

不完全入力データと過飽和交通流を含めた 高度デマンド信号制御方式の性能評価

川上 大輔[†] 長谷川 孝明[†]

[†] 埼玉大学 大学院理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 225

E-mail: [†] {kawakami, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では不完全入力データと過飽和交通流を含めた高度デマンド信号制御方式(Advanced Demand Signals; ADS 方式)の性能評価を行っている。まず、画像センサのモデル化を行い、不完全入力データを入力して評価を行っている。不完全入力データを用いた場合、平均アイドリング時間が増加することが示されている。これは画像センサのデータ取得範囲に起因するものである。つぎに動的交通流を用いて過飽和交通流の評価を行っている。主道路と従道路の交通需要に比較的偏りがなく過飽和状態の場合に伝統的な信号制御方式が優位の結果になっている。また交通需要に大きな偏りがあり過飽和状態の場合に ADS 方式の平均アイドリング率が低くなっている。

キーワード 高度デマンド信号制御方式, 不完全入力データ, 過飽和交通流

Performance Evaluations of Advanced Demand Signals schemes under Incomplete Input Data Situations or Oversaturated Traffic Flow Situations

Daisuke KAWAKAMI[†] and Takaaki HASEGAWA[†]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

225 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama City, Saitama Pref., 338-8570 Japan

E-mail: [†] {kawakami, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract This paper describes performance evaluations of Advanced Demand Signals (ADS) schemes under incomplete input data situations or oversaturated traffic flow situations. Firstly, an image sensor is modeled. Simulations are carried out with incomplete input data obtained from the modeled image sensor. Results show that the data acquisition range of the image sensor cause average idling time increase. Secondly, Simulations are carried out under oversaturated traffic flow. If the main roadway traffic flow and the intersecting roadway traffic flow are equal, results show that Traditional Signal Control is best performance. When it is great difference between the main roadway traffic flow and the intersecting road way traffic flow, results show ADS is better performance.

Keyword Advanced Demand Signals scheme, incomplete input data, oversaturated traffic flow

1. まえがき

ユビキタス・センサ・ネットワーク時代となり、車両や人の時々刻々の位置や速度を取得できる環境が現実味を帯びつつある。この環境下では従来行われてきた統計量に基づきサイクル・スプリット・オフセットの3つのパラメータを設定し、これらを通して信号表示を決める間接的な信号制御(以降、伝統的な信号制御方式)とは異なる信号制御が可能となる。そこで車両や人の時々刻々の位置や速度に基づいた直接的に信号表示を直接制御する ADS 方式[1]-[10][13][14]が研究されている。まず ADS 方式[1][2]の提案が行なわれ、さらに ADS 方式を改良した ADS-II 方式[3]-[5]が提案されている。ADS-II 方式をさらに改良した ADS-II ex (ADS-II extended)方式[6], ADS-II u (ADS-II ultimate)方式[7]

も提案されている。前述の ADS-II 方式の内部パラメータを交通流にあわせて自動設定可能とした FA-ADS-II(Full Automated ADS-II)方式[8][9]も提案されている。また、実道配備を意識した研究[10]も行われている。具体的には、ADS-II 方式への入力データの取得に画像センサを仮定し、画像センサをデータ取得に使用した際に考えられる観測誤差や量子化誤差、観測もれの影響を考慮した性能評価である。しかしながら、実道配備を考慮した各種 ADS 方式の更なる性能評価が必要である。また過飽和交通流に関して伝統的な信号制御方式を用いて最適化する研究[11][12]が行なわれているものの少なく、ADS 方式での研究は行なわれていない。そこで本稿では各種 ADS 方式を不完全入力データおよび過飽和交通流の観点から性能評価を行う。

2. 比較対象の各種信号制御方式[1]-[10][13][14]

2.1. 伝統的な信号制御方式[13]

既存のトラフィックカウンタなどのセンサを用いて取得した一定の期間内の通過車両数や総遅れ時間に基づきサイクル、スプリット、オフセットの3つのパラメータを最適なものに設定する。そのパラメータに基づき信号表示を決定する信号制御方式である。

2.2. ADS 方式[1][2]

IT で高度化された警察官の交通整理をコンセプトとしており、結果的に民主主義的な交通信号制御を実現する。本方式は時々刻々の車両の位置に基づき各車両の希望する信号表示を推定する。式(1)を用いて各車両のデマンド評価値を算出、そのデマンド評価値を式(2), (3)に従い積算する。そしてデマンド評価値を比較し、最もこの評価値の大きい信号表示を出力する。また隣接交差点とデマンド評価値を交換しあうことで、隣接交差点と直接的な連携をとることも可能である。

