

交差点におけるセンサを活用した 自律型交通信号制御手法の評価

白畑 健¹・伊藤 昌毅²・鳥海 梓³・新倉 聡⁴・大口 敬⁵

¹学生会員 東京大学大学院 工学系研究科 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: ken-s@iis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学生産技術研究所 特任講師 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: mito@iis.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京大学生産技術研究所 助教 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: azusa@iis.u-tokyo.ac.jp

⁴非会員 公益財団法人 日本道路交通情報センター (〒 102-0072 東京都千代田区飯田橋 1-5-10)

⁵フェロー 東京大学生産技術研究所 教授 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.jp

一般的な交通信号制御はパターン化を前提とし、あらかじめ定めた現示と、交通状況の平均的な評価から得られる制御パラメータに従って信号を切り替える。一方で、時々刻々と変化する交通流に追従し柔軟な切り替えを行う観点から、筆者らはパターン化によらない「自律型の信号制御」を提案している。しかし、その特性の整理は十分でなく、制御としての妥当性は示されていない。そこで本稿では、ミクロ交通シミュレータを用いて、自律型の信号制御のもつ性能を評価する。提案の制御では、センサによる交通流のリアルタイムなモニタリングを前提に、ごく近い将来における車の挙動を予測し、制約条件下である目的関数を設定して信号を切り替える。評価実験として、自律型制御と既存の定周期制御のそれぞれで生じる総遅れ時間などを比較する。異なる交通需要条件や交差点の形状を想定し繰り返し実験を行い、自律型制御が優位となる条件を整理して、妥当性を考察する。

Key Words: 交通信号制御, 孤立信号交差点, 交通流センシング, 交通シミュレーション, ITS

1. はじめに

交通信号制御は、交差点を通過する各動線に対して通行権を時間帯別に与えることで、空間的に交錯する動線を時間的に分離する¹⁾。このとき、通行権を同時に与える動線を少なくすればするほど、動線を分離できて安全性が向上するが、より多くの交通を止めることで遅れが生じ、円滑性は低下する。一方で、同時により多くの動線に通行権を与えれば、それだけ多くの交通を流せるので円滑性が向上するものの、交錯の機会を増やしてしまえば安全性が低下してしまう。したがって、交差点に到着する交通に対して通行権を適切に配分することは、安全性と円滑性の両方の点から重要である。

通行権の適切な配分、つまり信号の適切な切り替えを目指した検討は古くから行われている。そのうち典型的なものは、サイクル長やスプリットといった「信号制御パラメータ」を使って、切り替えのタイミングをパターン化する手法である。ここでは、(A) 総遅れ時間といった目的関数を定めて信号制御パラメータで表し、(B) これについての最適化問題を解く。求めたパラメータに従って、目的関数が最適になるように信号を切り替えることができる。例えば Webster は、孤立交

差点における総遅れ時間を目的関数として記述し、これを最小とするサイクル長を求めている²⁾。

また、近年では、交通の状況を把握し、それに応じて最適なパラメータへ動的に調整する手法も提案されている。例えば、イギリスの SCOOT は、停止線上流に設置した車両感知器の情報から車両の到着時刻を推定し、信号の状態と飽和交通流率を組み合わせ、待ち行列の長さや最後部車両の位置といった交通の状況を計算、これに基づいて信号パラメータを変更すべきかどうかを判断して、必要に応じて最適なパラメータへ更新する³⁾⁴⁾。さらに、イタリアの UTOPIA では 1~2 分先の未来における車両の停止線到着タイミングを予想したうえでパラメータの最適化を図るなど、近い将来の需要を予測する考え方を取り入れている。

このように、パターン化は信号制御における典型的な手法であるものの、筆者らは、パターン化した信号制御に基づいてそのパラメータを最適化する方法には限界があると考え。それは「最適な」パラメータを計算するために用いる交通需要や飽和交通流率といった指標は、一定期間集計した過去のデータに基づいた平均値だからである。将来の交通の状況を過去のデータから正確に予見することは難しい。そして、たとえ



