、走行距離 d を 40 m とし、最大推定誤差を 10% とすると最大誤差が 4 m になり、読み込んだマー

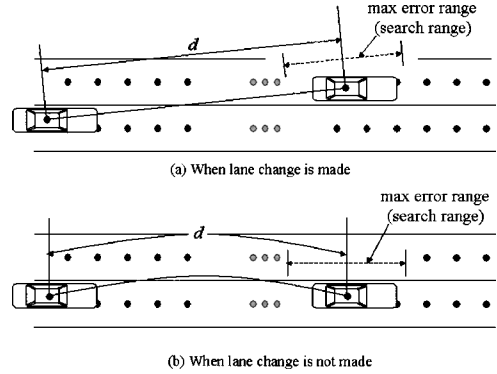


図 6 MSLM システムに走行距離情報を併用した場合 (システム B)
Fig. 6 MSLM positioning system using distance information with error (Scheme B).

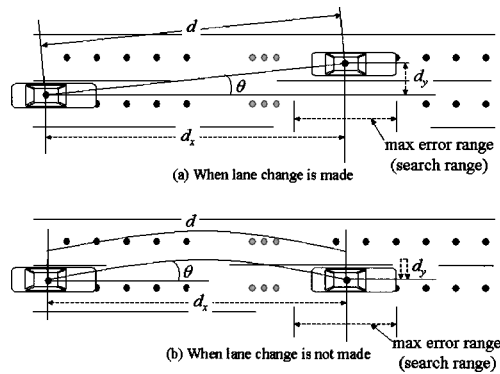


図 7 MSLM システムに走行距離情報及び角度情報を併用した場合 (システム C)
Fig. 7 MSLM positioning system using distance and angle information with error (Scheme C).

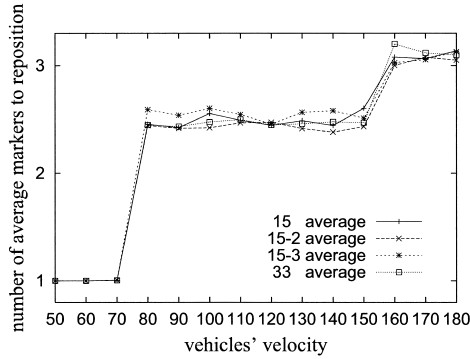
力を含めて前後 2 個のマーカが探索範囲 (5 個のマーカ) になる。車線の探索範囲はシステム A と同様である。

システム C の探索範囲は図 7 のように角度センサを考慮して得られた走行距離 d_x によって探索範囲が決められる。車線の探索範囲はシステム A と同様である。

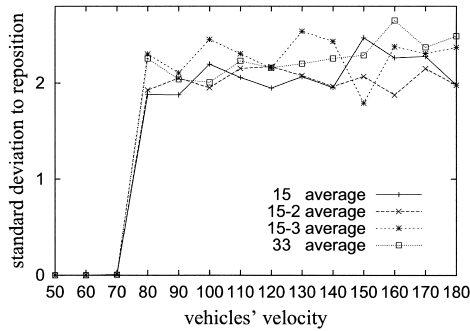
3.3 性能評価

3.3.1 シミュレーションの仕様

システム B と C の性能評価はシミュレーションにより行った。車の速度は 50 km/h から 180 km/h まで、10 km/h ごとにシミュレーションを行う。車線変更は再位置特定ができた後に行うものとする。車線変更の横方向の速度は 1 m/s とし、パンパ直下のマーカはすべて誤りなく読み取れると仮定する。



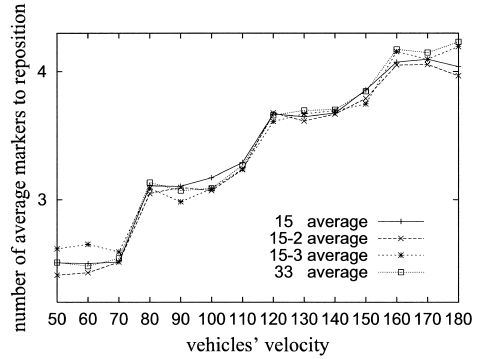
(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



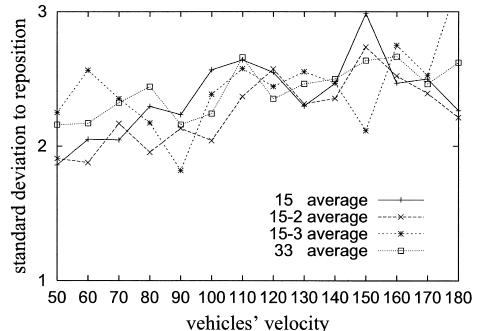
(b) 再位置特定までの標準偏差

図 8 誤差が 5% の場合、高速道路での磁気マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 8 Performance evaluation of Scheme B using magnetic markers in highways. (the guaranteed maximum error is 5%)



