

カーナビゲーションシステム

三藤邦彦*

カーナビゲーションシステムでは自車位置の情報が重要な役割を担う。この自車位置の検出技術について、まず各種方式の概要を紹介する。次にマップマッチング法を用いた自立航法と、GPSや近接無線等の無線航法と自立航法を併用した複合航法について詳述し、今後の動向についても触れる。続いて、検出した自車位置情報を用いたカーナビゲーションシステムについて述べる。現在は地図表示が中心だが、今後は交通情報や目的地までの経路が表示される。

In-Vehicle Navigation System

Kunihiko MITOH*

Location information plays a vital role in in-vehicle navigation systems. A variety of location detection methods are introduced briefly at first. Next, autonomous navigation with map matching method and combined navigation between radio navigation such as GPS and a proximity beacon, and autonomous navigation are described in detail. And, some movements to the future are also mentioned. Then, in-vehicle navigation systems which apply the detected location information are explained. Current models use map display mode, but traffic information and recommended route to the destination will be displayed in the near future.

1. はじめに

高度情報化が進展する中で、自動車も閉ざされた空間から、事務所や家庭にいるのと同様に豊富な情報が入手できる空間へと変貌しようとしている。また、急速な自動車の増加にともなって悪化しつつある事故、渋滞、環境汚染等の交通問題に対処し、交通安全と交通流の円滑化を図る新しい道路交通システムの開発が日米欧で一斉に始まっている。この自動車の情報化と交通システム化の動きの中で中心的役割を担っているのが、カーナビゲーションシステムである。

カーナビゲーションシステムは、基本的には車内で自車の現在地や目的地を把握してドライバーに示

し、走行経路の判断を支援するものであるが、関連する種々の案内情報を提供したり積極的に推奨経路を示すことが出来る等、情報機器として広範な可能性を秘めている。また、車載コンピュータによって扱う情報量が他の車載機器に比べて圧倒的に多く、自動車の中の情報センターへと発展してゆく可能性を持っている。そしてカーナビゲーションシステムにおいても車内情報センターにおいても、移動体システムであるが故に最も重要な位置を占めているのが自車位置の情報である。本文では自車位置の検出技術を中心にカーナビゲーションシステムの現状と今後の動向について述べる。

2. 位置検出方式

自動車の位置検出方式には多くのものが開発されているが、カーナビゲーションシステム用としてはTable 1に示すような自立航法、無線航法および両者の複合航法が使用されている。自立航法の中で、

* 住友電気工業(株)自動車制御技術研究所長
General Manager, Vehicular Tech., Lab.,
Sumitomo Electric Ind., Ltd.
原稿受理 1991年5月13日

Table 1 位置検出方式

検出方式		検出原理	特徴
自立航法	推測航法	方位と距離のセンサ出力を積算	簡易だが誤差が累積する
	推測+マップ マッチング	道路地図との類似性を見て推測航法の累積誤差をキャンセル	精度良いがセンサの異常誤差や地図の間違いで狂うことがある
無線航法	GPS	4個の周回衛星からの距離を測定	絶対位置はわかるが受信不能領域がある
	近接無線航法	スポット通信で絶対座標を受信	簡易だが受信地点しかわからない
複合航法	自立+GPS	GPSで範囲を設定し自立航法	両者の弱点が補完される
	自立+近接無線	受信座標を始点として自立航法	追加情報が送れるがインフラ整備必要

方位センサと距離センサから単位時間当りの進行方位と距離を求め、ベクトル加算して現在位置を推定する方式を推測航法(Dead-reckoning)と呼び、基本的な位置検出方式として早くから使用されている。しかし、センサ出力には誤差があるため走行距離や時間とともに位置誤差が大きくなり、その都度修正しなければならない。そこで自動車が原則として道路上を走行するという特性を利用して、推測航法で得られた走行軌跡と道路地図形状との相関をとり、推定位置が少しずつ道路から離れて行くのをセンサ誤差とみなしてキャンセルする、マップマッチング法が開発された。マップマッチングによりマッチングがとれている時は位置検出精度が良く誤差も累積しないが、方位センサ出力に大きな偏差があったり道路地図データに間違いがあると、マッチングがとれなくなって推測航法になってしまうことがある。

