

# Mnohorotorové vrtulníky k použití v budovách i otevřeném terénu

Současné lehké mnohorotorové vrtulníky (X-copter, X-rotor) se nabízejí jako zdroj nejen zábavy, ale i profesionálního poučení, zejména co se týče techniky řízení těchto inherentně velmi nestabilních létajících prostředků.

X-copter nebo X-rotor je zřejmě vhodné označení pro současné lehké vrtulníky, komerční i takové, které jsou předmětem výzkumu a výuky na mnoha akademických pracovištích. Od klasických vrtulníků se tyto stroje liší především tím, že vrtule v jejich nosných rotorech nemění během letu úhel náběhu a jejich konstrukce je celkově velmi jednoduchá. Klasickým představitelem dané třídy strojů je čtyřvrtulový quadro-copter (quadrotor, *obr. 1*), ale existují i stroje se šesti vrtulemi (hexa-copter, *obr. 2*), popř. osmi vrtulemi (octo-copter). Koncepce mnohorotorových vrtulníků se objevila již okolo roku 1920 (De Bothezat), ovšem při tehdejšímu stavu techniky nebylo možné je účinně řídit. V praxi se tak osvědčily standardní vrtulníky, ačkoliv jejich mechanická konstrukce je mnohem složitější [1].

## Řízení při inherentní nestabilitě soustavy

Hlavním problémem X-copterů je jejich inherentní velká nestabilita, která činí jejich řízení při použití prostých mechanických prostředků nemožným. Pokrok dosažený v nedávné době v technice i teorii umožnil tuto překážku překonat a realizovat různé konstrukce těchto mechanicky mimořádně jednoduchých létajících prostředků, které se začaly na trhu objevovat především jako promyšlené prostředky pro zábavu. První komerčně dosažitelný quadro-copter Draganflyer se objevil kolem roku 2000 [2]. Pokračující vývoj lehkých elektrických baterií, modelářských střídavých motorů a miniaturních elektromechanických senzorů kategorie MEMS spolu s akademickým výzkumem následně umožnily konstruovat X-coptery stále kvalitnější a spolehlivější. Současné X-coptery jsou řízeny s použitím propracovaných algoritmů. Rostou i jejich výkony a existují stroje schopné unést až 2 kg užitečné hmotnosti [3].

Akademická pracoviště se soustřeďují na výzkum a vývoj řídicích algoritmů a souvisejících senzorických systémů [4], [5]. Hlavním problémem z hlediska řízení uvedených strojů je zajistit stabilitu jejich pohybu ve vzduchu. K tomu jsou vedle dobrého regulačního algoritmu nutné rychlý výpočet regulačního zásahu a rychlá reakce motorů na tento zásah. Především je však nutná dobrá znalost hodnot stavových veličin, které používá regulační algoritmus pro zajištění stability. Celý řídicí systém musí být dostatečně

robustní, tak, aby nereagoval na poruchy přicházející z různorodého prostředí, ve kterém se vrtulník může pohybovat. Pro získání informace o stavu jsou u těchto strojů používány jako inerciální senzory gyrometry a akcelerometry kategorie MEMS [6] a jako senzory výšky barometry a sonary. Absolutní poloha



Obr. 1. Quadro-copter opatřený ochranným rámem z prutů z uhlíkového kompozitního materiálu



Obr. 2. Základní konstrukce hexa-coptera

je zjišťována pomocí systému družicové navigace (GPS) a kamer. Jestliže je stroj používán v různorodém prostředí, je třeba údaje ze senzorů patřičně agregovat tak, aby let nebyl ohrožen při ztrátě signálu GPS nebo ztrátě videoinformace.

Všechny uvedené techniky jsou velmi zdařile použity v quadro-copteru AR.Drone od firmy Parrot [7]. Jde o stroj určený především

pro zábavu, přesto však je u něj použita velmi pokročilá technika spolu s promyšleným způsobem agregace dat a systémem řízení, takže může být inspirací nejen pro studenty, ale i pro výzkumné pracovníky.

## Quadro-copter AR.Drone

Quadro-copter AR.Drone, podrobně popsaný v [8], byl uveden na trh asi v polovině srpna 2010.