図-1 画像式のセンサによる車両の検知と追跡

正確な予測が実現できたとしても、平均的な評価では実際にそれぞれの車両が被る個々の交通現象を特定できない。

一方で、信号制御の本質は動線の時空間的な分離であって、現示や信号制御パラメータの存在は必須ではない。そして、もしこれらの存在を前提としない信号制御を実現できれば、従来の制御が有する課題に直面することなく信号を適切に切り替えることができるかもしれない。しかしながら、そのような制御手法の提案および性能や特性の検証、制御手法としての体系化は行われてこなかった。そこで、筆者らはパターン化によらない信号制御として「自律型交通信号制御手法」を提案し、プログラムの開発とミクロ交通シミュレータへの実装によりこれが実現可能であることを示した⁵⁾。ただし、制御の性能や特性の検証は十分でなく、信号制御としての妥当性は未だ示されていない。

そこで今回、自律型の信号制御がもつ性能の評価を通して提案手法が優位となる交通需要条件や適用範囲といった特性を整理し、その妥当性を考察する。以下に本稿の構成を示す。第2章では、自律型の信号制御として筆者らが提案する信号制御ロジックを説明する。第3章では、異なる交通需要条件における提案ロジックの動作例を示し、提案手法の有する性能を評価する。また、既存の定周期制御との比較により、提案手法の特性を考察する。第4章では、本稿のまとめを述べる。

2. 提案ロジック

(1) 概要

提案ロジック⁵⁾では、交差点周辺に設置したセンサによる車両のリアルタイムなモニタリングを前提とすることで、交通流の把握とごく近い将来の予測を可能とし、動的に変化する交通流に追従する形で信号を切り替える。そのために、センサが検知した車両から得られる交通流の状態を入力して、交差点で取り得る通行権の状態をそれぞれ評価し、その結果に基づいて信号をどのように切り替えるべきかを逐次決定する。

ここで通行権の状態とは、交差点の各動線に通行権が与えられているか否かを動線単位で表したもので、信号灯火に応じて複数存在する。例えば、4つの流入路および信号機で構成される交差点では、各信号機で青か赤のどちらかを割り当てて組み合わせさせた $2^4 = 16$ 通りを通行権の状態として考えることができる。

これらの通行権の状態を評価するために、提案ロジックでは評価関数を定義してその値を計算する。そして、得られた値を比較して切り替えるべき通行権の状態、つまりどの信号機を青信号表示や赤信号表示に切り替えるのがよいかを判断する。

なお、通行権の状態について、交差点の動線の数を m 、通行権の状態の数を n 、各動線を M_k ($k = 1, 2, 3, \dots, m$)として、通行権の各状態を $SC_i = \{M_1の通行権, M_2の通行権, \dots, M_mの通行権\}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)と定義する。そして、動線に通行権を与えられている場合をT、そうでない場合をFと表す。このとき、動線の通行権の状態を $SC_1 = \{F, F, F, F, \dots, F, F, F\}$, $SC_2 = \{T, T, T, F, \dots, F, F, F\}$, ..., $SC_n = \{T, T, T, T, \dots, T, T, T\}$ などと表現できる。

(2) 交通流のモニタリング

提案手法では、センサによる交通流のリアルタイムかつ継続的なモニタリングを前提としている。これは時々刻々と変化する交通流を把握して、それに基づいた柔軟な切り替えを行うためである。

ここでは、たとえば図-1に示すような画像式のセンサにより、車両の移動軌跡を追跡して、対象流入部・車線の逐次の位置・速度が全車両についてセンシングできると想定する。

(3) 切り替えの間隔

入力・計算・出力の処理をある一定の時間間隔(δ 秒とする)で実行すれば、 δ 秒単位で信号の切り替えを行うことができる。つまり、ある動線に通行権が与えられて、青信号に切り替わった場合、(切り替えに必要な

