

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 980**

51 Int. Cl.:

G01S 7/41 (2006.01)

G01S 13/52 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2016** **E 16001346 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020** **EP 3112894**

54 Título: **Método para la clasificación automática de objetos de radar**

30 Prioridad:

01.07.2015 DE 102015008403

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

19.02.2021

73 Titular/es:

HENSOLDT SENSORS GMBH (100.0%)
Willy-Messerschmitt-Straße 3
82024 Taufkirchen, DE

72 Inventor/es:

NEUMANN, CHRISTOPH y
SENKOWSKI, HERMINE

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 806 980 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para la clasificación automática de objetos de radar

La invención se refiere a un método de clasificación automática de objetos de radar mediante un algoritmo de agrupamiento para compilar una pluralidad de detecciones de objetos, los llamados informes de rango, a partir de intervalos de integración sucesivos y coherentes (también llamados ráfagas) de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

La clasificación por firmas de objetos de radar es suficientemente conocida en el estado de la técnica y se utiliza en la tecnología de radar para reducir las detecciones falsas y los errores en el seguimiento de los objetivos, el llamado rastreo. Para ello, una señal recibida suele procesarse en un canal de entrada del radar dentro de una pluralidad de intervalos de integración sucesivos y coherentes, es decir, ráfagas, y una detección de objetos mediante detecciones individuales para cada ráfaga, en donde estas se llevan a un algoritmo de agrupamiento para formar un gráfico de acuerdo con el criterio de "correlación geométrica". A menudo la detección individual en la señal de radar se realiza en una matriz bidimensional en el plano rango-Doppler, por lo que en lo adelante las detecciones se denominan "informes de rango". Este término es sinónimo de un rebasamiento del umbral del nivel de la señal en la matriz rango-Doppler, en donde se asume que el radar proporciona una resolución definida en la dimensión "Distancia" ("Rango"). En la dimensión Doppler, el radar también asume una resolución definida; las celdas de resolución individual se denominan en lo adelante "filtros Doppler". El contenido de los filtros Doppler son los niveles por celda de distancia, ordenados según el desplazamiento de frecuencia de la señal de eco del radar. Los filtros Doppler se corresponden con diferentes velocidades radiales de un objeto reflectante. La detección de objetos (por ejemplo, un helicóptero o similar) sobre la base de su señal de eco en los filtros Doppler es también un procedimiento común. En lo adelante, se entiende que un gráfico es la representación de un objeto detectado, en donde las coordenadas del gráfico se forman a partir del centroide de las direcciones del grupo en el sistema de coordenadas de medición por radar (por ejemplo, rango, Doppler, acimut). En lo adelante este centroide se denomina centroide del gráfico. Los gráficos suelen ser información de entrada para el seguimiento del objetivo ("rastreo"), es decir, para el algoritmo que sigue los objetos a lo largo del tiempo y, por ejemplo, los muestra a un observador.

Mediante la inclusión de información ambiental conocida, así como de radares especialmente adaptados y de alta resolución, las detecciones falsas y los errores en el seguimiento de los objetivos se pueden resolver con una calidad dada mediante el concepto de radar y las condiciones ambientales. En el caso de los radares de resolución relativamente baja y alta sensibilidad, como los que se utilizan con frecuencia en el control del tráfico aéreo civil, sobre la base de los procedimientos habituales de detección de objetivos antes mencionados cabe esperar un número particularmente elevado de detecciones falsas (= gráficos de objetos no deseados), que no siempre son compatibles con los requerimientos de los radares, ya que dan lugar a rastros generados o guiados incorrectamente.

La patente de los Estados Unidos núm. US 6,677,886 describe un método muy conocido para evaluar los ecos meteorológicos en imágenes de radar utilizando factores de confianza.

Por consiguiente, la presente invención tiene el objetivo de detectar objetos no deseados como tales y distinguirlos de los objetos deseados (por ejemplo, aeronaves) mediante un método fiable para clasificar los objetos de radar, incluso para sistemas de radar de baja resolución y a la vez sensibles.

Este objetivo se logra con un método que tiene las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes se refieren a variantes y modalidades ventajosas de la invención.