(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



(b) 再位置特定までの標準偏差

図 9 誤差が 10% の場合、高速道路での磁気マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 9 Performance evaluation of Scheme B using magnetic markers in highways. (the guaranteed maximum error is 10%)

筆者らのグループによる文献 [13], [14] 中の実験では読み飛ばしや読み誤りは全く生じず、測定条件を大きく変えない限り、この仮定の妥当性はあると考えたためである。また、距離計及び角度計の保証される最大推定誤差が 5% 及び 10% の場合を検討する。

本論文はマーカ素子の物理的性能を含めたシステム性能を評価することが目的ではない。1 ビットまたは、2 ビットの表現能力のある埋込式レーンマーカを用いた位置特定システムの性能比較を議論することを目的としている論文である。したがって、マーカ素子の物理的特性と離れてシステム性能を議論する。

3.3.2 磁気マーカを用いた場合の性能評価

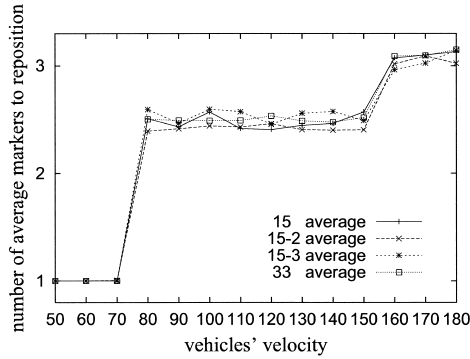
システム A の評価は起こり得るすべての場合について検討した。 $m = 15$ の場合、車線変更後に初めてマーカを検出してから再位置特定までかかった平均マーカ数は約 9.2 個、最大マーカ数は 15 個であった。

システム B, C での平均マーカ数と標準偏差は車線

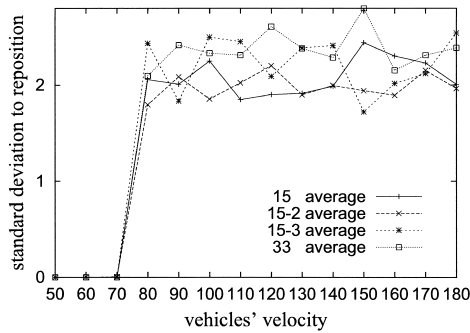
変更を 150000 回試行するシミュレーションの結果である。図 8 に速度ごとに再位置特定までかかった平均マーカ数と標準偏差を示す。比較対象の 15, 15-2, 15-3 は 15 ビットのシフトレジスタから生成された M 系列 (符号長 $L = 2^m - 1$ の中の異なる場所から取った部分系列 (4000 チップ)) を用いた再位置特定の平均マーカ数と標準偏差である。本論文で用いた部分系列は生成多項式である $1 + x^2 + x^9 + x^{14} + x^{15}$ から生成された M 系列の部分系列である。

この部分系列は前述のように連なりの短い部分系列である。再位置特定までかかった平均マーカ数が 1~3 程度で、標準偏差も小さい。連なりの最長は 13~14 であるが、その出現確率が極めて低く、ほとんどの場合が 1~3 程度であり、平均、標準偏差ともに小さな値になる。

車線変更したとき、たまたま長い連なりがある部分にあたり再位置特定までのマーカ数が大きくなるの



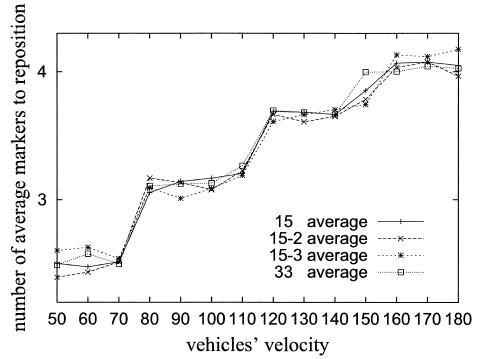
(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



