

道路交通の信号制御システムの開発

A Development of Signal Control System for Road Traffic

清水 光†
Hikaru Shimizu

槌田 温子‡
Haruko Masuda

1. はじめに

近年、経済の発展や生活水準の向上、道路の整備、車の技術革新、信号制御システムの導入などに支えられて自動車交通が発展してきた。自動車交通は、ドア・ツ・ドアの輸送や時間の制約がない、高速走行などの特長を有し、年間の総輸送人数や総輸送貨物重量は、全ての交通機関の中で最も多い¹⁾。

一方、朝夕のラッシュ時には都市地域の幹線道路を中心に交通渋滞が発生し、旅行時間や燃料消費、環境負荷などの増加を招いている。交通渋滞の対策として道路の建設や交通規制、信号制御システムの開発などが進められてきた。

信号制御システムについては、イギリスで開発された SCOOT²⁾ やオーストラリアで開発された SCAT³⁾、我が国で開発された MODERATO⁴⁾ が実用化されている。これらの信号制御システムでは、サイクル長と青信号スプリット、オフセットから構成される 3 つの信号制御パラメータが、それぞれ個別の評価関数を最適化するように探索され、全体として統一された最適化は図られていないと考えられる。

本稿では、都市道路網の信号交差点の流入路における交通流ダイナミクスを、車線単位、サイクル長単位の交通量収支に基づいて記述する。つぎに、都市道路網の渋滞長の総和を最小にする 3 つの信号制御パラメータを統一的に探索する信号制御システムと信号制御アルゴリズムを提案する。つづいて、道路解析から交通解析、交通容量解析、信号制御システムの記述、制御アルゴリズムの開発、シミュレーションを経て、解の収束判定に至る信号制御システムの開発手順について提案する。最後に、提案手法を用いた信号制御システムの開発事例について紹介する。

2. 交通流ダイナミクス

都市道路網における渋滞の要因は、交通事故を除けば、短時間における交通量の急激な増加が挙げられる。流入交通量の変動に対応して 3 つの信号制御パラメータをオンラインで制御し、渋滞を解消または、軽減する信号制御システムでは、車線単位、サイクル長単位で交通流ダイナミクスを記述することが望まれる。車線単位、サイクル長単位の交通量収支は次式で表される。

$$x_e(i, j, m, k) = x_e(i, j, m, k-1) + x_i(i, j, m, k) - x_o(i, j, m, k) \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_o(i, j, m, k) = \xi(i, j, m, k) \times \Psi_x(i, j, m, k) \\ x_e(i, j, m, k) \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 i と j は、信号交差点の位置、 m は信号交差点への車の流入路、時刻 $k\Delta T$ は k と略記した。ここで ΔT はサンプリング周期を表す。また、 $x_e(i, j, m, k)$ 、 $x_i(i, j, m, k)$ 、 $x_o(i, j, m, k)$ はそれぞれ超過流入交通量、流入交通量、捌け交通量を表す。式(2)の $\Psi_x(i, j, m, k)$ は各流入路の交通処理量、 $\xi(i, j, m, k)$ はある交通流のもとで、 $x_o(i, j, m, k)$ を $\Psi_x(i, j, m, k)$ で除した比率で捌け率とよぶことにする。

信号交差点の流入路における交通渋滞の発生や継続、消滅のメカニズムは、交通量収支に基づき定量的に記述することができる⁵⁾。

3. 信号制御システム

都市道路網において、信号交差点の流入路における渋滞長の総和を最小にする信号制御システムは、基準入力に許容渋滞長、制御入力に信号制御パラメータ、制御量に渋滞長をそれぞれ対応させると、フィードバック制御システムを用いて構成される。

最初に、単独信号交差点の信号制御システムは、捌け交通量がサイクル長と青信号スプリットの 2 つの信号制御パラメータで制御できると仮定すると、次式で記述される。

$$\begin{cases} x_e(m, k) = x_e(m, k-1) + x_i(m, k) - u(m, k) \\ y_c(m, k) = l_m(m, k) \cdot x_e(m, k) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $u(m, k)$ は制御入力、 $y_c(m, k)$ は渋滞長、 $l_m(m, k)$ は変換係数をそれぞれ表す。関数 $g(m, k)$ を制御偏差 $e(m, k)$ を用いて次式で定義する。

$$g(m, k) = \begin{cases} 0 & e(m, k) > 0 \\ |e(m, k)| & e(m, k) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$e(m, k) = l_r(m, k) - y_c(m, k) \quad (5)$$

信号制御システムの評価関数 $J_s(k)$ を次式で定義する。

$$J_s(k) = \sum_{m=1}^4 g(m, k) \quad (6)$$

単独信号交差点の信号制御システムは、評価関数 $J_s(k)$ を最小にする 2 つの信号制御パラメータの探索問題に帰着する。

つぎに、複数のリンクと信号交差点が直列に接続された幹線道路の信号制御システムは、捌け交通量がサイクル長と青信号スプリット、オフセットの 3 つの信号制御パ

†福山大学, Fukuyama University

‡弓削商船高等専門学校, Yuge National College of Maritime Technology

ラメータで制御できると仮定すると、単独信号交差点の場合と同様にして記述することができる。信号制御システムの評価関数 $J_a(k)$ は次式で定義される。

$$J_a(k) = \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^4 g(j, m, k) \quad (7)$$

