

分割原理による信号制御の最適化

徳山工業高等専門学校 正員 久井 守

1. はじめに 既存の広域信号制御システムは、そのほとんどが中央のコンピュータで全信号を集中制御する方式のものである。このような制御システムでは、車両感知器の生パルスを集めて処理し、各信号の歩進パルスを送出するというように情報の伝送量が膨大となり、一方で局地的な交通状況に見合った細かい制御が困難になるという欠点を有する。¹⁾ このような欠点を改善するためには、制御エリア全体をいくつかのサブエリア(サブシステム)に分割し、そのサブシステムごとにコンピュータ(マイクロプロセッサ)を配置して、感知器情報に応じた局地制御を行なう下位システムとし、中央装置は上位システムとして、これら下位システム間の協調を図るという多レベルの制御方式を導入することがひとつの方法であろう。本研究ではこのような制御方式の制御論理として分解原理の適用が可能かどうかを検討する。具体的にはVaraiyaの分解原理にもとづき、ネットワークのオフセット最適化を試みることにする。

2. Varaiyaの分解原理^{2),3)} Varaiyaの分解原理が適用できる数式モデルはつぎのような構造を有する。

$$f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n) \rightarrow \text{Min} \quad (1)$$

subject to

$$A_1 x_1 + A_2 x_2 + \dots + A_n x_n = b \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1(x_1) &\leq 0 \\ R_2(x_2) &\leq 0 \\ &\vdots \\ R_n(x_n) &\leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

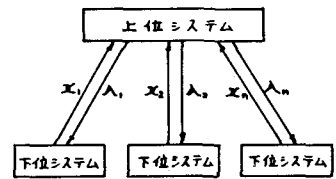


図1 最適化システム

アルゴリズム

ステップ1: 補助パラメータ λ_i の初期値を任意に設定する

(ここでは0ベクトルとする)。

ステップ2: 各サブシステムごとに

$$f_i(x_i) + \lambda_i^T x_i \rightarrow \text{Min} \quad (4)$$

$$\text{subject to } R_i(x_i) \leq 0 \quad (5)$$

$$i=1, 2, \dots, n$$

を解く。

ステップ3: もし $\|e(\lambda)\| \leq \varepsilon$ ならば計算を終了し、そうでない場合は

$$\lambda_i^{k+1} = A_i^T e(\lambda) \Delta t + \lambda_i^k \quad (6)$$

$$i=1, 2, \dots, n$$

に従って補助パラメータを変更してステップ2にもどる。 λ_i はくり返し計算のステップ数を示し、 Δt はステップ幅を示す。 $e(\lambda)$ は誤差ベクトルである。

$$e(\lambda) = \sum_{i=1}^n A_i x_i - b \quad (7)$$

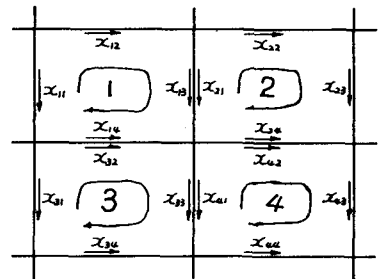


図2 計算対象ネットワーク

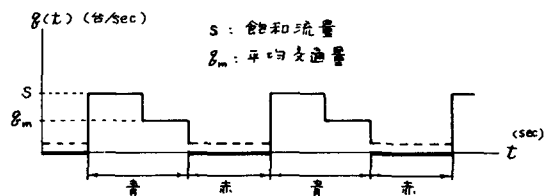


図3 発進交通の仮定

図1に示すように、下位システムは上位システムから与えられた λ_i に応じた最適解 x_i を求めて上位システム

ムに送る。上位システムは入_iによって下位システム間の協調を図ることになる。

3. オフセット最適化問題への適用 いま最も簡単な例として、図2のような4つのループからなるネットワークについて相対オフセット x_i の最適化を行なう。ここでは4つのループをそれぞれサブシステムと考える。決定変数と補助パラメータは

$$x_i = \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ x_{i3} \\ x_{i4} \end{bmatrix} \quad \lambda_i = \begin{bmatrix} \lambda_{i1} \\ \lambda_{i2} \\ \lambda_{i3} \\ \lambda_{i4} \end{bmatrix} \quad i=1, 2, 3, 4$$

