# Ottimizzazione della stabilizzazione di un multirotore

Di Edouard Lafargue
22 Settembre 2010

## Introduzione

Per ottenere che un multirotore voli nel miglior modo possibile, è necessario ottimizzarne i parametri del sistema di controllo di stabilizzazione. Ogni multirotore è diverso per dimensioni, distanza tra le eliche, motori ed ESCs, quindi ogni multirotore richiederà una specifica messa a punto.

## OpenPilot TV Episode 2 - Regolazione PID

Questo video è più di ciò che avreste sempre voluto sulla regolazione dei PID per un multirotore. Il video fornisce una breve panoramica dello schema di controllo OpenPilot, seguita da una dimostrazione di messa a punto di un quadricottero, prima sospeso su una stringa e poi in volo svincolato.
Vengono mostrate le conseguenze sul volo quando i vari parametri sono troppo alti, in modo da aiutare gli utenti a individuare i problemi di messa a punto.

http://vimeo.com/25839978

---

## L'algoritmo di stabilizzazione.

L'attuale algoritmo di stabilizzazione si basa su una duplice regolazione PI (proporzionale-integrale), il ciclo interno o Inner PI Loop e il ciclo esterno o Outer PI Loop.
L'Inner Loop cerca di uguagliare la velocità di rotazione misurata attorno ad un asse alla velocità di rotazione richiesta. L'Outer Loop (non utilizzato in modalità "Rate") cerca di far corrispondere la posizione stimata del velivolo alla posizione richiesta, cioè raggiungere e mantenere le inclinazioni richieste.

Il modulo di stabilizzazione su OpenPilot ti permette di volare in modalità sia "Attitude" che in "Rate". Come suggerisce il loro nome (in inglese), la stabilizzazione "Attitude" traduce i comandi manuali in valori assoluti per le inclinazioni di rollio e beccheggio e di scostamento angolare per l'imbardata. "Rate", al contrario, traduce i comandi in un rollio / beccheggio / imbardata (una azione continua fintanto che il comando è attivo).

## Spiegazione semplificata

Voi volete che il vostro multirotore sia stabile durante il volo, sia quando lasciate gli stick, sia mentre si muove.
Per ottenerlo, il software OpenPilot utilizza un controller di loop PI. Il controller di loop PI non sa nulla del tuo multirotore, ad eccezione di un paio di cose come, che tipo di multirotore è (ad esempio Quad-X o Tri) e la posizione livellata (la si specifica quando si fa clic su "Zero the Accel bias" nella GCS).

Il tipo di multirotore non è così importante quando si parla di stabilizzazione. Poiché il regolatore PI sa soltanto qual'è la posizione attuale e non sa come reagirà il vostro velivolo, utilizza valori di errore tra dove dovrebbe essere e dove si trova. La differenza tra la posizione misurata e quella che dovrebbe avere è il valore di errore proporzionale. Il controller di loop PI non ottiene mai un valore di errore perfetto, così esso misura la differenza tra l'errore attuale e l'errore proporzionale a lungo termine e ottiene il valore di errore integrale. Quando si modifica il valore di Ki (integrale) e Kp (proporzionale) nella GCS, si sta dando a questi valori un peso nel controller di loop PI.
La messa a punto è un compromesso tra parametri troppo alti che tendono a far oscillare e tremare il velivolo, e troppo bassi, che lo rendono lento e poco reattivo.

## Che cosa la messa a punto cerca di realizzare

Se questa è la prima volta che regoli un PI controller, dovresti chiederti, "Cosa sto cercando di raggiungere quando avrò terminato la messa a punto del ciclo PI?". Inizialmente cercherai di rimuovere le oscillazioni dal tuo multirotore e nulla più. Non passare ore a regolare il tuo multirotore cercando i valori perfetti. Rimuovi le oscillazioni e poi vola in modalità Attitude.
Ecco come si esegue questa operazione:

**Tipi di oscillazione**

Se state ottimizzando per la prima volta, è difficile sapere che cosa stai cercando con l'ottimizzazione.
In generale le oscillazioni proporzionali (Kp) e integrali (Ki) sembrano uguali quando i loro valori sono troppo alti. Come ci si avvicina al livello ottimale, le oscillazioni cambiano come segue:

Oscillazioni Kp - oscillazioni molto veloci. Un buon esempio: le braccia del tuo quad si muovono su e giù rapidamente. Spesso l'oscillazione tende a peggiorare.

Oscillazioni Ki - lente oscillazioni intorno al punto stabile. Un po 'come quando si sta in hovering (in assenza di vento), ed il multirotore esegue cerchi attorno ad un punto invece di stare immobile.

Quando si nota che il multirotore diventa instabile durante bruschi cambiamenti di assetto, ma vola stabile durante il volo normale, controllare le seguenti due cose:
che la frenatura dell'ESC sia disattivata.
che gli ESC abbiano tutti la stessa calibrazione.

