

RADAR SECUNDARIO BIESTATICO
J. Asensio - A. Elias - J. Fdz. Muniain
Dept. T.S.C. - grupo A.M.R.
ETSETB - UPC
Apdo. Correos 30002, 08080 BARCELONA

ABSTRACT

The basic elements of a secondary radar system are the ground stations (interrogators) and the onboard transponders. The viability of a receiver separated from interrogator has been studied. This receiver gathers features from secondary radar and bistatic system. This paper describes the bistatic receiver, its features and its operation, as well as the most important problems which could limit its performance.

1. INTRODUCCION

Un radar secundario de vigilancia (SSR) es un sistema de detección y posicionamiento de aviones que emiten una secuencia de pulsos codificados en respuesta a las interrogaciones del radar. El papel del SSR ha sido cada vez más importante en la tarea de control de tráfico aéreo. Esto hace interesante la utilización de receptores biestáticos que aprovechen la información que se desprende de las respuestas de los aviones en lugares vitales (torres de control, aeródromos...). Se requiere, por tanto, el estudio de realización y prestaciones de un receptor biestático el cual reunirá las características propias de un sistema biestático y las de un radar secundario.

2. EL RADAR SECUNDARIO

La estación de tierra de un SSR (interrogador) emite dos pulsos de radiofrecuencia (P1 y P3, 1030 Mhz) por una antena directiva que gira explorando en azimut y un pulso de control (P2) por una antena omnidireccional. Cuando la antena directiva apunta a un avión equipado con transpondedor, éste responde con una secuencia de pulsos (1090 Mhz) codificando un mensaje que depende de la separación entre P1 y P3 (modo de interrogación) [1][2][4]. La estación terrena procesa la información siguiente:

-**Azimut**: dirección en la que se encuentra el avión detectado. Se conoce por la orientación de la antena interrogadora.

-**Alcance**: distancia entre el avión y el radar. Se calcula mediante el tiempo que transcurre entre la emisión de la interrogación y la recepción de la respuesta, teniendo en cuenta un retardo del transponder.

-**Mensaje**: los pulsos de respuesta transmiten codificado un número de identificación del avión y su nivel de vuelo.

2.1 Ventajas y limitaciones del radar secundario

El uso de un equipo activo en el blanco dota al SSR de unas ventajas respecto al radar primario [5]:

- a) Reducción de la potencia de transmisión.
- b) Eliminación de ecos no deseados gracias a la utilización de frecuencias diferentes para interrogación y para respuesta.

c) Transmisión de información mediante mensajes codificados.

Por otra banda, el radar secundario tiene una serie de problemas asociados:

a) Confusión de códigos debido al solapamiento de respuestas de aviones diferentes ("Garbling").

b) Interferencias que resultan de recibir las respuestas de un transponder que contesta a otros radares ("Fruit").

c) Limitación de códigos de identificación disponibles.

Otros problemas más generales de un sistema radar, primario o secundario, también pueden afectar la correcta extracción de información. Los más importantes son los efectos de lóbulos secundarios de la antena interrogadora y las interferencias multicamino o reflejos.

3 RECEPTOR SECUNDARIO BIESTÁTICO

El receptor ha de incluir un equipo detector de interrogaciones mediante una antena directiva enfocada al radar con el que se sincroniza. Este sistema de sincronización es necesario a fin de obtener parámetros imprescindibles para la interpretación de las respuestas. Por otra parte, el equipo receptor de respuestas ha de utilizar una antena omnidireccional dada la imposibilidad de sincronización espacial de dos haces directivos desde puntos distantes. Los datos proporcionados por ambos equipos junto con parámetros generales del sistema (características del radar, línea de base,...) permitirán la localización de los aviones.

3.1 Técnicas de localización

Los parámetros de los que se dispone en un receptor biestático y que permitirán la localización del avión son:

-**línea de base:** segmento que une el radar emisor y el receptor biestático.

-**ángulo de transmisión:** ángulo que forman la línea de base y el haz interrogador o segmento emisor-avión.

-**distancia biestática:** suma total de las distancias emisor-avión y avión receptor.

El ángulo de transmisión se obtiene mediante la sincronización de la rotación de antena en los instantes en que ésta enfoca al receptor y se reciben los pulsos de interrogación P1 y P3. La separación entre los pulsos determinará el modo de interrogación y permitirá una sincronización con la secuencia de éstos utilizada por el radar. La secuencia más general son los modos A y C alternados (ACAC...). Usando la recepción del pulso P2, emitido por el radar omnidireccionalmente, se calcula el instante de emisión de cada interrogación. El retardo entre este instante y el de recepción de las respuestas permite obtener la distancia biestática teniendo en cuenta el retardo del transponder ($3 \mu s$) [4].