Z hlediska konstrukce se stroj AR.Drone liší od experimentálních mnohovrtulových strojů, často vyvíjených na školských pracovištích, především použitými materiály a kvalitou zpracování. Celá konstrukce váží s krytem pro venkovní létání pouhých 380 g. S krytem pro vnitřní létání je hmotnost o něco větší, 420 g, jelikož tento kryt poskytuje, na rozdíl od venkovního, základní ochranu před střetem vrtulí s překážkami (*obr. 3*). Základ konstrukce tvoří zkřížená ramena z uhlíkového kompozitního materiálu, na jejichž koncích jsou umístěny střídavé motorky i s regulátory. Tvar stroje dovtváří struktura z extrudovaného polypropylenu (EPP) obalující střed ramen, v níž je vyčleněn prostor pro baterii a pro elektroniku stroje. Do struktury z EPP je také vsazena přední kamera, vodorovně hledící, která umožňuje snímat živý videozáznam. Stroj AR.Drone je vybaven i vertikálně směřovanou kamerou, určenou především ke stabilizaci. Tato kamera je součástí desky s elektronikou. Elektrickou energii dodává stroji lithium-polymerová baterie s kapacitou 1 000 mA-h, dostačující na asi deset minut letu. Opětovné nabití baterie při použití přiloženého síťového nabíječe trvá asi 90 min.

Elektronika stroje se skládá z hlavní desky, navigační desky a čtyř regulátorů motorů. Nejdůležitějšími prvky hlavní desky jsou procesor Parrot P6, čip WiFi a vertikální kamera s rozlišením 176 × 144 obra-



Obr. 3. Quadro-copter AR.Drone řízený prostřednictvím počítače za letu v interiéru

zových bodů a snímací frekvencí 60 snímků za sekundu. K hlavní desce je přes konektor připojena přední kamera s rozlišením VGA (640 × 480 bodů). Procesor Parrot P6 s jádrem ARM a s taktovací frekvencí 468 MHz je využit pro běh operačního systému reálného času na bázi operačního systému Linux. Procesor obstarává komunikaci prostřednictvím sítě WiFi, zpracovává videosignály z obou kamer, agreguje data ze senzorů z navigační desky a podle všech těchto údajů vysílá řídicí signály do jednotlivých regulátorů motorů. Navigační deska obsahuje senzory pro určení orientace stroje v prostoru a ultrazvukový senzor vzdálenosti, který měří výšku stroje od pevného povrchu pod strojem (podlaha apod.). O chod senzorů a komunikaci s nimi se stará šestnáctibitový mikrořadič PIC, který předává aktuální data hlavnímu procesoru. O řízení motorů se stará čtveřice regulátorů. Každý regulátor obsahuje mikrořadič ATmega8/L značky Atmel. Jedna ze speciálních vlastností těchto regulátorů vyvinutých přímo pro AR.Drone je schopnost detekovat střet vrtule s cizím předmětem a na základě této informace vypnout motor. Jelikož je výrobek určen pro komerční využití, je kladen velký důraz na bezpečnost.

Zatímco u většiny dálkově řízených létajících modelů, a dokonce i experimentálních quadro-copterů je k ovládní použita klasická modelářská vysílačka, ke komunikaci se strojem AR.Drone byl vybrán poměrně komplikovanější standard WiFi. Důvodem pro volbu složitějšího a programově náročného způsobu komunikace je jistě množství dat přenášených mezi strojem a uživatelem, a to především videosignálu z kamer.

### Ovládání

K ovládní stroje AR.Drone byly primárně určeny mobilní přístroje firmy App-

le (iPhone, iPad, iPod Touch). Tato zařízení jsou standardně vybavena potřebným modulem WiFi a disponují procesory s dostatečným výkonem pro příjem a zobrazování videozáznamu. Stroj se ovládá prostřednictvím aplikačního programu Free Flight, který je zdarma ke stažení z AppStore a umožňuje jednak stroj řídit a jednak nastavovat jeho uživatelské parametry, jako je např. maximální a minimální výška nad terénem, maximální povolený náklon atd. Poloha stroje AR.Drone ve vzduchu, a tím i trajektorie jeho pohybu, se řídí nakláněním přístroje iPhone. Jeho náklony jsou detekovány vestavěným akcelerometrem a podle nich iPhone vysílá příslušné řídicí povely. Dalším ovládacím prvkem je virtuální tlačítko na dotykovém displeji přístroje iPhone umožňující ovládat výšku letu a rotaci stroje okolo vertikální osy.

Nutnost vlastnit pro řízení stroje AR.Drone mobilní zařízení od firmy Apple je významným omezujícím faktorem mj. proto, že cena tohoto zařízení přibližně dvakrát převyšuje cenu samotného quadro-copteru AR.Drone. Jelikož současné notebooky téměř bez výjimky obsahují modul WiFi a jejich výpočetní výkon je podstatně větší než výkon přístroje iPhone, nabízí se otázka, proč neřídit AR.Drone s použitím notebooku. Z principu to možné je a od představení AR.Drone na trh bylo v tomto směru dosaženo velkého pokroku. Prvním důležitým krokem bylo vydání oficiálního multiplatformního nástroje SDK (*Starter Development Kit*). Při použití tohoto balíku funkcí si může každý programátor vytvořit relativně jednoduchou cestou k ovládní stroje AR.Drone svůj vlastní program. Mnoho takovýchto aplikačních programů pro různé operační systémy (Windows, Linux) ke stažení zdarma lze nalézt na webu. Zdrojové kódy základního demonstračního programu jsou dokonce přímo součástí zmíněného SDK.