De acuerdo con la invención, el método mencionado para la clasificación de los objetos de radar se amplía por el hecho de que

- las amplitudes del filtro Doppler de las dos ráfagas acimutales directamente adyacentes de la misma celda de distancia se añaden a cada informe de rango
- un subconjunto de los informes de rango recibidos se forma debido a que, a partir del informe de rango en la ubicación del centro del gráfico, se disponen los informes de rango adyacentes de un número definido de ráfagas ordenadas de acuerdo con la posición acimutal en una matriz de la dimensión acimut x distancia con el centro de gráfico en el medio
- las amplitudes del filtro Doppler asignadas a los informes de rango del área del centro del gráfico +/- un número definido de ráfagas se disponen en correspondencia con la secuencia de intervalos de integración coherentes
- un "espectro de gráfico" compuesto se forma como vector de los informes de rango de dicha matriz, que se inicia con la celda de distancia del centro del gráfico; a continuación, el informe de rango más cercano se inserta en celdas de distancia adyacentes para todas las posiciones de las ráfagas, para las cuales no existe un informe de rango en dicha celda de distancia. Los vacíos restantes se rellenan con las amplitudes del filtro Doppler adyacentes de los informes de rango utilizados y luego, los vacíos que aún queden se rellenan con un valor de ruido adecuado.

La solución de acuerdo con la invención resulta ventajosa en comparación con el estado de la técnica, en particular porque en ella se puede llevar a cabo una clasificación significativa de los objetos, incluso con los radares de baja

resolución más favorables económicamente. De esta manera, se asegura también que el "espectro de gráfico" resultante no contenga componentes espectrales de objetos vecinos dentro del ámbito de la selectividad de la formación del gráfico. Esto permite reducir significativamente las detecciones falsas tanto para los propios objetos como para su formación en rastros.

A continuación, se explica más detalladamente la invención a partir del dibujo. Se muestran

En la Figura 1, un diagrama de flujo esquemático del procesamiento de la señal,
En la Figura 2, una representación del principio del método de acuerdo con la invención,
En la Figura 3, una representación para normalizar las amplitudes del filtro Doppler; y
En la Figura 4, una representación esquemática para la clasificación.

La Figura 1 muestra un extracto del procesamiento de señales en forma de diagrama de flujo esquemático, en el que se puede aplicar el método de acuerdo con la invención. En este proceso, los excesos de valor umbral (impactos) se detectan primero en los canales de entrada Rx de una o más frecuencias medias de radar f_1 a f_n utilizadas mediante el uso de las señales de eco de una o más antenas de recepción tanto para los "Haz 1" a "Haz k" como paso del método de "Procesamiento de impactos" y se procesan más adelante en el siguiente paso del método de "Procesamiento de gráficos" para generar gráficos. Este procesamiento incluye, entre otras cosas, el filtrado Doppler ya explicado anteriormente; los impactos se emiten, por ejemplo, en forma de los mencionados informes de rango, en cada caso con especificaciones de coordenadas para "distancia", "acimut" y "tiempo".

Además, el mencionado procesamiento de la señal genera información adicional que se puede utilizar para la clasificación del gráfico que se muestra a continuación, en particular:

- Amplitud del filtro Doppler para cada filtro Doppler de un informe de rango
- Amplitud del filtro Doppler para cada predecesor temporal, es decir, la posición del acimut que precede temporalmente a la misma distancia
- Amplitud del filtro Doppler para cada sucesor temporal, es decir, la posición del acimut que sigue temporalmente a la misma distancia
- Nivel del ruido de fondo (por ejemplo, de la medición a largo plazo)

Para generar los gráficos mencionados, el paso "Procesamiento de gráficos" proporciona las posiciones de los objetivos determinados en forma de clústeres de los informes de rango de todos los canales de recepción. Las posiciones del gráfico son los centros del clúster mencionado anteriormente, es decir, las coordenadas de los objetos en distancia, acimut y tiempo.

Además de un centro común, el procesamiento de los gráficos también proporciona, para su posterior uso en la clasificación de los gráficos, los centros de los informes de rango de los canales individuales, en este caso las frecuencias de recepción $f_1 \dots f_n$ y/o Haz 1 ... Haz k, si hay varios canales disponibles.

Luego de la clasificación de los gráficos está el seguimiento de los objetivos ("rastreo de objetivos"), que recibe toda la información de los gráficos, complementada por el resultado de la clasificación de los gráficos.

A continuación, se explica con más detalle en la Figura 2 la clasificación del gráfico de acuerdo con la invención, que en la Figura 1 solo se indica como una etapa del método.

