

Predicción de la pérdida de la señal por trayectoria de Dron

Ingeniería electrónica y de comunicaciones

Antonio Gómez Roa

Escuela de Ciencias de la Ingeniería
y Tecnología (ECITEC), UABC
Tijuana, B. C.
gomez_roa@uabc.edu.mx

Andrés Calvillo Téllez

Instituto Politécnico Nacional
CITEDI
Tijuana, B. C.
acalvillo@ipn.mx

José Cruz Núñez Pérez

Instituto Politécnico Nacional
CITEDI
Tijuana, B. C.
nunez@citedi.mx

Resumen— Este artículo trata aspectos importantes del análisis de certidumbre de funcionalidad de comunicación entre un dron y un radiocontrol. En primera instancia se estima el máximo alcance para operar dentro del estándar de frecuencia libre de 900 MHz, que fija la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente a 36 dBm, la potencia del transmisor de 30 dBm y hasta 6 dBi la ganancia de la antena; el segundo, predice el alcance máximo que se puede obtener. Considerando los parámetros de calidad del enlace como potencia radiada, ganancia de antenas, atenuación por propagación en espacio libre, margen de desvanecimiento y nivel de recepción de la señal. Los resultados obtenidos en MATLAB® muestran la gráfica referente a: la relación que existe entre la suma de Ganancias Vs distancia de propagación y el rango permisible antes de que el nivel de RSSI alcance su valor mínimo de -100dB.

Palabras Clave—alcance; pérdidas; radiocomunicación;

I. INTRODUCCIÓN

Los dispositivos de comunicaciones a la par que los drones están evolucionando más allá de su origen para convertirse en poderosas herramientas de negocios. La demanda de drones ha dado un salto al mercado de consumo, y ahora están siendo puestos en aplicaciones comerciales y gubernamentales desde la agricultura hasta la oceanología.

En oceanología, se puede emplear una red de sensores, para facilitar la obtención de parámetros de interés marítimo, donde un dron puede coleccionar información de un rango amplio.

La relevancia de este trabajo radica en predecir la pérdida de la señal del dron considerando la máxima amplitud del rango que requiere desplazarse, superando los numerosos factores que afectan el rendimiento, el alcance, la disminución de potencia recibida, que tienen un impacto en la medición de RSSI.

El rango de la radiocomunicación, depende de la pérdida o atenuación de la señal de radiofrecuencia que sufre acentuación debido al alejamiento o extensión de la trayectoria y se presenta en la medida en que se aleja el dron del punto donde se ubica el radiocontrol. Es de tal relevancia que, si se pierde la señal por

completo debido a que se rebasaron los niveles de los parámetros de radiocomunicación, se presenta una condición de pérdida de enlace y es una condición difícil para recuperar el dron. En la estimación de la pérdida de trayectoria de señal de radio se consideran algunos parámetros del sistema de comunicaciones, en especial la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). El PIRE es la suma logarítmica de las atenuaciones de señal presentes en la línea de transmisión, así como en los conectores y la ganancia de la antena. También se considera la altura y la geoposición tanto del dron como del radiocontrol [1-5].

El sistema de comunicación inalámbrica del dron está a cargo del radiomódem RFD900, este módulo opera en frecuencias cercanas a los 900 MHz con una potencia de transmisión de 30 dBm y una sensibilidad del receptor de -121 dBm. Este módulo, posee un estimador de la calidad del enlace RSSI (indicador de intensidad de la señal recibida).

Como el dron empleara parte del espectro electromagnético es necesario observar las disposiciones oficiales, en este caso observar la Norma Oficial Mexicana NOM-121-SCT1-2009. La norma establece las condiciones técnicas de operación que deberán de un sistema de radiocomunicación que utilice el espectro radioeléctrico en la banda de frecuencias libre de uso industrial, científico, y médico en el rango de 902-928 MHz.

Se establece que la potencia máxima de transmisión entregada a las antenas de los sistemas no deberá exceder de 1 W, pudiéndose utilizar antenas de transmisión con ganancia direccional máxima de 6 dBi de manera que se obtenga una Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) máxima de 4 W o 36 dBm. Si se utilizan antenas de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia total de entrada a las mismas y la correspondiente densidad de potencia, deberán ser reducidas en la misma cantidad que la ganancia direccional exceda de 6 dBi [6-10].