GPS(Global Positioning System)は、4個の周回衛星からの信号を受信して各衛星からの距離を求めて現在位置を測定する。連続して絶対位置の検出が出来るが、ビル陰やトンネル内等受信が不可能な場合があったり、道路を特定する程に精度が得られない場合がある。近接無線は、間欠的に配置したスポット的な通信手段からその地点の絶対座標を受信するもので、位置精度は良いが受信地点の位置しかわからない。

複合航法は、連続的に且つ細かい精度で位置の検出が出来るが誤差が大きくなる恐れのある自立航法と、絶対位置の検出が出来てある一定誤差の範囲にあることはわかるが、検出不能場所があったり精度に限界のある無線航法の弱点を補完しあうものである。自立航法とGPSとの複合は、インフラ整備を行うことなく広域にわたって位置検出を行うのに適している。自立航法と近接無線との複合は、インフラ整備が必要であるが、都心部のような高密度な道路網で位置検出を行うのに適している他、近接無線

を使用して交通情報等の追加情報の通信を行うことが可能である。以下に、自立航法と複合航法について詳しく述べる。

3. 自立航法

自立航法の基本は推測航法で、推測航法の位置検出精度は方位と距離の検出精度で決まる。距離はスピードメータ又は車輪速センサで求め、スチールラジアルタイヤの場合、摩耗の影響を除いて0.3%程度の精度が得られるが、方位の方は精度が得にくい。

3-1 方位の推定

現在カーナビゲーションに用いられている方位センサをTable 2に示す。絶対方位の検出には、フラックスゲート型の地磁気センサが使われている。絶対方位が得られるため誤差の累積は無いが、常時10°程度の誤差があり、鉄橋や電力線の布設場所付近では30°前後の偏差が発生することがある。相対方位の検出は、左右輪の回転差から車体の回転角を検出するものと、各種の媒体を用いて角速度を検出し積分して回転角を求めるものがある。角速度検出には、ノズルから放射したヘリウムガスの流れが回転によって曲がるのを熱線対にて検出するガスレートジャイロ¹⁾、振動体が回転によって発生するCoriolisの力を受けて歪むたわみ量を検出する振動ジャイロ、および光ファイバコイルを通過する右回りと左回りの光が回転によって受ける移相量の差(Sagnac効果)を検出する光ファイバジャイロが使用されている。相

Table 2 方位センサの種類

検出方式		センサ
絶対方位		地磁気センサ
相対方位	回転角検出	差動型車輪速センサ
	角速度検出	ガスレートジャイロ 振動ジャイロ 光ファイバジャイロ

対方位は、いずれの場合でも原方位に方位変化量(回転角)を加算して新方位を求めるものであるため、検出した方位変化量のバイアス(オフセット)誤差や変化量の大きさ(スケールファクタ)の誤差の影響が累積される。しかし短距離、短時間における検出では安定した精度の良い性能が得られる。

このように、絶対方位と相対方位の検出器は互いに異なる特性を持っており、各々単独では実用に耐えるだけの性能が得にくいため(1)式に示すように複合して推定方位($\hat{\theta}_n$)を求めている²⁾。

$$\hat{\theta}_n = K_n \cdot {}^m\theta_n + (1 - K_n) (\hat{\theta}_{n-1} + \Delta^s\theta_n) \dots\dots(1)$$

但し、 ${}^m\theta_n$: 時刻nの絶対方位出力

$\hat{\theta}_{n-1}$: 時刻n-1の推定方位

$\Delta^s\theta_n$: 時刻n-1からnまでの相対方位変化量

K_n : 各センサの統計的性質から求めた利得

(1)式の利得 K_n は使用しているセンサの組合せや使用中の特性変動に応じて変化する。地磁気センサと光ファイバジャイロを使用した時の推定方位検出系のブロックダイアグラムをFig. 1に示す³⁾。利得 K_n は絶対方位センサと相対方位センサとの利用率を決めるものであり、推定方位の精度を上げるには各々のセンサが内包する誤差要因を較正して誤差自体も小さく抑えなければならない。特にセンサの動作点変動するオフセット誤差の影響が大きく、自動較正が必要である。地磁気センサの場合、強磁界により車体が着磁すると動作点(方位円*の中心)が移動し誤差が大きくなる。そこでカーブの前後の地磁気センサの出力と相対方位センサの方位変動量(方位円の内角)から新しい方位円の中心を求めることにより自動較正する²⁾。

