

信号時間を考慮した最適ルート選定

星 仰†
茨城大学†

趙 清吉††
茨城大学大学院††

1.はじめに

起終点間の最短（時間）ルートを求めるには、交通の遅れ時間が重要課題である。

信号制御による渋滞については、現在まで信号交差点付近の現象解明については、数多くの論文が発表されているが、制御によつての遅れ時間または停止確率については述べられたのはほとんどない。ここでは信号制御における信号確率モデル理論を導き、信号停止確率を推定し、さらに遅れ時間を推定する。特に、信号の数の多少による停止確率が増減するか、平均速度の変化に応じ、青信号時間・赤信号時間の割合に対して相関関係が認められるかが重要な問題である。

そのためには、停止確率理論に基づいて経路問題への適用を行い、区間ごとの停止確率を求め、平均速度による比較、赤信号時間（秒）による比較、信号の数による比較などを行い、またそのための n 個の信号の停止確率を求める式を提案する。

2.信号確率モデルの理論

一つの信号の表示が青黄赤と一巡するのに要する時間を、サイクルまたは、周期とし、単位を秒で表す。短過ぎると通行できる量が少なくなり、渋滞の原因となり、逆に長すぎると無駄な信号待ち時間が増えることになる。本論文では、青黄赤のうち、黄は赤に入れることにして、青信号と赤信号にサイクルとして取り扱っている。

このモデルでは、単純化するために以下のような交通の条件を定めることにする。

- ① 信号は同期していると仮定する。
- ② 信号を青と赤の 2 種にし、黄の信号時間は赤の信号時間に入れ、青の信号時間を t_1 、赤の信号時間を t_2 する。
- ③ 出発時刻はランダムである。
- ④ 速度は平均走行速度をとる。

上記の仮定条件によつて、確率式は次のような関係式となる。

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = k) \\ = \sum_{j=0}^{n-1} [P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = k | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = j)] \\ \times P(X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = j) \end{aligned} \right\} (1)$$

これを導き出す過程は、まず 1 つ目の信号で停止

するか否かの確率を求め、次に 2 つ目の信号を停止するか否かの確率を求める。そして順次に確率を代入することにより最終 n 個の信号確率を求めたものである。

まず、 n 個目の信号で停止する時間を $T_{red\ n-1}$ とし、信号到着時間 T により、3 種類の値を持つことになる。信号到着時間 T とは、信号間 $d_{n-1} \sim d_n$ を速度 v で走ったときの所要時間 t より求める。

$$t = \frac{d_n - d_{n-1}}{v} \quad (2)$$

時間 T は時間 t を信号サイクル $t_1 + t_2$ で割った余り時間である。ここで a は正整数とする。

$$T = t - a \times (t_1 + t_2) \quad (3)$$

したがって、 $T_{red\ n-1}$ は以下の式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} T_{red\ n-1} = T & \quad (0 \leq T < t_2) \\ T_{red\ n-1} = t_2 & \quad (t_2 \leq T < t_1) \\ T_{red\ n-1} = t_1 + t_2 - T & \quad (t_1 \leq T < t_1 + t_2) \end{aligned} \right\} (4)$$

信号が n 個の場合、その信号確率は

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = k) \\ = \sum_{j=0}^{n-1} [P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = k | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = j)] \\ \times P(X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = j) \end{aligned} \right\} (5)$$

ここで $k=0, 1, 2, \dots, n$ とする。

式 (5) を展開して求める。

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 0 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 0) &= 1 - \frac{T_{red\ n-1}}{t_1} \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 0 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 1) &= 0 \\ &\vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 0 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = n-1) &= 0 \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 0) &= \frac{T_{red\ n-1}}{t_1} \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 1) &= 1 - \frac{T_{red\ n-1}}{t_1} \\ &\vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = n-1) &= 0 \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 0) &= 0 \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 1) &= \frac{T_{red\ n-1}}{t_1} \\ &\vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = n-1) &= 0 \end{aligned} \right\} (8)$$