図1にパラメータの一部を示す。

$$u_{i,j}^{veh} = \begin{cases} 0, & (r_i < d_{i,j}) \\ 1/(d_{i,j} + D_i^{stop})^n, & (D_i^{stop} < d_{i,j} < r_i) \\ 1/(D_i^{stop})^n, & (0 < d_{i,j} < D_i^{stop}) \end{cases} \quad (1)$$

i : 交差点番号

j : 利用者番号

$u_{i,j}^{veh}$: 交差点 i についての車両 j のデマンド評価値

r_i : 入力情報取得範囲

$d_{i,j}$: 車両 j と交差点 i の停止線までの距離

D_i^{stop} : 交差点 i の停止線から路肩までの距離+1車線幅

n : デマンド関数のべき乗部

$$f_i^{(m)} = c_{i-1}^{(m)} \sum_{j^{(m)}} u_{i-1,j}^{veh} + \sum_{j^{(m)}} u_{i,j}^{veh} + c_{i+1}^{(m)} \sum_{j^{(m)}} u_{i+1,j}^{veh} \quad (2)$$

$$f_i^{(c)} = c_{i-1}^{(c)} \sum_{j^{(c)}} u_{i-1,j}^{veh} + \sum_{j^{(c)}} u_{i,j}^{veh} + c_{i+1}^{(c)} \sum_{j^{(c)}} u_{i+1,j}^{veh} \quad (3)$$

$f_i^{(m)}$: 主道路の青を希望するデマンド評価値

$f_i^{(c)}$: 従道路の青を希望するデマンド評価値

$c_i^{(m)}, c_i^{(c)}$: 隣接交差点との連携係数。

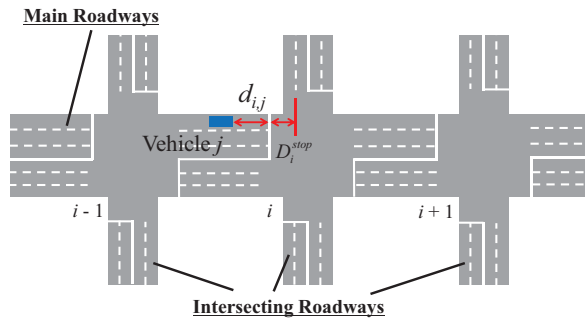


図1 ADS方式のパラメータ

2.3. ADS-II 方式[3]-[5]

本方式は、ADS方式において主道路と従道路で分類

したデマンド評価値を現在の信号表示の維持を希望する”keep”と変化を希望する”change”の2つに分類する(図2参照)。この希望の推定は同一車線上の車両は同一の信号表示を希望すると仮定して行う。さらに長アイドリング時間の交差点利用者を考慮した信号表示の決定も行われている。具体的にはアイドリング時間がある閾値を超えた長アイドリング時間の車両はデマンド評価値を1000倍する。アイドリング時間とは交差点利用者が不快と感じるような、停止を含む低速走行時間を評価する指標である。具体的には2.0 m/s以下の走行時間と定義されている。

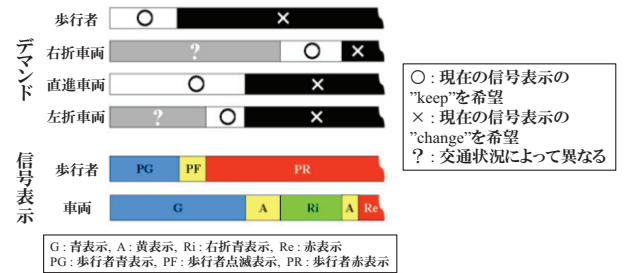


図2 ADS-II方式でのデマンド評価値の分類

2.4. ADS-II ex 方式[6]

本方式はADS-II方式を拡張したものである。この方式では式(4)に示すように、各車両のデマンド評価値に速度を反映する。

$$u_{i,j}^{veh} = \begin{cases} 0, & (r_i < d_{i,j}) \\ (1 + \alpha v_j)/(d_{i,j} + D_i^{stop})^n, & (D_i^{stop} < d_{i,j} < r_i) \\ (1 + \alpha v_j)/(D_i^{stop})^n, & (0 < d_{i,j} < D_i^{stop}) \end{cases} \quad (4)$$

