

GA による系統交通信号の共通サイクル長に関する研究

A Study on Common Cycle Length of Coordinated Signal System through Genetic Algorithm

小田原 正和*, 久井 守**

By Masakazu ODAWARA and Mamoru HISAI

1. はじめに

系統交通信号の制御パラメータとしては、共通サイクル長、スプリットおよびオフセットの3つがある。本研究では、これら3つの制御パラメータのうち共通サイクル長に着目し、GAを適用してその最適化を行い、若干の考察を行う。またGAの適用性についても検討する。

孤立交差点の最適サイクル長については Webster によって提案された式があるが、系統信号制御の共通サイクル長については、その決定法はいまいであり、道路交通条件との関係もあり明らかではない。共通サイクル長はオフセットにも大きく影響することから系統制御では重要な制御パラメータであると考えなければならない。

本研究では、複数のリンク数からなる系統区間について、共通サイクル長に着目して最適化を試みた。共通サイクル長を求めるためには、サイクル長に対してつねにオフセットを最適化しておくことが前提条件となる。したがってサイクル長とオフセットの同時最適化を行う。最適化手法としてはGAを用いた。GAを用いたのは、局所解を避け全体的最適解を探索するためである。最適化の評価指標は系統区間主道路方向の総遅れ時間とする。遅れ時間を求めるために TRANSYT 交通流モデルを用いる。簡単な計算例によりサイクル長について考察を行いGAの最適解探索能力についても調べた。

2. 系統信号制御パラメータの最適化

系統交通信号の制御パラメータの最適化については過去に多くの研究がなされている。

まず共通サイクル長に関する研究として、越¹⁾の

研究および李・池之上²⁾の研究がある。越はリンク長の影響を考慮してサイクル長と遅れの関係を明らかにした上で遅れを最小にするサイクル長について研究している。また李・池之上は確定的遅れとクリティカル交差点のランダム遅れから最適サイクル長を求めている。これに対し久井³⁾はリンク長のばらつきなどを考慮していくつかの検討を行っている。

次にオフセット最適化基準としては

①スルーバンド幅最大化

②遅れ時間最小化

がある。高田⁴⁾はスルーバンド幅最大化オフセットを求めているが、孤立2信号に着目した場合のスルーバンド幅最大化オフセット ξ は次のようになることを示している

$$\xi = \begin{cases} 0 & : 0 \leq r < 0.25, 0.75 \leq r < 1 \\ 0.5 & : 0.25 \leq r \leq 0.75 \end{cases} \quad (1)$$

このオフセットは Normal Offset と称している。ここで r は、リンクの走行所要時間（単位はサイクル長）である。これは時間距離図上の平面幾何学的考察から容易に求めることができる。このオフセットによれば、スルーバンド内の交通の円滑化は確保できるが、スルーバンドからあふれた交通の円滑化は保証されていない。

越は、単一飽和方形波モデルを仮定して1組の信号交差点間の遅れ最小化オフセットを計算しているが、やはり Normal Offset が最適であることを示している。またこれに基づいて遅れとサイクル長の関係についても示している。

本研究では、遅れ時間最小化を最適化基準としてオフセットと共通サイクル長の同時最適化を試みるものである。

キーワード 交通制御、交通管理、交通流

* 学生員 山口大学大学院知能情報システム工学専攻

** 正会員 工博 山口大学工学部知能情報システム工学科助教授
(〒755 宇部市常盤台 2557 TEL 0836-35-9485 FAX 0836-29-0053)

3. GA における問題の設定

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) は確率的探索による解法であり, 組み合わせ最適化問題に適しているとされている. サイクル長の最適化において, 局所解を避け全域的最適解を探索することを意図して GA を適用した.

本研究では Fig.1 に示すような手順で計算を行った. オフセットとサイクル長からなる実行可能解は, Fig.2 に示すように 2 進数でコーディングし, それを個体 (線列) とする. オフセットの単位は周期 C を 50 等分した ΔC とする. オフセットは 10 進数で 0 ~ 49 の範囲内を制約条件とするため 2 進数 6 桁で表現する. サイクル長は 40 ~ 150 s の範囲として 2 進数 8 桁で表現する. これより線列を生成している. 適応度関数は, 系統区間内上下両方向の総遅れ時間 d (台・s/s) の逆数とし, 次式のスケーリングによって, 最終的な適応度 f を定義した.

$$f = (100 / d)^4 \tag{3}$$

このスケーリングにより集団内の適応度の違いを拡大することを試みる.