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 0) &= 0 \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 1) &= \frac{T_{red\ n-1}}{t_1} \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 2) &= 1 - \frac{T_{red\ n-1}}{t_1} \\ &\vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = n-1) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 0) &= 0 \\ &\vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 2 | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = n-1) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Optimal route planning in consideration of signal time

† Hoshi, Takashi

†† QingJi Zhao

† Ibaraki University

†† Graduate School of Ibaraki University

$$\left. \begin{aligned} & \vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = n | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 0) &= 0 \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = n | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = 1) &= 0 \\ & \vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = n | X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = n-1) &= \frac{T_{red, n-1}}{t_1} \end{aligned} \right\} (9)$$

上記の n 個の信号の展開式に基づいて、次のような結果が得られる。

$$\left. \begin{aligned} P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = 0) &= \frac{(t_1 - T_{red, n-1})(t_1 - T_{red, n-2}) \dots (t_1 - T_{red, 1})}{t_1^{n-2} \times (t_1 + t_2)} \\ & \vdots \\ P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = n) &= \frac{T_{red, n-1} \times T_{red, n-2} \times \dots \times T_{red, 1} \times t_2}{t_1^{n-1} \times (t_1 + t_2)} \end{aligned} \right\} (10)$$

したがって、

$$\sum_{k=0}^n P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = k) = 1 \quad (11)$$

となる。これはすべての事象の確率の総和が 1 であることが確認できる。

信号停止確率式 (信号停止回数) E を下記のように示す。

$$E = \sum_{i=0}^n i \times P(X_1 + X_2 + \dots + X_n = i) \quad (12)$$

この求め方で信号停止確率を推定し、各区分での停止回数を計算する。

3. ルートモデルの設定

ルートモデルの起点を茨城大学工学部、終点を常陸太田駅と設定する。本稿は、起終点間の渋滞による遅れ時間を算出し、信号確率モデルを適用して最短時間ルートを確認するものである。

4. 信号確率モデルの適用結果

信号確率モデル理論により提案された確率式をルートモデル設定区分において算出した。表 1 は各区分の信号停止推定回数を示したものである。

表 1 区分別信号停止推定回数

区分	距離 (m)	信号数	$T_1=60$				$T_2=50$				$T_1=60$				$T_2=40$			
			30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h
d11	580	3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.5	1.3	1.1	1.0	1.2	1.2	1.1	1.0				
d12	1,671	6	3.6	3.0	2.5	2.1	3.3	2.9	2.4	2.1	3.0	2.7	2.4	2.0				
d21	455	3	1.4	1.2	1.0	0.9	1.4	1.1	1.0	0.9	1.3	1.1	0.9	0.8				
d22	7,170	17	8.8	9.2	8.7	7.5	7.9	8.4	8.2	7.4	7.1	7.4	7.3	6.8				
d23	7,424	21	11.3	10.1	8.7	7.7	10.8	9.5	8.5	7.5	9.7	8.8	7.9	7.2				
d24	3,896	18	8.2	6.2	5.1	4.3	8.1	6.2	5.0	4.2	7.6	6.1	5.0	4.2				
d24	1,906	11	4.3	3.3	2.7	2.3	4.2	3.2	2.7	2.3	4.0	3.2	2.6	2.3				
d25	3,650	19	7.2	5.8	4.8	4.0	7.0	5.7	4.7	3.9	6.7	5.5	4.6	3.9				
d31	6,135	20	10.8	9.5	7.7	6.5	9.9	9.2	7.7	6.5	8.9	8.4	7.4	6.4				
d32	15,031	11	6.5	5.4	5.5	5.3	6.3	5.6	4.9	5.0	5.9	4.9	4.9	4.5				
d33	4,945	18	9.0	7.6	6.3	5.3	8.5	7.4	6.2	5.3	7.9	7.0	5.9	5.2				
d34	3,150	5	3.5	3.1	2.7	2.7	2.8	3.0	2.5	2.4	2.1	2.7	2.2	2.2				
d41	3,340	9	3.7	3.4	2.5	2.1	3.4	3.4	2.6	1.9	3.7	3.1	2.7	2.0				
d42	2,427	5	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.9	2.7	2.7	2.7	2.4	2.5	2.4				
d43	2,654	4	2.0	1.8	1.8	2.0	1.4	1.7	1.5	1.8	1.1	1.7	1.4	1.4				
d51	5,705	10	5.3	5.2	5.2	5.1	4.8	4.8	4.6	4.7	4.1	4.4	4.2	4.1				
d52	913	3	2.1	1.9	1.6	1.4	1.9	1.8	1.5	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3				
d61	423	2	1.3	1.1	1.0	0.9	1.3	1.1	1.0	0.9	1.1	1.0	0.9	0.8				
d62	7,090	6	2.8	3.6	2.9	3.6	3.0	2.7	3.1	3.1	2.3	2.9	3.0	2.3				