α : 速度荷重係数

v_j : 車両 j の速度

2.5. ADS-II u 方式[7]

本方式はADS-IIを改良したものである。この方式では車両ごとに信号表示の希望を推定、式(5)に示すように、各車両のデマンド評価値に速度とアイドリング時間を反映する。パラメータの調整が難しいため本稿では評価対象外とする。

$$u_{i,j}^{veh} = \begin{cases} 0, & (r_i < d_{i,j}) \\ (1 + \alpha v_j)(1 + \beta \tau_{i,j})/(d_{i,j} + D_i^{stop})^n, & (D_i^{stop} < d_{i,j} < r_i) \\ (1 + \alpha v_j)(1 + \beta \tau_{i,j})/(D_i^{stop})^n, & (0 < d_{i,j} < D_i^{stop}) \end{cases} \quad (5)$$

β : アイドリング時間荷重係数

$\tau_{i,j}$: 交差点 i における利用者 j のアイドリング時間

2.6. FA-ADS-II 方式[8][9]

各車両のデマンド評価値の算出および積算式はADS-II方式と同じである。本方式は各車両のデマンド評価値を算出する際のパラメータである n, c を交通流に合わせて自動で設定する。交通流に合わせて変化する。

る統合パラメータ p に基づき、式(6)に示すように n, c が決定し、交通流に合わせた制御が可能となる。

$$\begin{aligned} n &= -(0.95 \times p) + 0.05, \quad c = 0.0 \quad (-1 \leq p < 0) \\ n &= 0.05, \quad c = p \quad (0 \leq p \leq 1) \end{aligned} \quad (6)$$

2.7. 各種 ADS 方式の性能比較[14]

(不飽和定常状態での性能評価)

文献[14]では車両交通流の観点から伝統的な信号制御方式、ADS 方式、ADS-II 方式、ADS-II ex 方式、ADS-II u 方式の静的交通流(不飽和定常状態)での性能比較が行われている。この文献では静的交通流において ADS-II u 方式は他の制御方式と比べ性能が同等もしくはそれ以上であると述べられている。ADS-II u 方式について ADS-II ex 方式、ADS-II 方式、ADS 方式の順に性能が良いことが示されており、いずれも伝統的な信号制御方式より性能が優位であることが示されている。

2.8. ADS-II 方式における画像センサの影響[10]

文献[10]では ADS-II 方式を実道配備した際、入力データは画像センサを用いて取得すると仮定している。画像センサを用いることで発生する位置特定誤差および車両検出もれについて性能評価を行っている。この文献では位置特定誤差による影響は、閑散時および混雑時ともにほぼ影響がないことを示している。また、検出漏れによる影響について、閑散時はほぼ影響はないとしている。しかし混雑時には 1 人あたりの平均アイドリング時間が 5% 増加し、性能が劣化することが示されている。

3. 不完全入力データを用いた性能評価

3.1. 不完全入力データについて

本稿では不完全入力データとして、文献[10]の画像センサを用いて取得したデータを用いる。これにより各種 ADS 方式への入力データに観測誤差や量子化誤差、観測もれが発生する。これを本稿での不完全入力データとする。本稿ではこの画像センサをモデル化して導入する。

3.2. 画像センサのモデル化

まず画像センサと車両の距離 l に依存する式(7)に従い画像センサは車両を捕捉する。これにより図 3 に示す画像センサの車両捕捉率となる。

$$\text{exist}(l) = \begin{cases} 1.00 & (l < 60) \\ -0.00065 \times l^2 + 0.08 \times l - 1.47 & (60 \leq l) \end{cases} \quad (7)$$

次に画像センサが補足した車両の位置に車線水平方向と鉛直方向の誤差を加算する。車線水平方向には平均 0、式(8)の標準偏差の正規分布に従い発生させた誤差を加算する。車線鉛直方向には平均 0、式(9)の標準偏差の正規分布に従い発生させた誤差を加算する。車線水平方向の誤差特性を図 4 に示す。