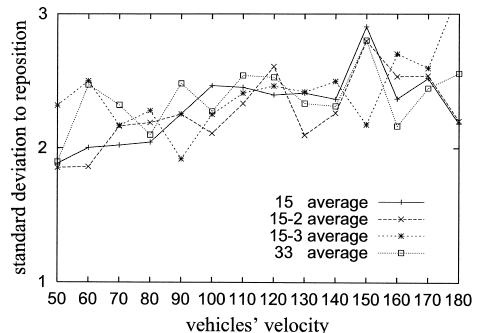
(b) 再位置特定までの標準偏差

図 10 誤差が 5% の場合、高速道路での磁気マーカを用いたシステム C の性能評価

Fig. 10 Performance evaluation of Scheme C using magnetic markers in highways. (the guaranteed maximum error is 5%)



(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



(b) 再位置特定までの標準偏差

図 11 誤差が 10% の場合、高速道路での磁気マーカを用いたシステム C の性能評価

Fig. 11 Performance evaluation of Scheme C using magnetic markers in highways. (the guaranteed maximum error is 10%)

で、長い符号長の M 系列の中から必要とするある連続したチップを選ぶ場合、連なりが他の部分(先頭のチップが異なる部分系列)と比べて最も小さいかまたは等しい部分を選ぶべし。また、平均が同じでも標準偏差が小さい部分系列の方がよい。

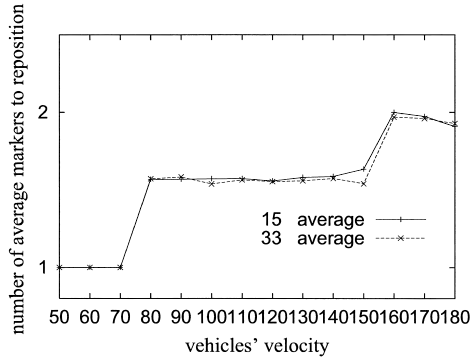
再位置特定までかかった最大マーカ数は部分系列 15 の場合は 14 個、部分系列 15-2 の場合は 15 個、部分系列 15-3 の場合は 15 個であった。これは選ばれたチップの中にそれぞれ S または N の連続した 13 個、14 個、14 個をもつ部分があるためである。

図 8(a)、図 9(a) で示すように、車速が速ければ速いほど再位置特定までにかかる平均マーカ数が大きくなる。この理由は速度が速くなると車線変更のとき、走行距離が長くなり探索範囲が大きくなるためである。図 8(b)、図 9(b) は再位置特定までの標準偏差を示す。15 ビットのシフトレジスタから生成された系列の場合の再位置特定までの標準偏差と $m = 33$ の系列の

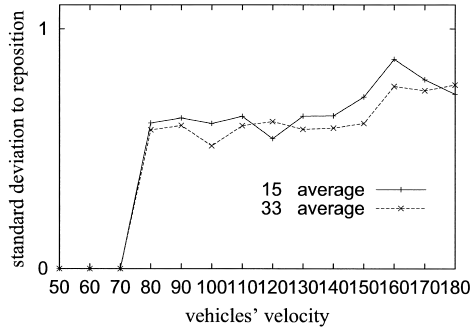
場合とほぼ同じ結果が出た。この理由は 15 ビットのシフトレジスタから生成された M 系列の中の部分系列の連なりの長さが $m = 33$ から生成された M 系列の中のある連続した 4000 チップの連なりとほぼ同じためである。また、性能に影響があるのは系列の長さではなく、探索範囲であることが分かる。

システム C の性能評価は図 10、図 11 で示すようにシステム B の結果とほぼ同じ結果が出た。その理由はシステム B での走行距離 d とシステム C での走行距離 d_x に大きい差がないためである。再位置特定までかかった最大マーカ数はシステム B と同じ結果となった。

システム A、B 及び C の再位置特定までかかった平均マーカ数はシステム A の方が大きい最大マーカ数は同じとなった。その理由は 15 ビットのシフトレジスタから生成された M 系列の中から 4000 チップだけ用いたため、その中の連続した S または N が 14



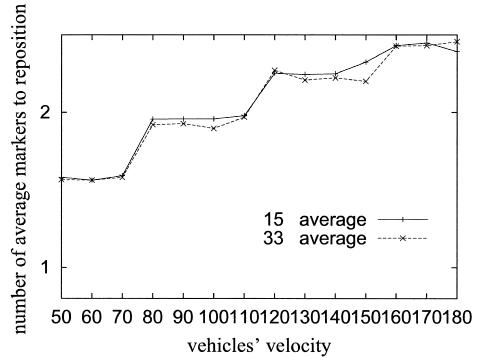
(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



