

INFORME UIT-R M.2034*

Influencia de los requisitos de detección del radar de selección dinámica de frecuencias sobre los receptores del sistema de acceso inalámbrico de 5 GHz

(2003)

1 Introducción

La Recomendación UIT-R M.1652 sugiere que para facilitar la compartición con los radares, los sistemas de acceso inalámbrico (WAS), incluidas las redes radioeléctricas de área local (RLAN), empleen técnicas de reducción de la interferencia en las bandas utilizadas por los radares de 5 GHz. Dicha Recomendación describe una técnica de reducción de la interferencia denominada selección dinámica de frecuencias (DFS) que exige la implantación de un mecanismo de detección de radar. Además, esa Recomendación también presenta los requisitos de detección y respuesta que debe satisfacer la DFS.

Este Informe considera la manera en que los radares que funcionan en la banda de 5 GHz pueden ser detectados por los WAS sin imponer excesivas limitaciones en el diseño del terminal de RF o en la capacidad del WAS.

La detección del radar sólo puede ser posible durante los instantes en que no hay transmisión activa en la célula WAS. Durante el tiempo de verificación de disponibilidad del canal, no hay transmisión durante un periodo significativo (por ejemplo, 60 s). Durante la comprobación técnica en servicio la detección tiene lugar en los instantes en que no hay tráfico en el enlace ascendente o el enlace descendente.

La detección de un impulso de potencia del radar por encima del denominado umbral DFS desencadena un procedimiento DFS y el punto de acceso debe abandonar el canal en un breve periodo de tiempo. En este Informe se presentan las relaciones entre el umbral DFS, T_{DFS} , la tasa de falsas alarmas del WAS y la tasa de fallos de detección del radar por el WAS y se discuten desde el punto de vista de implementación de una detección del radar en un receptor WAS.

2 Abreviaturas y acrónimos

ACT:	tiempo de verificación de disponibilidad (del canal) (<i>channel availability check time</i>)
DF:	probabilidad de fallo de detección (<i>detection failure probability</i>)
DFS:	selección dinámica de frecuencias
FA:	probabilidad de falsa alarma (<i>false alarm probability</i>)
FRI:	frecuencia de repetición de impulsos
MDFO:	múltiplex por división de frecuencia ortogonal
RLAN:	red radioeléctrica de área local
RSS:	intensidad de la señal recibida (<i>received signal strength</i>)
T_{DFS} :	umbral DFS (<i>DFS threshold</i>)
WAS:	sistema de acceso inalámbrico

* Este Informe fue elaborado conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones, que también se ocuparán conjuntamente de cualquier futura revisión.

3 Hipótesis y metodología

La detección del radar por un WAS se caracteriza por dos medidas del comportamiento:

3.1 Probabilidad de fallo de detección (DF)

Se trata de la probabilidad de que un radar esté presente en el canal pero que el WAS no detecte ningún impulso de radar. DF debe tener el valor más bajo posible para no interferir con los radares. Se fija como objetivo un valor de $DF = 1\%$. La probabilidad de detección varía con la potencia de la señal del radar con respecto al umbral del detector establecido en el receptor; un nivel de potencia más elevado aumenta la probabilidad de detección.

3.2 Probabilidad de falsa alarma (FA)

Es la probabilidad de que el WAS detecte impulsos de interferencia cuando no hay en el canal ninguna señal de radar, desencadenando de esa forma un procedimiento DFS innecesario. Esto puede suceder cuando una ráfaga de ruido o de interferencia se interpreta equivocadamente como un impulso de radar. Dicha ráfaga puede ser provocada por dispositivos WAS que se encuentren en las proximidades y funcionen en el mismo canal o en canales de RF adyacentes del WAS. Una elevada relación interferencia/ruido de fondo en el receptor WAS aumentará evidentemente la FA. No obstante, esta probabilidad debe ser lo más baja posible para no desencadenar innecesariamente procedimientos DFS lo cual limitaría severamente la capacidad del WAS, especialmente en los casos de instalaciones de gran densidad. Durante el tiempo de verificación de disponibilidad del canal es suficiente asegurar que el canal no se considera ocupado durante un pequeño porcentaje de tiempo. Se observará que este porcentaje es una función muy abrupta del umbral DFS del WAS y unos pocos dB modifican la FA varios órdenes de magnitud.