II. DESARROLLO

En la figura 2 se muestra, la radiocomunicación de la orilla de la playa de Rosarito, hasta la isla Coronado, mar adentro donde el dron realiza un recorrido de aproximadamente un rango

de 17 km y para la predicción de la pérdida de la señal se emplea al modelo de pérdida de propagación en el espacio libre, para predecir el nivel de potencia de la señal que arriba al receptor del dron.



Fig. 1. Radiocomunicación del trayecto del dron.

A. Pérdida en Trayectoria

La pérdida en trayectoria por el espacio libre se suele definir como la pérdida de potencia sufrida por una señal de radio al propagarse en línea recta por el vacío, sin absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos, las pérdidas son directamente proporcionales a la distancia de separación entre transmisor y receptor, la ecuación que define a la pérdida en trayectoria por el espacio libre es [10-15]:

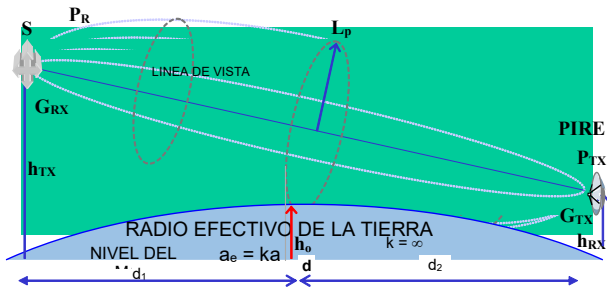


Fig. 2. Pérdida de la señal por trayectoria

$$L_P = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi D f}{c}\right)^2 \quad (1)$$

Donde:

- L_P = pérdida en trayectoria por el espacio libre
- D = distancia entre transmisor y receptor [km]
- f = frecuencia de la portadora [Hz]
- λ = longitud de onda [m]
- c = velocidad de la luz en el espacio libre [3×10^8 m/s]

Expresada la ecuación 1 en decibeles, resulta la siguiente ecuación:

$$L_{P(dB)} = 20 \log \frac{4\pi f D}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log D \quad (2)$$

Cuando la frecuencia se expresa en MHz y la distancia en km, se tiene:

$$L_{P(dB)} = 20 \log \frac{4\pi(10)^6(10)^3}{3 \times 10^8} + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)}$$

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)} \quad (3)$$

B. Balance de Potencia

El desempeño de un radioenlace se calcula de la siguiente manera [16-20]:

$$P_r = T_x - L_t + A_t - L_p + A_r - L_r \quad (4)$$

Donde:

- P_r = Potencia de recepción (dBm)
- T_x = Potencia de transmisión (dBm)
- L_t = Pérdida de la línea de transmisión (dB)
- A_t = Ganancia relativa de la antena respecto a una isotrópica (dBi)
- L_p = Pérdida en espacio libre (dB)
- A_r = Ganancia de la antena de recepción con respecto a una isotrópica (dBi)
- L_r = Pérdida de línea en el receptor (dB)

El Margen de umbral se define como:

$$M_u = P_r - U_r \quad (4)$$

Donde:

- M_u (dB) = Margen de umbral
- P_r (dBm) = Potencia de recepción
- U_r (dBm) = Umbral de recepción o sensibilidad del equipo receptor.

C. Margen de desvanecimiento y objetivo de confiabilidad

Al propagarse una onda electromagnética por la atmosfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo. Esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo, etc.; a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento.

El margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por trayectorias múltiples (pérdidas por trayectorias múltiples) y la sensibilidad del terreno. El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema.

$$F_M = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (6)$$

Siendo:

- F_M = margen de desvanecimiento [dB]
- D = distancia entre transmisor y receptor [km]
- f = frecuencia de la portadora [GHz]
- A = factor de rugosidad
- = 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso

= 1 sobre un terreno promedio
 = 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B = factor de la peor condición mensual en una probabilidad anual

= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual
 = 0.5 para áreas calientes y húmedas
 = 0.25 para áreas continentales promedio
 = 0.125 para áreas muy secas o montañosas
 (1-R) = objetivo de confiabilidad