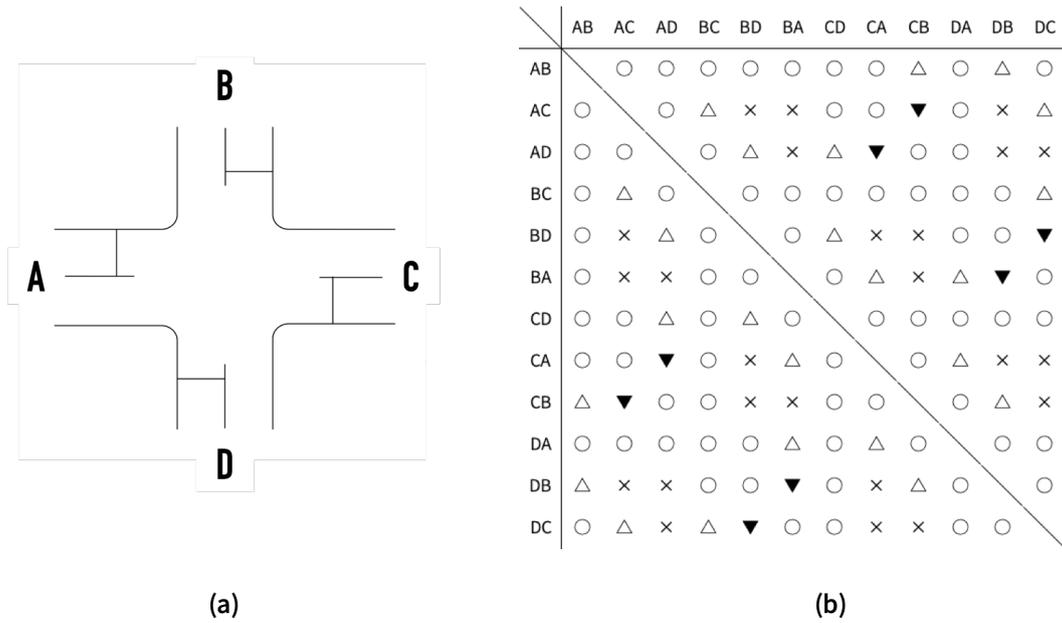


図-2 四枝交差点における動線交錯の関係の一例

| | ○ | △ | ▼ | × |
|-----|---|---|----|---|
| 青と青 | 3 | 6 | 10 | 0 |
| 青と赤 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 赤と赤 | 1 | 1 | 1 | 1 |

図-3 動線の組のスコアの定義

黄・全赤時間を含めて) $n\delta$ 秒間 ($n = 1, 2, 3, \dots$) だけ青信号表示が継続する。例えば $\delta = 6$ 秒として、青信号表示が 30 秒間継続したとき、これは 5 回の処理の結果、5 回連続で青信号表示にするという（見かけ上の）切り替えが行われたことを意味する。このように提案ロジックでは、処理を実行して信号を切り替えた時点で、青や赤の信号表示が最終的に何秒継続するかは決定しておらず、提案手法が想定する「交通流に追従した信号の切り替え」を実現できる。

(4) 評価指標

提案ロジックでは、交差点で取り得る通行権の全状態に対して評価指標を計算し、安全性と円滑性を評価する。ここでは通行権の各状態 $SC_i, (i = 1, 2, 3, \dots)$ について、その評価指標 PI_i が次の式 (1) で与えられるものとする。

$$PI_i = M_{t,i} + \alpha M_{s,i} + \beta F_i \quad (1)$$

ここに、

PI_i 評価指標

$M_{t,i}$ SC_i の遅れ時間の合計

$M_{s,i}$ SC_i の遅れ時間の標準偏差

F_i SC_i の交錯リスク評価値

α, β 非負の係数

右辺について、第一項および第二項は通行権の状態の円滑性を、第三項は安全性を評価するために用いる。動線の通行権の状態から各項の値を得るための計算手法およびその解釈などの詳細については後述する。

(5) 安全性の評価

交通信号制御は、交錯する動線を時間的・空間的に分離して安全に交差点を通過できるようにするしくみであり、動線を交錯させない、あるいは交錯の機会が少なくするように通行権を与えることが望ましい。したがって、交錯のリスクに着目することが重要である。このとき、リスクが小さいものほど交錯の機会が少なくして安全性は高くなり、大きいものほど交錯の機会が増えて安全性は低くなるといえる。

提案ロジックでは、それぞれの通行権の状態に対して交錯のリスクを評価し、安全性を評価する。

a) 交錯リスク評価値の計算手法

1. 動線の組の交錯関係を整理

まず、動線の組の交錯関係を整理する。図-2(a)の四枝交差点における、動線の組の交錯関係の一例を図-2(b)に示す。アルファベット 2 文字は動線を示しており、1 文字目が起点、2 文字目が終点である。例えば動線 AB とは図-2(a)で左 (A) から上 (B) へ向かう動線となる。ここでは、組の交錯関係を ○ (無条件に許容する)・△ (交錯するが許容する)・▼ (許容するができれば避けたい)・× (交錯を認めない) と動線の交錯を許容する程度に応