En primer lugar, las amplitudes adicionales del filtro Doppler de las ráfagas adyacentes al acimut se vinculan con cada informe de rango, como se muestra en la parte superior de la figura. A partir de los informes de rango así compilados, el subconjunto, que también se muestra en la parte superior de la figura, se forma por el hecho de que alrededor del informe de rango en la ubicación del centro del gráfico (marcado con un círculo en la figura) se despliega una matriz con las dimensiones de acimut y distancia. En el ejemplo que se muestra, dicha matriz comprende amplitudes de filtro Doppler para tres celdas de rango $r-1$ a $r+1$ y siete ráfagas $b-3$ a $b+3$. Naturalmente, la dimensión elegida en la figura solo debe entenderse como un ejemplo. La dimensión específica de esta matriz se puede adaptar de manera óptima al sistema de radar utilizado, especialmente en función de la resolución, las características de la antena y el número de ráfagas disponibles por período de iluminación. A partir de la matriz mostrada se generará un único espectro compuesto restante. Para este propósito, se forma un vector de espectros Doppler, con las amplitudes del filtro Doppler del centro del gráfico en el centro y las amplitudes del filtro Doppler circundante de los informes de rango adyacente dentro de la misma celda de distancia radial. Posteriormente, los vacíos restantes se pueden llenar con amplitudes de filtro Doppler de celdas de rango espacialmente adyacentes. Otros vacíos se pueden rellenar con las amplitudes del filtro Doppler existentes adyacentes al centro, que no han superado el valor umbral, pero que todavía contienen parcialmente la señal del objetivo. La inclusión de estas amplitudes de filtro Doppler es ventajosa para aumentar aún más la densidad de información. Los vacíos que quedan después de estos pasos se pueden llenar con valores de ruido realistas. Debido a la cantidad de datos comprimidos de esta manera, es posible lograr posteriormente una alta calidad de clasificación de objetos incluso con radares de baja resolución. Al seleccionar la salida en forma de un simple espectro de gráfico, el método es compatible con los métodos de procesamiento de señales utilizados comúnmente en la tecnología de radar.

Para lograr una mejora cualitativa del posterior procesamiento de los datos y, en particular, reducir la influencia de las señales fijas, se puede llevar a cabo a continuación la normalización, ilustrada en la Figura 3, de las amplitudes del filtro Doppler en el espectro de gráfico.

Esta normalización se puede llevar a cabo específicamente para el correspondiente espectro de gráfico y no con respecto a un valor global predefinido. Por lo tanto, se realiza una normalización individual para cada espectro de gráfico. También resulta ventajoso procesar por separado las áreas espectrales específicas de los radares o las frecuencias individuales (filtros Doppler). Así pues, se puede realizar una normalización, por ejemplo, con respecto a los correspondientes valores medios de las amplitudes o potencias de los filtros Doppler con mayor desplazamiento de frecuencia (objetivos móviles, en la ilustración los filtros "internos") y los filtros Doppler con poco o ningún desplazamiento de frecuencia (objetivos fijos, en la ilustración de los filtros "externos").

En lo que respecta a la clasificación de los objetos, es posible una mejora ventajosa de la invención, que no tiene que ir necesariamente precedida del perfeccionamiento antes mencionado. Esta clasificación se lleva a cabo sobre la base de datos de una determinación de características, por ejemplo, sobre la base del análisis de textura o de correlación, y es suficientemente conocida por los expertos. Para la clasificación se prevé una modificación especial de la Clasificación de Vecinos Más Cercanos, con una fase de adiestramiento habitual de acuerdo con el estado de la técnica y una aplicación modificada de acuerdo con la invención, que se muestra en la Figura 4.

Para la clasificación se pretende determinar primero la distancia $d_{k,l}$ del vector de características del objeto que se va a clasificar a partir de todos los representantes de las clases de objetivos definidos en una base de datos, es decir

$$d_{k,l} = \left(\sum_{i=1}^{N_{\text{característica}}} |f - \lambda_{k,i}|^p \right)^{1/p}$$

con

$N_{\text{característica}}$ = longitud del vector de características

f = Vector de rasgo real del objeto a clasificar

$\lambda_{k,i}$ = vector de características del i-ésimo representante de la clase k

p = parámetro de normalización, recomendado: $p = 1$ o $p = 2$

Posteriormente, las entradas dentro de la clase correspondiente se clasifican según su distancia $d_{k,l}$ del objeto a clasificar y se selecciona un rango predefinido K (típicamente un valor entre 2 y 5) para cada clase de objeto. A continuación, se determina una distancia mínima dmn_k para cada clase k según el rango K seleccionado, es decir:

$$d_{\text{clasificación}} = \text{clasificación}(d_1 \dots n_k, k)$$

$$dmn_k = d_{\text{clasificación}}(K)$$

con:

clasificación(...) = Clasificación ascendente por valor

N_k = número de representantes de la clase k

K = rango seleccionado $<< N_k$

A diferencia del clasificador conocido "Vecino más cercano a K" (K-Nearest-Neighbour), la clasificación para una decisión sobre una clase no requiere que las distancias K más cercanas a todas las demás clases sean mayores que las de la clase de objetivo sobre la que se tomó la decisión.

