

Posudek oponenta diplomové práce

Název práce: Konstrukce bezpilotního letadla pro geodetické práce
Termín obhajoby práce: červen 2019
Student: Bc. David Zahradník
Vedoucí DP: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D
Oponent DP: Ing. Zdeněk Lukeš, Ph.D

Když jsem byl požádán o oponenturu diplomové práce pana D.Zahradníka, hned jsem nabídku přijal. Nicméně vnitřně jsem měl mírné obavy. Sice jsem programátor, geodet, vím, co je význam i obsah zkratk IMU, PWM, PPM, umím napsat program pro Arduino, mám zkušenosti s komunikací pomocí seriového portu či I2C, umím vzít do ruky pájku, nicméně moje znalosti dronu byly nulové a praktické zkušenosti s IMU asi deset let staré. Zákonitě jsem se proto sám sebe ptal, zdali jsem ten správný oponent, ale usoudil jsem, že odpověď na tuto otázku není moje starost, a pro diplomanta může být nekompetentní oponent pouze výhodou. Nyní mohu konstatovat, že jsem rád, že jsem oponenturu přijal: moje hodnocení práce je kladné a sám jsem získal mnoho informací o dronech.

Práci jsem četl celkem třikrát. Během prvního kola jsem pocíval rozladění, protože jsem text práce plně nechápal, narážel jsem na drobné nepřesnosti v textu práce. Podruhé jsem text četl poté, co jsem si pomocí článků z Internetu doplnil znalosti. Potřetí jsme práci četl pro ujištění, že jsem některou část neopominul. Mohu konstatovat:

1. Text práce je srozumitelný, rozdělení obsahu práce do jednotlivých kapitol správné. Počet překlepů je přiměřený, nicméně některé jsou velmi rušivé (například slovo „standartní“).
2. Diplomant by měl věnovat více pozornosti správnosti jednotek fyzikálních veličin. Jednotkou kapacity baterie není „mA“ a označení „ μS “ pro mikrosekundu je nešťastné, název jednotky času je „sekunda“, nikoli „vteřina“. Práce obsahuje několik grafů, ve kterých nejsou použité jednotky uvedeny vůbec.
3. Některé zkratky nejsou vysvětleny. V případě, že se předpokládá, že čtenář je seznámen detailně s problematikou, je to v pořádku. Nicméně u této diplomové práce to nelze předpokládat – obsahem je „základní kurz“ konstrukce dronu.
4. Rovnice nejsou číslovány, není na ně tak ani odkazováno v textu, což místy činí orientaci v textu obtížnou (např. zavádějící termín „pohybové rovnice“, str. 39 uprostřed), nejsou vysvětleny členy v rovnicích, ani typografická úprava rovnic není správná.
5. Část 5.1 o PWM modulaci je nejasná. Použití přívlastků „standardní“ a „klasická“ PWM regulace vnáší do textu chaos, navíc umocněný tím, že celý odstavec a obrázek je věnován nesouvisející výkonnové pulsně šířkové modulaci (tedy „klasické“). Naštěstí na Internetu lze dohledat, jak „standardní“ (aka RC-modulace – modulace používaná pro ovládání serv RC modelu) přesně funguje. Zrovna tak by mohlo být jasněji vysvětleno, v čem spočívá (a proč je vůbec potřeba) kalibrace regulátoru otáček. Prosím o krátký komentář během obhajoby.
6. Při čtení textu jsem nakonec pochopil, v čem spočívá zásadní část práce: tím je naprogramování „řídící jednotky“ (flight controller) s použitím Arduina. Musím konstatovat, že s nulovou znalostí dronů a máje zkreslené představy o kvalitě současných levných IMU (inerciální měřící jednotka), domníval jsem se, že jde o poměrně složitý úkol. Nicméně studiem práce a hledáním na Internetu jsem zjistil, že kvalita IMU je velmi dobrá, a díky tomu mohou být řídicí a regulační algoritmy jednoduché. Proto lze hotové řídicí jednotky pořídit za jednotky stokorun, za tisícikorunu lze pořídit plně vybavený flight controller s mnoha dodatečnými vstupy a výstupy (věstavené Bluetooth, ale i rozhraní pro připojení dalších zařízení pomocí I2C, připojení kamery, controllery mají interní paměť nebo slot pro paměťovou kartu apod.) Je tedy otázkou, nakolik je smysluplné se věnovat vývoji flight controlleru založeném na Arduinu, a nebo raději věnovat čas a energii aplikacím dronu nastíněným v úvodu práce.