じた 4 種類で表現している。例えば動線 AC と BC の組は、動線の交錯があるものの直進と左折の関係であり合流と同様とみなすことができるので許容する (△印)。一方で、動線 AC と CB の組は、対向直進と右折の関係で、交叉に近いため許容しないほうがよい。ただし、図-2(a) のように左折・直進・右折の動線をひとつの混用車線で制御する場合、右折と対向直進の動線を分離すると交錯の生じない左折・直進と対向直進の動線も分離することになってしまう。このような「許容すべきでないが、交差点の車線構成などの影響で必ずしも分離できるわけではない」動線の間を、ここでは「できれば避けたい (▼印)」として定義する。

2. 動線の組単位での検証

動線単位で記述される通行権の状態を交錯関係と照らし合わせ、それぞれの通行権の状態の有する交錯のリスクを評価する。例えば、図-2(a) で考えられる通行権の状態のうち、動線 DB と動線 CA がともに通行権を与えられているものがいくつかあるが、このひとつを状態 (イ) とする。このとき、図-2(b) を参照し、動線 DB と CA の組の交錯関係を調べると×となっている。したがって、(イ) は、交錯を認めない動線に対してともに通行権を与えている状態であり、実現してはならないと評価できる。

3. 交錯リスク評価値の計算

提案ロジックでは、通行権の状態に対する安全性を評価するために「交錯リスク評価値」を計算する。そこで、動線の組単位で検証した交錯リスクを「スコア」として表す。さて、組が取りうる状態は 3 通り (両方とも青・片方が青で片方が赤・両方とも赤)、交錯関係は 4 通り (○・△・▼・×) あるので、組単位での検証結果は 12 パターンあると計算できる。今回は、これら 12 パターンに対して図-3 のように「スコア」を定義する。そして、状態 SC_i に対する交錯リスク評価値 F_i を、動線の組 jk のスコアを $E_{i,jk}$ と表して、次のように定める。

$$F_i = \begin{cases} \infty & (T = 0) \\ T & (T > 0) \end{cases} \quad (2)$$

ただし、

$$T = \left(\prod_j \prod_k E_{i,jk} \right)^{1/N_m} \quad (3)$$

ここに、

N_m 動線の総数

ひとつの通行権の状態に対して「スコア」は動線の組の数だけある。そのスコアをすべて掛け合わせて (動線の総数) のべき乗根を取ったものを計算し、 T とする。スコアはすべて非負で、常に $T \geq 0$

である。そして、 T がゼロのときは交錯リスク評価値 F_i を無限大に、そうでないときは T と定義する。

b) 交錯リスク評価値の解釈

交錯リスク評価値 F_i の値は、次の 2 通りに分けて解釈することができる。

i. $F_i = \infty$ のとき

スコアのなかに少なくともひとつゼロが含まれている。これは、交錯が許容されないのにも通行権を与えられている組が少なくともひとつあることを示している。すなわち、実現してはならない通行権の状態である。

ii. $F_i > 0$ のとき

スコアのなかにひとつもゼロが含まれておらず、実現してよい通行権の状態である。また、式 (2) が示すように、交錯リスク評価値 F_i が小さい通行権の状態のほうがスコアが小さい、すなわち交錯の程度が少ない組が多いことを意味する。つまり、ある通行権の状態に対して交錯リスク評価値を計算したとき、その値が小さいほど交錯のリスクが小さく、安全性が高いと評価できる。

(6) 円滑性の評価

本節では、動線の通行権の状態がもたらす円滑性を評価する手法を述べる。提案ロジックでは、それぞれの通行権の状態に対する円滑性を評価するために、交差点周囲の車が被る遅れ時間の合計と標準偏差を計算する。信号交差点における遅れは主に信号待ちによって生じ、より適切な制御ができていれば信号待ちの機会やその時間が減少するので、遅れ時間は小さくなる。また、各車両の遅れ時間を比較したとき、特定の車両のみが長時間待たされているような状況は平等性に欠けている制御といえる。このとき遅れ時間の散らばり具合は大きくなる。逆に平等性の高い制御ができているとすれば、遅れ時間の散らばりは小さくなる。