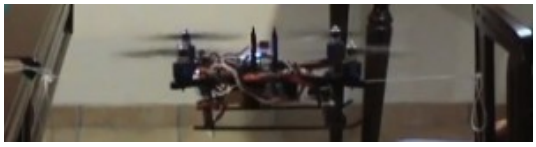
---

## Istruzioni per la messa punto manuale

Per essere in grado di ottimizzare con successo il multirotore, sarà necessario trovare una superficie perfettamente livellata sulla quale azzerare la Accel Bias della vostra scheda di controllo (CC, CC3D o Revo). Se non livellate con precisione il vostro velivolo, esso tenderà a derivare e rendendo difficile il volo, e quindi difficile la messa a punto.

Ci sono due modi per ottimizzare il tuo multirotore:

Utilizzando un banco di prova che permette la libera rotazione di pitch o di roll. Questo è il metodo consigliato perché è più sicuro.
Utilizzare una stringa per legare il multirotore in aria e permettere la rotazione di un singolo asse.



Ottimizzazione in volo. Questo è molto più rischioso per il vostro multirotore, ma si può fare quando si ha familiarità con i passi da eseguire o si stanno solo facendo piccoli aggiustamenti.

## Configurare la GCS e il vostro multirotore

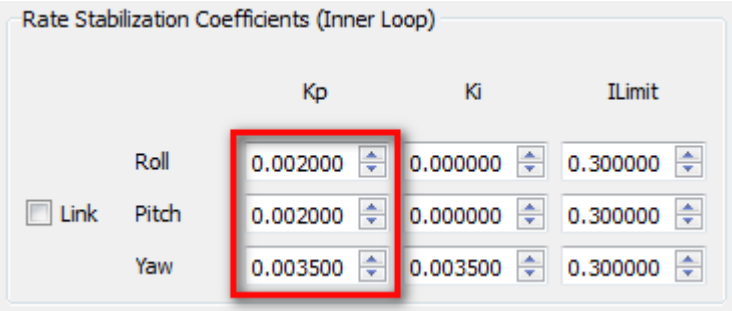
- Configurare uno dei modi di volo da utilizzare: selezionare Rate o Attitude nelle impostazioni Flight Mode Switch.
- Assicurarsi che Ki in Rate e Attitude sia zero su tutti i 3 assi (l'asse X, asse Y, e Z) prima della messa a punto.

Ora siete pronti per iniziare ad ottimizzare il vostro multirotore. Collegare la batteria e ed armare il multirotore.

## Stabilizzazione Rate

Mettere l'interruttore di modalità di volo nella modalità Rate configurata in precedenza.

### Ottimizzazione valori Kp




Se ottimizzate con la stringa, non modificate l'imbardata in questa fase. Se si hanno un sacco di oscillazioni in imbardata, annotare il valore Kp (ricordatevi di rimetterlo in seguito) e impostare a zero. Questo perché la stringa non permette le rotazioni intorno all'asse di imbardata e ciò può mettere in crisi il controller.

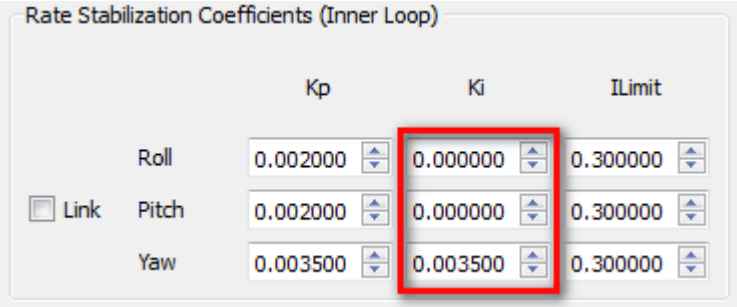
Avviare i motori e portarli a velocità di hovering. Poiché il vostro multirotore è vicino ad essere ottimizzato, è meglio che stia a circa 1 metro da terra per ridurre l'effetto suolo.

- Se il multirotore entra in oscillazione Pitch e/o Roll, ridurre il valore Kp di Pitch e/o Roll di circa il 30% e riprovare.
- Se il multirotore entra in oscillazione Yaw, ridurre il valore Kp di Yaw di circa il 30% e riprovare.
- Ora provate movimenti bruschi sugli assi Pitch a Roll e seguire le istruzioni riportate di seguito per ogni rotazione (rollio e beccheggio)
- Se oscilla, ridurre ulteriormente il valore di Kp.

- Se non ci sono oscillazioni, aumentare il guadagno fino a che oscilla un po' quando si sposta lo stick bruscamente.
- Ora diminuire il guadagno di circa il 20%.
- Yaw può essere un po 'più complicato da configurare, ma non c'è bisogno di spingersi ai limiti, come con Pitch and Roll.

L'ottimizzazione Kp per Rate è terminata.

