

SAC: Especificación Matemática Forense

Interfaz personal TMRCU con falsabilidad y control seguro

Proyecto TMRCU / MSL

26 de agosto de 2025

Resumen

Esqueleto forense del SAC: estado latente multiescala, gemelo digital, inferencia bayesiana en línea y control predictivo robusto (MPC) con CVaR y barreras de seguridad. Predicciones y pruebas preregistradas.

1. Estado, acción, observación

$\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t; \boldsymbol{\theta}) + \mathbf{w}_t$, $\mathbf{y}_t = \mathbf{h}(\mathbf{x}_t; \boldsymbol{\theta}) + \mathbf{v}_t$. Estado incluye \mathbf{a} , R_s , R_n , I , ρ_{sen} , M , Σ_g ; acciones: estímulos no invasivos y rutinas seguras; sensores: EEG/ECG/PPG/resp/actigrafía.

2. Cierre TMRCU

$\mathbf{a}_{t+1} = \mathbf{a}_t + \Delta t [-\mathbf{L}D\mathbf{a}_t - \eta\mathbf{a}_t - \beta\nabla_{\mathbf{a}}V(\mathbf{a}_t) + \alpha_{sn}R_s + \alpha_{nn}R_n - \lambda_I I]$; dinámicas para R_s , R_n , I , ρ_{sen} , M acopladas.

3. Inferencia

Filtro no lineal (UKF/EnKF/partículas) para $p(\mathbf{x}_t|\mathbf{y}_{1:t})$; adaptación de parámetros con EM/SGD bayesiano.

4. MPC con seguridad

Envolvente saludable \mathcal{C} y costo $J_t = \mathbb{E} \sum (\|\mathbf{x} - \mathbf{x}^*\|_{\mathbf{Q}_c}^2 + \|\mathbf{u}\|_{\mathbf{R}_c}^2 + \lambda_{\text{env}} \mathbf{1}_{\mathbf{x} \notin \mathcal{C}})$ con riesgo CVaR. Barrera $B(\mathbf{x})$ garantiza $B(\mathbf{x}_{t+1}) - B(\mathbf{x}_t) \geq -\kappa_B B(\mathbf{x}_t)$.

5. Estabilidad

Lyapunov práctico: $\mathbb{E}[\Delta V] \leq -\delta \|\mathbf{x} - \mathbf{x}^*\|^2 + c \|\mathbf{w}\|^2$.

6. Falsabilidad

Pruebas preregistradas: $\Delta R_n \geq 0.06 \pm 0.02$ (10 Hz, 8 min); $\Delta I \leq -0.03 \pm 0.02$ y $\Delta \langle \Sigma_c \rangle \geq +0.02 \pm 0.02$ (24–48 h); robustez $\mathbb{P}(\mathbf{x} \in \mathcal{C}) \geq 0.9$ por 30 días. Refutación si no se alcanzan a $\alpha = 0.01$ y potencia ≥ 0.9 .

7. Privacidad y failsafe

Fusión *on-device*; límites duros en $\mathcal{U}_{\text{safe}}$; congelar control si deriva del modelo o error fuera de banda.

8. Bucle

loop: $y_t \rightarrow \text{filtro} \rightarrow \text{MPC} \rightarrow \text{aplicar } u \rightarrow \text{adaptar parámetros} \rightarrow \text{loggear}$