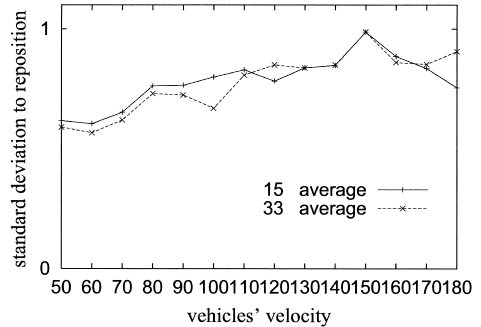
(b) 再位置特定までの標準偏差

図 12 誤差が 5% の場合、高速道路での電波マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 12 Performance evaluation of Scheme B using radio markers in highways. (the guaranteed maximum error is 5%)



(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



(b) 再位置特定までの標準偏差

図 13 誤差が 10% の場合、高速道路での電波マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 13 Performance evaluation of Scheme B using radio markers in highways. (the guaranteed maximum error is 10%)

個をもつ部分があると 15 個まで検出しないと位置特定ができない。

このほか、シフトレジスタが 17, 18, 19 ビットの場合も 15 ビットの場合とほぼ同じ結果が出た。上記の結果により、調べた範囲以内では再位置特定までかかった平均マーカ数は符号長にほとんど依存しないことが分かった。

以上より、MSLM に走行距離情報のみ併用することで、車線変更後の初期捕捉の性能が飛躍的に向上することが示された。

3.3.3 電波マーカを用いた場合の性能評価

電波マーカを図 3 のように磁気マーカと同じ方法で埋め込むようにすると 4000 個の電波マーカが必要である。しかし、前述のように電波マーカは 2 ビットの情報をもっているため、15 ビットのシフトレジスタから生成された M 系列の中から 8000 チップ (4000 個の電波マーカ) の部分系列を用いることにする。

図 12, 図 13 で分かるように 2 ビット情報をもっている電波マーカの方が 1 ビットの情報しかもたない磁気マーカの方より性能が良いことが分かった。1 マーカ 1 ビットを 1 マーカ 2 ビットにしたことより、システム B の車線変更速度 1 m/s, 最大誤差 10% の場合の平均マーカ数は電波マーカが磁気マーカより 80 km/h の場合約 37%, 標準偏差は 67% 減少した。また、更に 120 km/h の場合平均マーカ数は約 39%, 標準偏差は約 70% 減少した。50 km/h から 180 km/h まで平均では平均マーカ数は 40%, 標準偏差は約 70% が減少した。

4. 一般道路交差点での再位置特定

4.1 交差点での MSLM の配列方法と符号長決定

ここでは一般道路の交差点での MSLM の配列方法と符号長決定について検討を行う。図 14 では十字路の MSLM の配列方法を示している。交差点の停止線から

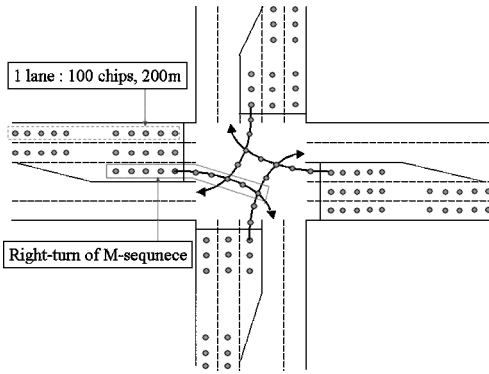


図 14 交差点(十字路口)での MSLM 配列方法
Fig. 14 The arrangement method of MSLM in crossroads.

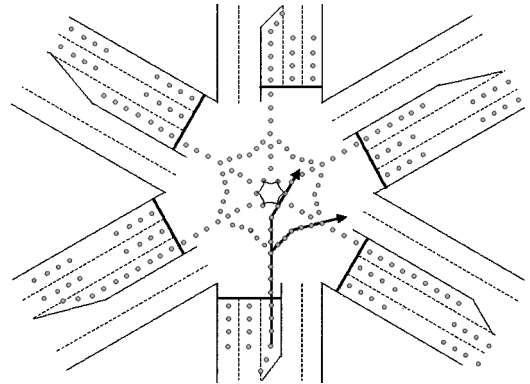


図 15 交差点(六差路)での MSLM 配列方法
Fig. 15 The arrangement method of MSLM in 6-intersections.

