



RE-VISION DE LA DIRECTIVIDAD DE PERSONAS EN LA EMISION DE PALABRA

PACS: 43.70.Bk, 43.55.-n.

A. Moreno
Instituto de Acústica, CSIC
Serrano 144, Madrid 28006
E-mail: iacma15@pinar2.csic.es

ABSTRACT

Speech directivity is re-visited from previous data of author giving directivity as continuous functions of angles considered. Analytical approaches by means of polynomials in horizontal and vertical planes are discussed. Interpolating functions in planes transversal to the main frontal direction are analysed regarding likelihood results. This approach is shown to permit a direct and rather easy way of using directivity values in numeric models of room acoustics.

RESUMEN

Se consideran y analizan valores de directividad de personas emitiendo palabra hablada obtenidos previamente por del autor y difundidos en forma gráfica. Se discuten aproximaciones polinómicas de estos valores de fácil y cómodo manejo y se analizan funciones de interpolación en planos sagitales de la dirección frontal principal con vistas a obtener resultados verosímiles. La combinación de polinomios aproximantes y funciones de interpolación permiten disponer de los valores de directividad otrora medidos (con dispersiones menores de 0.1 dB) bien adaptados para su uso en modelos numéricos de de propagación de palabra, particularmente en recintos.

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

En 1976 culminamos la determinación de la directividad de personas en la emisión de palabra en los planos horizontal y vertical, trabajo que por petición de los editores apareció publicado en *Acoustics Letters* [1]. Para la determinación continua de esta magnitud en función del ángulo de recepción pusimos a punto el método anamórfico para la comparación de la evolución temporal de niveles de presión sonora. (Adecuadamente adaptamos con éxito el método anamórfico como método secundario de calibración secundaria de transductores [2] y en la determinación de las pérdidas por inserción de protectores auditivos [3]).

Aunque las dispersiones entre los diagramas de distintas personas, para las mismas circunstancias, no era despreciable, tenía sentido hablar de directividades medias en las distintas bandas de frecuencia de tercio de octava, que resultaron diferentes para hombres y mujeres.

Los diagramas de directividad medios, junto con la envolvente de los valores mas dispersos, se presentaron en forma gráfica. Aunque los datos en esta presentación es suficiente para modelos acústicos a escala reducida [4 resulta restrictiva en los usos mas importantes que sin duda son las simulaciones numéricas en ordenador en problemas de propagación de la palabra, entre los que, sin duda, hay que citar la inteligibilidad [5 , [6 .

En este trabajo, como preludeo a estudios que se plantean para mas adelante, presentaremos unos primeros desarrollos con vistas a adaptaciones para uso en las mencionadas simulaciones en ordenador.

CONVERSION NUMÉRICA DE DATOS ANTERIORES

A partir de los datos del trabajo anterior mencionado [1 hemos confeccionado tablas numéricas de la directividad para todas las situaciones estudiadas: bandas de frecuencia y planos horizontal y vertical. Estas tablas numéricas presentan el inconveniente práctico de que son discretas lo que requeriría de ulteriores procedimientos de interpolación en las aplicaciones, aunque en todo caso tampoco habría que dramatizar por la rapidez actual en cálculos de esta índole.

Sin embargo hemos encontrado relativamente fácil derivar expresiones analíticas aproximantes de las funciones de directividad. La primera idea fue usar desarrollos en serie usando funciones de Bessel, usadas con relativo éxito en la simulación de la directividad de emisión de aves [7. Sin embargo pronto abandonamos estas funciones en favor de otras mas sencillas, hoy disponibles directamente en un buen número de lenguajes o programas de ordenador (Matlab, J, Mathematica, Maple, etc), cual son las aproximaciones polinómicas, que resultan razonablemente rápidas.

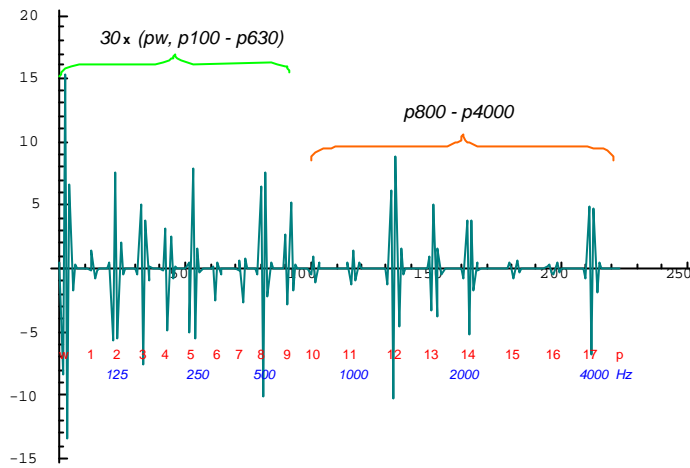
Este es el primer peldaño para obtener un conjunto de 'funciones' (verbos o programas en los lenguajes de programación) que manera directa nos permitan conocer los valores de directividad en cualquier dirección deseada, de manera fácil y rápida. Si pensamos en la simulación por rayos de la propagación en recintos, la generación aleatoria con la misma probabilidad para cualquier dirección (que es la simulación de una fuente omnidireccional) requiere únicamente dotar de una estadística plana a los tres cosenos directores que determinan una dirección.