A través del rango definible, es posible ocultar elementos incorrectos individuales en los representantes de la clase, que por ejemplo se deben a asignaciones erróneas en el proceso de adiestramiento. Esto significa que no se detecta la clase con la mejor distancia K, sino la clase cuya mejor distancia K-t es más pequeña que la mejor K-t de todas las demás clases.

A partir de esta medición de la distancia, se calcula entonces un valor de calidad normalizado Q_k para cada una de las clases $k = 1 \dots N_K$ (= número de clases de objetivo definidas), en el que se basa en última instancia la selección real de la clase:

$$q_k = \frac{dmn_k}{\min_{k=1 \dots NK} (dmn_k)}, \quad Q_k = \frac{q_k}{\sum_{i=1 \dots NK} q_i}$$

5

Sin embargo, puede que sea ventajoso tomar la decisión de "ninguna coincidencia" si el valor de calidad de dos o más clases cae por debajo de un umbral de distancia predefinido.

10

Huelga decir que los procedimientos descritos anteriormente no tienen que aplicarse necesariamente en el mismo sistema de radar. Es bastante concebible, por ejemplo, aplicar solo uno de los procedimientos o cualquier subcombinación de procedimientos en un sistema de radar.

REIVINDICACIONES

1. Método para clasificar objetos de radar, en donde
5 - una señal recibida se procesa en un canal de entrada dentro de una pluralidad de intervalos de integración coherentes sucesivos y tiene lugar una detección de objetos mediante el empleo de amplitudes de filtro Doppler, en donde se generan informes de rango
 - una pluralidad de informes de rango se compila mediante un algoritmo de agrupamiento para formar un gráfico,
 caracterizado porque
10 - las amplitudes del filtro Doppler de los dos intervalos de integración coherentes adyacentes acimutalmente de la misma celda de distancia se añaden a cada informe de rango
 - un subconjunto de los informes de rango recibidos se forma debido a que, a partir del informe de rango en la ubicación del centro del gráfico, se disponen los informes de rango adyacentes de un número definido de intervalos de integración coherentes ordenados de acuerdo con la posición acimutal en una matriz de la
15 dimensión acimut x distancia con el centro de gráfico en el medio
 - las amplitudes del filtro Doppler asignadas a los informes de rango del área del centro del gráfico +/- un número definido de intervalos de integración coherentes se disponen en correspondencia con la secuencia de intervalos de integración coherentes
 - un espectro de gráfico compuesto se forma como vector de los informes de rango de dicha matriz, que se
20 inicia con la celda de distancia del centro del gráfico
 - a continuación, el informe de rango más cercano se inserta en celdas de distancia adyacentes para todas las posiciones de los intervalos de integración coherentes, para los cuales no existe un informe de rango en dicha celda de distancia
 - los vacíos restantes se rellenan con las amplitudes del filtro Doppler adyacentes de los informes de rango
25 utilizados
 - los vacíos que aún queden se rellenan con un valor de ruido adecuado.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se lleva a cabo una normalización de las
30 amplitudes del filtro Doppler en el espectro de gráfico obtenido.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** la normalización de las amplitudes del filtro Doppler tiene lugar en áreas definidas del espectro de gráfico.
4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado porque** se realiza una normalización en áreas
35 definidas del espectro de gráfico en relación con los correspondientes valores medios de las amplitudes o de las potencias.
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** para llevar a cabo
40 una clasificación de un objeto detectado, se debe determinar la distancia del objeto que se va a clasificar de todas las entradas de las clases de objetos predefinidas, y las entradas dentro de la clase de objetos correspondiente se clasifican según su distancia con respecto al objeto que se va a clasificar, seleccionándose un rango predefinido K para cada clase de objetos.
6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** el rango predefinido asume un valor de 2 a
45 5.
7. Método de acuerdo con la reivindicación 5 o la reivindicación 6, **caracterizado porque** se calcula un valor de
 calidad para cada clase de objeto y en donde se toma una decisión de "ninguna coincidencia" si el valor de
 calidad para dos o más clases cae por debajo de un valor umbral predefinido.

