

Analýza možnosti využití radarového čidla *pdlux PD-V8* pro detekci dronů

Luděk Dudáček

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

dudacekl@kae.zcu.cz

Analysis of the *pdlux PD-V8* Radar Sensor Usability for Drone Detection

Abstract – Nowadays drones became very cheap and reachable for the wide spectrum of people. With increasing number of the drones is necessary establish some rules of its usage. It is very often that legislative is not enabling the drones flying inside the city and over the public areas. If some kind of rules is set, there is necessary ensure its keeping. For this reason the drone detection methods are developed. This article is evaluating possibility to use radar sensor *pdlux PD-V8* as a very cheap drone detector.

Keywords – Doppler Radar, *pdlux PD-V8*, Drone Detection.

I. ÚVOD

Jednou z možností detekce dronů je využití aktivních radarů. Princip činnosti je založen na odrazu elektromagnetické vlny od objektů nacházejících se ve směru jejího šíření. Hlavní výhodou této metody je to, že detekovaný objekt nemusí s radiolokátorem nijak spolupracovat a sám ani nemusí vysílat. Nevýhodou je pak nepříznivá energetická bilance daná známou radarovou rovnicí:

$$R_{MAX} = \sqrt[4]{\frac{P_{TX} G A_e \sigma}{(4\pi)^2 S_{MIN}}}, \quad (1)$$

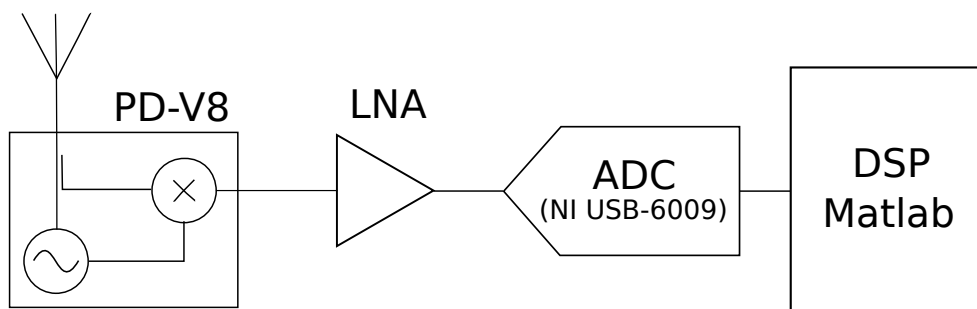
kde: R_{MAX} je maximální dosah, P_{TX} vysílaný výkon, G a A_e zisk a efektivní plocha antény, S_{MIN} minimální detekovatelný signál a σ je efektivní odrazivá plocha cíle někdy také označovaná jako RCS (Radar Cross Section).

Při detekci dronu je hlavním faktorem omezujícím vzdálenost na kterou bude detekován právě jeho RCS. Obecně ale platí, že RCS většiny dronů je velmi malé. Hodnoty RCS pro některé druhy dronů jsou podle [3] v řádu $-10dBsm$ až $-20dBsm$.

Celá řada firem se zabývá systémy pro detekci dronů. Tyto systémy dosahují relativně dobrých výsledků, ale často je jejich cena v řádu desítek miliónů. Cílem realizovaného experimentu bylo zjištění možností detekce dronů pomocí levných součástek a zařízení.

II. REALIZACE RADAROVÉHO DETEKTORU

Realizovaný experiment byl proveden pro radarový senzor PD-V8 firmy *pdlux* [4]. Uvedené čidlo je velmi jednoduchý dopplerovský radar pracující na kmitočtu 5.8 GHz s EIRP 0.20 až 0.25 mW. Toto čidlo bylo zvoleno z důvodu velmi nízké ceny, která se



Obrázek I. Blokové schéma radarového detektoru

pohybuje v rozsahu 3 až 5 USD za kus. Na obrázku I je znázorněno blokové schéma celého radarového detektoru.