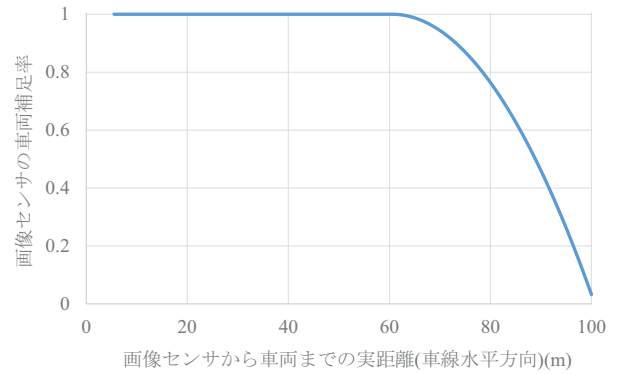


図 3 画像センサの車両捕捉率

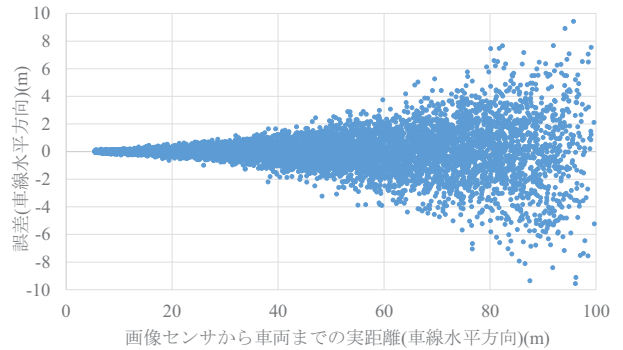


図 4 画像センサの誤差特性

表 1 道路諸元

	大規模交差点	小規模交差点
交差点数	単一(1×1)、複数(1×5)	
車線数(両側)	主道路 : 7 車線 従道路 : 5 車線	主道路 : 3 車線 従道路 : 3 車線
交通量(主:従)	2 : 1	20 : 1
リンク長	300 m	

$$\sigma(l) = \begin{cases} \frac{l}{8^{60}} - 0.2 & (l < 60) \\ \frac{5}{10^{63}} + 0.5 & (60 \leq l) \end{cases} \quad (8)$$

$$\sigma(l) = 0.0029 \times l \quad (9)$$

上記の誤差により同一車線上で 2 台の車両の前後が入れ替る、または車間距離が 0m 以下になった場合、誤差加算前の後方車両を欠落させることとする。

3.3. 性能評価

3.3.1. シミュレーション諸元

ADS 方式、ADS-II 方式、ADS-II ex 方式の性能評価を行う。各種 ADS 方式で用いるパラメータは事前に算出した最適パラメータとする。表 1 に道路諸元を示す。また画像センサは文献[10]の設置位置と同じとする。

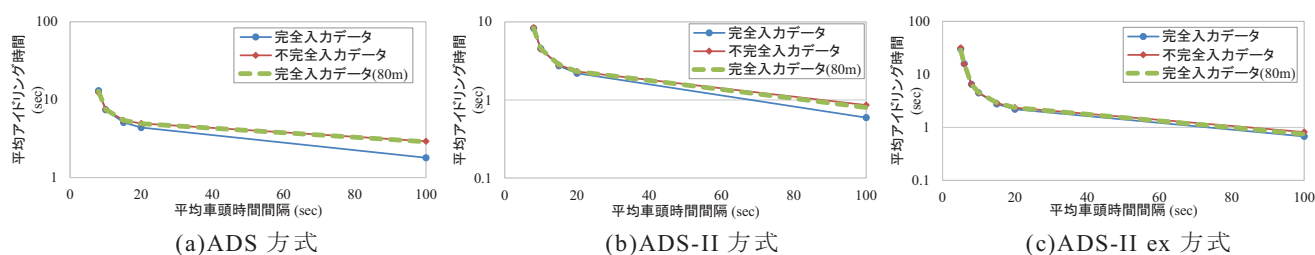


図 5 大規模単一交差点(主:7車線, 従:5車線)

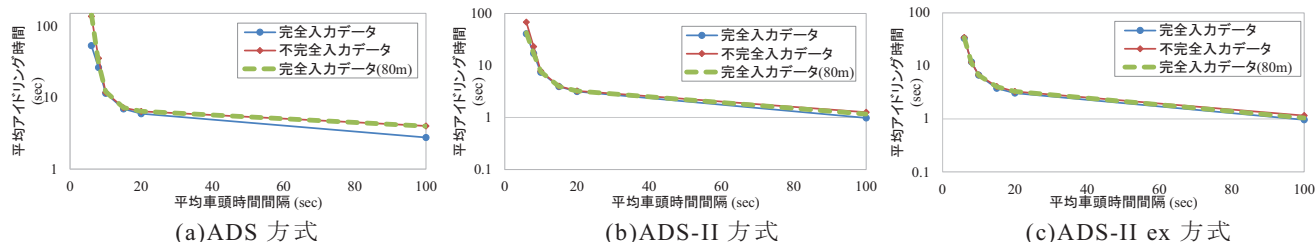


図 6 大規模複数交差点(主:7車線, 従:5車線)

