

# Grafické rozhranie pre ovládanie helikoptéry T-Rex 600

## Graphical user interface for control helicopter T-Rex 600

Ján Bačík<sup>1</sup>

<sup>1</sup>[jan.bacik.2@tuke.sk](mailto:jan.bacik.2@tuke.sk)

<sup>1</sup>Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, Košice, Slovenská Republika

**Abstrakt**—Článok predstavuje riadiaci systém skonštruovaný pre riadenie helikoptéry T-Rex 600 a jeho grafické rozhranie založené na Qt frameworku. Samotný riadiaci systém pozostáva z viacerých podsystemov určených pre riadenie jednotlivých akčných členov helikoptéry a komunikáciu s pozemnou stanicou.

**Kľúčové slová**—mobilný robot, dron, riadiaci systém

**Abstract**— The article describes a simple control system designed for piloting helicopter T-Rex 600, and its graphical user interface based on Qt framework. The control system consists of subsystems for control and power actuators and communication with a ground station.

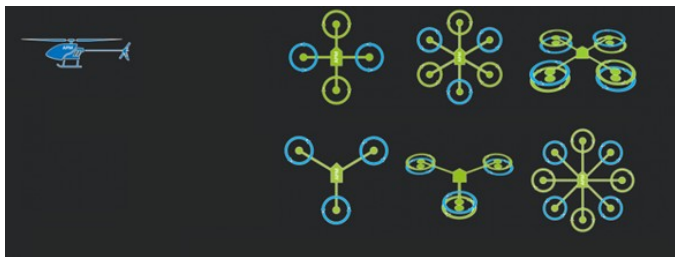
**Keywords**—mobile robot, drone, control system

### I. ÚVOD

Vývoj v oblasti bezpilotných dronov sa v súčasnosti zameriava na viacero rôznych problémov, keďže sa jedná o pomerne mladú disciplínu robotiky, ktorá v sebe zahŕňa ako problémy z oblasti modelovania a riadenia, tak aj z oblasti senzorických systémov a navigácie. Najrozšírenejším typom dronov, ktoré sa v praxi používajú, sú drony s rotujúcim typom krídla.

V súčasnosti drony s rotujúcim krídlom nadobúdajú rôznu podobu s rozmanitým rozložením a počtom nosných rotorov (Obr. 1). Drony môžeme rozdeliť do dvoch veľkých skupín. Do prvej patria rozšírenejšie multikoptéry, kde je nosný systém tvorený viacerými menšími nosnými rotormi usporiadaných do rôznych geometrických útvarov. Menej rozšírená skupina, ktorá v súčasnosti nie je skoro vôbec využívaná, sú klasické helikoptéry s hlavným nosným rotorom a vyrovnávacím chvostovým rotorom.

Medzi hlavné vlastnosti, ktoré charakterizujú helikoptéry s väčším počtom nosných rotorov, patrí jednoduchosť riadenia a dobrá stabilita počas visu.



Obr. 1. Rôzne typy usporiadania nosných rotorov dronov

Tieto viacrotorové helikoptéry sú vhodné na plnenie krátkodobých cieľov, keďže dĺžka letu je obmedzená kapacitou batérií a veľkosťou úžitkového zaťaženia. Medzi hlavné nevýhody a slabiny týchto helikoptér patrí ich nízka energetická efektívnosť [1].

Klasické usporiadanie rotorových listov helikoptér postráca nevýhodu nízkej energetickej efektívnosti. Priemer hlavného rotora zvykne byť aj desaťnásobne väčší ako priemer rotorov viacrotorových helikoptér a tým, že koncové body dosahujú vyššie obvodové rýchlosti, pracuje tento rotor s oveľa väčším Reynoldsovým číslom. To znamená, že laminárne prúdenie sa mení na turbulentné, zväčšuje sa priemer hraničnej vrstvy obtekaného vzduchu a nedochádza k separácii obtekaného vzduchu. Parameter figure of merit sa pohybuje okolo 55-65% [2].