3.2 Geometría del sistema biestático

La transmisión de la altitud de vuelo por parte del avión ofrece la posibilidad de considerar una geometría de tres dimensiones y así evitar errores de posicionamiento por aproximación de la altitud. Cada uno de los tres datos obtenidos de las respuestas (ángulo de transmisión, distancia biestática y altitud) plantea una ecuación en las coordenadas del blanco (x, y y z). El sistema de coordenadas que se acostumbra a utilizar tiene el eje 'x' sobre la prolongación de la línea de base, el origen en el punto medio de ésta y la coordenada 'z' es directamente la altitud (fig.1) [3][6].

El conocimiento de la distancia biestática (R_s) permite situar el blanco en un elipsoide de revolución alrededor del eje 'x' (ec. 1.a). El ángulo de transmisión (α_t) determina un

plano vertical que pasa por el radar emisor $(-L/2, 0)$ y forma dicho ángulo con la línea de base (ec. 1.b). Y por último, la altura del avión (h) situa éste en un plano horizontal (ec. 1.c). Las tres ecuaciones determinan la situación del blanco.

$$\frac{x^2}{R_s^2} + \frac{y^2}{R_s^2 - L^2} + \frac{z^2}{R_s^2 - L^2} = \frac{1}{4} \quad (1.a) \quad y = \tan(\alpha_c) \left(x + \frac{L}{2} \right) \quad (1.b) \quad z = h \quad (1.c)$$

3.3 Cobertura

La cobertura de un receptor biestático es bastante más reducida que la de un radar monoestático debido a la necesidad de utilización de una antena omnidireccional y la consecuente pérdida de ganancia. Esta pérdida es de alrededor de 20 dB (antena interrogadora: 21-27 dB, omnidireccional: 4-6 dB) [1][2]. Considerando los demás parámetros del receptor similares al radar monoestático (sensibilidad, pérdidas,...) el alcance máximo variará entre 70 y 220 Km, dependiendo de la potencia de emisión del transponder que es de 100W a 1000W [4].

3.4 Resolución

La celda de resolución biestática está definida por la separación entre dos elipses cofocales correspondientes a las distancias biestáticas R_s y $R_s + \Delta R_s$. El valor de ΔR_s corresponde a la separación mínima entre respuestas para que éstas puedan ser diferenciadas. Este valor está determinado por el ancho de los pulsos de respuesta ($0.45 \mu s$) ($\Delta R_s = 135m$).

La separación entre elipses para un punto determinado se define sobre la bisectriz del ángulo β , que es el que forman los segmentos blanco-emisor y blanco-receptor. Una aproximación para esta separación se da en la ecuación 2 (fig.2) [3]. Otra dimensión de la celda biestática depende de la resolución en azimut ($\Delta \alpha_c$) y de la distancia al radar emisor (R_t). Dado que a cada interrogación del radar le corresponde un ángulo determinado, la resolución en azimut dependerá de la separación entre interrogaciones consecutivas. El área de incertidumbre se puede calcular mediante la fórmula 3 (fig.3).

$$\Delta R_B = \frac{\Delta R_s}{2 \cos(\beta/2)} \quad (2) \quad A_i = R_t * \Delta \alpha_c * \frac{\Delta R_s}{2 \cos^2(\beta/2)} \quad (3)$$

4 PROBLEMAS ASOCIADOS A UN RECEPTOR BIESTATICO

Un receptor biestático está afectado por la mayoría de problemas de un radar secundario y, además, por algunos propios de la geometría biestática.

4.1 Solapamiento de respuestas ("Garbling")

La recepción solapada de respuestas diferentes dificulta la extracción de información y puede generar falsos blancos asociados a combinaciones erróneas de los pulsos. Este fenómeno se ve favorecido por la longitud de las respuestas ($20.3 \mu s$) y porque los anchos de haz de las antenas no son estrechos en elevación. Por otra parte, las separaciones mínimas de seguridad entre aviones disminuyen el problema [7].

Para la eliminación de falsas respuestas puede utilizarse la misma técnica que en el caso monoestático. Consiste en dar por válida la primera y última respuesta en caso de detectar varias muy juntas [1][2].

4.2 Respuestas no sincronizadas ("Fruit")

En el receptor biestático la interferencia fruit aumenta debido a la necesidad de una antena omnidireccional de recepción y disminuye a causa de la menor cobertura. El cálculo de las respuestas interferentes por exploración se puede aproximar con la fórmula:

$$N^{\circ} fruit = d_a * S_{c,b} * hps * (N_r - 1)$$

donde $S_{c,b}$ es la cobertura del receptor, d_a la densidad media de aviones por Km^2 dentro de la cobertura, hps es el número de respuestas por exploración y N_r el número medio de radares vecinos. El aumento de "fruit" resulta entre un y dos ordenes de magnitud. Este aumento puede ser crítico en zonas de alta densidad de tráfico donde los valores en el caso monoestático ya son elevados.

Un método que puede reducir el 50% del "fruit" es la utilización de dos antenas semidireccionales que cubran de manera exclusiva los semiespacios $x > 0$ y $x < 0$. Cada antena será operativa sólo cuando el radar explore su correspondiente semiespacio.