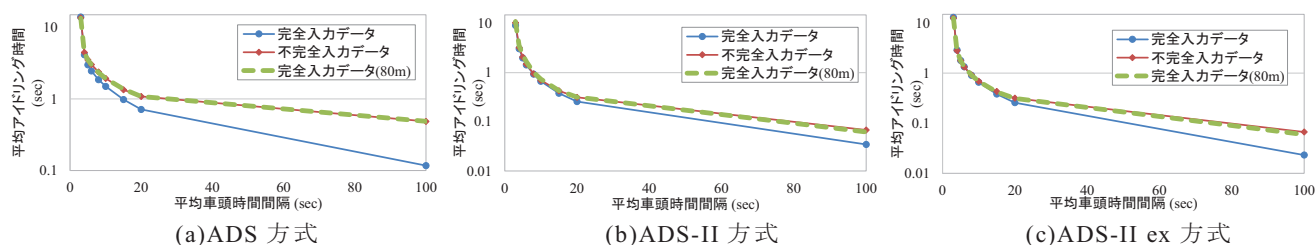


図 7 小規模単一交差点(主:3車線, 従:3車線)

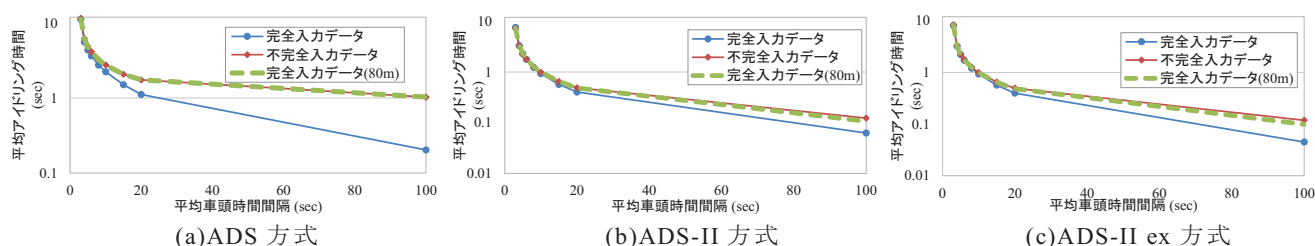


図 8 小規模複数交差点(主:3車線, 従:3車線)

3.3.2. 性能評価

大規模単一交差点交差点の評価結果を図 5, 大規模複数交差点の評価結果を図 6, 小規模単一交差点の評価結果を図 7, 小規模複数交差点の評価結果を図 8 に示す. 図 5-8 の結果より不完全入力データを用いた場合に平均アイドリング時間が長くなっていることがわかる. また ADS 方式は影響を受けやすく, ADS-II 方式, ADS-II ex 方式と影響を受けにくくなっており, この 2 つの方式は入力データの不完全性に対して ADS 方式よりも堅牢性が高いことがわかる.

ここで平均アイドリング時間が長くなる原因を考察するにあたり画像センサの特性に注目する. 本稿で用いた画像センサの撮影範囲は 100m である. このことから入力データの誤差より取得範囲の影響のほうが支配的ではないかと考え, 完全入力データを用いて各種 ADS 方式への入力範囲をこれまでの 300m から 80m に限定して評価を行った. ここで 80m としたのは画像

センサの設置位置を考慮したためである. この結果を図 5-8 の”完全入力データ(80m)”に示す. 結果より不完全入力データと完全入力データ(80m)がほぼ一致した. 特に平均車頭時間間隔が長い場合に顕著に現れている. これらの結果より入力データの取得範囲が平均アイドリング時間に支配的に影響を与えていることがわかる.

4. 過飽和交通流における性能評価

4.1. 過飽和交通流について

本稿では従来行われてきた静的交通流(不飽和定常状態)ではなく, 時々刻々変化する動的交通流(過飽和交通流を含む非定常状態)を用いる. この動的交通流中に過飽和交通流を発生させて評価を行う.