Fig. 1

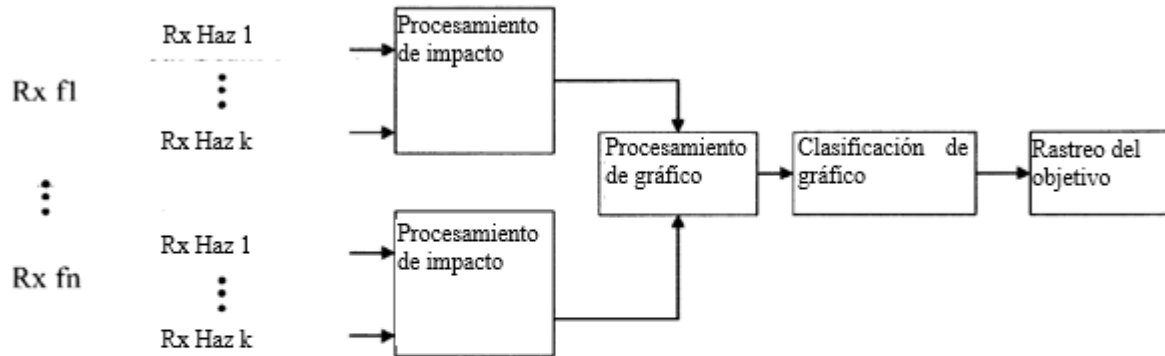


Fig. 2

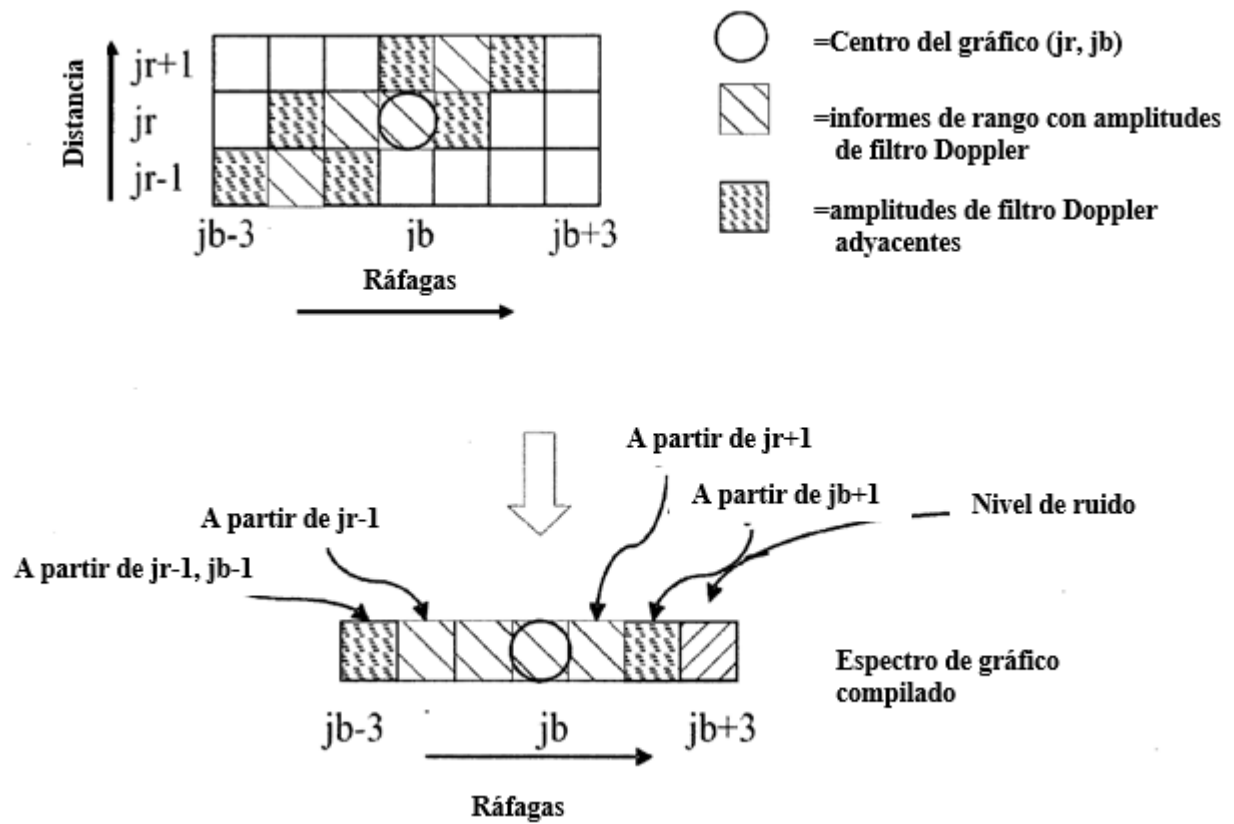


