

口頭発表

船舶のトラッキング制御*

所長 北川 源四郎

1 船舶のオートパイロット

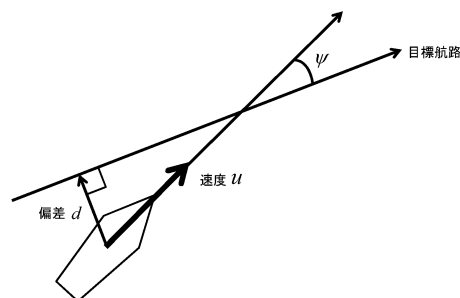
1960年代に急速に発達した最適制御理論は巨大な複雑システムへの適用には大きな困難があった。最適制御理論が前提とするシステムの変動を記述する状態空間モデルを得ることが困難だからである。赤池・中川(1972)は、多変量時系列モデルの状態空間表現を利用する統計的制御の方法を提案し、セメントロータリキルンの最適制御に成功した。その後、この方法は船舶のオートパイロットや火力発電所ボイラーの制御に適用され、実用化されてきた。

船舶のオートパイロットは、外洋を航行中、自動的に一定針路を保持するもので、従来はPID制御則に基づいて設計されていたが、小舵角の不安定領域を確実に避けるために bang-bang 制御型の制御を採用し、その結果、操舵量が過大になる等の問題点が指摘されていた。AR型オートパイロットは多変量ARモデルを経由して、舵角とYaw rate等との関係を表現する状態空間モデルを導出し、適当に定めた評価関数に対して最適制御理論によって操舵量を決定するものである。この方式によって、従来のオートパイロットよりも小さい操舵量で優れた保針性能が実現できるばかりでなく、横揺れなどの観測値もモデル変数に取り入れることによって、船体の揺れを減少させる減揺型オートパイロットも開発されている。

さらに近年、省エネルギー化の流れの中で、非定常モデルを用いて、環境の変化に自動的に対応させることによって省エネ制御を実験する外乱適用型のオートパイロットが実用化されている。

2 トラッキング制御

従来のオートパイロットで操船中に変針する場合には、手動操舵に切り換えるか、目的進路を適当に変化させることによって対応していた。しかし、近年のGPSの普及によって、船舶の正確な位置情報を利用し、指定した航路に沿って航行するトラッキング制御の実現が期待されている。本研究では針路の保持を目標に制御する従来の方式に代って、船体の航路(位置)を直接制御する新しいオートパイロットの開発を試みた。従来のオートパイロットでは、定常あるいは区分的な定常時系列モデルを用いてきたが、針路の変更にともなって波・風の方向が急激に変化したり、一定方向への横揺れが発生することが考えられるので、状態依存型の時系列モデルを用いることにした。



*Peng Hui 中南大学教授(統計数理研究所客員教授)および天津皓平東京海洋大学特任教授との共同研究

船体の時点 n における方向角を ψ_n , 舵角を δ_n とし, 船体運動が下記のような RBX-ARX (Radial Basis AutoRegressive eXogeneous) モデルで表現されるものとする。

$$(2.1) \quad \begin{aligned} \psi_n &= a_o(S_{n-1}) + \sum_{k=1}^m a_i(S_{n-1})\psi_{n-1} + \sum_{L=1}^L b_i(S_{n-1})\delta_{n-1} + \varepsilon_n \\ a_i(S_{n-1}) &= C_{io} + \sum_{k=1}^m C_{ik} \exp\left(-\lambda_k \|S_{n-1} - Z_k^a\|^2\right) \\ b_i(S_{n-1}) &= d_{io} + \sum_{k=1}^m d_{in} \exp\left(-M_h \|S_{n-1} - Z_k^b\|^2\right) \end{aligned}$$

ただし, ε_n は白色雑音, $S_{n-1} = (S_{n-1}, \dots, S_{n-p})^T$ はモデルの動特性を制御する外部変数, $Z_k^j = (Z_{k1}^j, \dots, Z_{kq}^j)$, $j = a, b$ は RBF ネットワークの中心とする。

ここで目標となる針路からの偏差を d_n , 船舶の速度を U とおくと

$$(2.2) \quad d_n = d_{n-1} + U \sin(\psi_{n-1}) \Delta t$$

と表現できる。さらに, 状態ベクトルおよび観測ベクトルを

$$(2.3) \quad X_n = (\psi_n, \dots, \psi_{n-M+1}, S_{n-1}, \dots, S_{n-L+1}, d_n)^T, \quad Y_n = (\psi_n, d_n)^T$$

と定義すると, 船体位置を表現する状態空間モデルが

$$(2.4) \quad X_n = A_{n-1}X_{n-1} + B_{n-1}\delta_{n-1} + V_n, \quad Y_n = CX_n$$

で与えられる。ただし, A_{n-1} および B_{n-1} は S_{n-1}, X_{n-1} の非線形関数 $a_j(S_{n-1}), b_j(S_{n-1}), d_{n-1}(X_{n-1})$ などを成分にもつ行列およびベクトル。

ここで, 与えられた針路 Y_n^r に, なるべく小さくかつ滑らかな操舵で追従させるために, 下記の評価基準

$$(2.5) \quad J = \|Y_n - Y_n^r\|_Q^2 + \|U_{min}\|_R^2 + \|\Delta U_n\|_S^2$$

を $U_{min} \leq U_n \leq U_{max}, \Delta U_{min} \leq \Delta U_n \leq U_{max}$ のもとで最小化するような U を求めることによって, 最適操舵量が決定できる。

3 今後の計画

これまでのシミュレーション実験では, 従来の線形近似したモデルを用いた場合よりも, トラッキング性能が優れていることが示されている。

現在, 実船実験にむけてモデリングおよび制御量計算プログラムの東京海洋大学の練習船への実装を行っており, 実船実験は6月以降に行われる予定である。この実験で, トラッキング制御の有効性が確認できた場合には, さらに次の目標である曳行する物体のトラッキング制御の問題にとりくむ予定である。

参考文献

Ohtsu, K., Horigome, N., and Kitagawa, G., (1979), "A new ship's autopilot design through a stochastic model", *Automatica*, **15**, 225–268.