

セルフチューニングコントロールによる河口堰ゲートの自動制御について

九州大学工学部 ○学生員 小田 清訓 九州大学工学部 正員 河村 明

九州大学工学部 正員 上田 年比古 九州大学工学部 正員 神野 健二

1. はじめに これまで水資源の確保のための河口堰は規定の操作ルールに基づいて運用されているが、より効率的な運用を図り水資源の有効利用を行うには、実時間で得られる情報を基に確率過程下での放流量を時々刻々決定してゆく方法の方が、より現実的で有効と考えられる。本報では、上記の手法としてセルフチューニングコントローラ¹⁾(以下 STCと記す)を取り上げ、STCの河口堰制御問題への適用を試みている。すなわちまず河口堰ゲート操作に対する STCの定式化を行い、次いで、本手法を模擬発生データに適用して数値シミュレーションを行い、STCの河口堰の操作への有用性について検討している。

2. STCの定式化 図-1に示すような河口堰システムを貯水池水位: $y(k)$ 、
 考え、本システムが次式で表されるとする。

$$y(k+1) = h_0 y(k) + b_0' Q(k) + c_0 I(k) + d_0 L(k) + v(k+1) \quad \dots(1)$$

ここに、 k :時点 y :被制御変数となる貯水池水位(m)

Q :制御変数となるゲート総放流量(m^3/s) I :流入量(m^3/s)

L :取水量(m^3/s) v :平均値0、分散 σ^2 の正規性白色雑音

h_0, b_0', c_0, d_0 :システムパラメーターである。 k 時点までの情報が得られたときの $y(k+1)$ の最適推定値 $\hat{y}(k+1|k)$ は次式で求められる。

$$\hat{y}(k+1|k) = h_0 y(k) + b_0' Q(k) + c_0 I(k) + d_0 L(k) \quad \dots(2)$$

よって式(1),(2)より $y(k+1) = \hat{y}(k+1|k) + v(k+1) \quad \dots(3)$

さて、STCでは制御の目標となるコスト関数 $J(k)$ を次式で定義する。 $J(k) \triangleq E\{[y(k+1) - y^*(k+1)]^2 + \lambda'[Q(k) - Q(k-1)]^2\} \dots(4)$

ここに、 y^* :貯水池水位 λ' :操作変化量の重み定数。ここで、式(4)を最小にするような、最適放流量 $Q(k)$ を求めるため、式(4)に式(3)を代入し $Q(k)$ で偏微分して0とおくと次式を得る。

$$[\hat{y}(k+1|k) - y^*(k+1)] + \lambda [Q(k) - Q(k-1)] = 0 \quad \dots(5)$$

ここに、 $\lambda = \lambda' / b_0'$ さらに式(5)の左辺を、 $\Phi(k+1|k)$ で定義する。すなわち、

$$\Phi(k+1|k) \triangleq [\hat{y}(k+1|k) - y^*(k+1)] + \lambda [Q(k) - Q(k-1)] \dots(6)$$

よって式(6)に式(2)を代入し $\Phi(k+1|k) = 0$ として最適放流量 $Q(k)$ を求めると次式となる。

$$Q(k) = -[h_0 y(k) - \lambda Q(k-1) + c_0 I(k) + d_0 L(k) - y^*(k+1)] / (b_0' + \lambda) \quad \dots(7)$$

ここで、最適放流量 $Q(k)$ は式(7)によって与えられるが、これには式(1)の未知パラメーター h_0, b_0', c_0, d_0 が同定されなければならない。そこでパラメーター同定にカルマンフィルター理論を適用する。カルマンフィルターは式(8)で表されるシステム方程式により遷移するシステム状態量 x を推定する理論で、 x は式(9)の観測方程式を通してのみ観測される²⁾。

$$x(k+1) = \Phi(k)x(k) + u(k) \quad \dots(8) \quad z(k) = M(k)x(k) + \beta(k) + w(k) \quad \dots(9)$$