Fig. 3

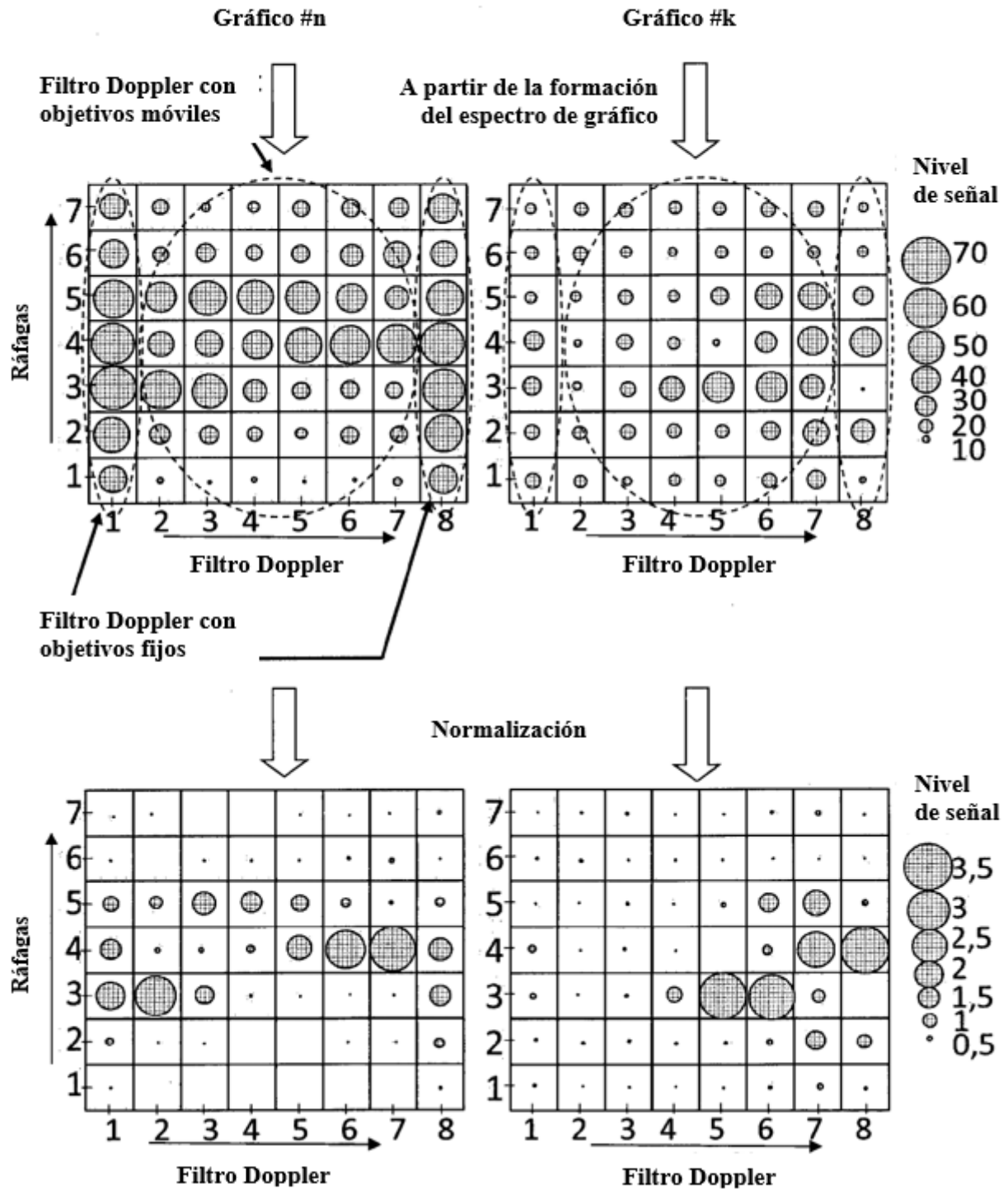


Fig. 4

