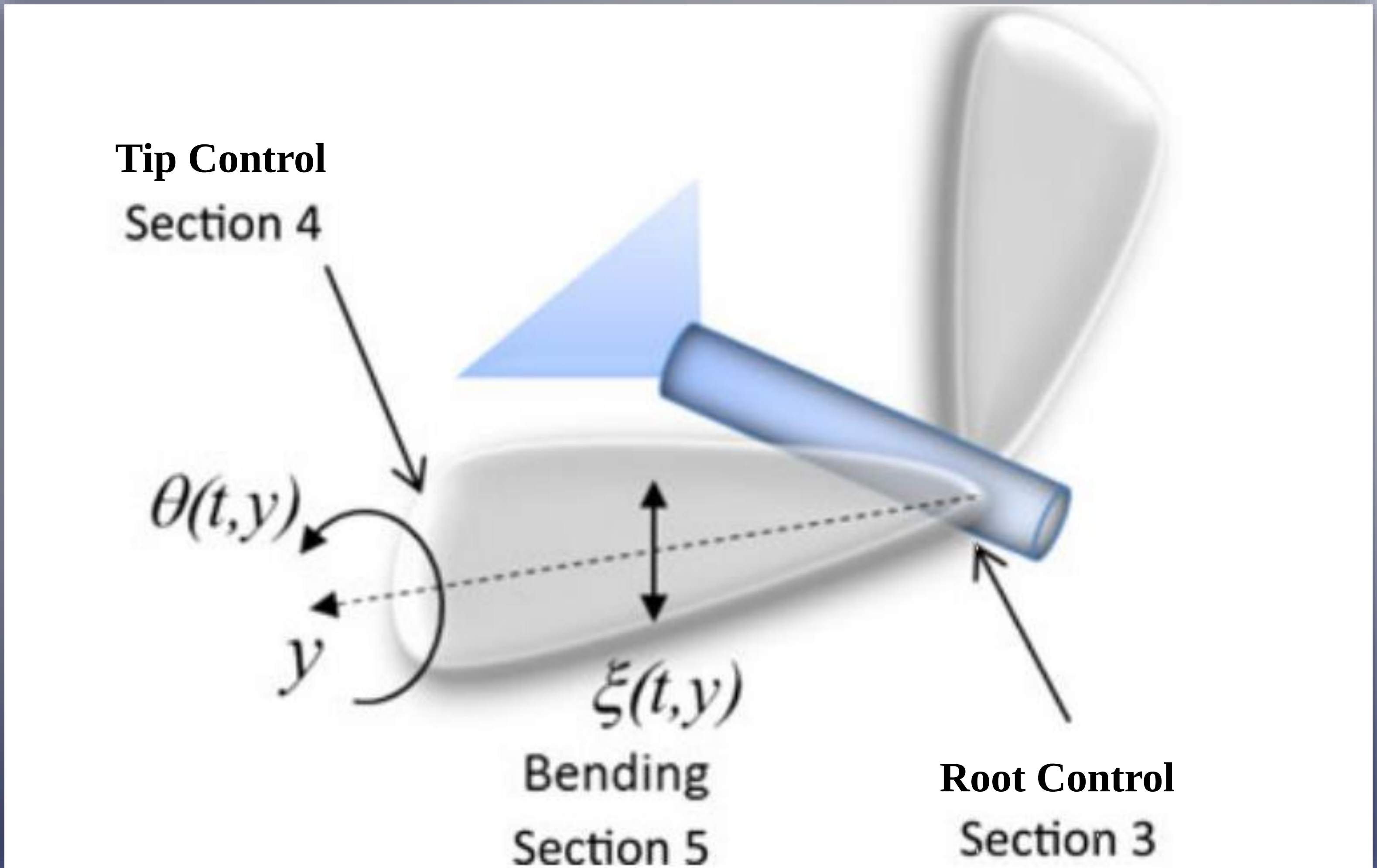
Математическое моделирование управления гибким крылом