Fig. 2は、方位円のY軸方向に半径の0.1程度の着磁が発生した時の方位円中心値が較正される様子を示したものである。角速度センサの場合はドリフトにより出力にオフセット誤差が発生する。パトカー配車システムで実用化している光ファイバジャイロでは、0.05°/s/h程度のドリフトがあり、利得 K_n を時間に比例して上げるとともに停車時にバイアス成分をリセットする。停車判定は距離計や光ファイバ

* 直交成分出力をもつ地磁気センサを360°回転させると地磁気の強さを半径とした円を描く。

ジャイロ出力を用いて行う。

3-2 マップマッチング法^{4,5)}

単位時間に進んだ距離 ΔS_n と進行した平均推定方位 $\hat{\theta}_n$ から推測航法により推定位置を求める。元の位置 $P_{n-1}(X_{n-1}, Y_{n-1})$ と新しい位置 $P_n(X_n, Y_n)$ との間の関係は(1)式で求められている。

$$\left. \begin{aligned} X_n &= X_{n-1} + \Delta S_n \cos \hat{\theta}_n \\ Y_n &= Y_{n-1} + \Delta S_n \sin \hat{\theta}_n \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

繰返し(2)式の計算を行うと曲率半径の小さいカーブの時誤差が大きくなる。そこで単位時間の軌跡を円で近似し元の位置の推定方位を $\hat{\theta}_{n-1}$ 、新しい位置の推定方位を $\hat{\theta}_n$ とすると(3)式が求められる。曲率半径が小さい時は(3)式を用いて推定位置を求める。

$$\left. \begin{aligned} X_n &= X_{n-1} + \frac{\Delta S_n}{\Delta \hat{\theta}_{n-1}} (\sin \hat{\theta}_n - \sin \hat{\theta}_{n-1}) \\ Y_n &= Y_{n-1} + \frac{\Delta S_n}{\Delta \hat{\theta}_{n-1}} (\cos \hat{\theta}_{n-1} - \cos \hat{\theta}_n) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

但し $\Delta \hat{\theta}_{n-1} = \hat{\theta}_n - \hat{\theta}_{n-1}$

推測航法で得られた走行軌跡データは道路地図データと比較してマップマッチングを行う。マップマッチング法には多くの方法が提案されているが、大きくは非確率的手法と確率的手法に分けられる。