1車線当り2m間隔で100個(200m)までMSLMを埋め込む。右折専用車線は直進車線と左折車線と違って、図14で示すように右折専用M系列を用意して交差点の中心部から埋め込む。交差点内での配列方法は交差点への進入、並びに進入後止まって待つ可能性のある範囲までをリアルタイム位置特定をすべき領域と考え、直進車線は停止線まで、右折車線は右折のために停止し待つ可能性のある範囲までとする。

一般的に交差点での事故は右折する車と反対側から直進してくる車の衝突(右直事故)が最も多い。このような事故を減らすために、反対側から直進する車に対して右折車の位置をもっと正確に伝えるために交差点の中心部まで埋め込むことにする。

図15は六差路のMSLMの配列方法を示している。六差路の場合は停止線までは十字路の埋め込む方法と同じであるが、右折専用車線の場合は十字路と異なって、右折方向が二つある。そのために図15のように埋め込むことにより第1方向に右折するか第2方向に右折するかを反対方向から来る車に教えることができる。

図16にサークル交差点でのMSLMの配列方法を示す。サークルは他の交差点での停止線までのMSLMの配列方法は同様である。しかし、図16のようにサークルの中をひと回りするMSLMを配列し、進入路も同じパターンのMSLMを埋め込む。例えば、10番目のマーカで合流するとした場合、図16のようにMSLMを交差点から $9', 8', 7', \dots, 12', 11'$ のように配列する。ただし、 n と n' は同じ符号である。

このようにすることにより、合流制御アルゴリズム[25]を用いて、将来自動運転で自動車同士が通信、

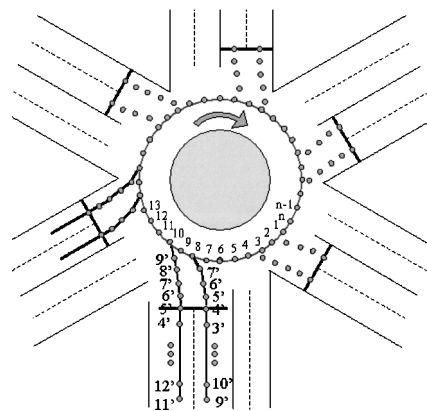
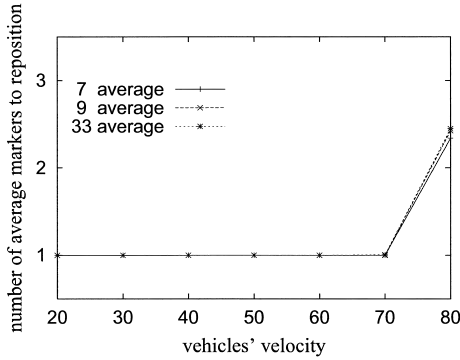


図 16 交差点(サークル)での MSLM 配列方法
Fig. 16 The arrangement method MSLM in circle.

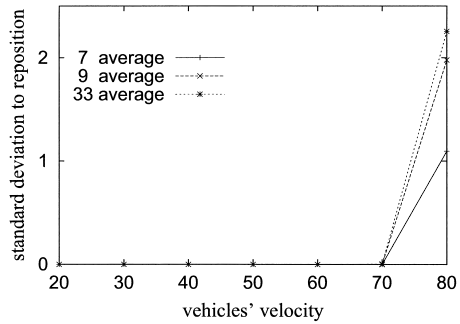
交渉しながらサークルに進入しやすくすることを考慮している。サークル中に車があると交差点に進入する車は自車の位置、長さ、速度などの情報を伝えることで安全に交差点に進入することができる。

右折専用車線を含めた片側4車線200mにMSLMは400個が必要である。1ビット情報をもっている磁気マーカの場合、その符号の符号長は400より長く最も短い符号の符号長として511となる。電波マーカを用いた場合は800より長く最も短い符号の符号長として1023となる。

また、PN符号の短周期符号の場合と長周期符号の場合の再位置特定までかかる平均マーカ数を調べるために、磁気マーカを用いた場合は $m = 7, 9, 33$ を評価する。 $m = 7$ の場合は符号長は $L = 2^7 - 1 = 127$ である。4車線(1車線当り200m; 100個)を埋められ



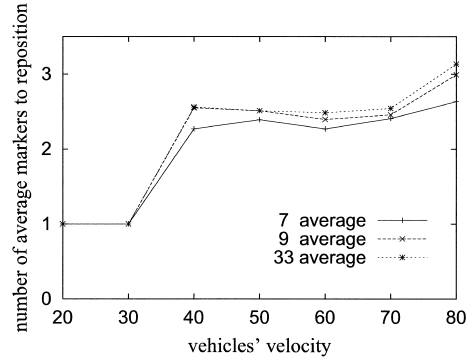
(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



