

過飽和系統信号ネットワークの リアルタイム制御論理の構築の試み

三村慎司 (日立公共システムエンジニアリング(株))

久井 守 (知能情報システム工学科)

Construction of Real-Time Control Logic for Signalized Network under Over-Saturated Condition

Shinji MIMURA(Hitachi Government and Public Corporation System Engineering, Ltd.)

Mamoru HISAI(Department of Computer Science and Systems Engineering)

Time loss due to traffic congestion is much greater under the over-saturated condition than under the under-saturated condition. So is the effect when signal control is improved. However, the control logic for the over-saturated signalized network has not been established at present time. So the purpose of this paper is to try to construct the real-time control logic for the coordinated signal system under the over-saturated conditions. Especially, paying attention to the coordination between a critical intersection and the adjacent upstream intersection, the control logic of green split and offset is described.

Key words: *Coordinated Signal, Offset, Split, Critical Intersection*

1. 背景

わが国の人口は減少段階に入ったとはいえ、都市圏では道路の渋滞問題はなお当分続くものと思われる。渋滞が発生するような過飽和時には、渋滞に起因する時間損失は非飽和時よりはるかに大きいものと思われる。したがって過飽和時の信号制御を改善することができれば、その改善効果は、非飽和時の制御改善効果よりも大きいものと期待される。しかしながら過飽和時の信号制御、特に系統信号系の過飽和リアルタイム制御は必ずしも確立されたとはいえず、また過飽和時の制御経験の体系化も十分にはなされていない、との指摘は以前からあり¹⁾、その状況は現在も変わっていない。ただしくリティカル

交差点のリアルタイム制御は行われており、また高度化の試みも一部ではなされている。さらに交差する従道路からの流入抑制などは行われている。しかし系統信号系については、リンク長の短いリンクのオフセット許容範囲(またはオフセット禁止領域)が考慮され^{2),3)}、また非渋滞方向優先オフセットが行われているのみである。

そこで本研究では過飽和制御を体系化するために考えなければならない要素を整理することとする。これによって今後シミュレーションなどの手法を用いて具体的に制御論理を検討する場合の基礎資料を提供することを目的とする。

2. 制御対象

(1) 過飽和条件下の系統信号ネットワークを対象とする。系統信号ネットワークでは信号間の連携を考慮した制御が重要である⁴⁾。

(2) 対象は系統信号であるから、サイクル長は原則として各信号共通である。ただし過飽和条件下では交差点によって異なるサイクル長を用いることも可能性としては考慮する必要がある。

(3) 過飽和制御ではスプリット制御が特に重要である。ただしそれだけではなく、リンク長が短く貯留容量が下流交差点の処理容量より小さい場合は、そのリンクの相対オフセットに注意する必要がある。その場合には共通サイクル長も制御対象とする必要がある。

3. 基本原則

(1) 過飽和時の交通状況は非定常である。したがって車両感知器などのオンライン情報を用いたリアルタイムのマイクロ制御としなければならない。

(2) まずクリティカル交差点の渋滞長制御が重要である。クリティカル交差点は飽和度が大きく、渋滞発生の原因となるボトルネック交差点である。ここでは幹線道路が相互に交差する交差点を想定する。ただし幹線道路ではなく片側1車線の道路でも飽和度が大きければボトルネックになることも想定しておかなければならない。

(3) 渋滞が上流交差点に波及する場合には、クリティカル交差点と連携して上流交差点を制御することが重要である。

(4) 評価指標は原則として総遅れ時間最小化とする。総遅れ時間最小化は交通処理量最大化と等価である。このことは孤立したクリティカル交差点について Michalopoulos らが明らかにしている⁵⁾。ネットワークの場合でも、クリティカル交差点が1つしかなくすべての交通がそのクリティカル交差点を通るような場合も同様である。なお希望速度が全車両同一の場合は総旅行時間最小化と総遅れ時間最小化は等価である。評価指標としては、必要に応じて公平性、あるいは待ち行列長のバランスについても考慮する必要がある。

4. 交通情報の獲得

(1) ネットワークのリアルタイム制御に必要な交通情報を獲得する基本的な手段は車両感知器である。したがって情報獲得に必要な車両感知器は十分に設置することが必要である。

(2) ただし車両感知器の計測情報から理論的またはシミュレーションで精度よく計算または推定できる情報は直接計測することは、コストの点からこれを避けるのがよい。

(3) 発進波の伝播速度および飽和交通流率の計測情報は重要である。

(4) また飽和交通流率と発進波の伝播速度を再現するためには Greenshields の式は必ずしも満足すべき式ではないことに留意すべきである。

5. 交通シナリオ

(1) 交通量には時間変動があるため、交通状況は非飽和から過飽和となり、再び非飽和に戻るような変動を考慮する。

(2) 非飽和から過飽和へ移行する過程で、渋滞の先頭となる交差点がクリティカル交差点と定義する。クリティカル交差点で発生した渋滞が上流に延伸し、他のクリティカル交差点に到達すると、見かけ上クリティカル交差点が消滅する。