遅れ時間の計算には TRANSYT 交通流モデルを用いる. TRANSYT 交通流モデルはサイクル長 C を 50 等分した 50 個の時間インターバル ΔC の交通流率によって車群パターンを表現するモデルである. リンク走行中の車群拡散を表現するために指数平滑化による平滑化処理を行っている. 信号における遅れ時間は待ち行列台数から計算できる確定的遅れと次式によるランダム遅れを考慮している.

$$d_r = x^2 / 4 (1 - x) \tag{4}$$

ここに x はトラフィック密度である.

淘汰処理としては, 各個体の適応度に比例した確率で選択する適応度比例方式を採用した. また同時に各世代における最も適応度の高い遺伝子を次世代に無条件で受け継ぐエリート保存方式を採用した.

遺伝的処理については, 交叉確率 70.0 %, 再生産確率 20.0 %, 突然変異確率 10.0 % とした. 交叉は一点交叉とし, 突然変異は線列上のある一点を変化させる反転処理とした.

GA の計算終了条件は, 集団内の適応度の平均値が 3 世代連続して, 0.1×10^{-4} 以下になった場合とする.

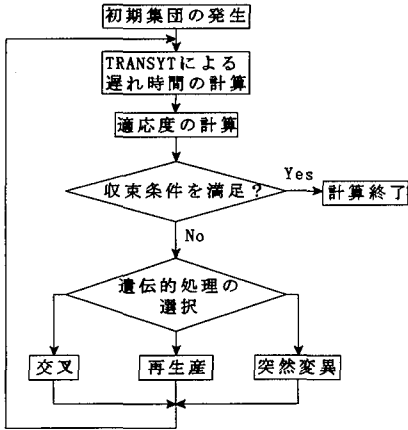


Fig.1 GA の計算手順

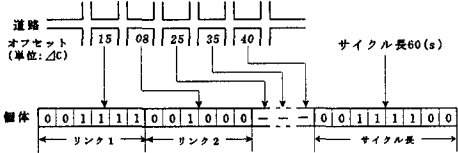


Fig.2 オフセットとサイクル長のコーディング方法

4. 計算方法

(1) まず最初に, GA を適用すれば越の理論による最適なサイクル長およびオフセットが得られるかどうかを確かめる. 越の理論ではまず 2 信号間のリンクを往復した場合の遅れ時間 d (s/台) は次式で与えられることを示した.

$$d = 0.5 \min |n \cdot C - T| \tag{5}$$

- ここに
- T : リンク往復所要時間 (s)
- C : サイクル長 (s)
- n : 整数 0,1,2,...

基本オフセットは, n が 0 または偶数のときは同時式, n が奇数のときは交互式である. これは次の仮定に基づくものである.

- ①リンク両端信号のサイクル・スプリット・飽和流量は等しい.
- ②直進交通のみであり, 速度は一定で車群の拡散はない.
- ③スプリットは系統方向に対して青 50 %, 赤 50 % であり, 完全に飽和している.

式(5)の遅れ時間を最小にするサイクル長 C' は次

式で与えられる。

$$C^* = \frac{T}{n} = \frac{2D}{nV} \tag{6}$$

ここで D はリンク長(m), V は系統速度(m/s)である。このサイクル長は2信号間のスルーバンド幅最大化の観点からみても最適サイクル長となる。

越の理論を確かめるために TRANSYT モデルのパラメータを次のようにした。すなわち、車群の拡散を行わないようにするために平滑化係数を 1.0 にし、先頭車両のリンク走行時間は平均走行時間の 0.8 倍ではなくこれを 1.0 倍に変更した。

その他の交通条件および信号条件は以下のように設定した。

- 系統速度： $V = 12\text{m/s}$
- 飽和流量： $s = 0.5 \text{ 台/s}$
- 交通量： $q = 0.24 \text{ 台/s}$
- スプリット：各信号 $g = 0.5$
- 損失時間： $L = 0 \text{ s}$