Princíp generovania ťahu hlavného rotora je rozdielny od rotorov viacrotorových helikoptér. V tomto prípade motor udržiava konštantné otáčky hlavného rotora. Veľkosť ťahu je menená pomocou kolektívnej zmeny uhlu nábehu rotorových listov. Motor počas zmeny kolektívneho uhlu reaguje iba na zmenu aerodynamického odporu a dorovnáva vzniknuté straty. Vďaka týmto vlastnostiam je možné, drony založené na báze helikoptér s klasickým usporiadaním rotorov, využiť pri plnení dlhodobějších cieľov, keďže sú tieto helikoptéry schopné zaletieť väčšie vzdialenosti s väčším úžitkovým zaťažením ako spomínané viacrotorové helikoptéry. Nevýhodou zostáva zložitosť týchto systémov, ktorá sa vyznačuje nelineárnosťou a vysokou mierou nestability [3, 4].

Práve energetická efektívnosť helikoptéry s klasickým usporiadaním rotorových listov viedla k vzniku riadiacej jednotky, ktorá popísaná v nasledujúcich kapitolách článku.

### II. PRINCÍP FUNGOVANIA HELIKOPTÉRY

Z mechanického hľadiska je potrebné pre ovládanie helikoptéry T-Rex 600 (Obr. 2) ovládať štvoricu servomotorov, ktoré ovládajú mechanické časti hlavného a chvostového rotora, a otáčky hlavného nosného rotora. Servomotory na helikoptére sú riešené ako kompletne modelárske servomotory, ktorých vstup predstavuje PWM signál. Pre reguláciu otáčok nosného rotora sme využili komerčný menič pre riadenie BLDC motorov riadený pomocou rovnakého vstupného PWM signálu ako servomotory, a ktorý bol súčasťou stavebnice. Finálnej podobe riadiacej elektroniky predchádzalo niekoľko prototypov a v článku je prezentovaná ich aktuálna verzia.

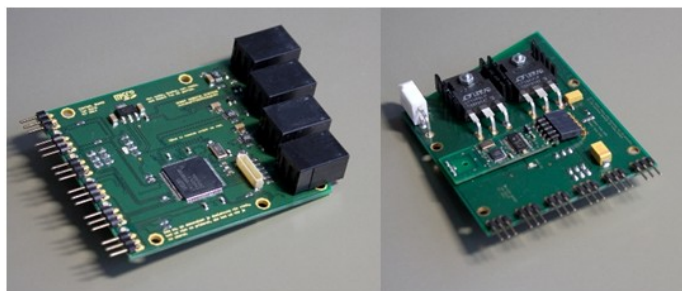


Obr. 2. Helikoptéra T-Rex 600

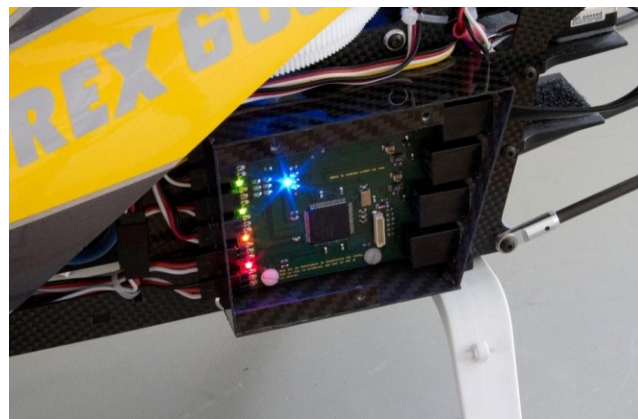
Finálny dizajn riadiacej elektroniky pozostáva celkovo z trojice dosiek plošných spojov prepojených medzi sebou. Prvá doska plošných spojov pozostáva z ARM procesora s jadrom CORTEX-M3, ktorý zabezpečuje generovanie PWM signálov pre jednotlivé akčné členy, ukladanie letových parametrov modelu na SD kartu, kontrolu napájacieho napätia a taktiež slúži ako komunikačný uzol medzi jednotlivými doskami plošných spojov (Obr. 3). Generovanie PWM signálov pre jednotlivé servomotory je proces, pri ktorom sú, na základe vstupných povelov, generované mixované povely pre jednotlivé servomotory dosky cyklického riadenia a servomotoru chvostového rotora. Riadiaci program musí zabezpečiť spoluprácu jednotlivých servomotorov, keďže pri pohyboch dosky cyklického riadenia je nutné, aby jednotlivé motory pracovali paralelne a synchronizovane.