El WAS realiza mediciones de potencia promediadas a lo largo de una duración $rss_meas_duration$, estando las mediciones $signal_rss$ espaciadas por la duración media. Por lo tanto, durante el tiempo de verificación de disponibilidad (ACT) del canal, por ejemplo, el número de mediciones efectuadas es:

$$nb_trials = \text{round}(ACT/rss_meas_duration)$$

La señal del radar se recibe a un nivel de $radar_pulse_power$ (dBm), equivalente a T_{DFS} en la notación de la Recomendación UIT-R M.1652 y los impulsos tienen una duración de $radar_pulse_duration$ (ns). La anchura de banda de la señal del radar (MHz) se denomina B . Muchos radares envían impulsos de forma periódica a la frecuencia de repetición de impulsos (FRI). En el caso de un radar giratorio, el WAS recibirá periódicamente una ráfaga de impulsos de manera que el número de impulsos que aparecen durante el ACT del canal, denominado $nb_RADAR_pulses_per_ACT$, será mayor que uno. El periodo de muestreo de la múltiplex por división de frecuencia ortogonal (MDFO) de la RLAN de 5 GHz utilizado es $T = 50$ ns.

4 Criterio de detección

El criterio de detección utilizado se basa en las mediciones absolutas de la potencia de señal. Si la potencia medida rebasa un cierto valor umbral se supone que se ha detectado un radar.

Se supone también que las muestras de señal son ruido blanco gaussiano promediado. Por lo tanto, una medición realizada durante $rss_meas_duration$ consiste en $(rss_meas_duration/T)$ variables

gaussianas complejas independientes. Por consiguiente, la función de densidad de probabilidad del ruido es una función de χ^2 centrada en `noise_floor` con:

$$\text{noise_free_deg} = 2\text{rss_meas_duration}/T$$

grados de libertad.

No hay datos disponibles sobre las características de la señal recibida o los valores estadísticos de un impulso de radar, propagado en un entorno urbano, rural o de otro tipo. En algunos casos, la duración del impulso del radar puede ser más breve que `rss_meas_duration`. La anchura de banda de la señal de radar normalmente es más pequeña que la anchura de banda de una señal MDFO de 18 MHz, de manera que las muestras de impulsos de radar recogidas durante las mediciones de potencia estarán correladas. Si los impulsos de radar se muestrean a una velocidad $T_{\text{RADAR}} = 1/B$, las muestras no presentan correlación. Se supone que la función de densidad de probabilidad de potencia cuando se mide un impulso de radar presenta una distribución χ^2 centrada en:

$$\text{meas_avg_radar_power} = \text{radar_pulse_power} + 10 \cdot \log_{10}(\min(\text{radar_pulse_duration}, \text{rss_meas_duration})/\text{rss_meas_duration})$$

con unos grados de libertad de:

$$\text{radar_free_deg} = 2 \cdot \text{round}(\min(\text{radar_pulse_duration} / T_{\text{RADAR}}, \text{rss_meas_duration} / T_{\text{RADAR}}))$$

La función de densidad de probabilidad (*pdf*) de las mediciones de potencia `noise_rss_pdf` y `radar_rss_pdf` se representa en dBm en la Fig. 1 para un radar de tipo K recibido a un nivel de -67 dBm y una relación de interferencia/ruido de fondo de -84 dBm (véase el § 5).

Una vez conocidas las dos distribuciones `noise_rss_pdf` y `radar_rss_pdf`, pueden calcularse las probabilidades DF y FA.

$$DF = (\text{prob}(\text{radar_rss_pdf} < \text{rss_threshold}))^{\text{nb_RADAR_pulses_per_ACT}}$$

$$FA = 1 - (1 - \text{prob}(\text{noise_rss_pdf} > \text{rss_threshold}))^{\text{nb_trials}}$$

Obsérvese que `rss_threshold` es el umbral de intensidad de la señal recibida (RSS) del receptor WAS fijado, cuyo valor debe encontrarse entre `noise_floor` y `meas_avg_radar_power`, de manera que satisfaga el criterio de probabilidad requerido de DF y FA.