### Letové vlastnosti

Z hlediska letových vlastností AR.Drone překvapuje především svou stabilitou za letu. Vývojarům tohoto stroje se podařilo velmi dobře se vyrovnat s problémem driftu při visení, a to především díky kombinované estimaci horizontální rychlosti stroje s použitím tříosého akcelerometru a vertikální kamery. Kvalita této estimace je však závislá na členitosti a osvětlení terénu v zorném poli vertikální kamery. Za dostačujících podmínek je AR.Drone schopen celou dobu chodu viset téměř na jednom místě.

Co však není vertikální kamerou odstraněno, je drift rotace okolo svislé osy, takže při delším visení bez zásahu pilota začne stroj okolo této osy pomalu rotovat. Vedlejším efektem zmiňované estimace rychlosti je schopnost stroje AR.Drone sledovat pohybující se vzor viditelný vertikální kamerou (obr. 4). Pokud totiž vzor vyplňuje dominantní část zorného pole kamery, algoritmus vyhodnotí pohyb tohoto vzoru jako drift quadro-copteru a tento drift se snaží eliminovat.



Obr. 4. Quadro-copter AR.Drone při sledování pomalu jedoucího mobilní robotu

Jednoduše řečeno, v letovém režimu visení se řídicí algoritmus snaží pohyby quadro-copteru zachovat vzor v zorném poli vertikální kamery na jednom místě.

Stroj AR.Drone se chová dobře i při zaslepení vertikální kamery. Za této situace již není drift zcela eliminován, ovšem není nijak velký a lze jej relativně snadno upravit ovládním stroje zvnějšíku.

### Závěr

Na pracovišti autorů bylo s quadro-copterem AR.Drone provedeno mnoho zkoušek, které prokázaly velmi dobré letové vlastnosti tohoto stroje při letu v uzavřených prostorech. Výsledky zkoušek jsou využívány při

vývoji struktur a řídicích systémů vlastních X-copterů, které jsou pak používány při výuce a výzkumu v oblasti robotiky a automatického řízení.

#### Poděkování:

Článek vznikl s podporou Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy ČR (výzkumný záměr MSM0021630529 *Inteligentní systémy v automatizaci*), Grantové agentury České republiky (102/09/H081 Synergie – *Mobilní senzorické systémy a sítě*) a Vysokého učení technického v Brně.

#### Literatura:

- [1] WAGTENDOK, W. J.: *Principles of Helicopter Flight*. Newcastle, WA: Aviation Supplies & Academics, Inc., 2006, 304 p., ISBN 1-56027-649-5.
- [2] McKERROW, P.: *Modelling the Draganflyer four-rotor helicopter*. In: Proc. of the 2004

International Conference on Robotics & Automation, N. Orleans, LA, IEEE, April 2004, pp. 3596–3600.

- [3] POUNDS, P. – MAHONY, R. – CORKE, P.: *Modelling and Control of a Quad-Rotor Robot*. In: Proc. of the Australasian Conference on Robotics and Automation, Auckland, New Zealand, Australian Robotics & Automation Association, Dec. 2006, pp. 501–510.
- [4] BOUABDALLAH, S. – NOTH, A. – SIEGWART, R.: *PID vs LQ Control Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor*. In: Proc. of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan, IEEE, Sept. 2004, pp. 2451–2456.
- [5] BOUABDALLAH, S. – SIEGWART, R.: *Backstepping and Sliding-mode Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor*. In: Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, IEEE, April 2005, pp. 2247–2252.

- [6] TITTERON, D. H. – WESTON, J. L.: *Strap-down Inertial navigation Technology*. Reston, VA, The American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2004, 558 p., ISBN 1-56347-693-2.
- [7] BRISTEAU, P. J. – CALLOU, F. – VISSIERE, D. – PETIT, N.: *The Navigation and Control Technology Inside the AR.Drone Micro UAV*. In: Preprints of the 18<sup>th</sup> IFAC World Congress, Milano, Italy, 28<sup>th</sup> Aug. 2011, pp. 1477–1484.
- [8] *AR.Drone Parrot: A technological first* [online]. Parrot SA, 2011 [cit. 20-10-2011]. Dostupné na <http://ardrone.parrot.com/parrot-ar-drone/en/technologies>.

