

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК FMCW РАДАРУ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ НА БАЗІ FPGA

Маленчик Т.В.

*Радіотехнічний факультет
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: sparrow@ex.ua*

ANALYSIS OF ENERGY CHARACTERISTICS OF THE FMCW FPGA-BASED MILLIMETER RANGE RADAR

An analysis of the influence on the energy characteristics on the detection range of UAV FMCW radar based on FPGA XC7Z020-1CLG484C was conducted.

Застосування малорозмірних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) набуло широкого використання в різних сферах життєдіяльності. Тому актуальною є задача виявлення таких об'єктів, для запобігання згубним діям внаслідок їх несанкціонованого проникнення. Оптичні системи виявлення залежать від кількості освітлення, яке потрапляє на давач, тому можуть працювати лише в світлий період доби [1]. В свою чергу радіолокаційна система виявлення здатна працювати незалежно від кількості освітлення, часу доби, погодних умов, тощо [2].

Перспективним засобом виявлення малорозмірних БПЛА FMCW (Frequency modulated continuous wave) радар на базі FPGA (Field-Programmable Gate Array) з порівняно меншою вартістю, підвищеною надійністю та швидкодію. Такі радіолокаційні системи мають ряд переваг:

- можливість вимірювання дуже малих відстаней до цілі (мінімальна вимірювана дальність порівняна з довжиною хвилі);
- можливість одночасного виміру дальності до цілі та її радіальної швидкості [3];
- дуже висока точність виміру дальності;
- обробка сигналів здійснюється в діапазоні низьких частот, що спрощує реалізацію схем обробки;
- краща безпека через відсутність імпульсного випромінювання з великою імпульсною потужністю;
- можливість програмної реалізації алгоритмів обробки сигналів [4].

В даній роботі проведено аналіз впливу енергетичних характеристик на дальність виявлення БПЛА FMCW радаром на базі ПЛІС (XC7Z020-1CLG484C [5]).

Характеристики створеного радара наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Параметр	Мін. знач.	Типове	Макс. Знач.	Одиниця
АЦП частота вибірок		80		Мвиб/с
Смуга пропускання		0.5		ГГц
Частотний діапазон	33.5	34	34.1	ГГц
Період ЛЧМ		50		мкс
СW вихідна потужність		10		мВт
Коефіцієнт підсилення антен		29		дБ

Для розрахунку теоретичної максимально досяжної дальності виявлення FMCW радіолокатором використано рівняння радіолокації (1) [6] та прийнято наступні вихідні дані:

$$R_{\max} = \left[\frac{P_{\text{CW}} G^2 \lambda^2 \sigma_T L_2}{(4\pi)^3 k T_0 F B (SNR_{\min}) L_1 SRF} \right]^{\frac{1}{4}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{CW}} = 10 \text{ дБм}$ - середня потужність СW передавача;

$G = 29 \text{ дБ}$ - коефіцієнт підсилення рупорної

антени; $\lambda = c / f_0 = 3 \times 10^8 / 34 \times 10^9 \approx 8,8 \text{ мм}$ - довжина хвилі;

σ_T - ефективна площа розсіювання (ЕПР) БПЛА;

$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Дж/К}$ - стала Больцмана;

$T_0 = 290 \text{ К}$ - абсолютна температура приймача;

$B = 500 \text{ МГц}$ - смуга пропускання приймача;

$L_2 = 0.9$ - коефіцієнт двостороннього атмосферної передачі;

$L_1 = 8 \text{ дБ}$ - коефіцієнт загальних втрат;

$SNR_{\min}$ - мінімальне значення відношення сигнал/шум (ВСШ) необхідне для виявлення;

$SRF = 1 / 50 \times 10^6 = 20 \text{ кГц}$ - частота повторення ЛЧМ сигналу;

$F = 1.9 \text{ дБ}$ - коефіцієнт шуму приймача;

На рис. 1 наведено залежність ВСШ $SNR_{\min}$ від дальності $R_{\max}$ для ЕПР $\sigma_T = 0,1 \text{ м}^2; 0,01 \text{ м}^2$ [7]. На рис.2 приведена залежність дальності $R_{\max}$ від потужності передавача P_{CW} , при ВСШ 10 дБ.