5 Resultados

En los cálculos se utilizan los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{rss_meas_duration} &= 1 \mu\text{s} \\ \text{radar_pulse_power} &= -67 \text{ dBm}, -64 \text{ dBm}, -62 \text{ dBm} \\ \text{radar_pulse_duration} &= 1 \mu\text{s} \\ \text{interference/noise_floor} &= -84 \text{ dBm} \\ B &= 4 \text{ MHz} \\ ACT &= 60 \text{ s} \\ \text{nb_RADAR_pulses_per_ACT} &= 1, 10 \end{aligned}$$

Las Figs. 1 a 6 representan FA y DF utilizando varios valores elegidos de la lista anterior.

Puede observarse que la forma de DF se hace más abrupta a medida que aumenta el número de impulsos. Incrementando T_{DFS} un cierto número de dB se desplaza la curva de DF el mismo número de dB a lo largo del eje x.

Cabe señalar que un aumento de la relación interferencia/ruido de fondo desplazará la curva FA horizontalmente hacia la derecha también.

FIGURA 1

Función de densidad de probabilidad de los niveles de potencia de los impulsos de radar y de la relación interferencia/ruido de fondo

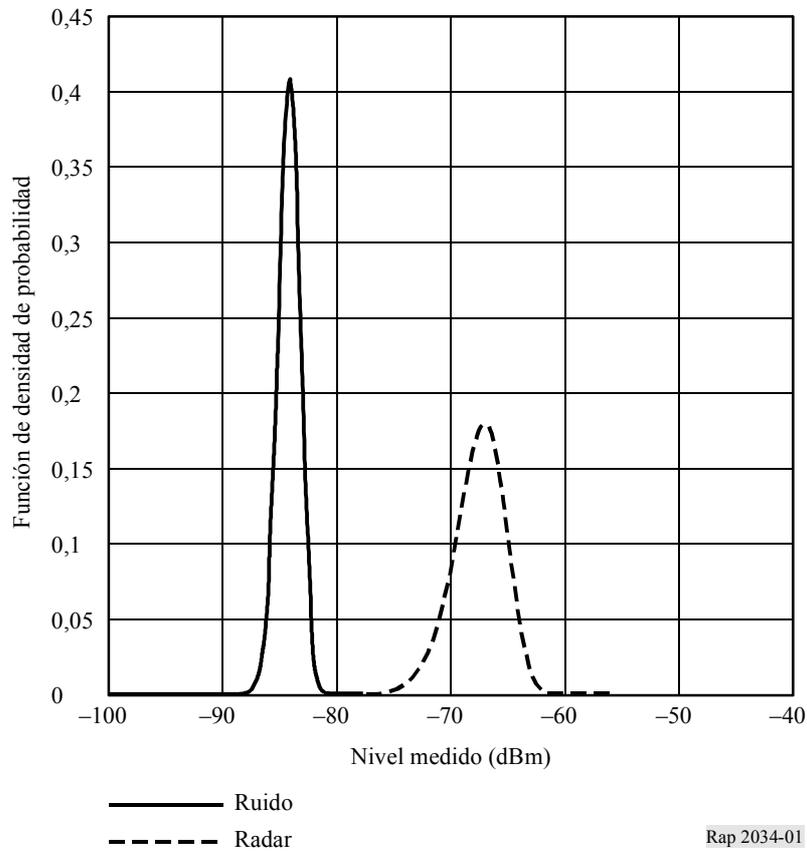


FIGURA 2

DF y FA, un solo impulso de radar
 $T_{DFS} = -67 \text{ dBm}$

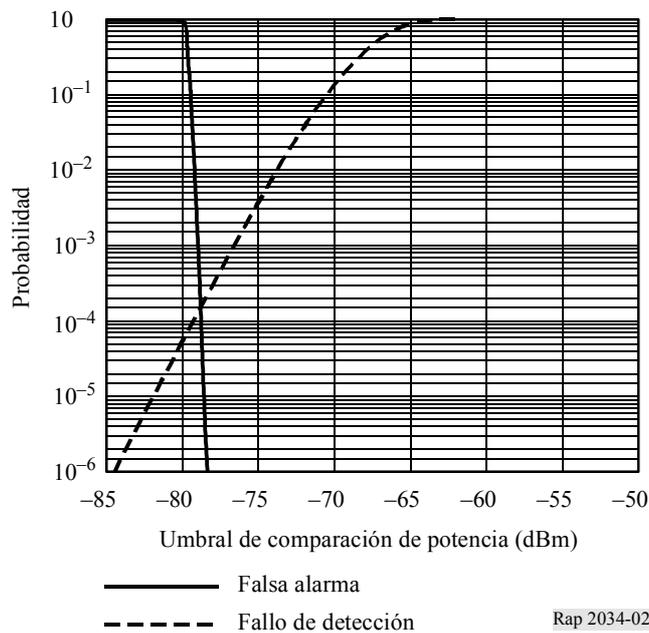