今回は、信号待ちの機会やその時間が小さく、特定の車両だけが長い信号待ちを被らないような制御を円滑性の高い制御と定義し、これを評価するために遅れ時間に注目する。このとき、遅れ時間の合計が小さいほど、また標準偏差が小さいほど円滑性は高いと評価する。

a) 遅れ時間の計算手法

提案ロジックでは、各車両を対象に、 PI_i が適切な値を取る複数の通行権の状態を想定し、このそれぞれの状態へ切り替えをした場合の軌跡を推定する。推定した軌跡に基づいて遅れ時間を計算する。このとき、流入路ごとのセンサの検知領域を各停止線からの距離範囲 D として表し、遅れ時間を推定する時間長を「予測

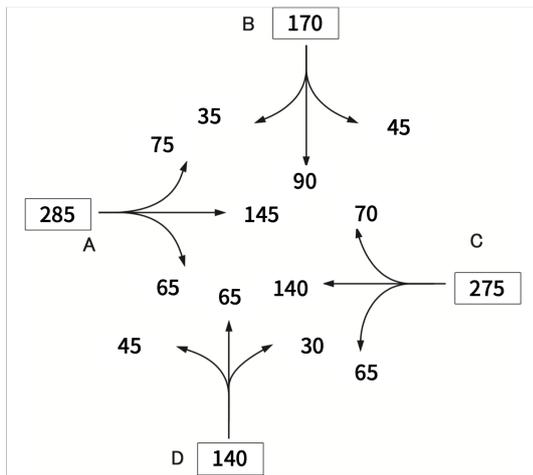


図-4 基本需要条件 [台 / 1 時間]

表-1 提案手法のパラメータと信号制御パラメータ

| | Case | | |
|---------------------|------|------|------|
| | I | II | III |
| δ (秒) | 8.0 | 8.0 | 8.0 |
| τ (秒) | 16.0 | 16.0 | 16.0 |
| D (m) | 150 | 150 | 150 |
| α | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| β | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| サイクル長 C (秒) | 30 | 35 | 70 |
| 損失時間 L (秒) | 10 | 10 | 10 |
| 1 ϕ の有効青時間 (秒) | 12 | 15 | 39 |
| 2 ϕ の有効青時間 (秒) | 8 | 10 | 21 |

時間長」 τ とする。

以下に、センサから得た交通流の状況から通行権の状態ごとの遅れ時間の合計と標準偏差を求める流れを示す。

1. τ 秒後までの車両の挙動を予測

取得した各車両の位置と速度をマイクロ交通シミュレータに入力して、 PI_i が適切な値を取る複数の通行権の状態のそれぞれに切り替えた場合の車両の挙動を予測する。複数のシナリオを想定してそれぞれを交通シミュレータで計算することは、特にその数が増加すると急激に計算コストが掛かるが、今回この問題は別途考慮することとする。

2. 予測の結果から車両単位での遅れ時間を計算

マイクロ交通シミュレータを用いて τ 秒後までの車両の軌跡を推定し、遅れ時間を求める。

3. 遅れ時間から各状態の円滑性を評価

通行権の状態ごとの予測結果を求めて、それぞれの円滑性を評価する。提案ロジックでは、通行権の状態 SC_i に対する遅れ時間の合計と標準偏差 $M_{t,i}, M_{s,i}$ を次のように定める。

$$M_{t,i} = \sum_{p=1}^V d_{i,p} \tag{4}$$

$$M_{s,i} = \sqrt{\frac{1}{V} \sum_{p=1}^V (d_{i,p} - \bar{d}_i)^2} \tag{5}$$

ここに、

$d_{i,p}$ SC_i に切り替えたとき、車両 p が τ 秒後までに被る遅れ時間

V センサが検知した車両の総数

\bar{d}_i SC_i に切り替えたときに生じた遅れ時間における、検知車両数 V 全体の平均

各通行権の状態に対して遅れ時間の合計と標準偏差を計算したとき、それぞれがより小さいものほど円滑

性が高いと評価できる。

3. 提案手法の性能評価

今回は、異なる 3 段階の需要条件に対して、提案ロジックと既存の定周期制御をそれぞれ適用させることを想定し、シミュレーションを実行する。そして、得られた結果を比較・分析し、提案手法の性能を評価する。