Mgr. Radek Baránek  
([xbaran10@stud.feec.vutbr.cz](mailto:xbaran10@stud.feec.vutbr.cz)),  
prof. Ing. František Šolc, CSc.  
([solc@feec.vutbr.cz](mailto:solc@feec.vutbr.cz)),  
Ústav automatizace a měřicí techniky  
FEKT VUT v Brně

## ► Společnost ABB chce dalších pět let růst rychleji než trhy, na nichž je aktivní

Společnost ABB očekává, že v letech 2011 a 2015 poroste její obrat rychleji než obrat na trzích, na nichž je aktivní. Mezi příčiny tohoto růstu patří zaměření na sektory, v nichž kombinovaný energetický a automatizační sortiment společnosti poskytuje konkurenční výhodu, dále zvýšení tržního podílu v rozvíjejících se i vespělých ekonomikách a lepší odezva na měnící se potřeby zákazníků a makroekonomické trendy.

Ve své aktualizované pětileté strategii společnost ABB uvádí, že ke zvýšení ziskovosti v tomto období dále přispějí důsledné kroky vedoucí ke snížení nákladů a zvyšování produktivity – cílem je roční nárůst produktivity odpovídající snížení nákladů na tržby o 2 až 5 % – a také plánované rozšíření služeb a nabídky softwaru.

Společnost ABB očekává, že tržby v letech 2011 až 2015 organicky porostou složenou roční mírou růstu (CAGR) ve výši

7 až 10 %. Hrubý domácí produkt bude podle odhadů ročně růst o 3 až 4 % a celý trh o 5 až 6 %. Akvizice v tomto období, jejichž rozsah a načasování závisejí na situaci na trhu, mohou k cílové organické míře růstu přispět dalšími 3 až 4 procentními body.

„V uplynulých pěti letech jsme dobře uskutěčovali své záměry a dosáhli jsme vynikajících výsledků navzdory tomu, že jsme prošli nebyvalým hospodářským poklesem,“ uvedl Joe Hogan, generální ředitel společnosti ABB. „Tato odolnost je výrazem naší výborné pozice na trzích, kde se projevují nejvýznamnější celosvětové růstové trendy, například energetická efektivnost, efektivnost zdrojů, potřeba energetické infrastruktury a rychlý růst v rozvíjejících se ekonomikách.“ (ed)

## ► Obnovit data po haváriích je pro české firmy obtížné

Do jaké míry mají firmy v Česku zabezpečena svá data a jak rychle jsou schopny v případě havárie svá data obnovit, zjišťovala společnost Proact, která se zabývá systémy pro ukládání, zálohování a archivaci digitálních

informací. Analýza vychází z průzkumu mezi 500 firmami. Celých 54 % tuzemských firem není schopno po vážnější havárii obnovit svá data ani během několika dní. Celkem 27 % společností je schopno zprovoznit informační systémy do několika dnů, 12 % firem to trvá déle než týden a 15 % firem svá data po havárii neobnoví nikdy. Pouze 46 % firem dokáže obnovit svá data během jediného dne.

Delší výpadek informační infrastruktury může firmu dokonce zlikvidovat. Ani firmy, jejichž data jsou zabezpečena a pravidelně zálohována, nemusí být dobře chráněny. Analýza společnosti Proact totiž odhalila, že 38 % společností je schopno obnovit pouze data starší než několik dní. Důležitým faktorem při záchraně dat totiž je interval jejich zálohování. Mnoho firem dělá pravidelné zálohy jen jednou denně. Přitom ztráta dat starých jen několik hodin může firmu přijít velmi drah.

Firmy, které mají obavy z vysokých nákladů na zabezpečení, ukládání, zálohování a archivaci dat mohou využít zabezpečení informací formou služeb. Uživatelé nemusí kupovat žádný hardware, data se ukládají a zálohuji u provozovatele služby. (ed)



Deutsch-Tschechische  
Industrie- und Handelskammer  
Česko-německá  
obchodní a průmyslová komora

AHK Services s.r.o.

Váš kompetentní partner  
pro česko-německý obchod!

V únoru 2012 bude zahájen šestý ročník jednoletého vzdělávacího kurzu v oboru (European EnergyManager)

## MANAŽER PRO ENERGETIKU

Bližší informace získáte u koordinátorky projektu Hany Potůčkové, tel.: 221 490 306, e-mail: [potuckova@dtihk.cz](mailto:potuckova@dtihk.cz) nebo na internetových stránkách [www.dtihk.cz](http://www.dtihk.cz). Kurz má akreditaci MŠMT ČR.