最後に、複数のリンクと信号交差点が格子状に接続された都市道路網の信号制御システムは、捌け交通量がサイクル長と青信号スプリット、オフセットの3つの信号制御パラメータで制御できると仮定すると、単独信号交差点や幹線道路の場合と同様にして非線形ダイナミックシステムで記述することができる。信号制御システムの評価関数 $J_n(k)$ は次式で定義される。

$$J_n(k) = \sum_i \sum_j \sum_m g(i, j, m, k) \quad (8)$$

以上のように、信号制御システムは、単独信号交差点から幹線道路へ、また幹線道路から都市道路網へと容易に拡張でき、一貫性をもって記述することができる。

4. 信号制御アルゴリズム

3つの信号制御パラメータの探索には、パターン選択法をはじめ、分散制御、DP、NN、ファジィなどによる方法が提案されてきた。本稿では、単独信号交差点や幹線道路、都市道路網において一貫性を有し、拡張性にも優れているパラメータ最適化法を提案する。この信号制御アルゴリズムでは、都市道路網の信号交差点において互いに交差する流入路の制御偏差の最大値を等しくし、かつ、評価関数 $J_n(k)$ を最小にするように3つの信号制御パラメータを系統的、逐次的に探索する。単独信号交差点では一段階、幹線道路では二段階、そして都市道路網では三段階のパラメータ探索で信号制御パラメータの最適化が図られる。

5. システム開発

信号制御システムの開発は、道路解析に始まり、交通解析、交通容量解析、信号制御システムの記述、信号制御アルゴリズムの開発、シミュレーションを経て、解の収束判定に至る幅広い分野の知識を用いて行われる(Fig.1参照)。専門分野で言えば、交通工学と制御工学、情報工学の分野にまたがっている。道路解析や交通解析、交通容量解析は現地での交通調査に基づいて行われる。シミュレーションは、交通調査のデータを用い、提案した信号制御システムと信号制御アルゴリズムに従ってシミュレーションプログラムを作成し、パラメータ探索を実行する。最後に、得られた解の妥当性について評価する。以上が、信号制御システムを体系的に開発する手順の説明である。

現在まで、広島県福山市内と広島市内の国道2号線、そして都市道路網において信号制御システムを開発し、稼働中のシステムに比べてより有効に渋滞長を制御できるシミュレーション結果を得ている^{6),7)}。

6. まとめ

近年の自動車交通の発展に伴って、交通渋滞や交通事

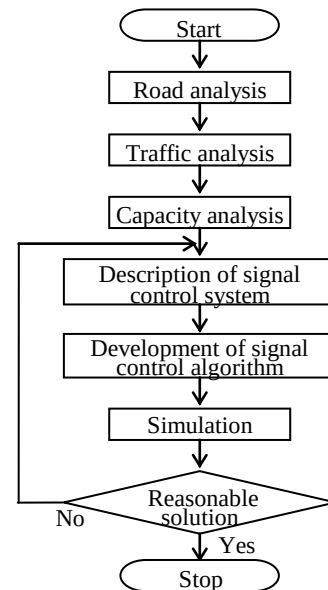


Fig.1 Development procedure of signal control system

故、環境負荷の増加などの問題を生じている。本稿では、信号交差点の交通量の時間変動に対応して3つの信号制御パラメータを系統的に探索し、都市道路網の渋滞長の総和を最小にする信号制御システムの開発法について提案した。

今後、対象とする地域を徐々に広げ、提案したシステムをより一般性のあるものにしていく考えである⁸⁾。

7. 参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通白書 2009, pp.256-258 (2009)
- 2) P. B. Hunt, D. I. Robertson, R. D. Bretherton and R. I. Winton: SCOOT- a Traffic Responsive Method of Coordinating Signals, TRRL Laboratory Report 1014 (1981)
- 3) A. G. Sims and K. W. Dobinson: The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCAT) System, Philosophy and Benefits, IEEE Trans. VT-29, No.2, pp.130-137 (1980)
- 4) H. Sakakibara, T. Usami, S. Itakura and T. Tajima: MODERATO (Management by Origin-Destination Related Adaptation for Traffic Optimization), Proc. of IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.38-43 (1999)
- 5) 清水：路線の渋滞制御システム, 計測と制御, 第41巻, 第3号, pp.199-204 (2002)
- 6) H. Fujii and H. Shimizu: A Development of Signal Control System for Congestion Length along Arterials, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, Vol.3, No.4, pp.288-296 (2011)
- 7) 石川, 清水, 傍田, 小林：交通ネットワークの渋滞長制御, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.4, pp.1154-1162 (2004)
- 8) H. Masuda and H. Shimizu: Data Analysis of Signal Control along the Route 54 in Hiroshima City, Proc. of SICE Annual Conference 2011, pp.706-711 (2011)