(1) 実験環境

今回は、実験としてシミュレーションを行うため、またロジックにおいて遅れ時間を予測するためのマイクロ交通シミュレータとして、SUMO 1.7.0 (Simulation of Urban MObility)⁶⁾ を用いる。車両到着パターンはポアソン到着を仮定し、車両として乗用車 (PCU = 1.0) を 5400 秒間発生させる。そのうち時刻 $t = 900$ 秒から 4500 秒までの 3600 秒間を評価の対象とする。

(2) 交通の条件

今回は、図-2 (a) の四枝交差点を考える。各流入路は右左折直進混用の 1 車線流入部とし、右左折専用現示などによる方向別の制御を行わない。

各流入路で妥当な方向別交通需要とするため、交通工学会が編纂した「平面交差の計画と設計 基礎編-計画・設計・交通信号制御の手引-」⁷⁾ に収録されている、制御設計の事例として用いられる交通需要設定の値に一定の割合を掛けたものを、交通需要と設定する。図-4 に示す動線別の交通需要は、文献⁷⁾ における「往復 2 車線道路の交差点」の交通需要設定の値に 0.4 を掛けたもので、これを「基本の需要条件」とする。そして、「基本の需要条件」の半分の需要をもつ条件を Case I、等しい需要をもつ条件を Case II、2 倍の需要をもつ条件を Case III と定める。

既存の定周期制御は単純二現示制御として、図-2 (a)

表-2 通行権の全状態 SC_i とその交錯リスク評価値 F_i

| i | SC_i | | | | | | | | | | | | F_i |
|-----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|
| | AB | AC | AD | BC | BD | BA | CD | CA | CB | DA | DB | DC | |
| 1 | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | 1.00 |
| 2 | F | F | F | F | F | F | F | F | F | T | T | T | 1.73 |
| 3 | F | F | F | F | F | F | T | T | T | F | F | F | 1.73 |
| 4 | F | F | F | T | T | T | F | F | F | F | F | F | 1.73 |
| 5 | T | T | T | F | F | F | F | F | F | F | F | F | 1.73 |
| 6 | F | F | F | F | F | F | T | T | T | T | T | T | ∞ |
| 7 | F | F | F | T | T | T | F | F | F | T | T | T | 29.34 |
| 8 | T | T | T | F | F | F | F | F | F | T | T | T | ∞ |
| 9 | F | F | F | T | T | T | T | T | T | F | F | F | ∞ |
| 10 | T | T | T | F | F | F | T | T | T | F | F | F | 29.34 |
| 11 | T | T | T | T | T | T | F | F | F | F | F | F | ∞ |
| 12 | F | F | F | T | T | T | T | T | T | T | T | T | ∞ |
| 13 | T | T | T | F | F | F | T | T | T | T | T | T | ∞ |
| 14 | T | T | T | T | T | T | F | F | F | T | T | T | ∞ |
| 15 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | F | F | F | ∞ |
| 16 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | ∞ |

の左右 AC 方向が青信号表示のときを現示 1 (1ϕ), 上下 BD 方向が青信号表示のときを現示 2 (2ϕ) とする. そして各需要条件での提案手法のパラメータ, 定周期制御の信号制御パラメータを表-1 と与える. ここでサイクル長は Webster の実験式に基づいている.

(3) 通行権の状態

4 つある各信号灯で青か赤の 2 通りを割り当てることができ, それに応じて今回評価すべき通行権の全状態は, $N_c = 2^4 = 16$ あると計算できる. 通行権の全状態を表-2 に示す.

(4) 評価指標の様子

まず, 安全性を評価するための交錯リスク評価値は, 動線の組の交錯関係に基づくので, 交通流の状況に影響を受けず, 通行権の状態ごと常に一定の値を取る. 今回の交錯の関係を図-2 (b) と同様と定めれば, 通行権の状態 SC_i , ($i = 1, 2, 3, \dots, 16$) に対する交錯リスク評価値 F_i は表-2 のようになる. $N_c = 16$ 通りのうち 7 通りは評価値が ∞ であり, 許容される通行権の状態でないことがわかる. 一方で残りの 9 通りは許容される通行権の状態であり, そのうち評価値が小さいものほど交錯のリスクが低く, より高い安全性を有する. リスクが低いものとして, すべての動線が F (すなわち全赤) や, 3 つの動線のみが T (4 つの信号機のうちひとつだけが青) の状態が求められている.