Realizovaný detektor se skládá z čidla PD-V8 jehož výstupem je dopplerovský kmitočet. Výstupní signál je pomocí operačního zesilovače zesílen a kmitočtově omezen na 3 kHz. Následně je zesílený dopplerovský signál digitalizován pomocí DAQ modulu NI USB-6009. Další zpracování signálu je realizováno obslužným programem v Matlabu.

Digitalizace dopplerovského signálu byla prováděna se vzorkovacím kmitočtem 48 kHz a rozlišením 14 bitů. Následující výpočty byly prováděny s periodou 100 ms. Navzorkovaný signál byl filtrován DP s mezním kmitočtem 500 Hz a decimován na vzorkovací kmitočet 1024 Hz. V dalším kroku bylo vypočítáno pomocí 512 bodové FFT kmitočtové spektrum. Toto kmitočtové spektrum bylo následně prahováno prahovací funkcí a ve výsledném spektru bylo hledáno maximum. Kmitočet odpovídající tomuto maximum byl přepočítáván na rychlost detekovaného objektu podle vztahu:

$$v = \frac{f_{DOPP}}{f_0} c \quad [m/s], \quad (2)$$

kde f_{DOPP} je přepočítávaný kmitočet, f_0 pracovní kmitočet radaru 5.8 GHz a c rychlost šíření elektromagnetické vlny ve vakuu.

III. USPOŘÁDÁNÍ EXPERIMENTU

Pro zjištění maximální vzdálenosti, na kterou lze detekovat daný dron byl proveden experiment uspořádaný podle obrázku II.

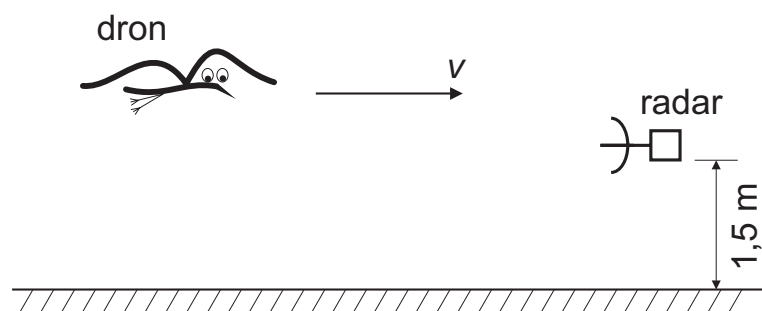
Radarový detektor byl umístěn ve výšce 1.5 m nad zemí a následně proti němu bylo přímočaře nalétáno několika různými drony (DJI Inspire 2, DJI Phantom 3, a DJI F450). Byl prováděn záznam detekovaných rychlostí a následně pomocí jejich integrace zjištěna maximální vzdálenost, ve které byl dron detekován. Při průletu je nezbytné, aby se dron pohyboval přímočaře k nebo do radaru, protože dopplerův kmitočet je dán rychlostí vzhledem k radaru podle obrázku III a vztahu 3.

$$f_{DOPP} = f_0 \frac{v \cos(\alpha)}{c} \quad (3)$$

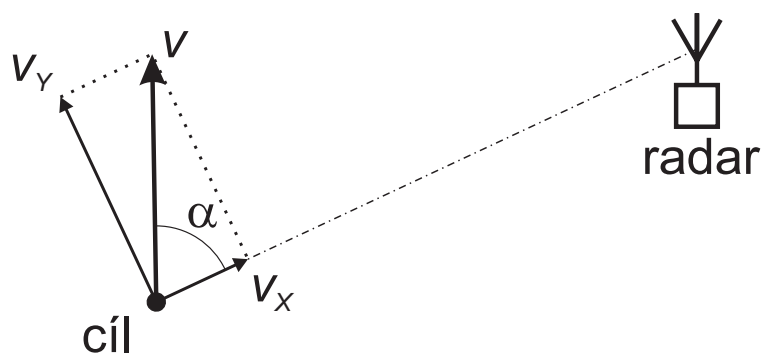
IV. VÝSLEDKY

Na obrázcích IV až VI jsou zaznamenány průběhy kmitočtového spektra, změřené rychlosti, a vzdálenosti dronu od radaru pro dron *DJI Phantom 3*. Časová značka 231,1 s označuje okamžik průletu dronu těsnou blízkostí radaru. V tomto okamžiku dochází k poklesu vzájemné rychlosti vlivem geometrie z obrázku III. Díky tomu je možné určit relativně přesně okamžik průletu (resp. okamžik minimální vzdálenosti dronu).

