

Kutatási beszámoló

Pilóta nélküli légi járművek valós idejű orientáció meghatározása FPGA alapú hardver megvalósítással, pályakövetési feladatokban való alkalmazás céljából

Kutatásvezető: Dr. Brassai Sándor Tihamér

Tagok: Dr. Bakó László, drd. Hajdú Szabolcs, ing. Támas Tibor, ing. Hegedűs Zsolt

A kutatás során UAV rendszerekre dolgoztunk ki különböző módszereket és fizikai rendszereket valósítottunk meg:

- egy szabadságfokú kétpropelleres egyensúlyozó rendszer
- két szabadságfokú két propelleres rendszer
- quadrokopter
- RF modell repülő (most készült el egy második változat)

Adatgyűjtésre és vezérlésre szolgáló áramkörként egy Zybo fejlesztőlapot alkalmaztunk, amely tartalmaz egy két magos ARM Cortex A9 processzort valamint újrakonfigurálható részeket. A kutatásunk során az FPGA áramkör előnyeit próbáltuk kihasználni (a rendszer egyszerű továbbfejlesztése, új egységek integrálása, gyors prototípustervezés, jövőre nézve futás közbeni újrakonfigurálás, hatékony tervezőeszközök, egyszerűen C/C++ vagy Matlab nyelvben történő hardverfejlesztés, nagymértékű párhuzamosíthatóság, többszintű tesztelés/szimulációs lehetőség). A periférikus egységeket az AXI sínrendszerre csatoltuk. A hardver fejlesztést a Vivado eszköztárral valósítottuk meg. A hardver egységek megvalósítására különböző eszközöket alkalmaztunk: VHDL-ben, Vivado HLS illetve egyes alegységeket Matlab nyelven a System Generator MCode moduljával valósítottunk meg.

A hardveren Arch Linux valós idejű operációs rendszert futtattunk, kihasználva az operációs rendszer nyújtotta előnyöket. Az operációs rendszerhez kernel szintű vezérlőket és a teszteléshez felhasználó szintű programot terveztünk minden periférikus egységhez. A fizikai rendszerek kialakítására 3D nyomtatással készítettünk el elemeket.

A kutatás multidiszciplináris jellegű: beágyazott rendszerek, újrakonfigurálható digitális áramkörök, operációs rendszerek, robotika, irányítástechnika, jelfeldolgozás, mechanikai és részben mesterséges intelligencia ismeretekre épül.

A rendszerekben többféle érzékelőt, periférikus egységeket alkalmaztunk:

- két darab 9 tengelyes IMU (giroszkóp, gyorsulásmérő, magnetométer)
- saját tervezésű, konvolúción alapuló ultrahangos távolságmérő
- GPS vevő
- barométer
- saját tervezésű interfész a rádióvevőnek
- saját tervezésű, Brushless motorok vezérlésére szolgáló, impulzusszélesség-moduláció modulok

Első fázisban az érzékelő beolvasására és kalibrálására fektettük hangsúlyt.

A magasság becslésér, több érzékelő Kálmán szűrővel való egyesítésével terveztünk algoritmust és valósítottuk meg különböző módszerekkel:

Először Matlab környezetben teszteltük az algoritmust. A Matlab program alapján valósítottuk meg C-ben a becslő algoritmust, amely már valós időben képes meghatározni a rendszer magasságát az ultrahangos távolságmérőről, a barométertől és a gyorsulásmérőről érkező jelek alapján. A C-ben megvalósított programot átdolgoztuk és Vivado HLS eszközzel terveztünk egy IP magot. A szimulációs eredmények nagyon biztatóak 0.05422 ms alatt sikerül egy számítási ciklust elvégezni, lényegesen lerövidítve az operációs rendszerben C-ben futó program számítási idejét.

