

ABSTRACT

Quadrotor is a kind of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platform, which has been widely used by civilian and military, and nowadays it becomes a standard model for flying robot research objects. It has cross-shaped frame with 4 independent rotors mounted on the frame edge as the controllers. Basically the non linear model of the quadrotor is very unstable. Moreover, it is very difficult to obtain an ideal quadrotor model because it is impossible to identify every parameter for sure. The classic controller such as PID controller, can not be used to directly address the problems that occur in the internal system. Model Reference Adaptive Control (MRAC) system is proposed to resolve the issue on the MIMO system of quadrotor linear model with 12 states feedback, 4 inputs from each single rotor, and 4 output in the form of x, y, z and yaw attitude.

MRAC with Lyapunov direct method is chosen rather than MIT Rule method, because it can be applied directly and does not require the convergence condition of the plant parameters. The MRAC adaptation equation is derived from the candidate Lyapunov function in quadratic forms, which is formulated from tracking error estimation of 12 state variables to adjust the input controller gain, which consists of 12 states feedback and input reference matrix component. Adaptation variable constant γ is determined to adjust the adaptation system stability, in order to adapt the reference model characteristic.

MRAC system is able to produce the stability of plant model due to some different parameters by tuning the adaptation constant value $\gamma = 10^{-5}$. The simulation results show that the adaptation process generates the adaptive gain input to overcome the input parameter disturbances with 0,005 seconds delay and 0.01% steady state error. The system is robust against the increase of the quadrotor's total mass up to 12 kg, minimum gain value 0.001, and also the interference of time-varying input gain with 15 Hz frequencies. The system is able to reduce the disturbances by applying the higher adaptation gain constant value.

Keywords : quadrotor, adaptive control, state space, MRAC, linearized model, Lyapunov direct method

INTISARI

Quadrotor adalah salah satu jenis model *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang telah banyak dimanfaatkan oleh sipil maupun militer, serta menjadi model standar untuk penelitian robot terbang di seluruh dunia, memiliki konfigurasi sayap putar dengan pengendali 4 buah rotor independen yang terpasang pada setiap ujung kerangka berbentuk silang. Pada dasarnya model nir linier quadrotor tidak stabil. Tidak semua parameter quadrotor dapat diidentifikasi sehingga sulit untuk mendapatkan karakteristik model quadrotor yang ideal. Untuk mengatasi masalah tersebut tidak bisa diselesaikan oleh pengendali klasik seperti PID, sehingga diperlukan sistem kendali adaptif yang berorientasi pada cara untuk menghilangkan gangguan parameter yang tidak diketahui, secara langsung di dalam sistem. Sistem Kendali Adaptif Model Acuan (SKAMA) diterapkan untuk mengatasi masalah tersebut pada model linier quadrotor dengan umpan balik 12 variabel keadaan, 4 masukan dari masing-masing rotor, dan 4 keluaran berupa posisi x , y , z dan sikap yaw .

Pada penelitian ini akan diimplementasikan pengendali adaptif SKAMA dengan metode langsung Lyapunov, yang memiliki kelebihan dibandingkan metode MIT *Rule*, yaitu tidak memerlukan syarat konvergensi parameter kendaliannya, serta dapat bekerja secara *online*. Persamaan adaptasi SKAMA diperoleh dari kandidat fungsi Lyapunov bentuk kuadrat yang diformulasikan dari penjejakan estimasi kesalahan 12 variabel keadaan untuk menala pengendali masukan kendalian, yang terdiri dari komponen matriks umpan balik 12 keadaan dan masukan acuan. Dari persamaan tersebut ditentukan variabel konstanta adaptasi γ sebagai penala kestabilan sistem agar memiliki karakteristik yang menyerupai karakteristik model acuan yang diharapkan.

Hasil simulasi menunjukkan model linier quadrotor sebagai kendalian yang tak stabil dapat beradaptasi dengan model acuan yang optimal dan stabil sehingga menghasilkan kendali masukan kendalian yang menyerupai kinerja sistem model acuan. Semakin tinggi nilai konstanta adaptasi maka sistem akan semakin tahan terhadap gangguan. Hasil adaptasi dengan konstanta adaptasi $\gamma = 10^{-5}$ menghasilkan tanggapan stabil waktu tunda adaptasi 0,005 detik dengan kesalahan tunak 0,01%. Sistem mampu mengatasi gangguan parameter massa hingga 12 kg, penurunan *gain* masukan minimum $g = 0,001$, serta gangguan nilai *gain* masukan yang berubah terhadap waktu $g(t)$ dengan frekuensi maksimal 15 Hz. Perubahan parameter yang melebihi batas-batas nilai tersebut dapat diatasi dengan meningkatkan nilai konstanta adaptasi $\gamma > 10^{-5}$.

Kata Kunci – SKAMA, kendali adaptif, quadrotor, persamaan ruang keadaan, model linier, metode langsung Lyapunov.