ここに、 x :システムの状態量ベクトル Φ :既知の状態遷移行列 u :システム雑音ベクトル

z :観測量ベクトル M :既知の観測行列 β :既知の定数ベクトル w :観測雑音ベクトル

ここで、総合出力関数 $\Psi(k+1)$ を次式で定義し、式(1)を代入すると式(11)となる。

$$\Psi(k+1) \triangleq [y(k+1) - y^*(k+1)] + \lambda [Q(k) - Q(k-1)] \quad \dots(10)$$

$$= h_0 y(k) + b_0 Q(k) + b_1 Q(k-1) + c_0 I(k) + d_0 L(k) - y^*(k+1) + v(k+1) \dots(11)$$

ただし、 $b_0 = b_0' + \lambda$, $b_1 = -\lambda$ 式(8)のカルマンフィルターのシステム状態量 x として式(11)のパラメーターをとる。すなわち、

$x(k+1) = [h_0, b_0, b_1, c_0, d_0]^T$ (ここに、 T :転置記号) とすると、式(8)の $\Phi(k) = E$ (E は単位行列)、式(9)の

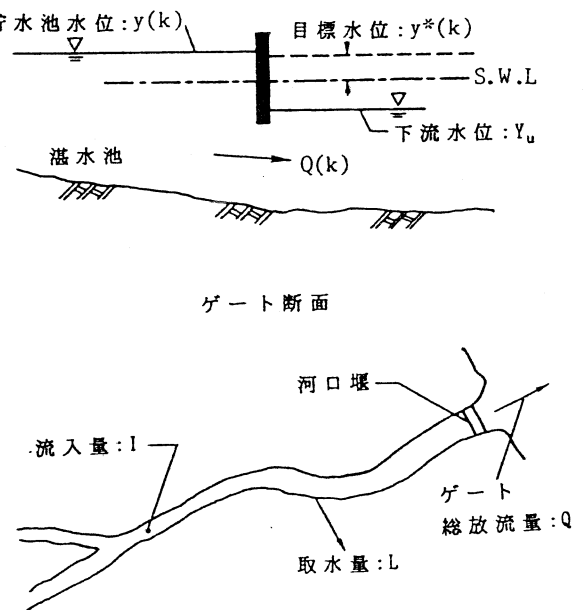


図-1 河口堰システム図

$z(k+1) = \Psi(k+1), M(k+1) = [y(k), Q(k), Q(k-1), I(k), L(k)],$
 $\beta(k+1) = -y^*(k+1), w(k+1) = v(k+1)$ に対応することがわかる。よって後はカルマンフィルターのアルゴリズムに従い各時点毎に逐次状態量 x の最適推定値が求まり、次いで式(7)より最適放流量 $Q(k)$ が求まる。以上の手順を要約すると、 k 時点においては $y(k), I(k), L(k), y^*(k+1), Q(k-1)$ が得られるので、式(10)のカルマンフィルターの観測量 $\Psi(k)$ が計算され、カルマンフィルターよりパラメータの最適推定値 $\hat{\theta}(k|k)$ が求まり、次いでこれらを用いて式(7)より k 時点の最適放流量 $Q(k)$ が求まる。また、実際の水位 $y(k+1)$ は $Q(k)$ を用いて式(1)より計算される。

3. 適用例とその考察 以上述べたSTCを以下の模擬発生データに適用しその有効性および特性の検討を行ってみよう。まず、時間刻み=10分として流入量 I 、取水量 L 、目標水位 y^* を図-2(a), (b)に示すように288時点(=2日)ほど予め与えておく。次に式(1)におけるシステムパラメータ $h_0 = 1.0, b_0' = -0.02, c_0 = 0.01, d_0 = -0.015$ 、式(4)の $\lambda' = 0.001$ 、式(11)の $b_0 = -0.07, b_1 = -0.05$ を真値として、これらのパラメータをカルマンフィルター理論により、逐次推定し最適放流量 Q を式(7)により求めていく。なおカルマンフィルターで同定する各パラメータの初期推定値は真値の50%の値を与えている。図-2(a)にSTCによる最適放流量 Q をまた、この Q に対応する水位 y を図-2(b)に示している。図-2(c)には、式(6)(10)の $\Psi(k), \hat{\Psi}(k+1|k)$ の値を示している。次に図-3は、カルマンフィルターによるパラメータ h_0, b_0, b_1, c_0, d_0 の同定過程を示している。なお図中の直線は真値である。図-3より各パラメータとも40時点程度で真値に収束している。図-2(a)の Q にも当初乱れが見られるが40時点以降は安定した放流量となっていて、流入量 I の形状と似た形状となっている。また、図-2(b)(c)の y, Ψ についても最初のうちは変動が大きいものの40時点以降ではパラメータが収束したことに対応して小さな変動量になっている。以上の結果よりシステムパラメータが精度良く同定されるので最適放流量 Q が精度良く求まり、その結果貯水池水位 y が目標水位 y^* のまわりに期待通り制御されることがわかった。

