IV-66　誤差要因を考慮したときの経路誘導システムの性能及び効果の推定方法

(株)豊田中央研究所　正会員　辻　紘良
〃　〃　髙橋理一
慶応義塾大学工学部　川島弘尚

1. まえがき　経路誘導システムは、車上と地上で電波を介して双方向通信を行うことにより、最適経路情報をドライバーへ伝達し誘導を行うものである。これにより、道路混雑を避け旅行時間を短縮し、もって交通流の円滑をはかるのを目的とする。このシステムの性能は最適経路を誘導し得たか否かを表わす誘導精度により評価され、システムの効果は旅行時間の短縮率により表わされる。このシステムは誘導するに当り、出発地から目的地へ到る道路区間の旅行時間の予測を行い、交通流の時間変化に対処する。しかし、街路上の旅行時間を予測することは大変難しく，ある程度の誤差を避けるわけにはいかない。一方、車個々の街路走行を考えると、信号機または他の車による走行への外乱により，旅行時間に必ず分散が伴う。したがって，当システムは計測誤差である予測誤差と交通現象による誤差である走行上の分散の両者によって誘導誤差が発生するのを避けられない。予め、代替経路間の旅行時間差（誘導マージン）が与えられると，これら誤差要因の大小によって、上記の誘導を評価する指標が求められる。これまで，これらの関連を定式化し説明づけることが懸案の課題になっていた。ここでは、いくつかの推定式を導き出し、実験データに基づいてその妥当性を検証した結果について報告する。

なお当論文は、工業技術院の大型プロジェクトである「自動車総合管制技術の開発」に関連し行った研究の一部をまとめたものである。

2. 誘導精度の推定　推定式を導くに当り次の仮定をしておく。まず旅行時間の予測値は真値まわりに正規分布しているものと仮定する。2本の代替経路について分布状態をモデル化したものは図1.に示される。予測値の出現確率を表わす g_i は、正規分布の仮定により、

$$g_i(\tau_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\varepsilon_i} \exp\left[-\frac{(\tau_i - \bar{T}_i)^2}{2(\varepsilon_i)^2}\right]$$

として表わされる。次に車個々の旅行時間についていえば，個々の車の旅行時間は真値まわりに分布していると考えてよいので、この分布にもやはり正規分布を仮定する。車個々の旅行時間の出現確率を表わす P_i は、正規分布の仮定より、

$$P_i(T_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_i} \exp\left[-\frac{(T_i - \bar{T}_i)^2}{2(\sigma_i)^2}\right]$$

として表わされる。

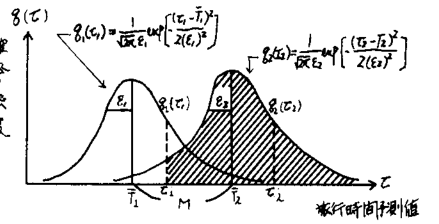

図1. 旅行時間予測値の分布

記号

$P_i(T_i)$ ：第i最短経路の旅行時間が T_i であるときの確率密度関数

$g_i(\tau_i)$ ：第i最短経路の旅行時間予測が τ_i であるときの確率密度関数

$\bar{T}_i$ ：第i最短経路の旅行時間平均値

M ：誘導マージン $(=\bar{T}_2-\bar{T}_1)$

σ_i ：第i最短経路の旅行時間分散

ε_i ：第i最短経路の旅行時間予測誤差

～は割合を示す

ここで，まずはじめに予測誤差のみを考えたときの誘導精度の推定式について考える。この場合の誘導精度は、予測した旅行時間による最短経路が真の最短経路を正しく言い当て得る割合に等しい。この割合は、第1最短経路の予測値 τ_1 が第2最短経路の予測値 τ_2 よりも小さい値が出現する割合であり、次式により与えられる。つまり、図1.の斜線を引いた面積の和になる。

$$\tilde{Q} = \iint_{\tau_1 \le \tau_2} g_1(\tau_1)\, g_2(\tau_2)\, d\tau_1 d\tau_2 = \int_0^\infty g_1(x)\cdot\left(\int_x^\infty g_2(\tau_2)\,d\tau_2\right)dx = \int_0^\infty g_1(x)\left[1 - F(x)\right]dx \quad \cdots\cdots (1)$$