(2) 次に一般的な道路条件および交通条件で、GA と共役勾配法の一つである FR 法の比較を行う。交通量は $q = 0.22 \text{ 台/s}$ 、スプリットは各信号 $g = 0.6$ および損失時間 $L = 10 \text{ s}$ とする。また遅れ時間最小化と収束世代数という 2 つの観点から、GA の探索能力を改善し、演算速度を向上するために次のような計算方式で計算を行う。

①初期集団への優秀な線列導入方式

浦田ら⁵⁾は、経験的に良好と思われる線列を初期集団に導入することを提案している。本研究では、集団内の初期個体のうち 12 個については 40 s から 150 s まで 10 s 刻みのサイクル長と孤立 1 リンクの最適オフセットである Normal Offset を与える。

②高適応度個体抜粋方式

高適応度個体抜粋方式は、適応度の低い個体を集団から淘汰する方式である。淘汰は、次の淘汰基準以下の個体を削除することによって実行した。

$$\text{淘汰基準} = (\text{最良個体の適応度}) \times (\text{淘汰割合})$$

5. 計算結果

(1) まず GA により越の理論を満足するようなサイクル長とオフセットが得られるかどうかを調べた。そのために 6 信号 5 リンクからなる路線を対象としリンク長を一定として計算した結果を Fig.3 ～

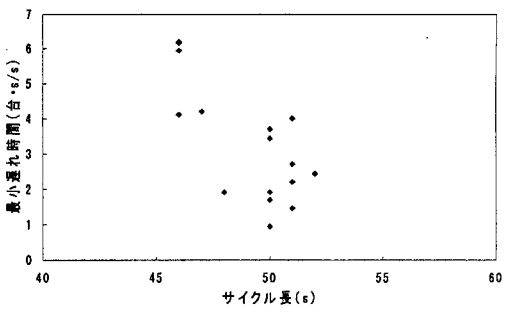


Fig.3 サイクル長の計算結果 (D=300 m の場合)

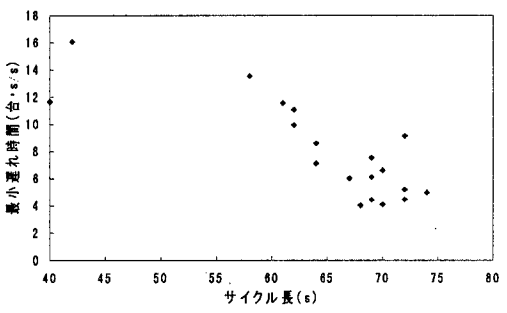


Fig.4 サイクル長の計算結果 (D=420 m の場合)

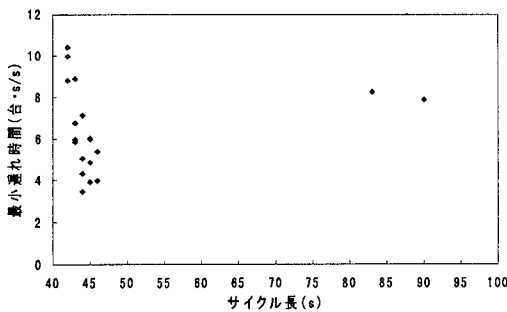


Fig.5 サイクル長の計算結果 (D=540 m の場合)

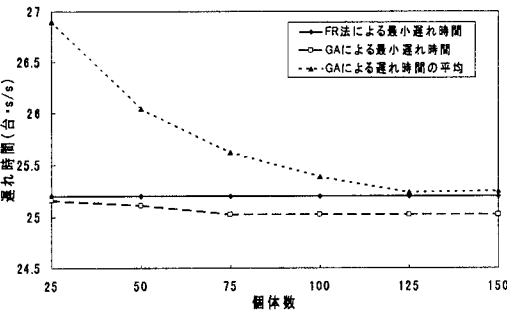


Fig.6 GA と FR 法の比較

Fig.5 に示す。ここで計算回数は 20 回である。GA の個体数は 50 個である。ランダム遅れは含んでいない。ランダム遅れを考慮しないために遅れ時間が小さくなるので、スケーリング式を

$$f = (20 / d)^4 \quad (7)$$

と変更した。また式(5)よりリンク長が各 300 m, 420 m および 540 m の場合のサイクル長は、それぞれ 50 s, 70 s および 90 s となる。Fig.3 より越の理論による最適サイクル長 ($n=1$) の近傍に解が収束している。またオフセットは、各リンクとも交互式であった。リンク長が 420 m の場合では、最適サイクル長から離れるにしたがって遅れが大きくなる傾向がみられる。リンク長 540 m の場合では、最適サイクル長は 90 s ($n=1$) および 45 s ($n=2$) である。Fig.5 から 45 s の近くに解が収束した。このとき求めた解のオフセットは同時式となった。一方サイクル長が 90 s の場合のオフセットはほぼ交互式となった。これより越の理論を満足するような解を探索することができたと判断される。