Докладчик: Александр Кравченко


Tip Control
Section 4
θ(t,y)
y
ξ(t,y)
Bending
Section 5
Root Control
Section 3

$$\begin{bmatrix} \tilde{m} & -\tilde{m}x_e c \\ -\tilde{m}x_e c & I_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_{tt} \\ \theta_{tt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta E I_b \xi_{tyyyy} + E I_b \xi_{yyyy} \\ -\eta G\tilde{J}\theta_{tyy} - G\tilde{J}\theta_{yy} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} F_b(\xi_y, \theta, \mathbf{u}, \dot{\mathbf{u}}_B) \\ -x_a c F_b(\xi_y, \theta, \mathbf{u}, \dot{\mathbf{u}}_B) \end{bmatrix}$$

Tip-based actuation:

$$\xi(t,0) = \xi_y(t,0) = \xi_{yy}(t,L) = 0$$

$$\xi_{yyy}(t,L) = \frac{F_{\mathrm{tip}}(t)}{EI_b}, \quad \theta(t,0) = 0, \quad \theta_y(t,L) = \frac{M_{\mathrm{tip}}(t)}{G\tilde{J}}$$

Root-based actuation:

$$\xi(t,0) = \xi_{yy}(t,L) = 0 = \xi_{yyy}(t,L) = 0$$

$$\xi_y(t,0) = \delta_R(t), \quad \theta(t,0) = \theta_R(t), \quad \theta_y(t,L) = 0.$$

$$m(\dot{\mathbf{u}}_B + S(\boldsymbol{\omega}_B)\mathbf{u}_B) + \tilde{m}\int_w (\dot{\mathbf{u}}_f + S(\boldsymbol{\omega}_B)\mathbf{u}_f)dy = \mathbf{F}_{\text{net}}$$

$$\mathbf{J}\dot{\boldsymbol{\omega}}_B + S(\boldsymbol{\omega}_B)J\boldsymbol{\omega}_B + \int_w (I_p(y)\dot{\boldsymbol{\omega}}_f + S(\boldsymbol{\omega}_B)I_p(y)\boldsymbol{\omega}_f)\,dy$$

$$= \mathbf{M}_{\text{net}}$$

Целью контроля является обеспечение.

$$\lim_{t\to\infty}\left(\int_0^L \theta(t,y)dy - H(t)\right) = 0 \text{ (net lift)}$$

$$\theta_{tt}(t,y) - b\theta_{tyy}(t,y) - a\theta_{yy}(t,y) = M\theta(t,y)$$
$$\theta(t,0) = U(t), \quad \theta_y(t,L) = 0.$$

$$w(t,y) = \int_L^y \theta(t,x)dx.$$

$$w_{tt} - bw_{tyy} - aw_{yy} = Mw, \;\; w(t,L) = 0, \;\; w_y(t,0) = U(t)$$

Шаги метода

- Получить преобразование w-динамики в некую устойчивую v-динамику
- Посчитать граничное условие v(t,0)
- Получить траекторию с граничными условиями v-динамики.

Определим преобразование Вольтерра:

$$v(t,y) = w(t,y) - \int_L^y k(y,x) w(t,x) dx$$

И v-динамику:

$$v_{tt} - bv_{tyy} - av_{yy} = Mv - bpv_t - apv, \quad v(t,L) = 0, \quad p > 0.$$