1) 非確率的手法

特定の判定論理で自転車位置がリンク(道路セグメ

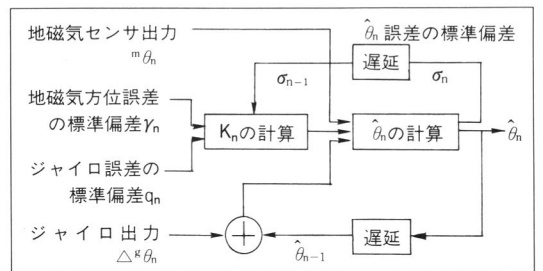


Fig. 1 推定方位の検出

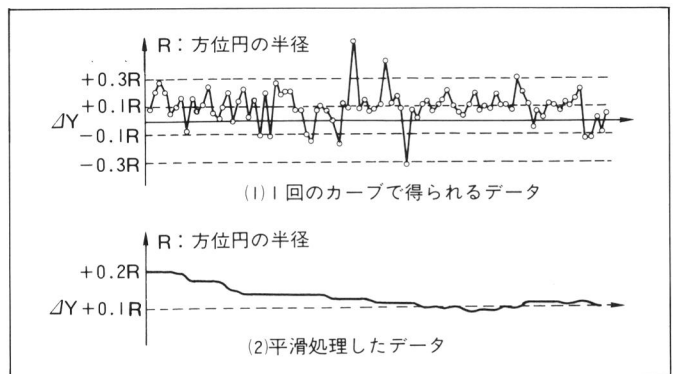


Fig. 2 地磁気センサの較正例

ント) 上にいるかいないかを判定し、リンク上にいると判定される時はリンク上を走らせ、いない時は推測航法にまかせる方法である。BoeingのFLAIR (Fleet Location and Information Reporting System) では道路地図をグリッドに分割し、走行可能グリッド上にいる時はそのままとし、近傍グリッド上にいる時は走行可能グリッドへ引き寄せている。道路の接続情報は使っていない。GEC-MarconiのLANDFALL (Links and Nodes Database For Automatic Landvehicle Location) では道路ネットワークをリンクとノード(分岐点)で表し、自車位置が特定リンクへ進入するとそのリンク長データを読み込み走行距離だけカウントダウンしていく。リンク長データが零近くなるとノード領域に入ったとみなし、その後検出した回転角から分岐リンクを探し出し、そのリンク長データを読み込む。回転の中心(変曲点)を道路ネットワークのノードに合わせることで、距離センサの誤差をキャンセルする。また、リンク上を走行中に推定方位がリンク方位と大きく異なったり、ノード領域以外で回転が検出された時は、道路ネットワーク上から離脱したとみなし推測航法に移る。

2) 確率的手法

前述の非確率的手法の場合、一度道路地図上を離脱すると回復が難しい。対象とするリンクをセンサ誤差特性から確率的に求め、また対象とするリンクの中から最も確からしいリンクを確率的に見出すことにより、自車の存在するリンクの発見率を高める方法が確率的手法である。ETAKの方法⁹⁾は、CEP (Contour of Equal Probability) 内のリンクを探索対象リンクとする。CEPとは自車が実際に存在する位置を含む存在確率が一定値以上のエリアで、センサ誤差のため走行につれて拡大してゆく。対象リンクを道路ネットワークデータから読み取り、走行軌跡と対象リンクとの方位、近接性、接続性およびカ

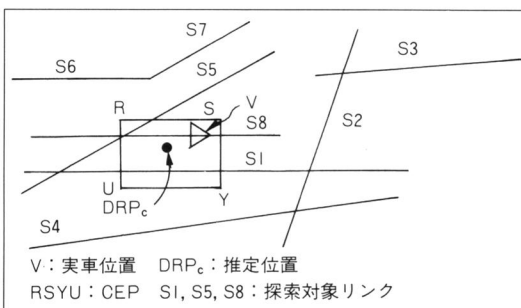


Fig. 3 CEPの設定例

ーブに関する相関性を見ながら、一本に絞り込んでゆく。一本に絞り切れない時は次回処理に回す。一本に絞り込むと推定位置をリンク上(またはノード上やカーブ点上)に移し、同時にCEPを所定の値まで縮小する。Fig. 3にCEPを設定している例を示す。

PPM (Parallel-Processing Map matching) 方式²⁾は、分岐する時、新たに登録するリンクをCEP内の道路ネットワークデータから探す。CEPが大きくなると対象となる分岐点が複数になることもある。推定方位や推定位置と登録したリンクの方位(カーブを含む)や距離の相関を各リンク毎に取り、その移動平均を車両存在係数としてもたせる。同時に各リンク毎に自車の候補推定位置の修正も行う。そして、その時点で車両存在係数が最も高く、かつ一定基準値以上のリンクを最も確からしいリンクとして選定する。一方、車両存在係数が一定基準値以下になったリンクは消去してゆく。最も確からしいリンクが連続して一定距離続くとマッチング状態と判断し、推定位置を当該リンク上の候補推定位置へ移し、CEPを所定の値まで縮小する。