Az orientáció meghatározására szolgáló algoritmus megvalósítása sok problémát okozott, de végül sikerült megoldani a feladatot. A kidolgozott, Matlabban tesztelt gradiens módszeren alapuló algoritmus

alapján valósítottuk meg a C-programot, amely valós időben az UAV rendszeren képes meghatározni a rendszer orientációját. A C-program alapján, egyszerűen ugyanazt a könyvtárcsomagot alkalmazva, mint a magasság becslés esetében, szintén kigenerálható IP mag az orientációs számítás gyorsítására. A Kálmán szűrőre megvalósított IP mag több mint felét igényli az újrakonfigurálható részben található erőforrásoknak. A két mag párhuzamos betöltése csak futás közbeni újrakonfigurálással valósítható meg.

A Kálmán szűrőre az IP mag generálásakor direktívákat alkalmaztunk a kommunikációs interfészek kialakítására és a modul számítási idő/erőforrásigény optimalizálására. A következőben az egyik cél több direktíva tanulmányozása és a létrehozott modellek méretben való csökkentése.

A saját tervezésű periférikus egységekre illesztő drivereket készítettünk. A drivereken keresztül inicializáljuk a rendszert és fájlműveleteket alkalmazva kommunikálunk a periférikus egységekkel.

Párhuzamosan szimulációs modelleket dolgoztunk ki a felsorolt fizikai rendszerekre. Szimuláció szinten a szabályozó algoritmusokkal is foglalkoztunk: Takagi Sugeno következtető rendszerre kidolgoztunk egy-egy modellt a három rotációs szögre. A szimulációs mérések alapján sikerült hangolni a szabályozókat.

Hardveresen HSL technikával megvalósított ANFIS szabályozót teszteltünk a két szabadságfokú rendszerre. Az önhangoló modell érzékeny a zajra, a tanítási együttható megválasztására.

Disszertáció dolgozat során *“Neuro-Fuzzy következtető rendszerek tanítási stabilitás vizsgálata”* (Mesteri disszertáció), a Lyapunov kritériumon alapuló offline tanítási módszert terjesztettünk ki online tanítási feladatokra. Matlab környezetben szimuláltuk szabályozási körben az online tanítási módszert, a tanítás stabilnak bizonyult.

A valós rendszeren implementáltunk és laborkörülmények között teszteltünk mindhárom rotációs szög stabilizálására PID szabályozókat:

- a) csak a giroszkópokon mért szögsebességek alapján stabilizáltuk a rendszert
- b) kaszkád szabályozási kört alakítottunk ki (belső hurok szögsebesség, külső hurok szögpozíció)

Támas Tibor és Hegedűs Zsolt a kutatás első fázisában segítettek a kutatás megvalósításában. Támas Tibor II. éves mesteri hallgatóként és Hegedűs Zsolt IV. éves hallgatóként

Támas Tibor hardveresen HSL technikával megvalósított ANFIS szabályozót tesztelt a két szabadságfokú két propelleres rendszeren, amelyről egy dolgozatot is publikáltunk. A hardveresen megvalósított ANFIS következtető rendszer esetében a kimenet számítás teljes mértékben hardverben volt implementálva, a tanító algoritmus a beágyazott processzor magon futott.

Hegedűs Zsolt a gradiens módszeren alapuló orientáció meghatározására szolgáló algoritmus Matlabban implementált változatát tesztelte. Az első változatban a rendszer architektúra EDK környezetben volt kialakítva. Az érzékelőkről beolvasott jeleket valós időben vezeték nélküli kommunikáción 2.4GHz RF modulokkal továbbítottuk egy gazda számítógépre. A gazda számítógépen futó Simulink modell és a géphez csatolt FPGA lap közötti kommunikációt hardver szoftver ko-szimulációs módszerrel valósítottuk meg.

Dr. Bakó László jelentős eredményeket ért el a kameraképek alapján történő orientáció meghatározásban. A kutatás során kamera felvételéből származó információ feldolgozásából és a mobilis roboton mért sebességek segítségével, Fuzzy-szerű logikát alkalmazva valósított meg irányítási algoritmust egy háromkerekű robotra, amely egy pálya követésére képes.

