関節格子機構の関節操作推定関数の探索法開拓

Development of search method for the joint operation estimation function applying to the jointed lattice structure

衣川　摂哉

Setsuya Kinugawa

Abstract: For the form system established at the first step of construction search of the engined wing EW-2, the form process search method efficient and applicable to a wide variety of form system is developed. This research is focused on the inner wing of the wing system under the acceleration change process for unmanned vehicle. Thus, an estimation renovating rule for the joint operation estimation function having variation parameters is constructed.

Key Words: jointed lattice structure, joint operation estimation, renovation rule, engined wing

1.序

エンジン翼 EW-2 の構成探索の第一段階において設定された形態系に対し，構成探索の第二段階で設定する形態過程探索法を開拓する.効率的で形態系の適用範囲の広い方法を得るため, 関節格子機構の関節操作推定関数の探索を行う.

2.関節角操作による形態過程探索

エンジン翼 EW-2 では広範囲な飛行状態で次の３つの形態過程が同時に実行される.

1.基準化過程

ローリングのない定常的な飛行に適する基準形態を速度，高度の変化に対応して最適化する形態過程 :

予め空気力学的に推定した速度，高度に応じた最適形態間を自動遷移させる.

2.空力弾性対応過程

空力弾性現象における弾性変形を自動的に検知し打消す形態過程 :

部材の弾性変形を関節の回転角保時により直接的に打消すことができる．このため，コントロールサーフェスの作動により空力モーメントを発生させる間接的な打消しに比べて初動で確実に変形を抑え振動を回避するのに有利である.

3.操作過程

操縦のための加速度変更を生じる形態過程 :

操縦入力に反応し，操縦入力から変換された加速度変化目標を実現するため関節角を変化させて形態過程を生成する.

1.基準化過程，　2.空力弾性対応過程の関節角変化が自動的恒常的に重ね合わされている状態（自動形態過程）下で更に加速度変更目標を実現する関節角操作が重ね合わされる.

従ってエンジン翼 EW-2 では, 翼体系の関節格子機構の複雑性を抑えて広範囲な飛行状態で効率的に目標加速度増分ベクトルを実現する関節操作を推定する関節操作推定関数を見出すことが重要である. このため, 関節操作推定関数の初期設定を飛行測定データにより更新し飛行適用性と精度を向上する方法を考える.

最初に「3.操作過程」のみの場合を扱い, 翼体系の特に内翼について関節操作推定関数の探索を試みる.

3. 関節操作推定関数の定義

各関節毎に

目標加速度増分ベクトル　$\vec{\Delta A}^t : (\Delta A^t_X, \Delta A^t_Y, \Delta A^t_Z)$

目標モーメント増分ベクトル

$\vec{\Delta N}^t : (\Delta N^t_X, \Delta N^t_Y, \Delta N^t_Z)$　, 速度,加速度,姿勢,形態,高度等の飛行状態を表す測定パラメータからなる飛行変数群 $\boldsymbol{P}^f$ を与える入力変数群

$\boldsymbol{T} = (\vec{\Delta A}^t, \vec{\Delta N}^t, \boldsymbol{P}^f)$　の入力により

縦関節操作角　$\Delta\theta_{Ic}$　, 横関節操作角　$\Delta\varphi_{Is}$

を出力する夫々縦関節操作推定関数（θ 関数）

$$\Delta\theta_{Ic} = F^{\theta}_{Ic}(\boldsymbol{T}) \qquad (1 \le Ic \le Ic_1) \tag{1-1}$$

横関節操作推定関数（φ 関数）

$$\Delta\varphi_{Is} = F^{\varphi}_{Is}(\boldsymbol{T}) \qquad (1 \le Is \le Is_1) \tag{1-2}$$

を関節操作推定関数と総称する.そして次の通りベクトル表示する.