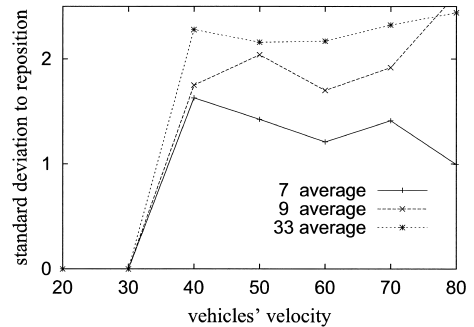
(b) 再位置特定までの標準偏差

図 17 誤差が 5% の場合、一般道路での磁気マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 17 Performance evaluation of Scheme B using magnetic markers in openroads. (the guaranteed maximum error is 5%)



(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



(b) 再位置特定までの標準偏差

図 18 誤差が 10% の場合、一般道路での磁気マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 18 Performance evaluation of Scheme B using magnetic markers in openroads. (the guaranteed maximum error is 10%)

ないため、異なる帰還タップを用いた四つの M 系列を用いて 4 車線に埋め込むようにした。電波マーカを用いた場合は $m = 8, 10, 33$ を検討する。

本システムは通常の車線を守って走行する車のための安全性向上を支援することを目的としている。積極的に安全運転走行をしない、すなわち、意図的に車線を外したり異常走行をする車に対してはサービスを提供することを保証しないシステムであることを前提としている。

4.2 再位置特定手法

再位置特定は 3.2 で説明した高速道路で用いた手法と同じである 2 種類の手法で行う。MSLM に走行距離情報を併用した場合 (システム B) と MSLM に走行距離情報と角度情報を併用した場合 (システム C) について検討を行う。

4.3 性能評価

4.3.1 シミュレーションの仕様

システム B と C の性能評価はシミュレーションに

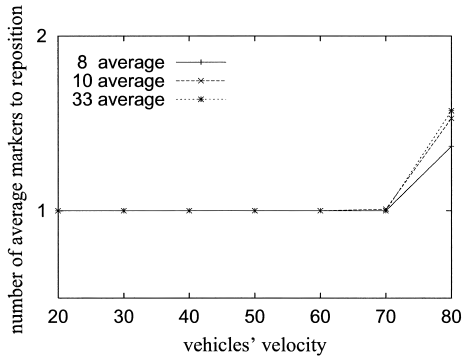
より行う。車の速度は 20 km/h から 80 km/h まで、10 km/h ごとにシミュレーションを行う。車線変更は再位置特定ができた後に行うこととする。

また、車線変更の横方向の速度は 1 m/s とし、車両がレーンマーカを読み込むとき、誤りはないと仮定した。また、高速道路における検討と同様に距離計及び角度計の保証される最大推定誤差は 5% 及び 10% の場合を検討する。

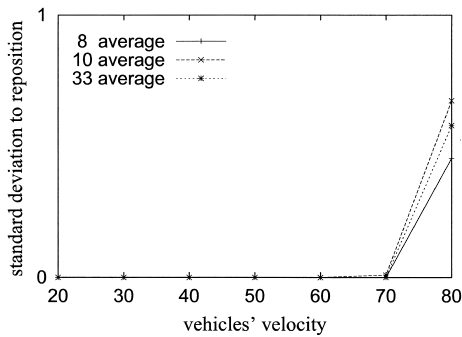
4.3.2 磁気マーカを用いた場合

短周期 $m = 7, 9$ と長周期系列の $m = 33$ の性能比較を行った。システム B, C での平均マーカ数と標準偏差は車線変更を 150000 回試行するシミュレーションの結果である。

$m = 9, 33$ の場合は初期位置特定までかかるチップ数が 9, 33 チップである。しかし、 $m = 7$ の場合は初期位置特定までかかるチップ数は最大 $2m = 14$ チップである。この理由は同じ長さ m のシフトレジスタ



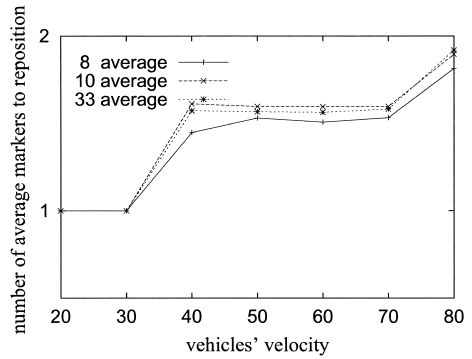
(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