4.2. シミュレーション条件

評価指標としてアイドリング時間と関連の強い平均アイドリング率を用いる. 比較対象となる制御方式は伝統的な信号制御方式, ADS 方式, ADS-II 方式,

ADS-II ex 方式, FA-ADS-II 方式とする. これら 5 つの制御方式で同じ交通流でシミュレーションを行い評価する. なお, FA-ADS-II 方式以外の信号制御方式は静的交通流での最適パラメータを使用して評価を行う. 本稿では過飽和交通流を伝統的な信号制御方式において過飽和状態になる交通流と定義する. これを踏まえ飽和交通流(a)と 2 つの過飽和交通流(b)(c)を用いて評価を行う. 図 9 に動的交通流の一例を示す. 後述する図 10-13 には各交通流での主道路と従道路の最短の平均車頭時間間隔を記載する.

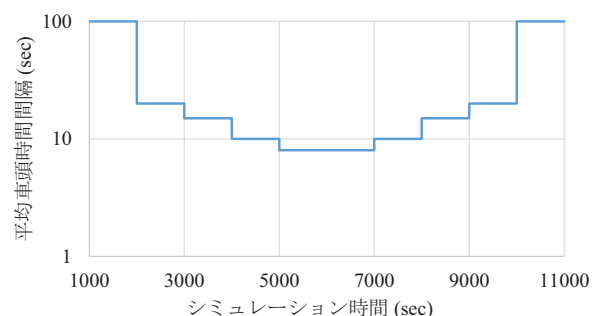


図 9 動的交通流の例

表 2 道路諸元

交差点数	1
車線数(両側)	主道路 : 3 車線, 従道路 : 3 車線
交通量(主:従)	1 : 1, 2 : 1, 4 : 1, 8 : 1
リンク長	300m

- (a) 伝統的な信号制御方式で飽和する動的交通流
 (b) (a)と比べ平均車頭時間間隔を 15%短くして, 過飽和交通流を発生させた動的交通流
 (c) (a)と比べ平均車頭時間間隔を 30%短くして, 過飽和交通流を発生させた動的交通流
- 道路諸元を表 2 に示す. 交通需要の変化を違いによる影響を考慮するため, 上記の評価に加えて主道路と従

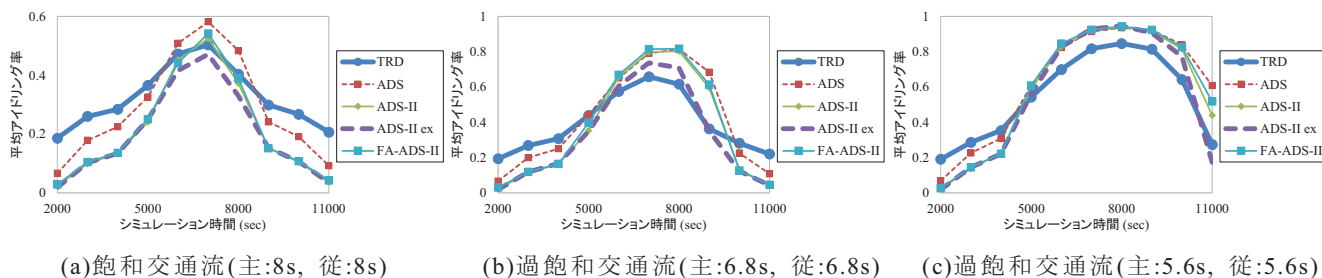


図 10 飽和交通流と過飽和交通流の平均アイドリング率の比較(主:従 = 1:1)

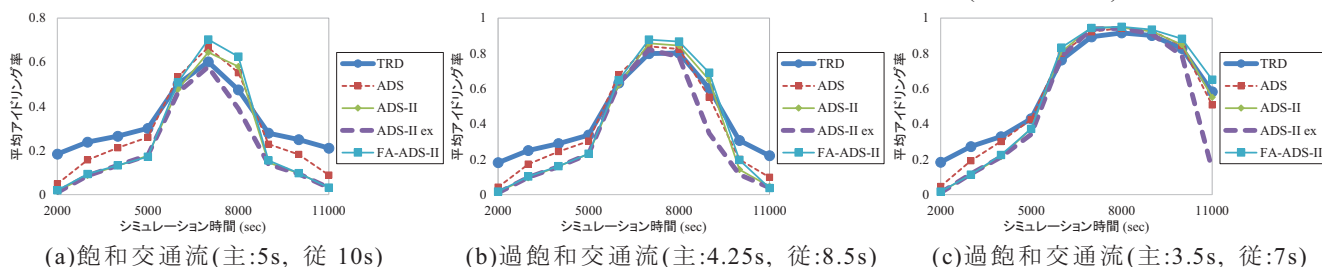


図 11 飽和交通流と過飽和交通流の平均アイドリング率の比較(主:従 = 2:1)