Fig. 4は登録したリンクの車両存在係数の変化状況を示した例である。自動車がリンク L_0 から L_1 へ進行するとa点でリンク L_1 と L_2 が登録され、各々の車両存在係数が計算される。リンク L_2 の車両存在係数は急速に相関が悪くなって低下する。リンク L_1 一本に絞られた後、しばらくすると推定位置がリンク L_1 上へセットされる。地磁気センサと差動型車輪速センサを用いてPPM方式で位置検出を行った時の検出誤差の頻度分布の例をFig. 5に示す。95%確率で30数m以下の誤差となっている。

4. 複合航法

自立航法による検出位置と無線航法による検出位置からより確からしい複合航法による推定位置を求める方法は、両方の加重平均を求めることも考えられるが、最も確からしいリンクを求めるためには次のいずれかの方法による方がよい。第一の方法は、両方の距離差が一定許容値以上になった時、無線航法による検出位置を自立航法による推定位置にセットした後、自立航法により最も確からしいリンクを探索するものである。第二の方法では、無線航法による検出位置とその確からしさの情報および自立航法による複数の候補推定位置とその確からしさの情報から解析推論して、最も確からしい候補推定位置

を算出する。以下に自立航法とGPSおよび自立航法と近接無線との複合航法について述べる。

4-1 自立航法とGPSの複合

GPSは4個の周回衛星からの距離を計測し(4)式により受信位置P (X_u, Y_u, Z_u) を求める⁷⁾。

$$\left. \begin{aligned} R^i &= R_i + C \cdot \Delta t_{ai} + C (\Delta t_{u} - \Delta t_{svi}) \\ R^i &= (X_{si} - X_u)^2 + (Y_{si} - Y_u)^2 + (Z_{si} - Z_u)^2 \\ i &= 1, 2, 3, 4 \end{aligned} \right\} \dots(4)$$

但し、Rⁱ : 測定した衛星iと受信位置間の擬似距離 (受信時計のオフセット値を含む)

R_i : 衛星iと受信位置間の実際の距離

C : 光速

Δt_{ai} : 衛星iからの電波の電離層と対流圏における伝搬遅延

Δt_u : 受信時計のオフセット

Δt_{svi} : 衛星iの時計のオフセット

(X_{si}, Y_{si}, Z_{si}) : 衛星iの3次元座標

(4)式においてΔt_{ai}は既知で、Δt_{svi}と(X_{si}, Y_{si}, Z_{si})は衛星から放送されている。したがって未知数はΔt_u, X_u, Y_u, Z_uの4つとなり、4個の衛星との間の擬似距離Rⁱを計測すれば方程式が解けて受信位置Pが求められる。ところでGPSには衛星の幾何学的配置で決まる位置精度の劣化を表すPDOP (Position Dilution Of Precision) と呼ばれる係数があり、これを検出位置の確からしさの情報として用いる。

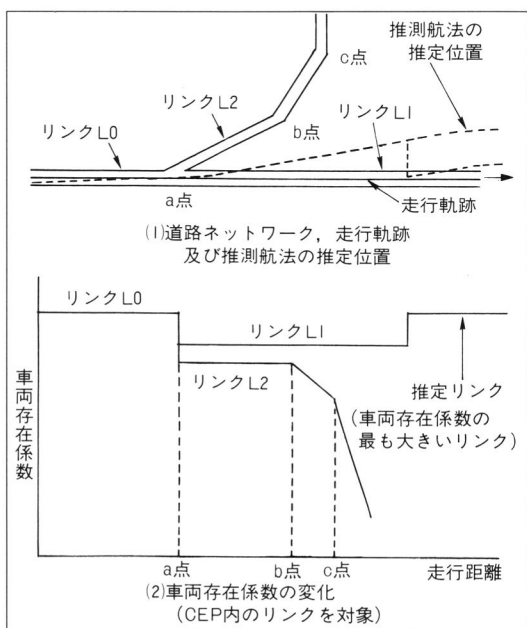


Fig. 4 車両存在係数の変化状況の例

一方、自立航法の検出位置の確からしさの情報にはPPM方式を例に採れば、車両存在係数、登録リンク本数、マッチング状態等がある。そこで第一の複合方法としては、両者の検出位置の距離差と各々の検出位置の確からしさを比較して最も確からしい位置を算出する。たとえば距離差が小さい時は自立航法の推定位置を採り、距離差が一定値以上でPDOPが一定値以下の時は自立航法の推定位置をGPSの検出位置に合わせた後、自立航法の推定位置を採る。