## Ottimizzazione dei valori Ki




Ki fornirà un certo grado di "auto-regolazione" ed è importante quando si vola ad alta velocità o vento forte. Tuttavia, ad alcune persone non piace la sensazione di avere molto Ki in quanto può rendere il velivolo "addolcito". Se avete intenzione di volare in modalità rate, utilizzare Ki per il Rate (Inner) Loop. In caso contrario, utilizzare l'Attitude (Outer) Loop. Non utilizzare Ki in entrambi i loop perché possono interagire stranamente. Per l'imbardata è più importante il Rate (Inner) Loop.

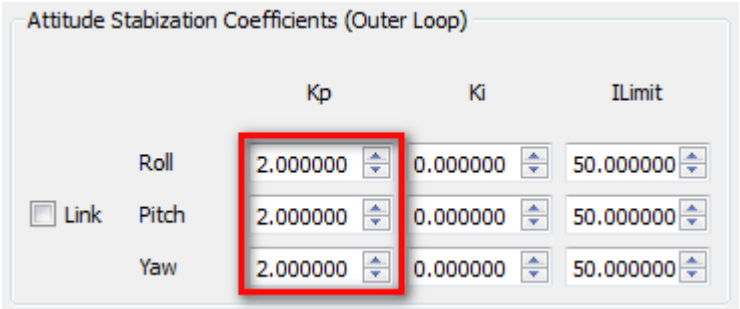
- Impostare i valori Ki di Roll, Pitch e Yaw al doppio del rispettivo valore di Kp. Il tuo multirotore probabilmente oscillerà con queste impostazioni. Ridurre il valore Ki fino a spegnere le oscillazioni. Applicare bruschi comandi sugli stick ed assicurarsi che non ci siano sovra-correzioni. Continuare riducendo il valore fino a quando la sovra-correzione è minima (qualcosa rimane, essenzialmente questo è ciò che Ki fa).
- Ridurre valori Ki del 20% dalle impostazioni di cui sopra e vedere se oscilla. Se lo fa, ripetere questo passaggio fino a quando le oscillazioni sono andati. Ki in modalità Rate avrà ben poco effetto sul rollio e beccheggio, ma è più importante per l'imbardata.

Avete finito la stabilizzazione Rate.

## Stabilizzazione Attitude

Mettere l'interruttore di modalità di volo nella modalità Attitude configurata in precedenza.

### Ottimizzazione valori Kp



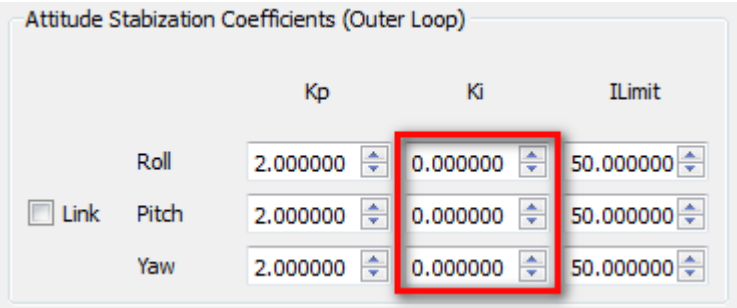
Avviare i motori e portarli a velocità di hovering. Poiché il vostro multirotore è vicino ad essere ottimizzato, è meglio che stia a circa 1 metro da terra per ridurre l'effetto suolo.

- Se il multirotore entra in oscillazione Pitch e/o Roll, ridurre il valore Kp di Pitch e/o Roll di circa il 30% e riprovare.
- Se il multirotore entra in oscillazione Yaw, ridurre il valore Kp di Yaw di circa il 30% e riprovare.
- Ora provate movimenti bruschi sugli assi Pitch a Roll e seguire le istruzioni riportate di seguito per ogni rotazione (rollio e beccheggio)
- Se oscilla, ridurre ulteriormente il valore di Kp.
- Se non ci sono oscillazioni, aumentare il guadagno fino a che oscilla un po' quando si sposta lo stick bruscamente.
- Ora diminuire il guadagno di circa il 20%.
- Normalmente, beccheggio e rollio possono essere impostati allo stesso valore.
- Yaw può essere un po 'più complicato da configurare, ma non c'è bisogno di spingersi ai limiti, come con Pitch and Roll.
- Una volta che siete soddisfatti con Yaw, impostare il valore Ki ad un valore simile a Kp.

(Gli ultimi due passi raramente sono necessari perché la modalità Attitude sull'imbardata non ha molto senso e raramente viene utilizzata - ndt).

Avete terminato l'ottimizzazione Kp per Attitude.

## Ottimizzazione dei valori Ki




Come accennato in precedenza, utilizzare Ki soltanto per il ciclo Rate o Attitude, ma non per entrambi. Tipicamente un Ki a circa lo stesso valore di Kp sarà buono.

È possibile verificare se il Ki di beccheggio e rollio sta facendo il suo lavoro attaccando un piccolo peso alla fine di un braccio. Non si dovrebbe notare la differenza. Senza Ki ci sarà sempre una deriva verso il peso.

Hai finito la stabilizzazione Attitude.