Ядро k(y,x) – это решение УЧП Клейна–Гордона

$$k_{xx}(y,x) - k_{yy}(y,x) = -pk(y,x), \quad k(y,L) = 0$$

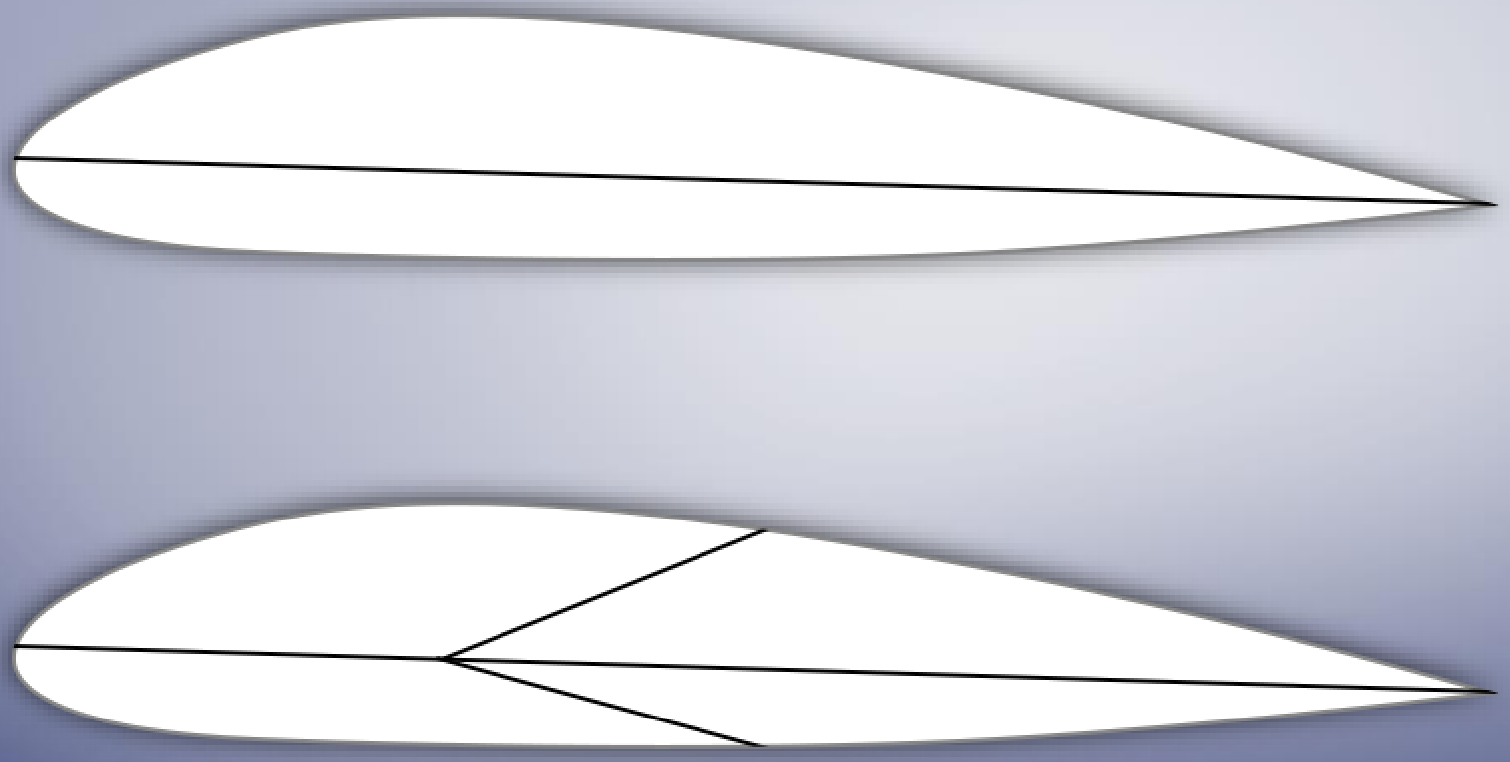
$$k(y,y) = \frac{p}{2}(L - y)$$

Определим v^r-динамику:

$$v_{tt}^r - bv_{tyy}^r - av_{yy}^r = Mv^r - bpv_t^r - apv^r, \quad v^r(t, L) = 0$$

Так как $v^r(t, L)=0$:

$$v^r(t, y) = \sum_{j=1}^{N} \eta_j(t) \frac{(L-y)^j}{j!}.$$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!