4. むすび 本報では、STCを河口堰制御問題に適用し、模擬発生データを用いて数値シミュレーションを行った。その結果 STCによる河口堰の操作の有用性が確かめられた。今後 STCを実際の河口堰ゲートに適用してその有用性および特性を検討し、さらに総放流量 Q とゲート開度の関係を考慮し、河口堰ゲートの自動制御を検討していくつもりである。

参考文献

1) Clarke, D.W. and Gawthrop, D.J.: Self-tuning Controller, Proc. IEE., vol.122, No.9, pp.929-934, 1975.
 2) 上田年比古・神野健二・河村 明: 適応的カルマンフィルターによる異常値検出について, 土木学会論文集, 第345号/II-1, pp.111-121, 1984年5月.

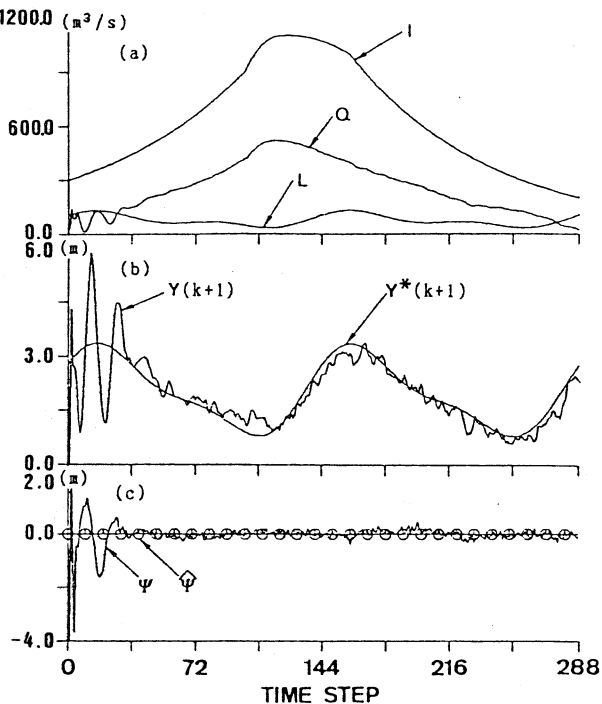


図-2 STCによる結果

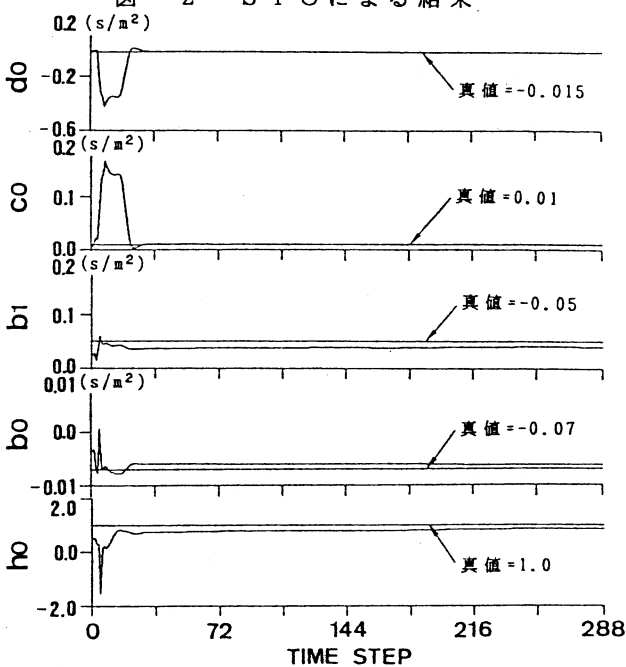


図-3 パラメータの同定過程

パラメータが精度良く同定されるので最適放流量 Q が精度良く求まり、その結果貯水池水位 y が目標水位 y^* のまわりに期待通り制御されることがわかった。