また、区分一定速度での信号時間による停止確率回数の検証を行った。区分 $d31$ は、距離 $S_{d31}=6,135m$ で信号が $n=20$ 箇所ある国道 6 号であり、日立市内で最も渋滞が発生している区分である。この区分での走行制限速度を $v=50km/h$ で想定して、青信号と赤信号の時間の变化による停止確率回数の変動を検

証した。図 1 は $d31$ 区間 (国道 6 号) における $v=50km/h$ の時、青赤信号時間による停止確率回数を示している。図 1 で、青信号時間の増加と赤信号の減少を伴い、停止確率回数は減少するものが現れている。青信号が $t_1=80\sim100$ 秒で、赤信号が $t_2=20\sim30$ 秒の時、この区間での信号確率モデルによる信号確率停止回数は最小になる傾向が見られる。 $d31$ 区間では幹線道路の交通流の円滑な流れを図るために青信号時間が $t_1=100$ 秒、赤信号時間が $t_2=30$ 秒に設定されている。

上記の結果から、信号確率モデルは信号制御における相関関係を反映していると見られる。

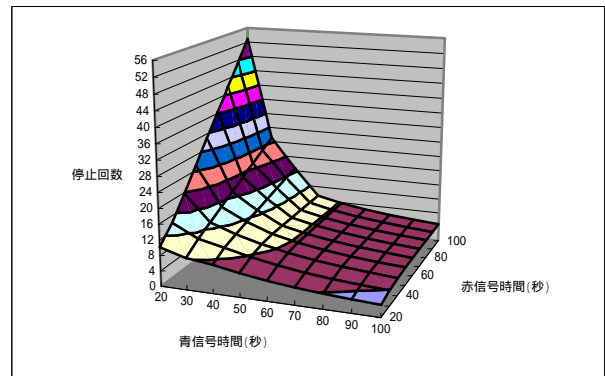


図 1 青赤信号時間による停止確率回数グラフ

4. まとめ

全体的に、平均走行速度の増加により、各区分の信号停止回数は減少する傾向が表 1 に示されている。また、信号停止時間の減少により、各区分の信号停止回数は減少する傾向が示されている。個別的には、平均走行速度に増加と信号停止時間の減少により信号停止確率回数がちぐはぐ、あるいは逆に増加するものが見られる。しかし、全体的に大きな流れとしては、相関関係が読み取れる。

また、青赤信号時間の变化による信号停止確率回数の変動では、図 1 で示したように、停止確率回数を最小にするには、青信号時間が $t_1=80\sim100$ 秒で、赤信号が $t_2=20\sim30$ 秒の時であり、この値は、実際 $d31$ 区間 (国道 6 号) における信号制御時間に相当している。

上記の結果から、信号確率モデルは信号制御および確率的交通流解析方法における相関関係を反映していると見られる。

参考文献

- 堀 勝也：GPS を用いた起終点間の時間最短ルート選定モデルに関する研究，茨城大学博士論文，1997
- 星 仰、堀 勝也：渋滞現象分析のための信号確率モデルによる車の信号停止回数の算定，土木計画学研究・講演集 No.19(2)，1996
- 新居 宏壬、鷲野 翔一：ナビゲーションシステム，株式会社山海堂 pp.79-95，2001