FIGURA 3
 DF y FA, 10 impulsos de radar
 $T_{DFS} = -67 \text{ dBm}$

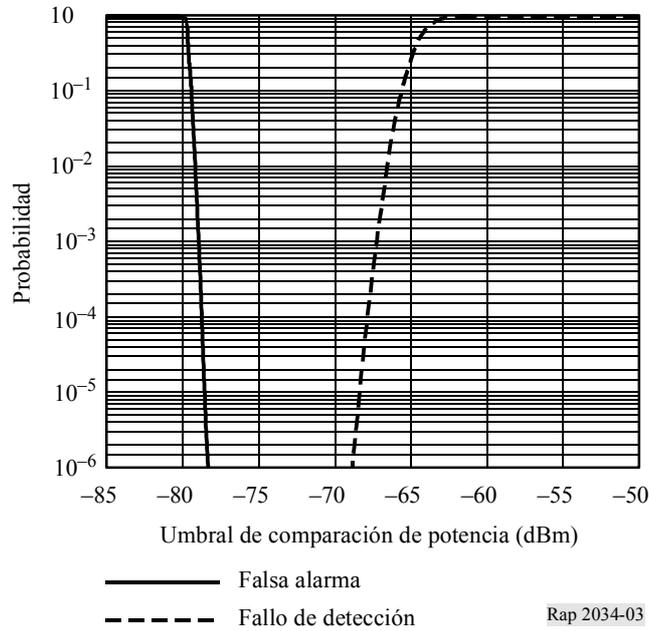


FIGURA 4
 DF y FA, un solo impulso de radar
 $T_{DFS} = -64 \text{ dBm}$

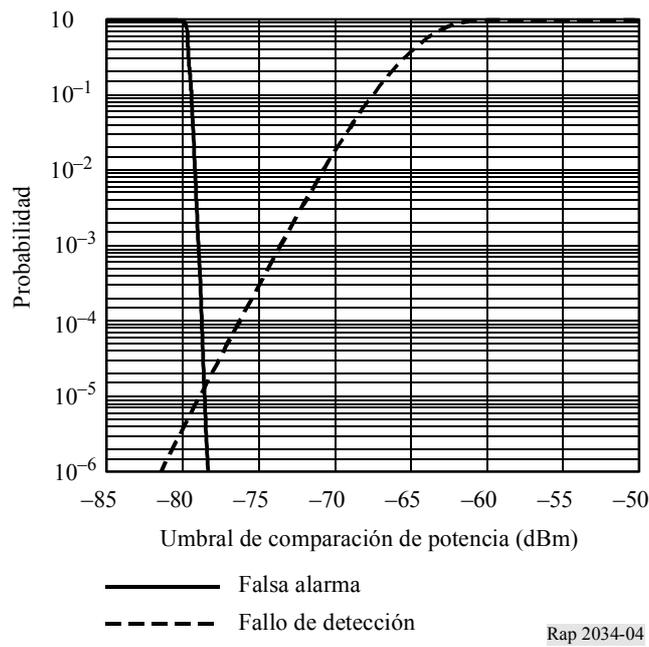


FIGURA 5

DF y FA, un solo impulso de radar
 $T_{DFS} = -62 \text{ dBm}$

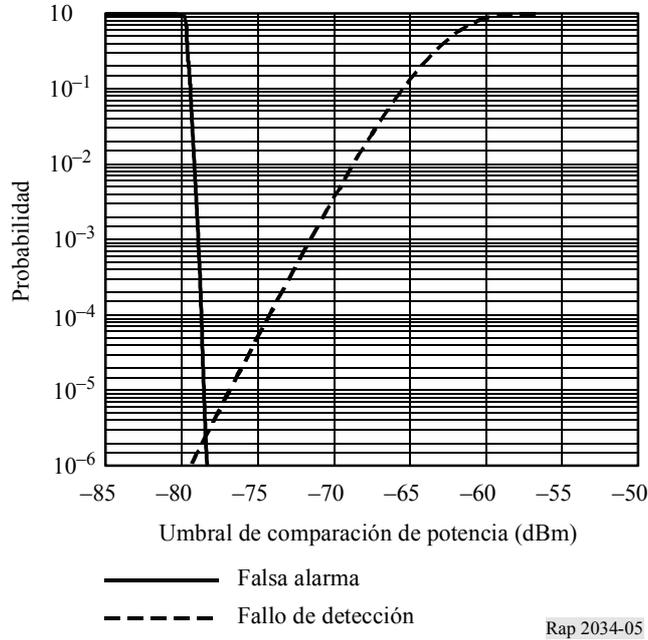
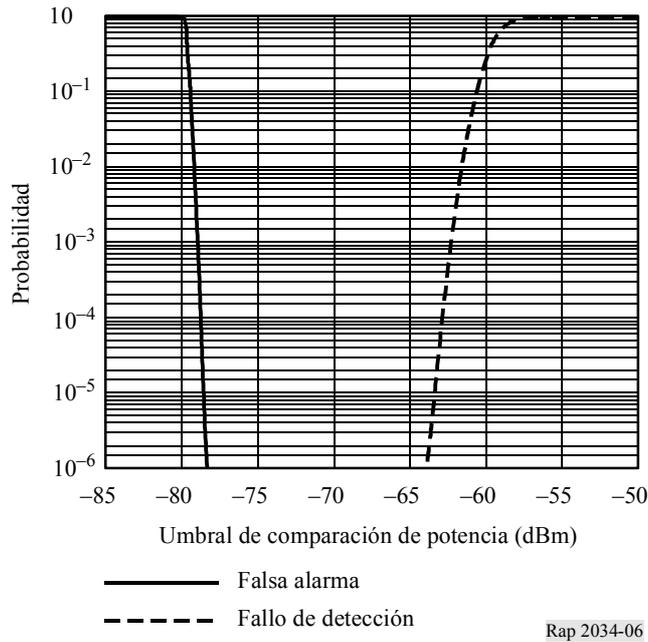


FIGURA 6

DF y FA, 10 impulsos de radar,
 $T_{DFS} = -62 \text{ dBm}$



6 Resumen de los resultados de la simulación

Tasa de falsas alarmas

La tasa de FA en el receptor WAS con un valor de la relación interferencia/ruido de fondo de -84 dBm es del 1% para un nivel de detección del receptor (rss_threshold) de -79 dBm (véase la Fig. 2). La curva cae de forma muy abrupta, pero para asegurar un nivel de calidad de servicio aceptable durante la transmisión WAS en funcionamiento normal, la FA debe ser varios órdenes de magnitud inferior. No se incluyen los márgenes de realización del circuito de detección y se supone que la interferencia de fondo es igual al mayor valor de la sensibilidad del receptor, correspondiendo también por ejemplo a la interferencia procedente de un punto de acceso de canal adyacente distante de 30 m.

Característica de detección del radar

Si se detecta sólo un impulso, siendo el nivel de la señal de radar de -67 dBm, la tasa de fallos de detección DF es el 1% si el valor de rss_threshold es de -74 dBm. (véase la Fig. 2). Por lo tanto, hay menos de 2 dB únicamente de margen para la FA y el DF si rss_threshold se fija a un valor comprendido entre los dos criterios. En la práctica, las variaciones en las condiciones de funcionamiento provocarán fácilmente que se rebase este estrecho margen. Además, la tolerancia típica especificada para las mediciones de RSS es de ± 5 dB en las normas RLAN de 5 GHz y el coste de fabricación a gran escala de dispositivos en una tolerancia más estricta resultaría prohibitivo.

Si aparecen varios impulsos de radar, la probabilidad de detección mejora.

En las Figs. 4, 5 y 6 aparece representado el efecto que supone aumentar el nivel de la señal de radar que debe detectarse, para valores de T_{DFS} de -64 dBm y -62 dBm. La Fig. 6, donde se detectan diez impulsos con un valor de $T_{\text{DFS}} = -62$ dBm, muestra un margen de realización mejorado.