(3) 逆に、過飽和状態から交通需要が減少し、渋滞が解消する過程では、渋滞の先頭となる交差点が顕在化し、このような交差点は一般には複数個現れると考えなければならない。

6. クリティカル交差点を含むネットワーク

Fig.1 に示すように東西幹線と南北幹線が交差するクリティカル交差点があり、この交差点およびこれに隣接する交差点からなるネットワークについて考えればよい。

前提条件

東西幹線および南北幹線を走行する車両から見ると、クリティカル交差点は他の交差点より現示率が小さくボトルネックとなる。このため、このクリティカル交差点で最初に渋滞が発生する。

次に、クリティカル交差点で発生した渋滞が延伸して隣接上流交差点に到達し先詰まり状態が発生する。

このように最初に先詰まり状態となる交差点は隣接西側交差点とする。

このとき、交差点と交差点は連携して制御する。ただし交差点は全流入部の渋滞状況をみながら独立してスプリット制御を行う。渋滞はクリティカル交差点を中心とする狭いエリアにとどめ、拡散させない。

交差点は交差点との連携を考慮して制御する。このとき、発進波と停止波の挙動を考慮す

る．交差点 における幹線方向と交差道路の優先非優先は交差点 - 間の相対オフセットによって制御する²⁾．

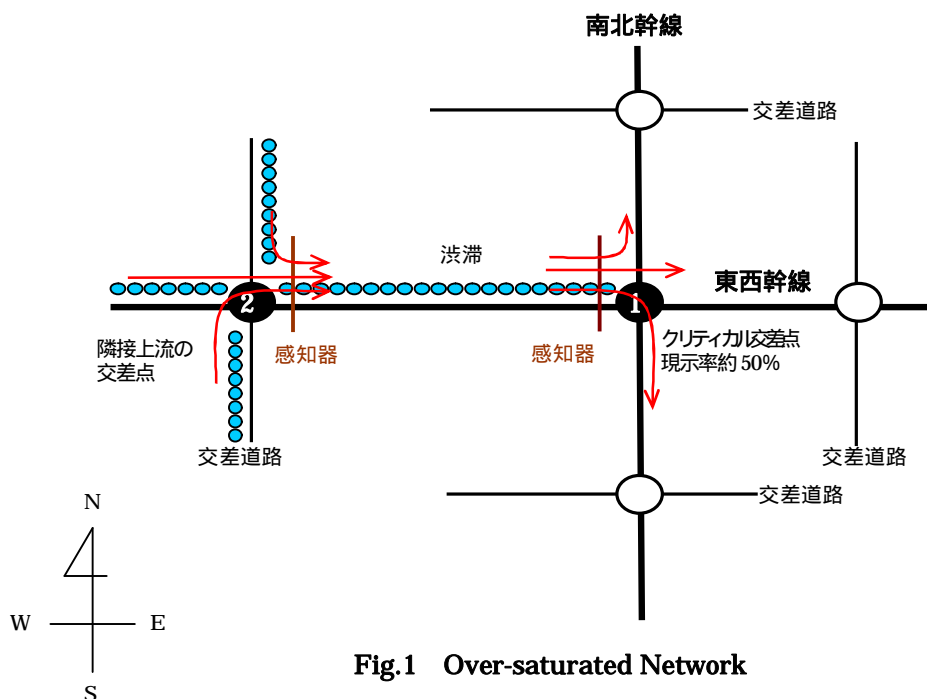


Fig.1 Over-saturated Network

7. クリティカル交差点の制御方針

渋滞発生前のクリティカル交差点については，渋滞の発生をできるだけ遅らせる．そのためには流入部の飽和度に比例して現示率を決めるというスプリット制御をするのがよい．このようにすると，非飽和から交通量が増加して過飽和になる過程で渋滞の発生を最も遅らせることができる．

過飽和になると，まずクリティカル交差点（ボトルネック交差点）で渋滞が発生することは避けられない．

(1) 孤立したクリティカル交差点の制御については次の2つのうちいずれかを選択する．

飽和度比で現示率を決定する．これによれば待ち行列長の比率を一定に維持することができる⁶⁾．

飽和交通流率の大きい流入部を優先する．これによれば総遅れ時間を最小にすることができる．ただし非優先方向の待ち行列長（すなわち待ち時間）が許容限度に達したら，許容待ち行列長比または飽和度比で現示率を決定する．

(2) ネットワークの中にクリティカル交差点がある場合も基本的には孤立クリティカル交差点の場合と同様である．

8. 隣接上流交差点の制御論理

(1) 交通量の供給条件

右左折による流入がない場合

交差点 および交差点 で右左折による流入がない場合には，両交差点間のリンク貯留量を最大限確保しつつ，クリティカル交差点 を流出する交通量だけ上流交差点 から供給すればよい．これが供給条件である．また過飽和時にはそれだけしか供給することができない．したがって交差点 のスプリット制御は供給条件を満足すればそれでよく，残りの青時間はすべて交差方向に配分することができる．