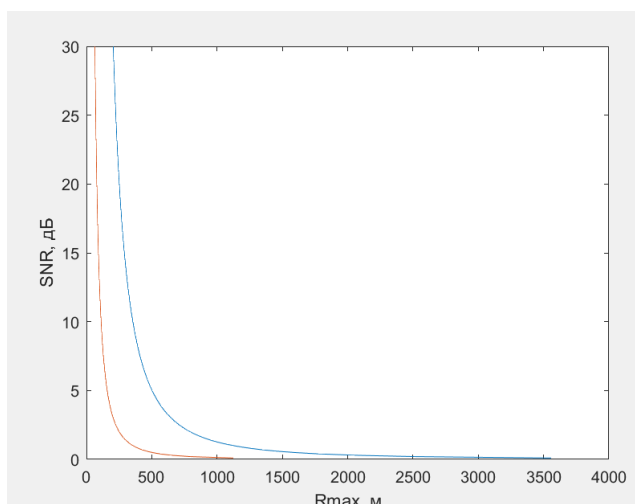


Рис. 1. Залежності ВСШ від дальності.

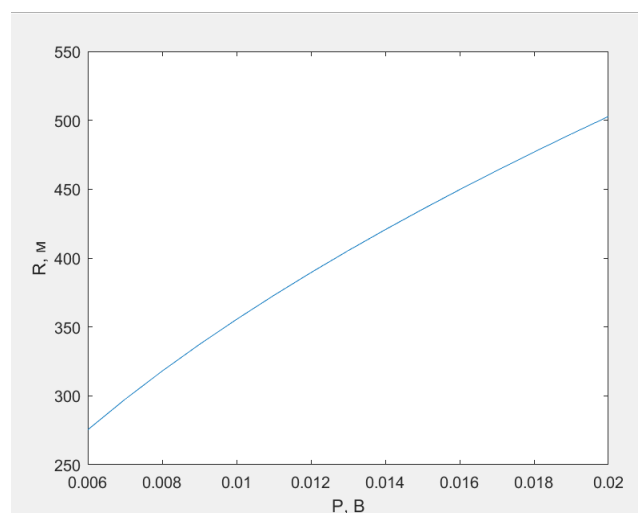


Рис. 2. Залежність дальності від потужності випромінювання.

Отже, максимальна дальність виявлення БПЛА з ЕПР 0.1 м^2 за допомогою FMCW радару може бути 320 – 350 м при ВСШ 10 дБ, при імовірності правильного виявлення не менше 0.8. При використанні цифрової обробки сигналу, такої як , узгодженої фільтрації та когерентне накопичення сигналу дальність виявлення може бути збільшена.

Література

1. E. Hyun, W. Oh and J. -H. Lee, "Multi-target detection algorithm for FMCW radar," 2012 IEEE Radar Conference, Atlanta, GA, USA, 2012, pp. 0338-0341, doi: 10.1109/RADAR.2012.6212161.
2. Ha, Jae Kwon, Chang Kyun Noh, Jin Seop Lee, Ho Jin Kang, Yu Min Kim, Tae Hyun Kim, Ha Neul Jung, Sang Hwan Lee, Choon Sik Cho, and Young Jin Kim. 2021. "RF Transceiver for the Multi-Mode Radar Applications" Sensors 21, no. 5: 1563. <https://doi.org/10.3390/s21051563>
3. N. F. M. Ariffin, F. N. M. Isa and A. F. Ismail, "FMCW Radar for Slow Moving Target Detection: Design and Performance Analysis," 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2016, pp. 396-399
4. Santos, D., Sebastião, P., & Souto, N. Low-cost SDR based FMCW radar for UAV localization. In 2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC) IEEE, 2019. p. 1-6.
5. Zynq-7000 SoC Data Sheet.
6. Mohinder J., Fmcw Radar Design. Publisher: Artech House, 2018.
7. Farlik J, Kratky M, Casar J, Sary V. Multispectral Detection of Commercial Unmanned Aerial Vehicles. Sensors. 2019; 19(7):1517. <https://doi.org/10.3390/s19071517>