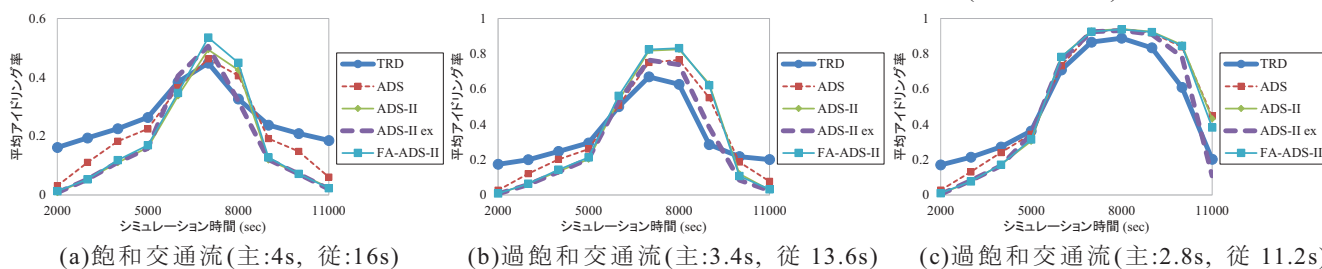


図 12 飽和交通流と過飽和交通流の平均アイドリング率の比較(主:従 = 4:1)

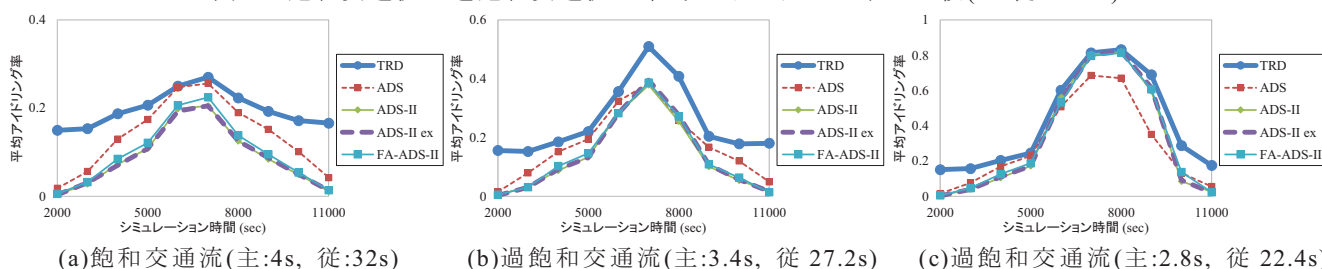


図 13 飽和交通流と過飽和交通流の平均アイドリング率の比較(主:従 = 8:1)

道路の交通量の比を変化させて評価を行う。交通量の比は主道路と従道路で 1:1, 2:1, 4:1, 8:1 とする。

4.3. 性能評価

まず図 10 に主道路と従道路の交通量比 1:1, 図 11 に交通量比 2:1 の評価結果を示す。飽和交通流(a)では ADS-II ex 方式が最も平均アイドリング率が低いことがわかる。過飽和交通流(b)(c)では過飽和状態になると伝統的な信号制御方式が最も平均アイドリング率が低い結果となった。しかし過飽和状態から平均アイドリング率の低下速度は ADS-II ex 方式が最速となった。

次に図 12 に交通量比 4:1 の評価結果を示す。飽和交通流(a)および過飽和交通流(b)(c)で最短の平均車頭時間間隔となる箇所では伝統的な信号制御方式の平均アイドリング率が最も低くなった。しかし、平均アイドリング率の低下速度は ADS-II ex 方式が最速となった。

最後に図 13 に交通量比 8:1 の評価結果を示す。飽和交通流(a)および過飽和交通流(b)では ADS-II 方式と ADS-II ex 方式の平均アイドリング率がほぼ同等で最も低くなり、逆に伝統的な信号制御方式は全シミュレーション時間で最も平均アイドリング率の高い結果となった。しかし過飽和交通流(c)では ADS 方式の平均アイドリング率が最も低くなり優位となった。