Lehetséges alkalmazása az általunk kifejlesztett OF optical flow módszernek az UAV rendszerek valós idejű felszállás és leszállás stabilizálása. A kamera elé különböző szögekben húzódó vonalakat helyeztünk, amely alapján próbáltuk meghatározni a dőlési szöget. A mérések során a kamera forgatása egy PWM jellel vezérelt szervomotorral volt megvalósítva.

Hajdu Szabolcs, a pályázási fázisban másodéves mesteri szakos hallgató, jelenleg doktorandusz a Brassói Transilvania Egyetemen.

Hajdu Szabolcs nagymértékben hozzájárult a kutatás különböző részeinek a megvalósításához:

- segített a hardver architektúra kialakításában Vivado tervezőeszközt alkalmazva, a periférikus egységek integrálásában, a vezérlő driverek elkészítésében.
- hozzájárult a Linux alapú operációs rendszer konfigurálásához és a kernel újrafordításához, amelyet a különböző érzékelők (periférikus egységek) illesztése során többször is újra kellett fordítani
- az elektronikai áramkörök és nyomtatott áramkörök (tápforrás, akkumulátor feszültség szint monitorizáló, ultrahangos távolságmérő) tervezésében, kivitelezésében és üzembe helyezésében és az üzembe helyezés során a hibák elhárításában, egyes alegysége újratervezésében vett részt
- a quadrokopter, egy szabadságfokú kétpropelleres egyensúlyozó rendszer, valamint a kétpropelleres két szabadságfokú laborstandok megvalósításában segített

-Mint kutatásvezető, a legfontosabb megvalósításokként a következőket említem meg:

- ultrahangos távolságmérő modul megvalósítása konvolúcióval
- gradiens módszeren alapuló orientáció meghatározására szolgáló algoritmus kidolgozása, implementálása C-ben és üzembe helyezése
- a magasság becslésére algoritmus kidolgozása Kálmán szűrővel és háromféleképpen való megvalósítása:
 - Matlab környezetben
 - C-ben, Linux környezetben futtatva
 - Hardveresen megvalósított IP mag a Kálmán szűrőre, Simulink (System Generator) környezetben tesztelve
- a szögek stabilizálására PID-szabályozóknak C-ben való implementálása és laborkörülmények közötti tesztelése
- a rendszereknek egységbe való integrálása

A jövőre nézve sikerült bevonni Bardocz Csaba III. éves automatizálás szakos diákot. Az államvizsga dolgozatában RF modell repülőn szeretné tesztelni és továbbfejleszteni a kidolgozott módszereket. Bardocz Csaba nagy tapasztalattal rendelkezik, mint modellező a nyári vakációban elkészített egy RF modell repülőt.

Következtetések

A rendszer tesztelése nem bizonyult egyszerű feladatnak, hiszen bármilyen hiba azonnal a rendszer meghibásodásához vezet (például érzékelőkkel, távirányítóval megszakad a kommunikáció). A tesztelés során WiFi modult illesztettünk a rendszerbe, amelyen keresztül kommunikálunk a rendszerrel, a tesztelés során indítjuk vagy leállítjuk a programokat, mentjük a mérési adatokat, direkt az UAV rendszeren fejlesztjük a programot.

Felfüggesztve és kikötve teszteltük a szögek stabilizálására szolgáló PID szabályzókat.

A tesztelés során nagy segítséget nyújt a két szabadságfokú két propelleres rendszer, hiszen biztonságossá teszi a tesztelést akár kritikus hibák (akár programhibák) esetében is.

A kutatáshoz kapcsolódóan három mesteri disszertációs dolgozat és egy államvizsga dolgozat készült el. Továbbá a HLS módszerrel magvalósított ANFIS következtető rendszerrel elért eredményeinket publikáltuk illetve az optical flow algoritmussal elért eredmények publikálás alatt vannak. A kutatás során elért eredményeinkből még egy dolgozatot szeretnénk publikálni.

Kutatásvezető:

Dr. Brassai Sándor Tihamér

Sapientia EMTE, Villamosmérnöki Tanszék

Marosvásárhely

Marosvásárhely, 2016. augusztus 31.