4.3 Interrogaciones por lóbulo secundario

El problema se da cuando un avión responde a una interrogación al ser enfocado por un lóbulo secundario creándose un "blanco fantasma" en la dirección del haz principal. Un SSR utiliza dos métodos para eliminar este problema: supresión de lóbulo secundario en interrogación (ISLS) y en respuesta (RSLs) [1][2]. El primero, propio del transponder, sigue siendo operativo en el caso biestático. En cambio, el método en recepción no se puede aplicar pues se basa en la comparación del nivel de la respuesta recibida por una antena directiva y una omnidireccional.

Con el conocimiento de los lóbulos secundarios puede preverse para qué ángulos se reciben falsas respuestas. Éstas son fácilmente reconocibles pues coinciden en código con las reales asociadas.

4.4 Interferencias multicamino (reflejos)

Estas interferencias generan "blancos fantasma" en la dirección de las superficies reflectantes. A diferencia del caso monoestático, se pueden dar en dos caminos: radar-avión y avión-receptor. En el enlace ascendente se dan en los mismos casos, por lo que un mapa de reflejos del radar ayudaría a detectarlas. Las de enlace descendente pueden ser reconocidas porque se reciben dentro del mismo intervalo de interrogación y con un ligero retardo respecto la respuesta directa.

4.5 Ambigüedades

Las técnicas de localización del sistema biestático no pueden evitar la aparición de ambigüedades en las zonas cercanas a la línea de base. Éstas son debidas a que la recta correspondiente a un azimut corta a la elipse de distancia biestática constante en dos puntos. Además en estas zonas también se tiene una resolución bastante mala por lo que es posible pensar en la demarcación de una zona ciega.

4.6 Sincronización

Un problema que puede dificultar la sincronización es la existencia de radares vecinos cercanos y, sobre todo, si se encuentran en la prolongación de la línea de base detrás del SSR con el que se pretende sincronizar. Se requiere un buen diseño de la antena de sincronización con el fin de disminuir al máximo el nivel de recepción de interrogaciones de otros radares.

5 CONCLUSIONES

El receptor biestático puede realizar la misma función de vigilancia que un SSR, aunque con unas prestaciones más limitadas. Su funcionamiento supone aprovechar una información que "ya está en el aire" sin la necesidad de saturar el espacio con nuevas interrogaciones. También goza de independencia de líneas de comunicación dedicadas. Por contra, se ha de tener en cuenta la distribución de SSRs y, sobre todo, del que se usará para sincronización.

Por último, un estudio económico determinaría definitivamente su viabilidad. El uso de los sistemas receptores del SSR y del transponder simplifican su diseño y la no inclusión de un sistema emisor reduciría su mantenimiento.

Referencias

- [1] P. Honold "SECONDARY RADAR" Siemens
- [2] M.C.Stevens "SECONDARY SURVEILLANCE RADAR" Artech House
- [3] N.J. Willis "BISTATIC RADAR" Artech House
- [4] "Aeronautical telecommunications, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation Organization, Montreal. April 1985"
- [5] G.Galati "The evolution of secondary surveillance radar" IRSI 83 PROCEEDINGS
- [6] Skolnik "RADAR HANDBOOK" Chapter 36
- [7] J.C.Adsuar "CIRCULACION AEREA" Ed. Paraninfo

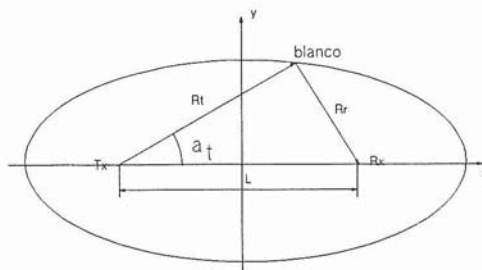


Fig.1 Geometria de un sistema biestático

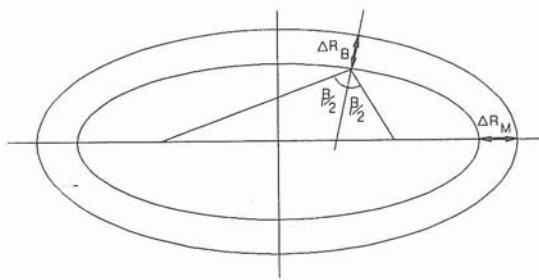


Fig.2 Separación entre elipses

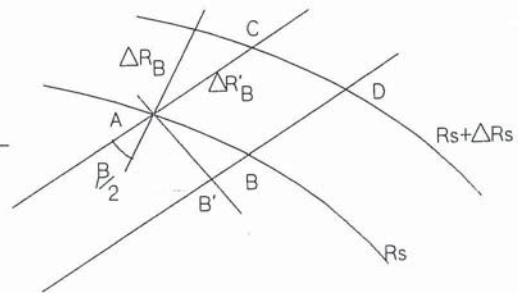


Fig.3 Celda biestática