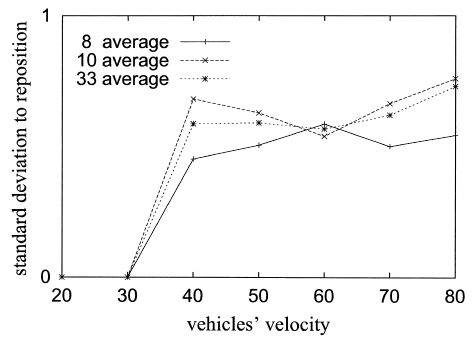
(b) 再位置特定までの標準偏差

図 19 誤差が 5% の場合、一般道路での電波マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 19 Performance evaluation of Scheme B using radio markers in openroads. (the guaranteed maximum error is 5%)



(a) 再位置特定までかかった平均マーカ数



(b) 再位置特定までの標準偏差

図 20 誤差が 10% の場合、一般道路での電波マーカを用いたシステム B の性能評価

Fig. 20 Performance evaluation of Scheme B using radio markers in openroads. (the guaranteed maximum error is 5%)

で異なる帰還チップを用いた二つ以上の M 系列を使う場合は初期位置特定まで m チップ以上、最大 2 m チップがかかることになるためである。

システム B の性能評価は図 17 で示すように再位置特定までかかる平均マーカ数は符号長と関係なく、ほぼ同じ結果が出た。しかし、標準偏差は図 18 で示すように $m = 7$ の方が性能が良い。

システム C の再位置特定までかかった平均マーカ数と標準偏差はシステム B とほぼ同じ結果が出たため、省略する。

この結果により、再位置特定までかかる平均マーカ数は調べた範囲以内で符号長に依存しないことが分かった。以上より短い符号長が必ずしも良いとは限らないといえる。

4.3.3 電波マーカを用いた場合

電波マーカを図 14 のように磁気マーカと同じ方法で埋め込むようにすると 400 個の電波マーカが必要で

ある。しかし、3.3.3 で述べたように、電波マーカは 2 ビットの情報をもっているため、8、10、33 ビットのシフトレジスタから生成された M 系列の中から 400 個の電波マーカ (800 チップ) を用いることにする。

図 19、図 20 は電波マーカを用いたシステム B の交差点での再位置特定までかかった平均マーカ数と標準偏差を表す。システム B の結果である図 19、図 20 より 2 ビット情報をもっている電波マーカの方の性能が良いことが分かる。システム C の結果はシステム B とほぼ同じ結果が出た。

5. むすび

本論文では、2 種類の MSLM (磁気マーカと電波マーカ) の配列方法、符号長決定、及び再位置特定について検討した。

まず、高速道路での配列方法と符号長を決定した。同じパターンが生じない 15 ビットのシフトレ

ジスタから生成された M 系列の部分系列を用いた。磁気マーカの場合は 4000 チップ、電波マーカの場合は 8000 チップを用いた。比較対象として $m = 33$ の M 系列を検討した。MSLM システムの再位置特定手法として、MSLM システムのみを用いた再位置特定、MSLM システムに距離計の推定誤差を考慮した走行距離情報を併用した再位置特定、MSLM システムに推定誤差を考慮した走行距離情報及び角度情報を併用した再位置特定の 3 種を検討した。再位置特定までかかった平均マーカ数を速度と最大保証誤差をパラメータとして性能評価を行った。

システム B の車線変更速度 1 m/s、最大誤差 10% の場合の平均マーカ数は電波マーカが磁気マーカより 50 km/h から 180 km/h までにおいて平均マーカ数は約 40%、標準偏差は約 70% が減少した。

更に、一般道路の交差点（十字路、六差路、サークル）での MSLM の配列方法と符号長決定について検討した。磁気マーカの場合は $m = 9$ のシフトレジスタから生成された M 系列の中からある連続した 400 チップ、電波マーカの場合は $m = 10$ のシフトレジスタから生成された M 系列の中から 800 チップを用いた。比較対象として $m = 7, 33$ の M 系列を検討した。性能評価は再位置特定に至るまで平均マーカ数を符号長、速度と誤差ごとに行なった。高速道路での性能評価と同様に、1 ビットの情報をもつ磁気マーカより 2 ビット情報をもつ電波マーカの方が再位置特定までかかった平均マーカ数が大幅に減少した。

以上より、走行距離情報の利用が効果的であることが明らかになった。また、異なる符号長でも再位置特定までの平均マーカ数はほぼ同じ結果となり、最大車線数と交差点形状により決定されるべきであることが分かった。