(2)次に 11 信号 10 リンクの系統区間について、GA と FR 法の比較を行った。FR 法では、GA により求めた遅れ時間が最小となるときにのサイクル長を与えて、4 種類の初期オフセットパターン (同時式, 交互式, 上り優先オフセットおよび下り優先オフセット) を用いて計算を行った。GA の個体数を 25 個から 150 個まで 25 個刻みで変化させながら計算した。この結果より GA における最小遅れ時間の方が FR 法によって求めた遅れ時間よりも小さくなっており、GA の方が探索能力がすぐれていると考えることができる。

最小遅れ時間と平均収束世代数について、サイクルおよびオフセットをランダムに与えた乱数発生方式、初期線列導入方式および高適応度個体抜粋方式を比較した。Fig.7 より判断すると高適応度個体抜粋方式を用いた場合が最も遅れ時間が小さくなっている。Fig.8 より平均収束世代数の比較でも初期線列導入方式は乱数発生方式の約 2/3 の世代数で収束していることがわかる。これらの結果から GA において初期集団を乱数発生するよりも何らかの知識を導入したり適切な淘汰処理を行った方が GA の探索能力を高めることができることがわかった。しかし各種方式を融合して用いる場合には、そのバランス

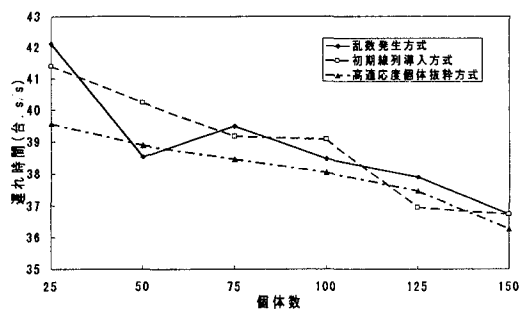


Fig.7 GA 計算法による最小遅れ時間の比較

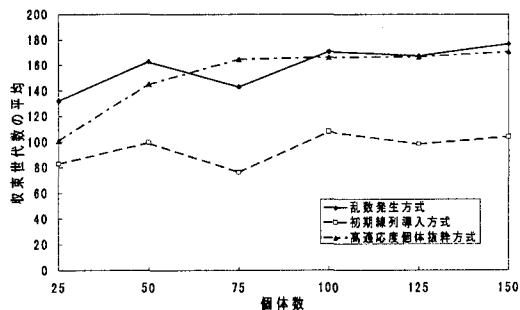


Fig.8 GA 計算法による平均収束世代数の比較

を考慮することが必要であると考えられる。

6. まとめ

本研究では系統交通信号の共通サイクル長に関していくつかの計算を行った。まず GA を適用して、越の単一飽和方形波モデルによる最適サイクル長に近い解を探索することができた。また GA の最適解探索能力についても検討した。今後の課題としては、GA の計算効率を高めること、および最適解への収束精度を高めることがあげられる。その上で道路交通条件に応じたサイクル長についてさらに検討することが必要である。

参考文献

- 1) 越正毅：系統交通信号におけるサイクル制御の研究，土木学会論文報告集，No.241，pp.125-133，1975 年
- 2) 李光勲，池之上慶一郎：系統交通信号における遅れの特性と最適サイクル長の関する研究，交通工学，Vol.27，No.4，pp.9-20，1992 年
- 3) 久井守，清水紀子：リンク長のばらつきを考慮した系統信号サイクルと平均遅れの関係，第 16 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.17-20，1996 年
- 4) 高田弘，栗本謙：系統信号方式による街路交通制御に関する一考察，土木学会論文集，No.124，pp.11-20，1965 年
- 5) 浦田，有村，田村，樹谷，斎藤：GA を用いた複数モードのスケジューリング，土木計画学研究・論文集，No.13，pp.821-826，1996 年