

Titel: HIL unterstützte Multicopter Entwicklung

**Einleitung:** Mit zunehmend verkürzten Zykluszeiten in Forschung/Entwicklung reduziert sich auch die Verfügbarkeit von realen Prototypen. Um Komponenten, Module oder Teilsysteme unter möglichst realistischen Bedingungen zu testen, hat sich daher die Hardware in the Loop (HIL) Methodik in vielen Branchen etabliert. Dazu werden physikalisch (real) verfügbare Komponenten mit einem Computer-Simulationsmodell gekoppelt. Dieses virtuelle System repräsentiert dabei sowohl die (physikalisch) noch nicht vorhandenen Komponenten als auch alle wesentlichen Umgebungseinflüsse. Somit werden bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium zuverlässige und aussagekräftige Tests über die Systemgrenzen hinaus möglich - ein entscheidender Vorteil bei der Entwicklung von Luftfahrzeugen. Diese Arbeit zeigt die Entwicklung eines Multicopter HIL-Prüfstands und die darauf basierende Optimierung des Flugverhaltens.

**Methode:** Aus zahlreichen Publikationen, etwa [1], ist bekannt, dass die Komplexität von HIL Experimenten wesentlich von der Wahl der Systemgrenzen beeinflusst wird. In der Mehrheit der Anwendungen zeigt sich, dass eine „digitale Schnittstelle“ wesentlich einfacher zu realisieren ist als eine „physikalische Kopplung“. Im ersten Fall erfolgt die Kopplung der Teilsysteme meist digital durch Austausch von Signalen oder Systeminformationen, wogegen die physikalische Kopplung die Erfüllung von dynamischen Gleichgewichtsbeziehungen in der jeweiligen Domäne erfordert. Daher erfolgt die Trennung zwischen real vorhandenen Komponenten (Steuergerät, Motortreiber, Motoren, Fernsteuerung) und dem Multicopter – Simulationsmodell durch die Weiterleitung simulierter IMU (Inertial Measurement Unit) Sensorwerte an die Multicopter Steuereinheit (ECU). Der ECU-Lageregler berechnet daraus die erforderlichen Motorsteuersignale, und sendet diese zurück an das Simulationsmodell womit die HIL Schleife geschlossen wird. Die mathematische Beschreibung der Multicopter Flugdynamik erfolgt mit Hilfe von Starrkörpermodellen in mitbewegten Relativkoordinaten, wobei zusätzlich auch die Flugposition in Absolutkoordinaten bestimmt wird. Erst durch die Berücksichtigung des Luftwiderstandes können die Multicopter-Lagewinkel korrekt berechnet werden, eine für die ECU Lageberechnung fundamentale Voraussetzung, insbesondere im stationären Flugbetrieb.

Die numerische Lösung der nichtlinearen Bewegungsgleichungen erfolgt in einem Matlab Simulink Modell mit einer konstanten Abtastzeit von  $T_s = 5ms$ . Das gesamte Simulationsmodell wird mit Hilfe von automatisierter Codegenerierung auf einen handelsüblichen PC (Betriebssystem Simulink RealTime) übertragen und in Echtzeit ausgeführt. Alle erforderlichen Systemparameter sind, soweit nicht direkt messbar, durch Laborversuche bestimmt.

**Ergebnisse:** Nach passender Kalibrierung und entsprechenden Funktionstests ist der HIL-Prüfstand für unterschiedlichste Experimente und Analysen betriebsbereit. Mögliche Anwendungen umfassen unter anderem die Evaluierung von Sensor- und Filtereigenschaften, die Abschätzung des Regelverhaltens oder die Simulation komplexer Flugmanöver. Erst durch den Einsatz von jederzeit reproduzierbaren HIL Experimenten können Schwachstellen im Zusammenspiel von Sensoren, Aktoren und der Steuereinheit identifiziert und behoben werden: wenig Stabilitätsreserven im Schwebeflug, seltene Abstürze aufgrund von Motorausfällen sowie Firmware Mängel in der Sensorauswertung. Abb. 1a zeigt die Verbesserung der Multicopter-Dynamik bei einen Gierwinkelsprung von  $10^\circ$ . Nach Verifizierung der HIL-Ergebnisse durch reale Testflüge kann der entwickelte HIL-Prüfstand auch für komplexere Aufgaben wie etwa dem Testen von autonomen Multicoptern Verwendung finden. Dabei ist die Möglichkeit der Definition bzw. Änderung sämtlicher Randbedingungen besonders hilfreich: simulierte GPS Daten mit statistischem Fehler können ebenso berücksichtigt werden wie Windeinflüsse, Gewichtsänderung, Ladezustand der Batterie, variable Nutzlasten oder Fehler/Störungen in den Sensorsystemen. Abb. 1b zeigt die Ergebnisse eines virtuellen HIL Fluges mit vorgegebener Trajektorie auf Basis von idealen simulierten GPS Daten.

**Diskussion/Conclusio:** Der vorgestellte Multicopter HIL-Prüfstand ermöglicht eine jederzeit reproduzierbare Durchführung und Analyse von beliebigen Flugmanövern unter äußerst realistischen Bedingungen. Somit ist eine Optimierung einzelner Komponenten möglich, bevor das Gesamtsystem verfügbar ist. Auch wenn HIL-Experimente wegen der unvermeidlichen Vereinfachungen im virtuellen Umgebungsmodell reale Testflüge noch nicht vollständig ersetzen, können diese doch deutlich reduziert werden.

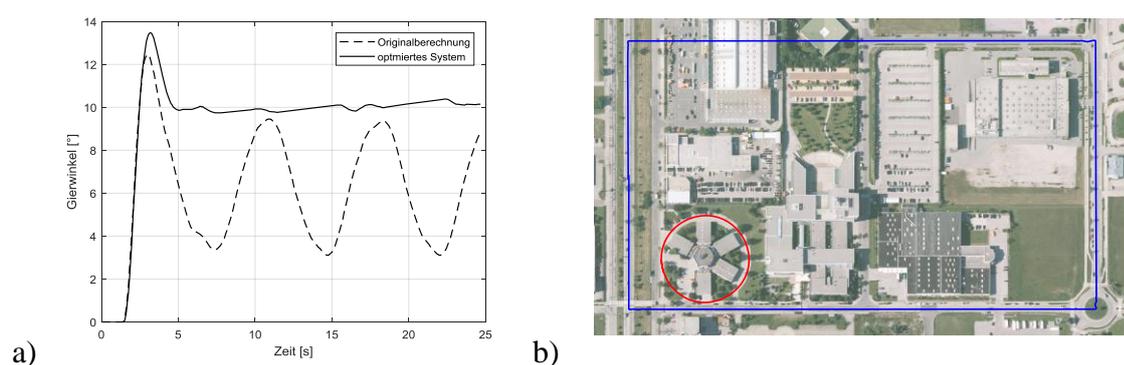


Abb. 1: a) Verbesserung der Multicopter-Dynamik bei Gierwinkelsprung b) simulierte autonome Flugtrajektorien im Bereich des Campus der FHWN

Quellen:

[1] Saouma V and Sivaselvan M. 2008. Hybrid Simulation: Theory, Implementation and Applications. Taylor & Francis Ltd