Druhá z dosiek plošných spojov má za úlohu napájanie riadiacej elektroniky a akčných členov z akumulátora umiestneného na palube helikoptéry. Z dôvodu bezpečnosti obsahuje diaľkovo riadený total stop, ktorý v prípade nebezpečenstva odpojí napájanie hlavného nosného rotora a zabezpečí tak bezpečné zastavenie otáčania hlavného nosného rotora helikoptéry. Z dôvodu rotujúceho nosného rotora nebolo možné riešiť total stop ako klasické tlačidlo umiestnené na trupe helikoptéry, keďže rotujúce listy nedovolia priblížiť sa k helikoptére počas ich otáčania, preto bol total stop riešený ako samostatný bezdrôtový vysielateľ prepojený s napájacím obvodom akčných členov. V prípade potreby zastavenia nosného rotora sa z nezávislého počítača vyšle signál pre prijímač, ktorý odpojí napájanie akčných členov. Resetovanie total stopu je, kvôli bezpečnosti, možné iba odpojením a znova pripojením celej riadiacej elektroniky k zdroju napájania. Bočné konektory umiestnené na doske plošných spojov slúžia pre napájania ďalších podsystémov nachádzajúcich sa na helikoptére napätím +5V.

Jednotlivé dosky plošných spojov sú upevnené po stranách trupu helikoptéry, tak aby mali čo najmenší možný aerodynamický odpor. Jednotlivé dosky plošných spojov sú chránené krabičkami, vytvorenými na mieru, z tenkého karbonového materiálu (Obr. 4).



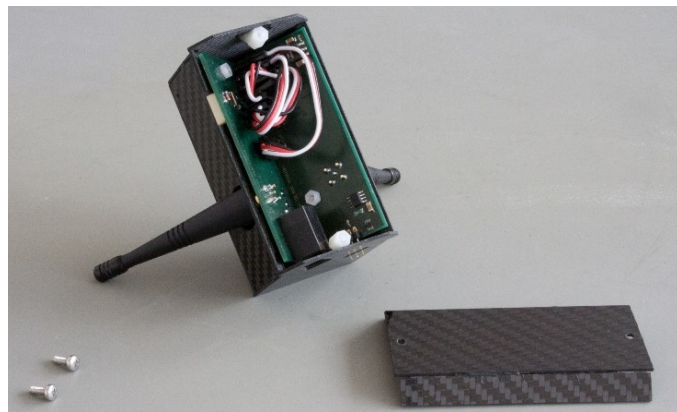
Obr. 3. Riadiaca a napájacia doska elektroniky



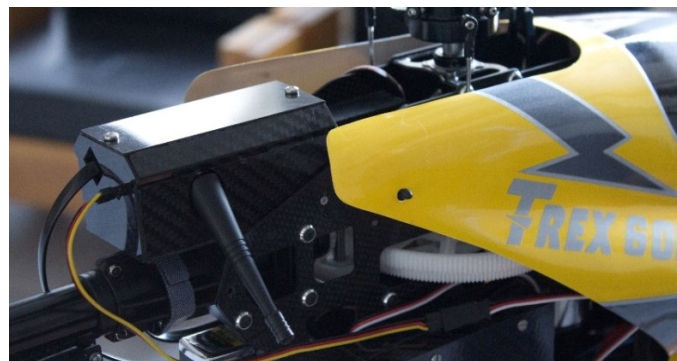
Obr. 4. Osadená riadiaca doska na trupe helikoptéry

Karbonový materiál zaručuje dostatočnú pevnosť ochranných krabičiek a zároveň sa tento materiál vyznačuje svojou nízkou hmotnosťou.