第二の方法では、自立航法で登録している各リンク毎の候補推定位置と、その確からしさの情報をGPSの検出位置およびPDOPと比較し、ある評価関数をもとに最も確からしい現在位置を算出する⁸⁾。たとえばPDOPが小さい時のGPSの検出位置が確からしさに他と大差のないある候補推定位置の近くにある時は、その候補推定位置を採る。

4-2 自立航法と近接無線の複合

近接無線は、路側や路上に設置した地上アンテナから車載機に向けてその地点の座標データや交通情報を送信するもので、伝送媒体としては赤外線、マイクロ波および誘導無線が開発されている。ドイツのALI-SCOUTの赤外線ビーコン、日本の路車間情報システム(RACS)の準マイクロ波ビーコン、新自動車交通情報通信システム(AMTICS)のマイクロ波サインポスト等がこれに相当する。

近接無線は比較的位置検出精度を高くすることができ、また確度も高い。したがって原則的には近接無線の検出位置に自立航法の推定位置を合わせる。場合によっては位置を合わせると同時にマッチング

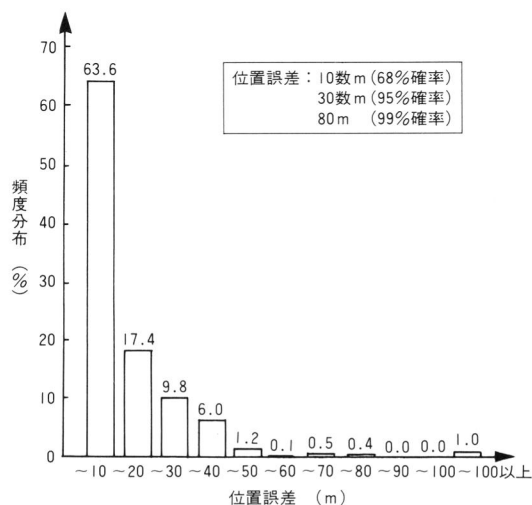


Fig. 5 位置検出誤差の頻度分布

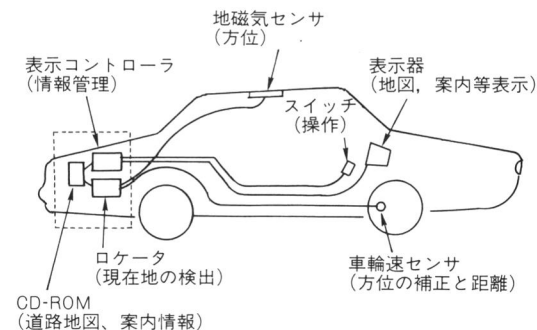


Fig. 6 カーナビゲーションシステムの構成

状態にする。実際には両者の位置検出精度以下の距離差は問題とならないため、距離差が一定基準値以下の時は自立航法の推定位置をそのまま継続使用する方法も採られている。

4-3 今後の動向

マップマッチング法による自立航法やGPSによる無線航法だけのものも存続しようが、主流は複合航法になると考えられる。そして複合航法については今後さらに性能向上が追求されるとともに、複合方法のバランス調整がはかられよう。

カーナビゲーションシステムは現状では地図表示型が普及しつつあるが、今後は経路誘導機能が追加される。経路誘導では分岐点で表示や音声で推奨進路を案内するが、解り易い案内を行うためには案内タイミングが重要である。複雑な交差点でも正確な位置で正確な案内を行うには、密集した街路の間隔に比べて十分小さな誤差で位置の検出を行わなければならない。まして隣接したリンクと誤認するようなことがあってはならない。このような位置検出性能の向上には、センサ特に方位センサの性能向上や道路ネットワークデータの精度向上をはかってゆく



