○岡田有策（慶大・理工）

Calculation of simultaneous control-rate
at two dimensional manual control

Y.Okada (The Faculty of Sci. & Tech., Keio Univ.)

1. 緒言

情報を集約して、システム全体を制御する形態においては、それに携わる人間の特性を考慮することが重要なポイントとなる。

その中でも、制御特性は過去多くの研究がなされているが、ハードウェアの進歩にともなって、新たな研究課題が提起されている。

その課題の一つに、多変数制御の問題があるが、本研究では最も単純な2変数制御を対象とした。従来、2変数制御を調べるにあたっては、各制御ループの特性を把握し、それらを総合的に評価するケースが多い。しかし、制御ループが増えたことによる影響を観察したい場合は、各制御ループに割り当てている注意の変化、具体的には制御成績が何%低下したかになるだろう。いい変えと、2変数に同時に注意を払っている割合になる。そこで、我々はこの指標を、同時制御率と呼び、それをより端的に求め得る方法の導出を目的として本研究を行った。

2. 実験環境

モデル作業は単純なトラッキング作業とした。入力信号としては、定常ガウス確率過程に従う独立な二つの信号をフィルター（一次遅れ）に通したものをを用いた。

また、2変数を制御しているという色合いを明確にするため、それぞれX軸、Y軸方向にのみ動く2つの目標値を表示するようにした。この二つの目標値を一つのジョイスティックによって被験者は制御する。制御量の表示は、追跡

型、補償型の2つとした。

ただし、偏差量 D_i を以下のように定義する。

$$D_i = \int [X_i(t) - Z_i(t)]^2 dt / E.T.$$

実験時間; E.T.

$X_i(t)$; 時刻 t における第 i 目標値, $i=1, 2$

$Z_i(t)$; 時刻 t における第 i 目標値に対する制御量, $i=1, 2$

3. 偏差量からの算出

2変数制御を行う前に、準備した信号を目標値とする1変数制御を行い、各々に偏差量を求めた。これを基準偏差量 D_{1i} とし、2変数制御を行ったときに得られる偏差量 D_{2i} との比を算出した。変数が2つなので、当然比も二つ求まる。人間の能力が常に1で一定であると想定すると、この時の同時制御率 F_1 は、

$$F_1 = \{ \Sigma ((1/D_{2i}) / (1/D_{1i})) \} - 1$$

となる。

4. 通信容量からの算出

情報理論の中に、伝送速度-歪理論⁽¹⁾がある。詳細は省くが、これを用いると、偏差量からその制御ループにおける人間の通信容量を求めることができる。

この通信容量を用い、 F_2 を F_1 と同じように導くと、

$$F_2 = \{ \Sigma (R_{2i} / R_{1i}) \} - 1$$

が出る。

5. 変動速度と偏差量、通信容量

入力信号の変動速度を何段階か変化させながら1変数制御を行い、その偏差量、通信容量を求め、次のように変動速度の逆数との関係をプロットする。変動速度の逆数は、いわば制御にかけられる制限時間 T と考えるといいだろう。

図 通信容量と制限時間(変動速度の逆数)の関係

次に、2変数にしたときの D_{2i} 、 R_{2i} に相当する T_{2i} を図から導く。この時の1変数制御における制限時間は変動速度から T_{1i} と求まる。

一方、偏差量が目標値の分散より大きくなることはない。そのため、制限時間はどんなに短くなっても、 T_{0i} よりは短くならない。

これらをまとめて、偏差量からの制限時間を用いる同時制御率を F_3 、通信容量からの制限時間で求まるものを F と定義した。

$$F_3 = \Sigma (T_{2i} - T_{0i}) / (T_{1i} - T_{0i}) - 1$$

$$F_4 = \Sigma (T_{2i} - T_{0i}) / (T_{1i} - T_{0i}) - 1$$

6. γ -rateからの導出

離散ランダム系列の平均相互情報量を表す指標として γ -rateがある。(2)この系列が記憶のない定常ガウス確率過程に従う場合には0を採る。 $\gamma(x) = \log \sigma_x - (4\pi)^{-1} \int \log S_x(\omega) d\omega$

σ_x : 信号 X の標準偏差、

$S_x(\omega)$: 信号 X のパワースペクトル密度関数
この γ -rateを用いると、人間が制御する際に落とした情報量 $\gamma(H;x)$ を近似することができる。ただし、人間の伝達関数 $H(\omega)$ 、及び $H(\omega)^2$ を ω の関数として表す必要がある。

従って、このモデル化が大きなポイントとなる。モデルの正否は議論の余地があるだろうが、今回は $H(\omega) = \beta_{-1}e^{-i\omega} + \beta_0 + \beta_1e^{i\omega}$ とおいた。同時制御率ではないが、2変数制御に対する一

つの指標として考察する。

7. 検討と考察

各々の指標としての妥当性を検討する前に、実際の制御の様子を観察した。その結果、通常の2変数を合成表示させた実験においては、追跡、補償に関わらず実験全体に渡って、2つの変数はほとんど同時に制御されていた。一方、分離表示においては、同時制御の状態は極度に減少していた。特に、追跡型では、表示される点が4点である影響もあるのか、ほとんど同時制御は行われていない状態であった。

これら得られた結果をより端的に示しえるかどうかを主点において、各指標を評価した。

まず、 F_1 、 F_2 、 F_3 は合成表示実験においてはほぼ1の値を、分離表示では1よりも小さな値を出し、その大小関係も上記の結果に符合していた。しかし、追跡分離表示における同時制御率はどれも約50%程度を示しており、ほとんど同時制御が行われていないと言う結果を導くには至らない。

一方、 F_4 は $F_1 \sim F_3$ の特性を維持しつつ、実験条件に関わらず、追跡分離表示においてほぼ0値を示しており、これらの中では最も適切な指標と言える。

さて、 γ -rateによる指標だが、今回用いた目標値が制御者にとって平易なものであったためか実験条件の変化にも関わらず、 $\gamma(H;x)$ は0近傍の値となった。そのため、有意な差を見出すことができず、指標として評価することはできなかった。今後は、 $H(\omega)$ のモデルを含めて手動制御に対する有効性をさらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) T. Berger, Rate-Distortion Theory
Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1971
- 2) T. Yukimachi, Theory of Multivariate Information and its applications, a dissertation to Keio Univ. for Ph.D, 1974