但し $F(x) = \int_0^x g_2(\tau_2)\,d\tau_2$

(1)式は旅行時間Tの値によって$\tilde{\varepsilon}$及びMを正規化しておけばTの値によらずQは同じ値を示すことが証明できる（証明は略す）。したがってQの値は相対誘導マージン及び相対予測誤差がわかれば求められる。なお、1−Qは予測誤差による誘導誤差を表わす。次に旅行時間の分散のみを考えたときの誘導精度を考える。この場合の誘導精度は、第1最短経路を走行した車が分散にもよらず第2最短経路を走行した車より短い旅行時間をとり得る割合であって、次式により与えられる。

$$P=\iint_{T_1\leq T_2} P_1(T_1)P_2(T_2)\,dT_1 dT_2 = \int_0^{\infty} P_1(x)\left[1-G(x)\right]dx \quad \cdots\cdots\cdots (2) \qquad \text{但し}\ G(x)=\int_0^{\infty} P_2(T_2)\,dT_2$$

(2)式はTによって$\tilde{\sigma}$, Mを正規化しておけばTの値によらずPは同じ値を示す（証明は略す）。なお、1−Pは分散による誘導誤差を表わす。ここで予測誤差と走行の分散を同時に考慮したときの誘導精度について考える。この場合の誘導精度は、誘導を受けた車が走行分散の影響を受け短い旅行時間で目的地へ到着し得る割合に等しく、次式により与えられる。

$$R = Q\cdot P + (1-Q)(1-P) \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

(3)式の第1項は、予測による経路が真の最短経路に一致したもののうち、走行分散によらず短い旅行時間で目的地へ到着し得た割合を示す。第2項は、予測による経路が真の最短経路に一致していなかったが、走行分散のため逆に早く目的地へ到着し得た割合を示す。(3)式のRは、いわゆる誘導の"勝ち割合"に相当する。1−Rは予測誤差と走行分散による誘導誤差を表わす。ここで(2)式のPを計算により求めると図2.が得られる。図より予測誤差が大きくなると誘導精度は下るが、誘導マージンが大きくなると誘導精度は上ることが読み取れる。

3. 旅行時間短縮率の推定

一般的に短縮率は

$$\beta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

によって表わされ、予測誤差及び走行分散を考えない場合には、

$$\beta = \frac{\bar{T}_2 - \bar{T}_1}{\bar{T}_2}$$

となる。しかし、両者を考慮した場合には、前述2.で誘導精度を求めたものと同じ推論が成立して、結論的には次式により与えられる。

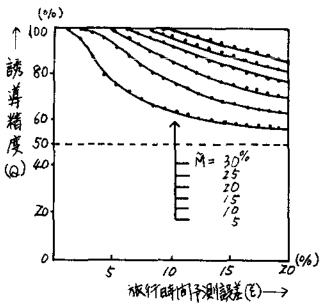

図2. 旅行時間の予測誤差と誘導精度の関係

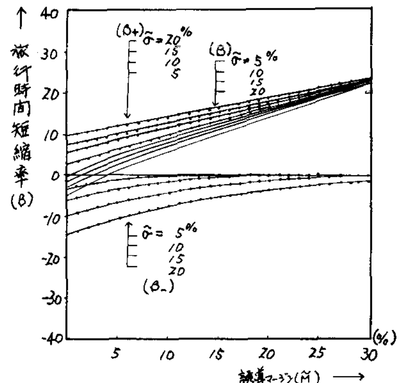

図3. 誘導マージンと旅行時間短縮率の関係

$$\beta = (2Q-1)\cdot\left(1-\bar{T}_2\cdot E\left(\frac{1}{T_2}\right)\right) \quad \cdots\cdots\cdots (4) \qquad \text{但し}\ E\left(\frac{1}{T_2}\right)=\int_0^{\infty}\frac{1}{T_2}P_2(T_2)\,dT_2$$

計算により(4)式のβを求めると図3.が得られる。分散が大きくなると短縮率は下るが、マージンが大きくなると短縮率は上るのが読み取れる。

4. 実験データによる検証　自総管プロジェクトにおいて得られた誘導実験データより、推定式の妥当性を検証したところ実際値と計算値が比較的よく一致した（表1.）。したがって、推定式を導いたときの諸仮定がほぼ妥当であったと判定される。

表1. 誘導実験データによる推定式の検証

マージン(仮定)	旅行時間の予測誤差(実績値)	旅行時間の分散(実績値)	誘導精度 Q	P	R	短縮率 β
10%	9.8%	5.6%	76%	90%	71%	4.6%
15%			86%	97%	84%	9.2%

実際値　R=83.8%（135勝26敗）

5. まとめ　市街路上で経路誘導が行われる場合の誘導の性能や効果を表わす諸指標が、単純化したモデルによったが、旅行時間予測の誤差，走行の分散、誘導マージンの関係で定式化できることが明らかになった。

6. あとがき　当研究を進めるにあたり、ご教示頂きました豊田中研の森本栄武氏に感謝の意を表します。また定式化や分析の上で、豊田中研の鈴木桁博氏に大きな助力を得たことをここに記します。