注) 中央の矢印が自車の位置と方位を示す。

Fig. 7 ナビゲーション表示画面

ことが不可欠である。

一方、複合することにより各々の特長をさらに改善する必要があるが、相手に頼るところは簡素化して全体コストの低減をはかる方がよい。たとえば自立航法は短距離または狭域における精度向上に専念し、長距離走行時の誤差累積対策は無線航法にまかせればよい。さらにカーナビゲーションシステムが交通情報等外部の情報を取込むようになると、移動通信手段を使った情報通信系と位置検出系との融合について考える必要が出てくる。機能や性能を落とさないで全体の大きさやコストを最小にする方法を探究していく必要がある。

5. カーナビゲーションシステム

自車位置が正確に検出されるとそれを分かり易い形にしてドライバーに知らせる必要がある。最も基本的な方法は、道路地図上に示す方法である。さらに目的地を入力すると、推奨経路の表示や推奨経路に沿って交差点毎に進路表示を行う方法も使用できる。このようなカーナビゲーションシステムの現状と今後の動向について述べる。

5-1 道路地図の表示⁹⁾

自車位置を道路地図上に表示するカーナビゲーションシステムは、Fig. 6 に示すように自車位置を検出するロケータとCRT等の表示器に道路地図や案内情報を表示する表示コントローラで構成している。CD-ROMにはマップマッチング用の道路ネットワークデータ、表示用道路地図データ、各種案内データを格納してある。主な機能は自車位置の表示、目的地の探索・設定、現在地の修正、目的地までの方向と距離の表示および施設案内情報の表示である。

道路地図の表示にあたり、見易さや使い易さの点から工夫が施してある。カラーを使った表示物の識別、縮尺の選択、自車位置が常に画面中心になるような地図のスクロール等である。また安全対策上、走行中は運転に必要な情報の表示および操作を禁止し、細街路の表示も消して眼の負担にならないようにしている。Fig. 7 に道路地図表示画面の例を示す。

5-2 今後の動向

カーナビゲーションシステムには大きく分けて二つ動きがある。第一は入出力のマルチメディア化の動きである。入力にはスイッチ、タッチパネルやリモコンに加えて音声入力が考えられている。運転しながらの操作には最も望ましい方法と言える。また出

力はCRTやLCDといった表示器に加えて、ドライバーの視点を余り動かさないうえにヘッドアップディスプレイや音声の利用が考えられている。表示内容も地図のような図形から静止画や動画を利用したサービスも計画されている。CDCRAFT (CD AND CRT APPLIED FORMAT) は日本で開発された車載CD-ROMの規格で、音声や画像を使って観光案内等のサービスを提供することができる。

第二の動きはナビゲーションのダイナミック化、すなわちナビゲーションに外部の動的情報を取込んで利用して行く方向である¹⁰⁾。カーナビゲーションに期待することは、地理不案内の所で目的地までの経路を見出すこと以上に、時々刻々変動する交通状況を踏まえたうえで最適な経路を知り得ることの方が多い。そのため道路地図上に渋滞や事故等の交通情報を重ねて表示し、ドライバーの経路選択の支援を行うダイナミックナビゲーションの開発が進められている。4-2項で述べたRACSやAMTICSもその一環で、東京や大阪でフィールドテストが行われ、その効用が確認されている。カーナビゲーションシステムに提供する交通情報は車載表示器上に表示することを前提としており、車載機の道路ネットワークや座標とリンクを保持して送信する。

車載機で推奨経路を計算したり、目的地までの所要時間を出そうとすると定量的なデータが必要になる。渋滞情報は比較的定性的である他、混雑して回避したいリンクに重点を置いて送信するため、いわば経路から除外したいリンクの情報ということになる。推奨経路の探索には比較的空いているリンクに重点を置いた旅行時間情報の提供が必要となる。車載機では道路ネットワークデータと受信した各リンクの旅行時間情報を用いて最短時間経路等の推奨経路を探索し、地図上に推奨経路として表示したり、音声や矢印を用いて交差点での進路案内を行う。道路地図の表示機能と経路誘導を行う進路案内の機能を併用するため、運転に関する各場面に適した出力を用いることができる。たとえば出発時は目的地までの経路表示を見て経路の大筋を把握し、幹線走行中は進路案内を参考にしてハンドルを切る等である。なお地上側で推奨経路を探索する場合は探索した経路をリンクチェーンの形で送信する。この推奨経路を受信して交差点毎に進路案内の形で表示した例がFig. 8に示したイギリスのAutoguideである¹¹⁾。進路案内の他、バー表示による交差点までの距離や数字による目的地までの距離の表示も行っているが、