今後の課題として、MSLM システムと他の位置特定システムなどの協調システムの検討が挙げられる。更に、マーカから離れた場所から位置特定ができないことや高価な車載機のためのコストの問題の解決などが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は財団法人国際コミュニケーション基金の援助により行われた。ここに深謝します。

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] 長谷川孝明，“安全運転支援システムとその要素技術につ

いて—道路 OS とドット ITS” 信学技報，ITS2001-10，July 2001。

[4] 長谷川孝明，“ITS における通信技術” ITS における先進車両制御技術と通信技術，pp.1-6，Sept. 2001。
 [5] T. Hasegawa，“The 21st century's road platform “dot ITS” and its application —During assistance system and, software ETC, IP application,” Proc. ITSC2002. pp.392-395，Sept. 2002。
 [6] 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。
 [7] 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。
 [8] アリ ウイドド，長谷川孝明，“車車間通信ネットワークの交通流に与える効果について” 信学論（B），vol.J82-B，no.11，pp.2010-2017，Nov. 1999。
 [9] 安達 真，長谷川孝明，“安全運転支援システムの車車間通信におけるシャドウイング及び位置解像度に関する検討” 信学技報，ITS2001-24，Sept. 2001。
 [10] K. Koike，“Improvement in positioning accuracy of GPS receiver,” Proc. World Congress 2003，doc3214. Nov. 2003。
 [11] 久保信明，安田明生，“単独測位におけるマルチパスの評価と精度改善方法” 信学論（B），vol.J84-B，no.12，pp.2123-2131，Dec. 2001。
 [12] H.S. Cobb, GPS Pseudolites: Theory, Design, and Applications, Stanford University, 1997。
 [13] 上村克成，“PN 符号化磁気マーカ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。
 [14] 上村克成，長谷川孝明，“PN 符号化磁気マーカの実証実験について” 2001 信学ソダ，SA-9-5，March 2001。
 [15] 長谷川孝明，アリ ウイドド，“PN 符号化磁気マーカを用いた車両ポジショニングシステムについて” 信学技報，SANE98-7，April 1998。
 [16] 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。
 [17] 関根宗徳，長谷川孝明，“PN 符号化磁気マーカのマッピングについて” 信学技報，ITS99-41，Dec. 1999。
 [18] 金 帝演，長谷川孝明，“道路プラットフォームにおける PN 符号化磁気マーカシステムに関する一検討” 信学技報，ITS2001-31，Dec. 2001。
 [19] 金 帝演，長谷川孝明，“PN 符号化磁気マーカの再引き込みと交差点での適用について” 信学技報，ITS2002-13，July 2002。
 [20] J. Kim and T. Hasegawa，“On re-positioning of the PN coded magnetic markers in road platform,” Proc. ITSC2002，pp.259-262，Sept. 2002。
 [21] 金 帝演，長谷川孝明，“PN 符号化磁気マーカの高速度道路での再引き込みと交差点での適応について” 第 1 回 ITS シンポジウムプロシーディングス，pp.185-190，Dec. 2002。
 [22] 金 帝演，長谷川孝明，“長周期系列の PNCMM システムに関する一検討” 信学技報，ITS2002-118，March 2003。

- [23] 国土交通省国土技術政策総合研究所, “第7回 AHS 研究報告会” July 2003.
- [24] 鈴木尋善, 浅山嘉明, 小野 治, 片山重厚, 大谷健一, 真崎 裕, “位置検出支援道路システムの開発” 1998 信学ソ大(基礎・環境), SAD-5-9, 1998.
- [25] Bureau of Transportation Statistics of USA, “Transportation statistics,” Annual Report, 1999.
- [26] 宇野篤也, 坂口 健, 津川定之, “車々間通信を用いた合流制御におけるシミュレーションによる考察” 第16回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス, pp.189-192, 1997.

(平成 16 年 6 月 1 日受付, 9 月 13 日再受付,
10 月 25 日最終原稿受付)



金 帝演 (学生員)

1991 韓国大邱大・電子工学入学. 1998 同大卒. 2001 埼玉大理工学部研究科電気電子システム専攻入学. 現在, 同博士前後期程在学中. 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. 現在, 同電気電子システム工学科助教授. 工博. 平 7~8 カナダ・ビクトリア大客員研究員. 人から人へ, 人から機械へ, の本質的な情報通信を行うための技術及び人の移動のための技術に興味をもつ. これまで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に携わる. 近年は, ITS 実現のための新しい情報通信パラダイムやポジショニングシステム, 意思伝達を含む新しい情報通信工学を模索している. 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, 情報理論とその応用学会, 国際交通安全学会, 情報処理学会各会員.