である。つぎの式(8)で示されるループ閉合条件はサブシステムの制約条件と考える。

$$R_i(x_i) = -x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} - x_{i4} - C_i = 0 \quad (8)$$

$$i=1, 2, 3, 4$$

隣接ループについては、両ループに共通のリンクのオフセットは、たとえば $x_{13} = x_{31}$ のように等しくなければならぬ。したがって

$$\left. \begin{aligned} x_{13} - x_{31} &= 0 \\ x_{14} - x_{41} &= 0 \\ x_{24} - x_{42} &= 0 \\ x_{32} - x_{23} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

がサブシステム間の結合条件となる。この場合、

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad A_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

とおくと、式(9)は式(2)に帰着する(ただし $b=0$)。目的関数は

$$f_i(x_i) = \sum_{j=1}^4 f_{ij}(x_{ij})$$

とする。すなわち、1つのリンクの遅れ時間はそのリンクの相対オフセット x_{ij} のみの関数と考える。

4. 計算例 図3のような発進交通に拡散条件を付加した交通流モデルを仮定し、図4のネットワークについて遅れ時間を求めた。その1例を図5に示す。グラフの実線部分について f_{ij} の関数表 C_{ij} は0.025きざみで作成し、これを用いてオフセットの最適化を行なった結果が図6である。初期オフセットは結合条件を考慮しないときに、遅れ時間を最小にするオフセットである。最適解への収束性についてはいくつか検討の余地が残っているので今後の課題とした。

1) 越正毅：交通信号の今後の方向，交通工学，Vol. 15, No. 2, pp 1~3, 1980

2) 田村坦之：大規模システムの最適化理論，電気学会雑誌，Vol. 92, No. 11, pp 23~27, 1972

3) P. Varaiya: Decomposition of Large-Scale Systems, J. SIAM Control, Vol. 4, No. 1, pp 173~178, 1966

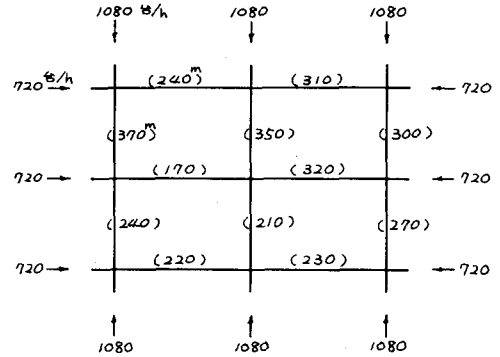


図4 道路および交通条件

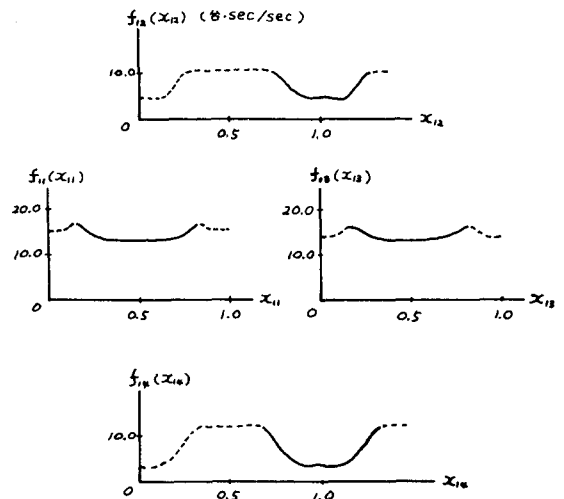


図5 遅れ時間

0.895 (0.875)	0.925 (0.925)		
0.450 (0.475)	0.475 (0.725)	0.725 (0.875)	0.875 (0.875)
0.900 (1.025)	0.900 (1.025)	1.075 (1.075)	0.950 (1.050)
1.000 (1.000)	0.975 (0.975)	0.975 (0.975)	1.000 (1.000)
0.875 (1.000)	0.975 (1.075)		

初期オフセット(最適オフセット) $E=0.025$

図6 計算結果