

むだ時間系における最適制御とその設計法の拡張

電子制御工学科・松木 剛志

工業分野において、あるシステムの温度や回転数、速度など何らかの要素を一定の目標値に漸近的に到達させたいという要望は多く、その要望を叶える手法の 1 つにフィードバック制御があります。フィードバック制御は、制御する対象(システム)の状態(温度や回転数、速度など)を観測し、その状態が目標より大きければ減らす方向に、小さければ増やす方向に入力に帰還を加えることで、目標値との偏差を減らす手法です。このとき、観測した偏差をそのまま負帰還した方が良いのか、または適当な割合を掛けて帰還した方が良いのかは、そのシステムの特性に依ります。例えば、自動車の運転において、目標速度に到達するまでに掛かる時間は、アクセルの踏み具合(加速度)に依存します。この加速度を適切に調整することができれば、速やかに目標速度に到達します。このような機構を自動制御する場合、システムの特性を把握した上でどの程度の割合で帰還(フィードバックゲイン)を掛けるのか考える必要があります。加えて、対象を制御する際により良い制御性能を追求することは言うまでもなく、設計者はシステムの速応性と入力コストとのバランスを考えた上でフィードバックゲインを設計する必要があります。一般的に利用者は、低い入力コストで高い速応性が得られるシステムを望むでしょう。しかしながら、この 2 つの要望は相反するため、設計するシステムにおいてそれらの妥協点を見つけることが課題となってきます。この問題に対する手法として、LQ レギュレータが有名です。LQ レギュレータは、求める妥協点の指標を状態と入力からなる 2 次形式評価関数で与え、この関数を最小化する制御則を求める手法です。そして構成されたレギュレータは優れたロバスト性を持つことを保証されています。

この LQ レギュレータは、むだ時間を伴わないシステムに対しては容易に構成可能です。しかし実際には、機器の操作の遅れや物資などの輸送に要する時間としてむだ時間は至る所で生じています。むだ時間系は、むだ時間の系への含まれ方によって入/出力むだ時間系や状態むだ時間系に分類され、状態むだ時間系に対して LQ レギュレータを構成する場合、制御則は実時間積分を含む完全状態フィードバックとなり、むだ時間を含まない系と比べてフィードバックゲインを求める道程が困難となります。

この設計手順に対して、逆 LQ 問題を用いた構成手順が提案されています。この手順では先に制御則を決定し、その後に評価関数が得られます。これは設計者が評価関数を自由に選ぶことができないことを意味しますが、構成されたレギュレータは通常の LQ レギュレータと同様の優れたロバスト安定性を持つことが保証されています。この手法を状態むだ時間系に適用した最適メモリーレスレギュレータ構成法が提案されています。このレギュレータの制御則は、むだ時間分のメモリーを必要とせず、現在の状態のみを用いたメモリーレス型のフィードバック則によって構成されます。このため、制御則に実時間積分演算を含まない分、LQ レギュレータの構成に比べて実装が容易です。さらに、設計する条件は、確立した解析手法がある有限次元のリカッチ方程式または LMI(線形行列不等式)に帰着することができるため、最適なゲインを容易に求めることも可能です。ただし、リカッチ方程式による方法では、フィードバックゲインを求めるための方程式に必要なパラメータの組が、ごく限られた条件を満たさなければ与えられません。対して LMI アプローチは、より広い制御系に対応できる点が優れています。

時代と共に、工業分野は更に高度化し、設計法も同様に高度なものが要求されます。これからのシステムにも適用できる設計法を提案することは重要であり、先述の提案されている手法を拡張し、また新たな手法を提案していくことが必要となります。その中でも現在は、むだ時間を状態に含むシステムに対する制御系設計法の研究を行っています。

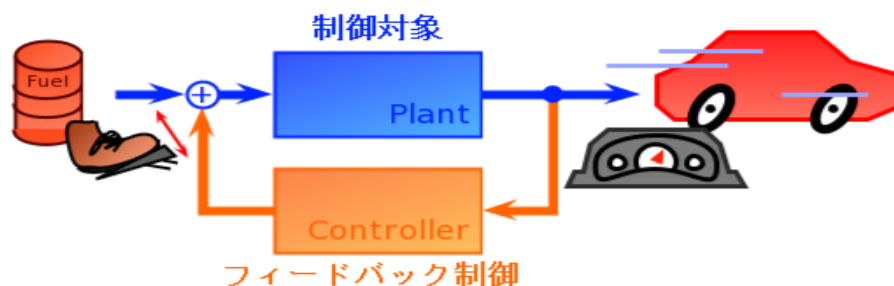


図 1 フィードバック制御のイメージ図