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{D}^A + \boldsymbol{D}^N$$

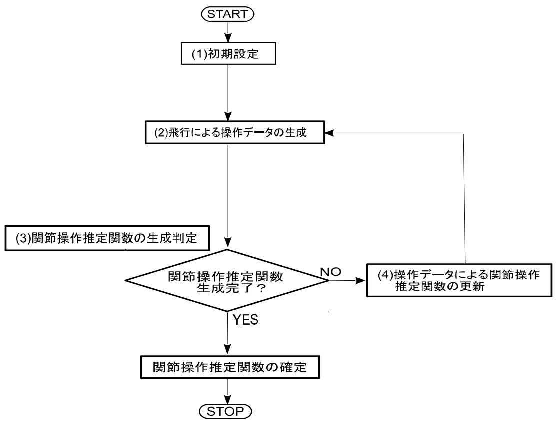
$$= \boldsymbol{F}(\boldsymbol{T}) = \boldsymbol{F}^A(\boldsymbol{T}^A) + \boldsymbol{F}^N(\boldsymbol{T}^N) \tag{1-3}$$

4.関節操作推定関数の探索法

段階構成

次の(1)から(4)の各ステップにより関節操作推定関数の探索法を構成する.第 1 図参照.

(1)初期設定
(2)飛行による操作データの生成
(3)関節操作推定関数の生成判定
(4)操作データによる関節操作推定関数の更新



第1図　関節操作推定関数探索法の流れ図

(2) 飛行による操作データの生成

第k飛行に使用する関節操作推定関数

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{F_k}(\boldsymbol{T}) =\boldsymbol{F_k^A}(\boldsymbol{T}^A)+\boldsymbol{F_k^N}(\boldsymbol{T}^N) \qquad (2)$$

を機載コンピュータにインストールして第k飛行を実施し，飛行番号kと入力識別番号 q で指定される入力値群

$[\boldsymbol{T}]_k^q=([\vec{\varDelta A^t}]_k^q,[\vec{\varDelta N^t}]_k^q,[\boldsymbol{P}^f]_k^q)$ を逐次

$(1\leq q\leq Q_k)$ 入力し，出力値群 $[\boldsymbol{D}]_k^q$ を得て，関節操作を行う．

次に，関節操作の結果生じる加速度増分ベクトルとモーメント増分ベクトルを測定し，次の通り表す．

$$[\boldsymbol{E}]_k^q=([\boldsymbol{M}^A]_k^q,[\boldsymbol{M}^N]_k^q,[\boldsymbol{D}^A]_k^q,[\boldsymbol{D}^N]_k^q,[\boldsymbol{T}^A]_k^q,[\boldsymbol{T}^N]_k^q)$$

5.近傍推定更新則

4.(4)「操作データによる関節操作推定関数の更新」に使用する近傍推定更新則を設定する．

(5-1)基準 $\vec{\varDelta A^c}$ 近傍推定更新則

基準ベクトル $\vec{\varDelta A^c}$ に対し $|\vec{\varDelta A^t}-\vec{\varDelta A^c}|<\varepsilon_c$ を満たす $\vec{\varDelta A^t}$ に対する縦関節操作量 $\varDelta\theta_{1,j,g}^A$ および横関節操作量 $\varDelta\varphi_{1,n,h}^A$ の推定更新則を与える．

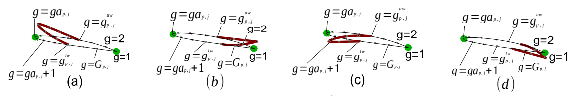
$\varDelta\theta_{1,j,g}^A$ の推定更新則

$$\varDelta\theta_{1,j,g}^A=\varDelta\theta_{1,j,g}^{A,c}+c_x|\mu_x|\cdot|\varDelta\theta_{1,j,g}^{A,c}| \qquad (3\text{-}1)$$

c_x を縦関節番号 g 毎に $\hat{c}(>0)$ を用いて $c_x=0$ 又は $c_x=+\hat{c}$ 又は $c_x=-\hat{c}$ で与える．

第1表　翼根側縦断面機構A型 $(j=1\sim ja_1)$ の c_X

$\vec{\varDelta A^t}$ 入力条件	$\varDelta A_Z^c\geq 0$ $\mu_X\geq 0$	$\varDelta A_Z^c\geq 0$ $\mu_X<0$	$\varDelta A_Z^c<0$ $\mu_X\geq 0$	$\varDelta A_Z^c<0$ $\mu_X<0$
g	c_x	c_x	c_x	c_x
$1\leq g\leq g_{1,j}^{uw}-1$	0	$-\hat{c}$	0	$\hat{c}$
$g_{1,j}^{uw}\leq g\leq ga_{1,j}$	$-\hat{c}$	0	$\hat{c}$	0
$ga_{1,j}+1\leq g\leq g_{1,j}^{lw}$	$\hat{c}$	0	$-\hat{c}$	0
$g_{1,j}^{lw}+1\leq g\leq G_{1,j}$	0	$\hat{c}$	0	$-\hat{c}$
第9図の対応図	(a)	(b)	(c)	(d)



