

## 論文の内容の要旨

### 1 申請者

防衛大学校 白石 洋平

### 2 論文題目

飛翔体誘導における動特性変動補正に関する研究

### 3 論文の内容の要旨

本研究は、飛翔体誘導における動特性変動を補正し、誘導精度を向上させることを目的として行った。大型航空機等と比較して急激な速度変化、質量変化が想定される飛翔体は、飛行中、その動特性を変動させ、誘導精度の劣化を引き起こす。本研究では飛翔体の動特性変動のうち、『速度方向の複雑な加速』、『システムの時定数変動』、『目標物体の予測できない運動や外乱項 (Uncertainty and Disturbance Term : UDT)』に着目した。そして、それらが引き起こす誘導精度の劣化を修正比例航法 (Modified Proportional Navigation : Modified PN) の改良、システムの時定数推定器 (Difference-Driven Filter : DDF) , UDT を推定する拡張 High-Gain Observer (HGO) によって防ぐ方法を提案する。以下に本研究の内容の要旨を述べる。

研究成果 1 : Modified PN を改良した誘導則 (改良型 Modified PN) の提案により、速度方向の複雑な加速の影響による不要な軌道の蛇行とそれに伴う誘導抵抗を減少させ、速度を維持する誘導を実現した。(ブーストフェーズ)

飛翔体を比例航法 (Proportional Navigation : PN) で誘導した際、速度方向の加速の影響で軌道は蛇行する。これを補正する先行研究として、Modified PN が挙げられる。Modified PN は Pure PN と PPN をある合成比によって組み合わせた誘導則であり、その合成比は飛翔体の速度方向の加速度によって決定される。従来手法は、飛翔体の速度方向の加速度が一定値で近似でき、かつ、既知であることを前提条件としていた。しかし、実際には速度帯によって異なる空気力、横加速度による誘導抵抗、質量変化が複雑に作用し合い、加速度の一定値での近似は無視できないほどの影響を誘導系に与える。そこで、より厳密に飛翔体の加速による影響を補正するために、空気力や質量変化を考慮した最適化計算を行い、最適解 (揚力係数の二乗時間積分を評価関数とする) を導出した。そして、最適解を Pure PN と PPN の組み合わせによって実現するゲインを決定する方法を提案した。

## 研究成果 2 : DDF によるシステムの時定数の推定 (ターミナルフェーズ)

誘導精度を劣化させる飛翔体自身の動特性に起因する要因として、『システムの時定数変動』が挙げられる。通常、システム設計を行う段階で時定数は想定されている。大型の航空機などの場合、システムの時定数はあまり変化せず、更に、多少であれば時定数の設定値と真値の誤差は誘導に大きな影響を与えない。一方で、本研究において着目した飛翔体は、大型航空機と比べて高速での運用が想定され、時定数の変動による誤差は誘導系に影響を及ぼし、その影響は速度増加に比例して増大する可能性を含んでいる。また、飛翔体はその機体重量の多くをロケットモーター推進剤が占めている。従って、飛行開始時の機体重量と会合直前での機体重量は大きく異なることが予測される。機体重量の変化は速度変化に影響するだけではなく、機体の慣性モーメント変化を引き起こし、飛翔体の誘導制御システム全体としての時定数の変化を助長する。通常の飛翔体の推進剤は推力、比推力、重力加速度によって決定される割合で時間の経過と共に減少することが知られている。従って、慣性モーメント変化の影響は、特に加速が終了し、目標物体との目視線距離が減少した際に増大する。そこで、本研究では提案する DDF によってブースト (ミッドコース) フェーズ終了時に設定値との誤差を生じている可能性があるシステムの時定数を推定し、誘導系への悪影響を局限する方法を提案した。

## 研究成果 3 : 拡張 HGO による UDT の推定 (ミッドコース・ターミナルフェーズ)

飛翔体の誘導精度を劣化させる要因のうち、目標物体との相対的な運動に起因するものとして『目標物体の予測できない運動や外乱項 (UDT)』が挙げられる。本研究では UDT を推定するために HGO の考えを応用した推定法を提案した。

本研究において提案する 3 つの補正方法は、飛翔体の特性に依存したものではなく、設定を変更することによって、あらゆる分野へ一般化しての適用が可能である。特に、システムの時定数の推定器は、誘導系に組み込んでおくことで、昨今、種類増加の一途をたどるドローンをはじめとした航空機や宇宙機、船舶、そして車両の開発における時定数の設計が不要となる可能性を含んでおり、誘導制御分野の発展に寄与し得るものである。ここに、本研究の工学的意義があると考ええる。

## 4 キーワード

「最適化」、「比例航法」、「改良型修正比例航法」、「不確かさ」、「拡張High-Gain Observer」、「Difference-Driven Filter」