V tabulce I jsou shrnuty maximální vzdálenosti, ve kterých byly detekovány jednotlivé druhy dronů. Skutečné vzdálenosti se však mohou od uvedených do určité míry lišit, neboť radarový senzor nebyl před měřením z organizačních důvodů nijak kalibrován.



Obrázek II. Uspořádání experimentu



Obrázek III. Vztah rychlosti a dopplerova kmitočtu

Tabulka I. Maximální vzdálenosti ve kterých byly sledovatelné jednotlivé typy dronů.

Dron	vzdálenost
DJI Inspire 2	25 m
DJI Phantom 3	25 m
DJI F450	20 až 25 m

V. ZÁVĚR

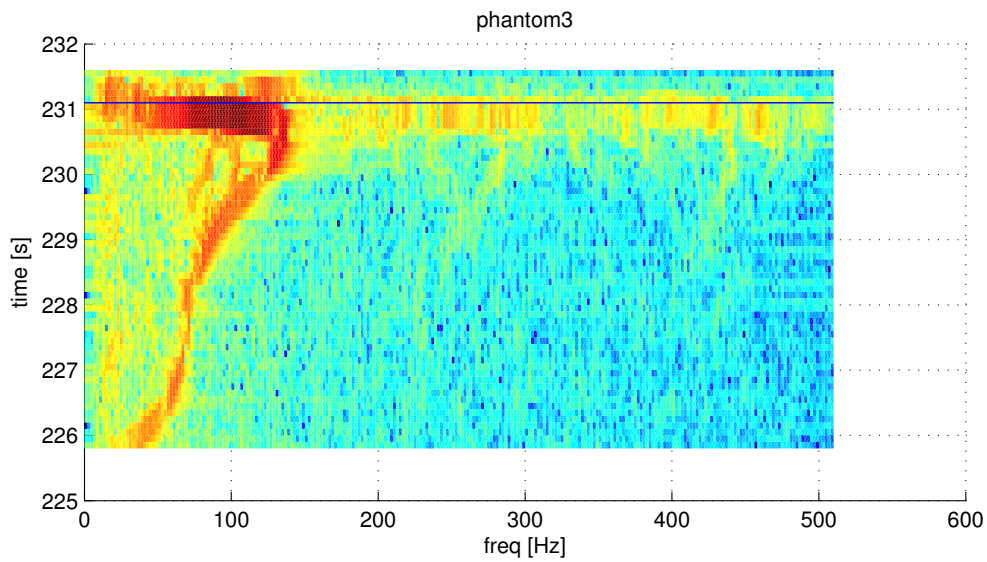
Experiment však ukázal, že uvedený radarový senzor je schopen detekovat dron při daných parametrech na relativně velké vzdálenosti. Uvedený senzor však neumožňuje identifikaci zda se jedná o dron nebo jiný pohybující se objekt.