一方で, 円滑性の評価として用いる遅れ時間は交通

流の状況により動的に変化し, 交錯リスク評価値のように通行権の状態に対して一定の値をとらない. つまり, より高い円滑性を与える通行権の状態は, 交通流の状況によって常に変化する.

(5) 定周期制御との比較

図-5 は, 各需要条件のもと, 提案手法と既存手法 (定周期制御) のそれぞれで信号を制御したときに生じた遅れ時間の分布を方向別 (左折・直進・右折) で示している. 各グラフの一番左の階級「0-1」は, 信号による制御遅れを伴わない車両に対応している. 両者を比較してみると, いずれの交通需要条件でも遅れ時間の分布が異なることがわかる.

特徴的な点として, 既存手法よりも提案手法のほうに被る遅れは小さいことが挙げられる. また遅れ時間の最大値に着目すると, Case I と Case II では両手法の間で大きな違いは確認されず, むしろ提案手法のほうに最大値が大きくなった. 一方で Case III において, 既存手法では 400 秒程度の遅れが生じたのに対して, 提案手法では半分の 200 秒程度に留まっており, 両手法の間で大きな違いを確認できた.

これらの結果がどのようなメカニズムでもたらされたのか, またその結果は妥当なのかなど, より詳細な分析については当日発表する予定である.