第2図 縦断面機構A型の $\varDelta\theta_{1,j,g}^A$ 推定分布

$\varDelta\varphi_{1,n,h}^A$ の推定更新則

$$\varDelta\varphi_{1,n,h}^A=\varDelta\varphi_{1,n,h}^{A,c}+c_y|\mu_y|\cdot|\varDelta\varphi_{1,n,h}^{A,c}| \qquad (3\text{-}2)$$

c_y を横関節番号 h 毎に $\hat{s}(>0)$ を用いて $c_y=0$ 又は $c_y=+\hat{s}$ 又は $c_y=-\hat{s}$ で与える．

第2表　横断面機構A型 $(n=1\sim na_1)$ の c_Y

$\vec{\varDelta A^t}$ 入力条件	$\varDelta A_Z^c\geq 0$ $\mu_Y\geq 0$	$\varDelta A_Z^c\geq 0$ $\mu_Y<0$	$\varDelta A_Z^c<0$ $\mu_Y\geq 0$	$\varDelta A_Z^c<0$ $\mu_Y<0$
h	c_y	c_y	c_y	c_y
$1\leq h\leq h_{1,n}^{uw}-1$	0	$\hat{s}$	0	$-\hat{s}$
$h_{1,n}^{uw}\leq h\leq 2(J_1-1)$	$\hat{s}$	0	$-\hat{s}$	0
$2J_1-1\leq h\leq h_{1,n}^{lw}$	$-\hat{s}$	0	$\hat{s}$	0
$h_{1,n}^{lw}+1\leq h\leq 4(J_1-1)$	0	$-\hat{s}$	0	$\hat{s}$

(5-2)基準　$\varDelta\vec{N}^{c}$　近傍推定更新則

(5-2-1)　$\varDelta\theta^{N}_{1,j,g}$　の推定更新則

基準ベクトル　$\varDelta\vec{N}^{c}$　に対し

$\left|\varDelta\vec{N}^{t}-\varDelta\vec{N}^{c}\right|<\varepsilon_{c}$　を満たす　$\varDelta\vec{N}^{t}$　に対する縦関節操作量　$\varDelta\theta^{N}_{(1,j,g)}$　の推定更新則を与える．

$\varDelta\theta^{N}_{(1,j,g)}$　をローリングモーメント操作量

$\varDelta\theta^{NR}_{(1,j,g)}$　,ピッチングモーメント操作量

$\varDelta\theta^{NP}_{(1,j,g)}$　,ヨーイングモーメント操作量

$\varDelta\theta^{NY}_{(1,j,g)}$　の重ね合せで次の通り与える．

$$\varDelta\theta^{N}_{(1,j,g)}=\varDelta\theta^{NR}_{(1,j,g)}+\varDelta\theta^{NP}_{(1,j,g)}+\varDelta\theta^{NY}_{(1,j,g)} \quad (4\text{-}1)$$

また，$\varDelta\vec{N}^{c}$　に対する操作量　$\varDelta\theta^{N,c}_{(1,j,g)}$　を

ローリングモーメント操作量　$\varDelta\theta^{NR,c}_{(1,j,g)}$　,

ピッチングモーメント操作量　$\varDelta\theta^{NP,c}_{(1,j,g)}$　,

ヨーイングモーメント操作量　$\varDelta\theta^{NY,c}_{(1,j,g)}$　の重ね合せで次の通り与える．

$$\varDelta\theta^{N,c}_{(1,j,g)}=\varDelta\theta^{NR,c}_{(1,j,g)}+\varDelta\theta^{NP,c}_{(1,j,g)}+\varDelta\theta^{NY,c}_{(1,j,g)} \quad (4\text{-}2)$$