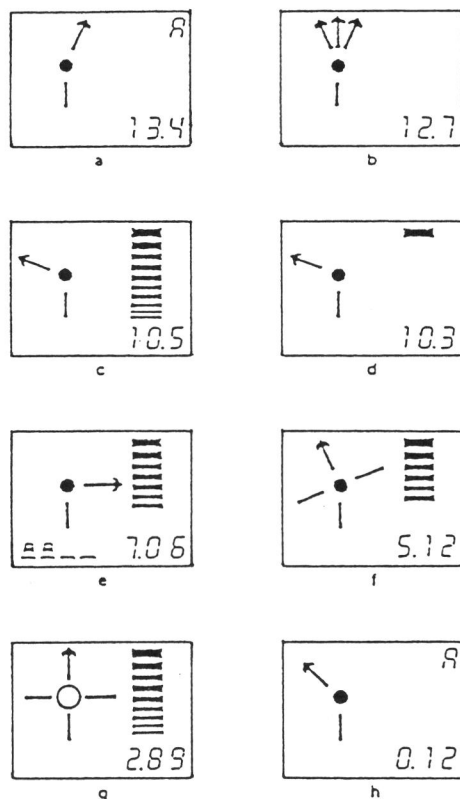


Fig. 8 Autoguideの表示

地図表示はできない。

6. おわりに

自動車の位置検出技術を中心にしてカーナビゲーションシステムの現状と今後の動向について述べた。種々の車種へ搭載がはじまったカーナビゲーションシステムは、ダイナミック化によってさらに急伸びてゆくことが期待される。残された課題は、車載の情報システムとしての面では、地図データベースやCD-ROMの互換性の問題がある。世界的な標準化または相互変換性が望まれる。また交通システムとしての面では、交通流の最適化が追求されなければならない。そのためには交通情報システムの最適化や交通管制システムとの連繋はもちろんのこと、交通システムを評価できる仕組みを構築してゆくことが重要と思われる。

参考文献

- 1) 田上、高橋 (常)、高橋 (文) 「自動車用慣性航法装置 “エレクトロ・ジャイロケータ”」 『自動車技術』 36巻5号、1982年

- 2) 土居、吉井、厚朴、天目、清水、井上、長尾、内田「自動車の位置検出方式の開発」『住友電気』第137号、1990年
- 3) 平野、松崎、土居、吉井「ナビゲーションシステムにおけるセンサ技術」センシング技術応用研究会、第75回研究例会、1990年
- 4) R. French : Map Matching Origins, Approaches and Applications ; 2nd International Symposium on Land Vehicle Navigation, Münster, Germany, 1989
- 5) 三藤、天目、土居、清水「自動車の自立航法装置の開発」電子情報通信学会、SANE87-47、1987年
- 6) S. Honey, W. Zavoli, K. Milnes, A. Phillips, M. White, G. Loughmiller : Vehicle Navigational System and Method ; U. S. Patent No. 4,796,191, 1989
- 7) 緒方、木村「衛星航法NAVSTAR/GPSとその利用」『漁船』第273号、1988年
- 8) 矢野、徳永、平佐「ユーノスコスモカーコミュニケーションシステムの紹介」『マツダ技術』No. 8、1990年
- 9) 小林、藤田、平野、松田、出川、川村、小田垣、福永「ナビゲーション用総合情報制御ソフトウェア」『住友電気』第136号、1990年
- 10) N. Yumoto : Status of Advanced Driver Information Systems in Japan ; 70th Annual Meeting, TRB, Washington D. C., 1991
- 11) P. Belcher, I. Catling : Electronic Route Guidance by AUTOGUIDE : the London Demonstration ; Traffic Engineering+Control, 1987