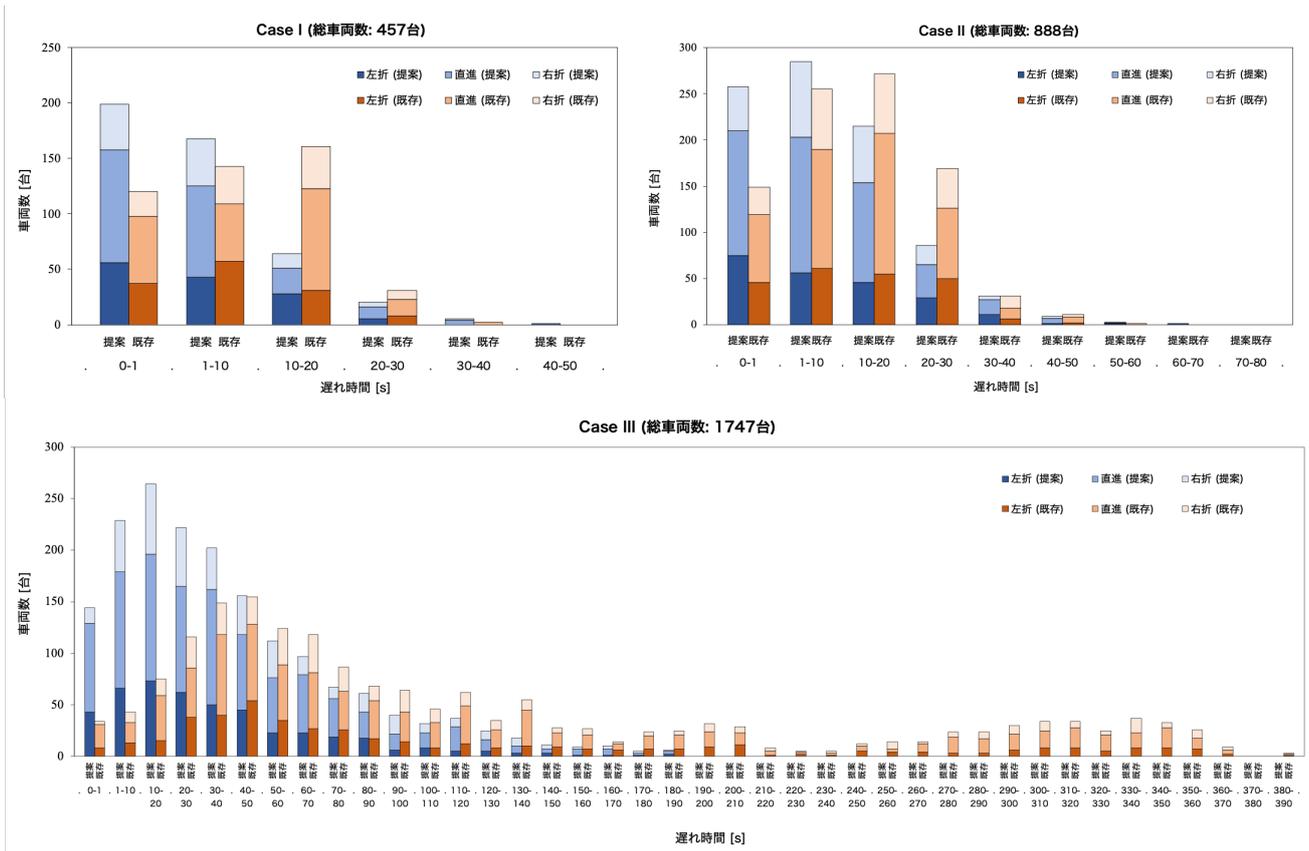


図-5 提案手法と既存手法の遅れ時間分布の比較

4. おわりに

本稿では、筆者らの提案する「自律型の信号制御手法」の性能をマイクロ交通シミュレータを用いて評価した。提案手法は、現示と信号制御パラメータを前提とする既存の信号制御に対して、センサによるリアルタイムの交通流の把握・動線交錯の制約の設定・適切な評価指標の導入によって信号を制御する。

評価実験として、異なる交通需要条件に対して提案手法を適用させ、遅れ時間を分析した。また結果を既存の定周期制御と比較し、提案手法の特性を調べた。

当日は、実験の結果に基づいて提案手法が優位となる条件や適用範囲などを整理し、この新たな信号制御手法の妥当性を議論できればと考えている。なお、第3章で示したごく簡単な道路構造・需要設定条件だけでなく、別の道路構造で、また実態の交通需要データに基づいた条件のもとに提案手法を適用した場合の検討も予定している。こちらについても適切な成果が出れば当日報告したい。

謝辞: 本研究は、一般財団法人トヨタ・モビリティ基金の支援による「自律分散型信号システム研究開発」と一部を連携し実施された。

参考文献

- 1) 大口敬: 多車線交差点における信号制御技術, 交通工学, Vol.44, pp.4-9, 2009.
- 2) Webster, F. V. and Cobbe, B. M.: Traffic signals, *Road Research Technical Paper*, Vol.56, 1966.
- 3) P. B. Hunt, D. I. Robertson, R. D. B. and Winton, R. I.: Scoot - a traffic responsive method of coordinating signals, *TRL Laboratory Report*, Vol.1014, 1981.
- 4) 交通工学研究会: 交通信号の手引, 丸善出版, 2006.
- 5) 白畑健・伊藤昌毅・新倉聡・大口敬: 車両到着センサを想定した自律型信号制御ロジックの提案, 生産研究, Vol.72, No.2, pp.147-152, 2020.
- 6) M. Behrisch, L. Bieker, J. E. and Krajzewicz, D.: Sumo - simulation of urban mobility: An overview, *Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*, pp. 63-68, 2011.
- 7) 交通工学研究会: 平面交差の計画と設計 基礎編 - 計画・設計・交通信号制御の手引 -, 丸善出版, 2018.

(Received October ??, 2020)

Evaluation of an autonomous traffic signal control method using sensors of an intersection

Ken SHIRAHATA, Masaki ITO, Azusa TORIUMI,
Satoshi NIIKURA and Takashi OGUCHI

Traffic signal control is generally patterned in which signals are switched according to predetermined phases and control parameters obtained from the average evaluation of traffic flow. On the other hand, from the perspective of flexible switching in order to follow dynamic traffic flow, we propose the idea of "autonomous signal control." However, its characteristics are not well organized and its validity as a control method has not been shown yet. In this paper, performance of autonomous signal control is evaluated using micro traffic simulator. Our proposed control is based on real-time monitoring of traffic flow by sensors, predicts the behavior of vehicles in the very near future, and finally switches the signals according to the result of prediction by setting an objective function under constraining conditions. Total delay is compared as evaluation experiments between the proposed control and the existing fixed-cycle control under different traffic demand conditions and intersection shapes. From these results, conditions under which autonomous signal control is dominant and validity of the control is discussed.