そして，$\varDelta\theta^{NR}_{(1,j,g)}$　,　$\varDelta\theta^{NP}_{(1,j,g)}$　,　$\varDelta\theta^{NY}_{(1,j,g)}$　を夫々　$\varDelta\theta^{NR,c}_{(1,j,g)}$　,　$\varDelta\theta^{NP,c}_{(1,j,g)}$　,　$\varDelta\theta^{NY,c}_{(1,j,g)}$　からの変化量　$\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}$　,　$\varDelta^{2}\theta^{NP}_{(1,j,g)}$　,　$\varDelta^{2}\theta^{NY}_{(1,j,g)}$　を用いて次の通り表す．

$$\varDelta\theta^{NR}_{(1,j,g)}=\varDelta\theta^{NR,c}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)} \quad (4\text{-}3)$$

$$\varDelta\theta^{NP}_{(1,j,g)}=\varDelta\theta^{NP,c}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NP}_{(1,j,g)} \quad (4\text{-}4)$$

$$\varDelta\theta^{NY}_{(1,j,g)}=\varDelta\theta^{NY,c}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NY}_{(1,j,g)} \quad (4\text{-}5)$$

(4-3), (4-4), (4-5)を(4-1)に用いて

$$\begin{aligned}\varDelta\theta^{N}_{(1,j,g)}&=\varDelta\theta^{NR,c}_{(1,j,g)}+\varDelta\theta^{NP,c}_{(1,j,g)}+\varDelta\theta^{NY,c}_{(1,j,g)}\\&\quad+\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NP}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NY}_{(1,j,g)}\\&=\varDelta\theta^{N,c}_{1,j,g}+\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NP}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NY}_{(1,j,g)}\end{aligned} \quad (4\text{-}6)$$

(4-6)をまた次の通り表す．

$$\varDelta\theta^{N}_{(1,j,g)}=\varDelta\theta^{N,c}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{N}_{(1,j,g)} \quad (4\text{-}7\text{-}1)$$

$$\varDelta^{2}\theta^{N}_{(1,j,g)}=\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NP}_{(1,j,g)}+\varDelta^{2}\theta^{NY}_{(1,j,g)} \quad (4\text{-}7\text{-}2)$$

次に　$\varDelta\vec{N}^{c}:(\varDelta N^{c}_{X},\varDelta N^{c}_{Y},\varDelta N^{c}_{Z})$　に対する

$\varDelta\vec{N}^{t}:(\varDelta N^{t}_{X},\varDelta N^{t}_{Y},\varDelta N^{t}_{Z})$　の偏差割合を定義する．

X 方向の偏差割合

$$v_{X}\equiv\frac{\varDelta N^{t}_{X}-\varDelta N^{c}_{X}}{\left|\varDelta N^{c}_{X}\right|} \quad (4\text{-}8)$$

Y 方向の偏差割合

$$v_{Y}\equiv\frac{\varDelta N^{t}_{Y}-\varDelta N^{c}_{Y}}{\left|\varDelta N^{c}_{Y}\right|} \quad (4\text{-}9)$$

Z 方向の偏差割合

$$v_{Z}\equiv\frac{\varDelta N^{t}_{Z}-\varDelta N^{c}_{Z}}{\left|\varDelta N^{c}_{Z}\right|} \quad (4\text{-}10)$$

(4-8), (4-9), (4-10)および　$d_{R}(>0)$　,　$d_{P}(>0)$　,　$d_{Y}(>0)$　を用いて(4-7-2)の変化量を次の通り生成する．

$\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}$　の生成

$1\le j\le j_{R}$

翼上側　$(1\le g\le ga_{1,j}-1)$

$$\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}=d_{R}\cdot v_{X}\cdot\left|\varDelta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}11)$$

翼下側　$(ga_{1,j}\le g\le G^{w}_{1})$

$$\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}=-d_{R}\cdot v_{X}\cdot\left|\varDelta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}12)$$

$j_{R}+1\le j\le j_{T}-1$

翼上側　$(1\le g\le ga_{1,j}-1)$

$$\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}=0 \quad (4\text{-}13)$$