Para que el sistema diseñado cumpla con el objetivo de confiabilidad, se requiere que el margen de umbral del sistema (M_u), sea mayor al margen de desvanecimiento (FM), así:

$$M_u \geq F_M \quad (7)$$

La relación entre los valores RSSI (indicación de la intensidad de la señal recibida) y la distancia es la base y la clave para la determinación de distancia y posicionamiento en las redes de sensores inalámbricos como se muestra en la siguiente ecuación [21]:

$$10 \log P_R = 10 \log P_T + 10n \log d \quad (8)$$

Siendo:

n = factor que determinar la relación entre la intensidad de las señales recibidas y la distancia de transmisión de la señal

III. RESULTADOS

La tabla 1 presenta los parámetros obtenidos de la predicción de la pérdida de la señal del radioenlace radiocontrol-dron.

La figura 3 muestra el balance del presupuesto del radioenlace.

La figura 4 presenta la gráfica de distancia y altitud del dron con respecto al nivel de RSSI del dron donde a un rango de 16 km, alcanza el 68% de Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida.

TABLE I. PARAMETROS DEL RADIOENLACE DEL DRON

Parámetro	Variable	Valor	Unidad
Potencia del transmisor	P_{TX}	30	dBm
Ganancia de la Antena de Transmisión	G_T	3	dBi
Potencia Isotrópica Radiada Efectiva	PIRE	33	dBm
Distancia	D	16000	m
Atenuación en el Espacio Libre	L_{FS}	-115	dB
Ganancia de la Antena de Recepción	G_{RX}	3	dBi
Potencia de Recepción	P_R	-42	dB
Umbral o Sensibilidad de Rx	S	-121	dBm
Margen de desvanecimiento	FM	20	dB

Parámetro	Variable	Valor	Unidad
Margen de umbral	M	42	dB
Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida	RSSI	68	%

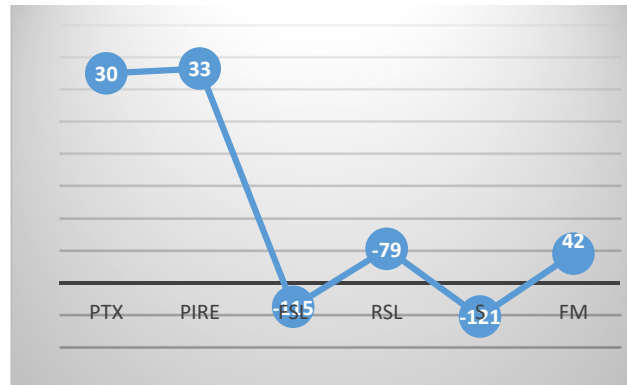


Fig. 3. Grafica del desempeño de la predicción del desvanecimiento de la señal

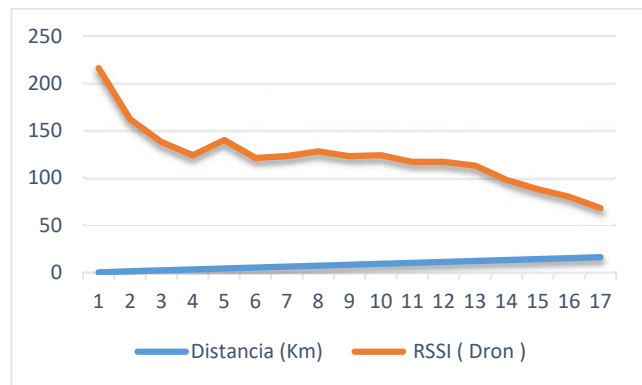


Fig. 4. Grafica de los valores de RSSI, altitud del vehículo vs distancia

IV. CONCLUSIONES

Las antenas presentaron una ganancia de 3dBi suficiente para permitir efectuar radioenlaces como el propuesto del PIRE de 33 dBm y un rango máximo de 16 km para un 68% de Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida. Estas características son fundamentales en el desempeño del enlace. El sistema de recepción de señal, presento una sensibilidad que le permitió percibir el nivel de señal que llega al punto de recepción, de manera que el proceso de demodulación se pueda llevar a cabo para la recuperación de la información transmitida. En la trayectoria del enlace no hay obstrucciones considerables a la línea de vista, si bien la antena del radiocontrol se encontraba a nivel del suelo, el dron se sustentaba a una altitud de 500 m sobre el nivel del mar (ASNM), no representa un problema si se desea implementar el enlace. Partiendo de los cálculos de pérdidas de propagación, nivel de intensidad de la señal de recepción, margen de desvanecimiento y el criterio de un margen por condiciones topográficas y meteorológicas (F_M) se establece que el radioenlace punto a punto de frecuencia de

operación de 900 MHz tiene el nivel de señal adecuado para garantizar la demodulación en el equipo de recepción.