PODĚKOVÁNÍ

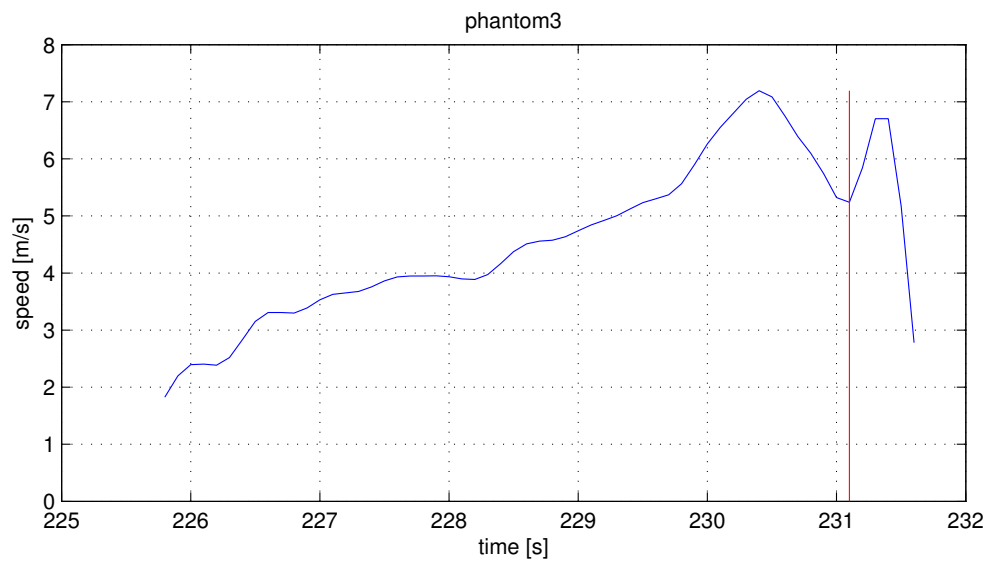
Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008.

LITERATURA

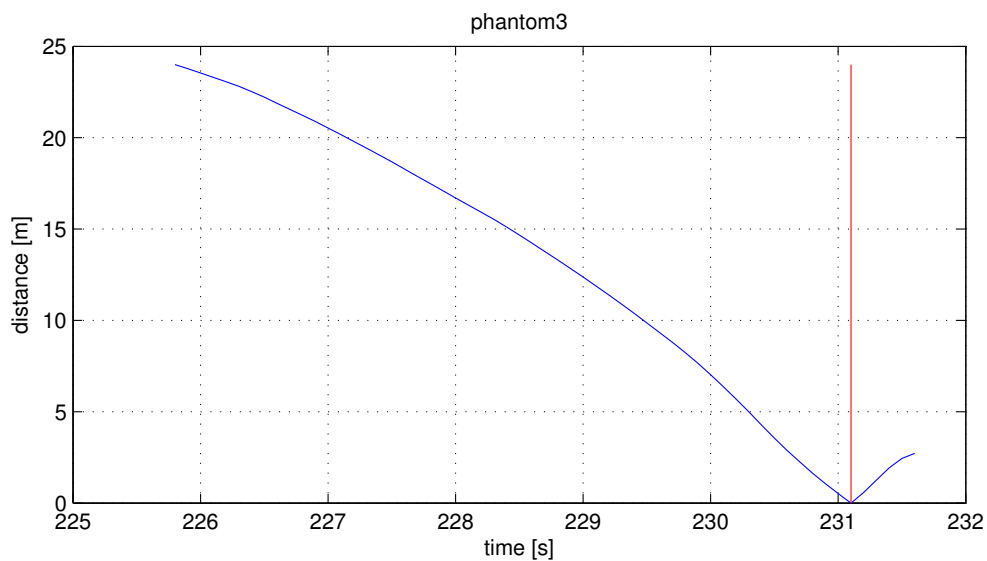
- [1] Merrill I. Skolnik, *Radar Handbook*, The McGraw-Hill Companies 2008, ISBN 978-0-07-148547-0
- [2] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, The McGraw-Hill Companies 1981, ISBN 0-07-057909-1
- [3] M. Ritchie, F. Fioranelli, H. Griffiths and B. Torvik, Micro-drone RCS analysis, *2015 IEEE Radar Conference*, Johannesburg, 2015, pp. 452-456. doi: 10.1109/RadarConf.2015.7411926
- [4] PDLUX [online]. [cit.: 21.9.2017] URL: <http://www.pdlux.com>



Obrázek IV. Záznam kmitočtového spektra



Obrázek V. Záznam změřených rychlostí



Obrázek VI. Vypočítaná vzdálenost dronu od radaru