7. Úkolem flight controlleru je stabilizace dronu. Pro stabilizaci je zásadní zpracování dat z IMU a následné řízení regulátoru otaček v závislosti na náklonu dronu. Přestože jde asi o standardní řešení, oceňuji použití jednoduchého komplementárního filtru pro zpracování dat z IMU. Postrádám hlubší rozbor funkce filtru pro určení sklonu dronu, jedna kapitolka s dvěma grafy (bez označení os, jednotek!) mi připadá velmi málo. Ke grafům a textu mám následující komentáře:
- Graf 6.2: graf jednoznačně ukazuje limity komplementárního filtru. Výstup z filtru je i po ustálení systematicky vychýlen. Má diplomant nápad, jak tento nedostatek řešit?
 - Kalmanův filtr: použití KF bylo odmítnuto z důvodu velké početní náročnosti. Nevím, zdali je KF správný nástroj, ale tuším, že k zavržení KF došlo na základě starší diskuze se mnou, kdy jsem poznamenal, že KF nelze na Arduinu použít kvůli malému vypočetnímu výkonu procesoru. Tato moje poznámka ale vyplývala z neznalosti věci, kdy jsem se domníval, že celé řízení letu je komplexní problém, ve kterém jsou všechny parametry (poloha, náklon, rychlost, systematické chyby senzoru) řešeny v jednom výpočtu s desítkami proměnných. Při aplikaci na problém, kde jsou vstupem dvě měření a výstupem jeden případně dva parametry, by výkon procesoru jistě postačoval.
 - Výstupy z gyroskopu jsou velmi hladké. Jde o surový výstup z gyroskopu, nebo předchází nějaká filtrace?
 - Graf 6.3: hodnota "Comp" náklonu dronu odpovídá situaci, kdy dron byl nakloněn a vrácen to předchozí polohy. Tomu ale neopovídá průběh výstupu z gyroskopu (měří úhlovou rychlost). Proč?
8. Z textu práce není vůbec patrné, zdali se stabilizaci dronu podařilo dokončit a dron skutečně létá (poznámka: dne 14.6. mi byl let dronu během minutové prezentace ukázán, mám proto určitou představu). Z textu vyplývá, že bylo provedeno testování stabilizace náklonu (jednoho stupně volnosti), ale nejsou prezentovány žádné výsledky (funguje/nefunguje, dron reaguje na vychylení proudem vzduchu, ...). Takové testování je určitě užitečné, osobně bych postupoval dále, a před prvním vzletem testoval i stabilizaci dvou stupňů volnosti: náklon a schopnost stabilizace polohy ve směru kolmem na osu náklonu (jednodušší obdoba „self-balancing“ robota). Prosím o seznámení s praktickou funkčností flight controlleru (tím nemám na mysli praktickou ukázkou).
9. Nahlédl jsem do zdrojového kódu flight controlleru. Zdá se mi, že výsledná hodnota výkonu předávaná ESC regulátorům je určována jiným způsobem, než je popsáno v textu práce (soubor: fly_ctrl.ino, řádky 123 až 125 s označením "Rate PID"). Prosím o vysvětlení.
10. Rozumím tomu, že diplomant chtěl prezentovat strukturu komunikačního protokolu mezi flight- a navigation-controllerem. Nicméně tabulka 5.3 vyvolává více otázek než odpovědí, předpokládám, že protokol není dokončen. Zrovna tak nerozumím související tabulce 5.4.
11. Uváděná přesnost použitého barometru je ± 100 Pa. Jaké chyby ve výšce odpovídá přesnost barometru? Jak rychlá je odezva výstupních hodnot tlaku na změnu výšky?
12. Dálkoměr použitý pro detekci překážek má dosah 120 cm. Nevím, jaká rychlost pohybu dronu je očekávána, nicméně tato vzdálenost mi připadá pro dron o hmotnosti několika jednotek kilogramu malá.
13. Obecně bych uvítal, kdyby práce jasně ukazovala, které části jsou dokončeny a které nikoli.

Závěr: mohu konstatovat, že zadání diplomové práce bylo naplněno – jak po stránce formální, tak z hlediska toho, že student měl možnost rozvinout svoje schopnosti, což jistě dále v praxi využije. Práci doporučuji k obhajobě a hodnotím stupněm B.