Considerando que la autonomía del dron se debe a la batería y que la misma alimenta al amplificador del radiocomunicador, se puede variar la potencia del transmisor y la ganancia de las antenas, respetando la norma que indica que el máximo PIRE es de 36 dBm, limitando al transmisor a 30 dBm.

Un recorrido en el rango de los 16 km, presenta un elevado consumo de energía y se debe estimar la energía suficiente que garantice el regreso del Dron. Si se emplean antenas superiores a 6 dBi ya sea de 9 a 12 dBi, se sostendría la norma, se alcanzaría el rango de distancia del recorrido y se ahorraría energía en batería, ya que se puede reprogramar el transmisor para una potencia de 27 a 24 dBm con estas antenas.

Algunos dispositivos poseen una Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida (RSSI) o una relación señal / ruido (SNR). Un valor mínimo de RSSI de -65 dBm equivalente a una SNR de 20 dB con un nivel de típico de ruido de -85 dBm. Se requiere un mínimo de aproximadamente 10 dB de SNR \pm 2 dB para mantener una comunicación segura y confiable.

V. REFERENCIAS

- [1] Freeman, R. L. (2015). Telecommunication system engineering. John Wiley & Sons.
- [2] Freeman, "Radio System Design for Telecommunications", Wiley & Sons, 1987.
- [3] J. D. Parson, "The Mobile Radio Propagation Channel", Wiley & Sons, 1992.
- [4] J. Doble "Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile, Artech House, 1996.
- [5] H.L. Bertoni, et al., "UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications," Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 9, pp. 1333-1359, 1994.
- [6] J.B. Andersen, T.S. Rappaport, and S. Yoshida, "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels," IEEE Communications Magazine, pp. 42-49, 1995.
- [7] W.C.Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals," Second Edition, Wiley & Sons, 1993.
- [8] CCIR (now ITU-R) Report 567-4, "Propagation data and prediction methods for the terrestrial land mobile service using the frequency range 30 MHz to 3 GHz" International Telecommunication Union, Geneva, 1990.
- [9] CCIR (now ITU-R) Report 567-4, "Propagation data and prediction methods for the terrestrial land mobile service using the frequency range 30 MHz to 3 GHz" International Telecommunication Union, Geneva, 1990.
- [10] Gibson J. (1996), The Communications Handbook Press / IEEE Press
- [11] Wayne T. (2003), *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Cuarta edición. Pearson Educación.
- [12] Townsend A. (1996) Digital Line-of-Sight Radio Links: a handbook. Prentice Hall. UK.
- [13] ARRL (1990), UHF/Microwave Experimenter's Manual (American Radio Relay League).
- [14] Hall, M.P.M., Barclay, L.W. and Hewitt, M.T. (1996), Propagation of Radiowaves (Institution of Electrical Engineers,).
- [15] Parsons, J.D (1992), The Mobile Radio Propagation Channel, Wiley & Sons.
- [16] Doble, J., (1996) Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile Communications Artech House.
- [17] Bertoni, H.L., Honcharenko, W., Maciel, L.R. and Xia, H.H., (1994), UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications, Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 9, September, pp. 1333-1359.
- [18] Andersen, J.B., Rappaport, T.S. and Yoshida, S., (1995), Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels, IEEE Communications Magazine, January, pp. 42-49.
- [19] Lee, W.C.Y., (1993), Mobile Communications Design Fundamentals, Second Edition (Wiley & Sons, 1993).
- [20] Cruz Figueroa Torres, José Luis Medina Monroy, Ricardo Arturo Chávez Pérez and Andrés Calvillo Téllez (2014) circular monopole antenna with defected ground plane for UWB applications ISSN: 1870-4069, Research in Computing Science, Vol.64, Pag.207-214.
- [21] XU, Jiuqiang, et al. Distance measurement model based on RSSI in WSN. Wireless Sensor Network, 2010, vol. 2, no 08, p. 606.