Dôležitou súčasťou riadiaceho systému je komunikačný modul určený pre komunikáciu s pozemnou stanicou (Obr. 5). Tento modul sme riešili pomocou čipov typu NRF905 s nosnou frekvenciou 868Mhz, ktoré majú dostatočný vysielací výkon a spoľahlivosť. Pre zabezpečenie vyššej spoľahlivosti komunikácie, modul obsahuje dvojicu čipov, ktoré sa navzájom kontrolujú a vysielajú vždy ten čip, ktorý mal ako posledný silnejší signál na strane prijímača. Osadenie modulu na helikoptére je na (Obr. 6). Rovnako ako predchádzajúce dosky plošných spojov, je aj tento modul chránený a upevnený na trup helikoptéry pomocou na mieru navrhnutej karbonovej krabičky tak, aby bol zachovaný, čo najmenší aerodynamický odpor.



Obr. 5. Komunikačný modul helikoptéry



Obr. 6. Komunikačný modul osadený na trupe helikoptéry

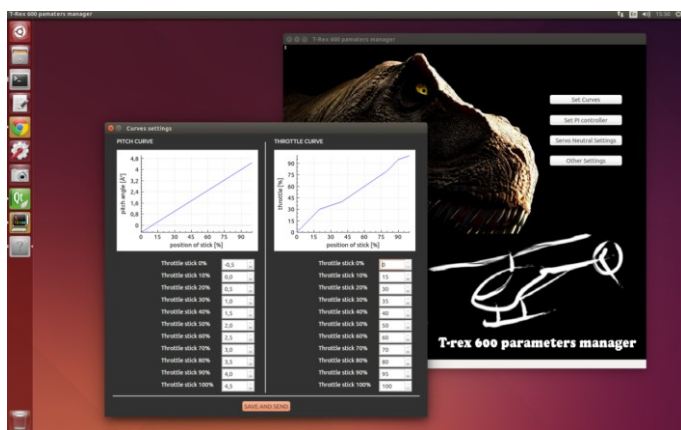
### III. GRAFICKÉ ROZHRAŇIE PRE RIADIACI SYSTÉM

Predletová príprava každej modelárskej helikoptéry pozostáva z nastavenia niekoľkých parametrov, ktoré sú dôležité pre jej správny let. Medzi ne patrí definovanie kriviek plynu a kolektívu, povolenie alebo zakázanie governor režimu hlavného nosného rotora, jemné vycentrovanie neutrálnej polohy jednotlivých servomotorov, nastavenie maximálne povolených výchyliek jednotlivých servomotrov a nastavenie zosilnenia a režimu chvostového gyroskopu.

Väčšina týchto parametrov sa na modelárskych helikoptérach nastavuje pomocou programovateľnej RC vysielačky, kde sú aj uložené. RC vysielačka sa stará o všetky mixy povelov pre jednotlivé servomotory, takže do RC prijímača na helikoptére prichádza signál o žiadanej absolútnej polohe každého servomotoru. Keďže T-Rex 600 je osadený vlastnou špecializovanou elektronikou, všetky tieto mixy PWM signálov pre servomotory a parametre musia byť uložené priamo na palube helikoptéry. K tomuto účelu slúži micro SD karta, ktorá sa nachádza na riadiacej doske, ktorá bola opísaná v predchádzajúcej kapitole článku.