翼下側　$(ga_{1,j}\le g\le G^{w}_{1})$

$$\varDelta^{2}\theta^{NR}_{(1,j,g)}=0 \quad (4\text{-}14)$$

$j_{T}\le j\le J_{1}$

翼上側　$(1\le g\le ga_{1,j}-1)$

$$\Delta^2\theta^{NR}_{(1,j,g)}=-d_R\cdot v_X\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}15)$$

翼下側　$(ga_{1,j}\leq g\leq G^w_1)$

$$\Delta^2\theta^{NR}_{(1,j,g)}=d_R\cdot v_X\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}16)$$

$\Delta^2\theta^{NP}_{(1,j,g)}$　の生成

$1\leq j\leq J_1$

翼上側　$(1\leq g\leq ga_{1,j}-1)$

$$\Delta^2\theta^{NP}_{(1,j,g)}=-d_P\cdot v_Y\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}17)$$

翼下側　$(ga_{1,j}\leq g\leq G^w_1)$

$$\Delta^2\theta^{NP}_{(1,j,g)}=d_P\cdot v_Y\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}18)$$

$\Delta^2\theta^{NY}_{(1,j,g)}$　の生成

$1\leq j\leq j_R$

翼上側　$(1\leq g\leq ga_{1,j}-1)$

$$\Delta^2\theta^{NY}_{(1,j,g)}=-d_Y\cdot v_Z\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}19)$$

翼下側　$(ga_{1,j}\leq g\leq G^w_1)$

$$\Delta^2\theta^{NY}_{(1,j,g)}=-d_Y\cdot v_Z\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}20)$$

$j_R+1\leq j\leq j_T-1$

翼上側　$(1\leq g\leq ga_{1,j}-1)$

$$\Delta^2\theta^{NY}_{(1,j,g)}=0 \quad (4\text{-}21)$$

翼下側　$(ga_{1,j}\leq g\leq G^w_1)$

$$\Delta^2\theta^{NY}_{(1,j,g)}=0 \quad (4\text{-}22)$$

$j_T\leq j\leq J_1$

翼上側　$(1\leq g\leq ga_{1,j}-1)$

$$\Delta^2\theta^{NY}_{(1,j,g)}=d_Y\cdot v_Z\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}23)$$

翼下側　$(ga_{1,j}\leq g\leq G^w_1)$

$$\Delta^2\theta^{NY}_{(1,j,g)}=d_Y\cdot v_Z\cdot\left|\Delta^{N,c}_{(1,j,g)}\right| \quad (4\text{-}24)$$

(5-2-2)　$\Delta\varphi^N_{(1,n,h)}$　の推定更新則

基準ベクトル　$\Delta\vec{N}^c$　に対し

$\left|\Delta\vec{N}^t-\Delta\vec{N}^c\right|<\varepsilon_c$　を満たす　$\Delta\vec{N}^t$　に対する横関節操作量　$\Delta\varphi^N_{(1,n,h)}$　の推定更新則を次の通り与える.

$$\Delta\varphi^N_{(1,n,h)}=\Delta\varphi^{N,c}_{(1,n,h)}+\Delta^2\varphi^N_{(1,n,h)} \quad (4\text{-}25)$$

$$\Delta^2\varphi^N_{(1,n,h)}=0 \quad (4\text{-}26)$$

6.結論

「基準　$\Delta\vec{A}^c$　近傍推定更新則」に現れる　$\Delta\theta^A_{1,j,g}$　計算式の係数　c_x　,　$\Delta\varphi^A_{1,n,h}$　計算式の係数　c_Y　を可変パラメータとした.

「基準　$\Delta\vec{N}^c$　近傍推定更新則」を具体化し, ローリング, ピッチング, ヨーイングの各可変パラメータ　d_R , d_Y , d_Pを導入した.

7.今後の課題

●無人機に適用する仮想構成の複雑性を減じ関節操作推定関数の適用性, 精度の達成に必要な飛行回数を抑えるため, 操作データを仮定的に与えて可変パラメータ c_X, c_Y, d_R , d_Y , d_Pの探索を行う.

●関節操作推定への流体力学的推定の反映等が挙げられる.

参考文献

1) 「第４５期年会講演会　講演原稿　関節格子機構に適用する関節操作推定関数の開拓」衣川摂哉