右左折による流入がある場合

この場合も，リンク貯留量を最大限確保し，かつクリティカル交差点 を流出する交通量だけ上流交差点 から供給すればよい．また過飽和時にはそれだけしか供給することができない，という点は(1)の右左折流入がない場合と同様である．ただしこの場合は，交差点 に向かって交差点 から流入する交通量は，東西幹線を直進する交通量と交差道路から右左折で流入する交通量の和である．この流入交通量の和が交差点 を流出する交通量を下回らないように交差点 のスプリットを制御しなければならない．

(2) 交差道路の優先非優先

交差点 に向かって交差点 から流入する交通量の構成、すなわち幹線方向からの流入交通量と交差道路からの流入交通量の比率は、先詰まりがある場合には、両交差点間の相対オフセットにも関係する。すなわち交差点 の青信号が開始した後、発進波が交差点 に到達し、先詰まりの最後尾車が動き出した時点で青信号が幹線方向が交差方向のいずれかということに関係する。したがってオフセット制御によって交差方向の優先非優先が決まってくることに留意することが必要である²⁾。

(3) 交通量の処理条件

交通量の供給条件はクリティカル交差点に向かう東行き交通について考えたものであるが、これとは逆にクリティカル交差点から流出する西行き交通についても考えなければならない。すなわち交差点 に向かって交差点 から流入してくる交通量はすべて交差点 で処理できるように交差点 の東西方向のスプリットは最低限確保しなければならない。これが交通量の処理条件である。このように交通量の処理条件と供給条件の両条件を満足するように交差点 のスプリットを毎サイクルごとに交差点 の制御にあわせて制御しなければならない。

9. 連携制御の上流交差点への拡大

上流交差点 まで待ち行列が延伸し、先詰まり状態になったら、交差点 の制御は上述のようにクリティカル交差点 と連携して制御する。その上で、交差点 をクリティカル交差点とみて、さらに隣接上流交差点はこの交差点 と連携して制御する。このようにして待ち行列が次々と上流交差点に延伸し、先詰まり状態になるたびに連携して制御する交差点 を拡大し、同様の論理で制御すればよい。

10. クリティカル交差点が複数ある場合

渋滞の原因になるクリティカル交差点が複数ある場合でもそれぞれのクリティカル交差点を中心に制御すればよい。ただし、あるクリティカル交差点で発生した待ち行列が別のクリティカル交差点にまで到達する場合には、下流側のクリティカル交差点を中心に制御すればよい。

11. 渋滞解消過程の制御

ピーク時を過ぎ交通需要が徐々に減少していくと、交通処理容量に対する交通需要の小さい交差点において渋滞が解消し始める。最初に渋滞が解消する交

差点は最上流交差点とは限らないし、またクリティカル交差点とも限らない。このように渋滞が解消していく過程では、流出部に渋滞がなく(すなわち先詰まりが解消し)かつ流入部に渋滞がある交差点(すなわち渋滞の先頭となる交差点)をクリティカル交差点とみなし、この交差点で渋滞がある流入部の交通処理を優先するように制御するのがよい。

12. 感知器配置

クリティカル交差点、またはクリティカル交差点となる可能性のある交差点には渋滞長を計測するために各流入部に感知器を配置することが重要である。これは現在もそのようにされている。次に制御エリアの各交差点で先詰まりを感知した発進波の到達を感知するために流出部に感知器を設置する。この感知器ではリンク流入交通量も計測することができる。またこれとは別に、交差点の流出交通量を計測するために停止線位置にも感知器を設置する。この感知器では飽和交通流率を計測することもできる。このように流入部と流出部に交差点を挟んで2地点ずつ設置することが必要である。

13. むすび

本研究では、過飽和系統信号のリアルタイム制御について、その制御論理の構築に向け、ごく基礎的な立場から重要と思われる論点をまとめたものである。フィールドの観測も、シミュレーションも、具体的な計算も行っていない。もっぱら考察のみによってまとめたものである。考察といってもまだ不十分である。今後はさらに考察を煮詰め、観測またはシミュレーションによる裏付けもしていきたい。

参考文献

- 1) 越正毅編著：交通工学通論，技術書院，p.202，1989
- 2) 交通工学研究会編：改訂交通信号の手引き，交通工学研究会，pp.58-59，平成18年
- 3) 本間正勝：過飽和時の信号オフセットに関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，Vol.32，2005
- 4) 李 光勳，池之上 慶一郎，安井 一彦，深井 靖史：過飽和交通信号系におけるスプリット連携による制御方策について，交通工学，Vol.28，No.2，pp.11-20，1993
- 5) Panos G. Michalopoulos and George Stephanopoulos: An Algorithm for Real-Time Control of Critical Intersections, Traffic Engineering & Control, pp.9-15, January 1979
- 6) 交通工学研究会編：改訂交通信号の手引き，交通工学研究会，p.90，平成18年

7) 三村慎司, 久井守: 過飽和系統交通信号の制御原則に関する一考察, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.351-352, 平成 16 年

8) 三村慎司: 過飽和系統信号システムの制御論理の作成とリアルタイム制御実験, 山口大学理工学研究科修士論文, 平成 18 年

(平成 18 年 8 月 31 日受理)