これらの結果より交通量比 1:1 の交通需要に偏りのない場合や交通量比 2:1 の交通需要にやや偏りのある場合、交通量比 4:1 の交通需要に偏りがある場合では過飽和交通流において伝統的な信号制御方式の平均アイドリング率が最も低くなり優位となった。また交通量比 8:1 の交通需要に大きな偏りがあり過飽和交通流の場合、ADS 方式の平均アイドリング率が最も低く最良の結果となった。つまり過飽和交通流において交通量比に比較的偏りのない場合に伝統的な信号制御方式が、交通量比に大きな偏りがある場合には ADS 方式の平均アイドリング率が低くなったが、今後さらなる検討が必要である。

5. むすび

本稿では各種 ADS 方式に不完全なデータを入力した場合および過飽和交通流での評価を行った。まず文献[10]の画像センサをモデル化し、各種 ADS 方式へ不完全データを入力し評価を行った。その結果、ほぼすべての場合で不完全入力データを用いた場合に平均アイドリング時間が増加した。これは使用した画像センサのデータ取得範囲に起因するものであることがわかった。つぎに小規模(主:3 車線、従:3 車線)の単一交差点で動的交通流(過飽和交通流を含む非定常状態)を用いて性能評価を行った。その結果、交通需要に比較的偏りのない状態の飽和交通流では ADS-II ex 方式が最も平均アイドリング率が低くなったが、過飽和交通流

では伝統的な信号制御方式が最も平均アイドリング率が低くなり優位となることがわかった。また交通量比に大きな偏りのある場合に過飽和交通流では ADS 方式が最も平均アイドリング率が低くなることがわかった。

今後の課題としては画像センサ以外で取得した不完全入力データでの評価や道路車線数を増やした大規模な交差点および交差点数を増やした場合の過飽和交通流に関する評価があげられる。

文 献

- [1] 今井洋介, 加藤泰典, 長谷川孝明, “高度デマンド信号制御方式,” 電子情報通信学会 論文誌 A, vol.J88-A, no.1 pp.62-70, Jan.2005.
- [2] Y. KATO and T. HASEGAWA, “Effect of Advanced Demand Signals scheme,” IEEE Vehicular Technology Conf., pp708-712, Oct. 2001.
- [3] 麻生敏正, 長谷川孝明, “高度デマンド信号制御 II 方式” 電子情報通信学会 論文誌 A, vol.J92-A, no.6 pp.419-433, Jun.2009.
- [4] T. ASO and T. HASEGAWA, “Advanced Demand Signals -II Scheme,” Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007, CD-ROM, pp.1025-1032, June 2007.
- [5] T. ASO and T. HASEGAWA, “Improvement of the Advanced Demand Signals II Scheme and its Performance Evaluation,” Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Vehicular and Safety, CD-ROM, pp.126-131, Sept. 2008.
- [6] 麻生敏正, 長谷川孝明, “遅れ時間と平均アイドリング時間の関係と高度デマンド信号制御 II 方式の改善,” 第 9 回 ITS シンポジウムプロシーディングス, pp120-125, 2010.
- [7] 麻生敏正, 長谷川孝明, “高度デマンド信号制御 II u 方式” 電子情報通信学会 技術研究報告, ITS2011-14, pp.25-30, Sep.2011.
- [8] 麻生敏正, 長谷川孝明, “全自動高度デマンド信号制御 II 方式” 電子情報通信学会 論文誌 A, vol.J93-A, no.8 pp.544-554, 2010.
- [9] T. ASO and T. HASEGAWA, “Full Automated Advanced Demand Signals II Schemes,” Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation System, St. Louis, USA, CD-ROM, pp522-527, OCT.05-07, 2009.
- [10] 高野勇介, 麻生敏正, 長谷川孝明, “高度デマンド信号制御 II 方式における画像センサの影響について” 電子情報通信学会 技術研究報告, ITS2008-66, IE2008-236(2009-2) pp183-188
- [11] 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,” 土木計画研究・講演集(CD-ROM), 32 巻, ROMBUNNO.230
- [12] 清水光, 斎藤威, 藤井温子, 小林正明, “都市道路網の渋滞長制御に関するシステム理論的考察,” 土木計画研究・講演集(CD-ROM), 29 巻, pp54-57
- [13] 社団法人 交通工学研究会 “改訂 交通信号の手引”, 平成 21 年 9 月 pp12-15.
- [14] 麻生敏正, 長谷川孝明, “車両交通流の観点からの各種の高度デマンド信号制御方式の性能比較” 電子情報通信学会 技術研究報告, ITS2012-13 (2012-09)