K nastaveniu všetkých dôležitých parametrov a ich uloženie v helikoptére, bol vytvorený grafický program T-Rex 600 parameters manager (Obr. 7). Modálne okná sú rozdelené do logických blokov a umožňujú parametre nastavovať „online“ pomocou sériového komunikačného portu prepojeného s riadiacou doskou helikoptéry, kde sú následne uložené. Prvým z modálnych okien je okno nastavenia 11 bodovej krivky plynu a kolektívu. Pomocou formulára je možné zadať hodnotu plynu a kolektívu pre každý bod samostatne pričom interaktívne je vo vrchnej časti okna dynamicky prekresľovaná krivka plynu, respektíve krivka kolektívneho riadenia nosného rotora. Druhým oknom je možné nastaviť zosilnenia PI regulátora riadiacej dosky, ktorý sa využíva pri režime letu – governor. Tretie okno slúži na doladenie neutrálnej polohy jednotlivých servomotorov osadených na helikoptére. Samotné riadenie umožňuje jemné doladovanie neutrálne polohy aj počas letu pomocou trimovacích tlačidiel na riadiacom joysticku. Posledné okno slúži na nastavenie chvostového gyroskopu, konkrétne jeho citlivosti v rôznych pripínateľných letových režimoch.

Pre tvorbu grafického rozhrania bol využitý Qt framework [5], ktorý je založený na programovacom jazyku C++. Výsledný program je určený pre použitie s operačným systémom Ubuntu 14.04. Štruktúra programu umožňuje ovládanie programu aj pomocou joysticku.



Obr. 7. T-Rex 600 parameter manager



Obr. 8. Pozemná stanica

Súčasťou kompletného riadiaceho systému je aj pozemná stanica s joystickom (Obr. 8), ktorá umožňuje zasielať riadiace príkazy do helikoptéry počas jej letu. Pozemná stanica pozostáva z počítača s operačným systémom Ubuntu 14.04 a s rovnakým komunikačným modulom ako je modul umiestnený na trupe helikoptéry.

### IV. ZÁVER

V článku sme predstavili koncept riadiaceho systému pre helikoptéru T-Rex 600, ktorý umožňuje jej manuálne riadenie pilotom pomocou pozemnej stanice. Pre nastavenie riadiaceho systému bolo vytvorené priateľské grafické užívateľské rozhranie, ktoré umožňuje jednoduché a prehľadné nastavenie jednotlivých letových parametrov. Tento riadiaci systém plánujeme v budúcnosti rozšíriť a využiť pri tvorbe kompletného autopilotného systému.

### V. POĎAKOVANIE

Tento článok vznikol s podporou grantu FEI–2015-20.

### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Y. A. Cengel, J. M. Cimbala, Fluid Mechanics – Fundamentals and Applications, New York, The McGraw-Hill Education, 2010, ISBN 978-007-128421-9
- [2] J. Seddon, S. Newman, Basic Helicopter Aerodynamics, third edition, Singapore, Markono Print Media Pte Ltd, 2011, ISBN 978-047066-501-5
- [3] F. Solc, Modelling and Control of a Quadcopter, in Advances in Military Technology, Vol. 5, No. 2, December 2010
- [4] G. Cook, Mobile Robots: Navigation, Control and Remote Sensing, Wiley & Sons Ltd, New Jersey, 2011.  
Qtframework: <http://qt.io>



**J. Bačík** inžinierske štúdium absolvoval na katedre elektrotechniky a mechatroniky Technickej univerzity v Košiciach. V roku 2012 ukončil štúdium s vyznamenaním. Následne pokračoval v dennom doktorskom štúdiu v odbore Mechatronika a v roku 2016 úspešne obhájil dizertačnú prácu. V súčasnosti autor pôsobí ako odborný asistent na Technickej univerzite v Košiciach, kde sa intenzívne venuje oblasti vývoja mobilných robotických systémov. Medzi jeho hlavné zamerania patrí oblasť navigácie, mapovania a riadenia mobilných podvozkov a dronov.