Por tanto nos hemos aplicado a encontrar las aproximaciones polinómicas correspondientes a cada situación. Por razones de simetría la directividad en el plano horizontal queda determinada perfectamente por los valores entre 0° y 180° . La directividad en el plano vertical, por razones que se comprenderán mas adelante, conviene separarla en dos mitades: la correspondiente al semiplano superior y la correspondiente al semiplano inferior, ambas con una amplitud de 180° , igual a la del plano horizontal.

En estas condiciones encontramos que para las banda de frecuencia entre 100 Hz y 800 Hz, suelen ser suficientes polinomios de grados entre 5 y 10. Aumentando rápidamente a 14 o 17 en las frecuencias altas tanto en el plano horizontal como vertical. Estos polinomios aseguran generalmente desviaciones muy bajas respecto a los valores conocidos [1, inferiores a 0.1 dB, excepto en algún punto (coincidente con un mínimo agudo) en que puede superar 0.5 dB. El problema se convierte entonces en disponer simplemente de una tabla 'relativamente menuda' de coeficientes.

A título ilustrativo la Figura siguiente muestra la representación gráfica de los coeficientes de las 17 bandas de 1/3 de octava entre 100 Hz y 4000 Hz, y la palabra completa sin filtrar, para el plano horizontal. Los valores de los coeficientes de los polinomios de las primeras 9 bandas y de la señal sin filtrar se han multiplicado por 30 para hacerlos visibles. Debido a los errores de truncamiento es muy recomendable usar los coeficientes con 16 cifras significativas.

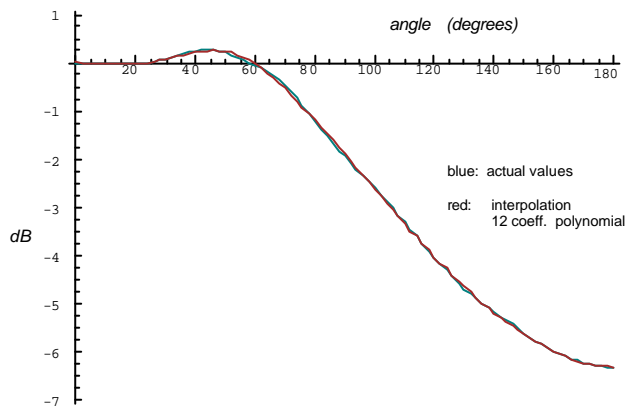
polinomic fitting coefficients: directivity horizontal plane



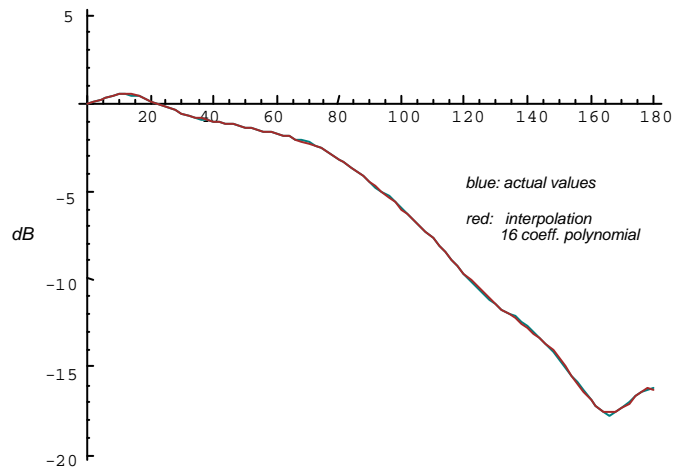
Debido a los errores de truncamiento es muy recomendable usar los coeficientes con 16 cifras significativas.

En cada una de las dos figuras que siguen se representan conjuntamente los valores de partida y los dados por las aproximaciones polinómicas correspondientes.

whole speech directivity: horizontal plane

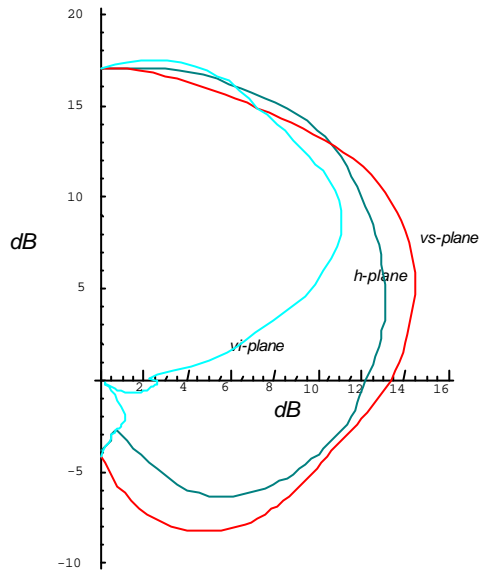


1/3 oct. (4 KHz) speech directivity: horizontal plane



La figura que sigue muestra las figuras polares de directividad, que resultan mas ilustrativas, en la banda de 2000 Hz, separando el plano horizontal (h) y los semiplanos superior (vs) e inferior (vi). Esta separación es conveniente para la interpolación en planos sagitales, cada uno correspondiente a un ángulo de elevación (que es el que aparece en la figura a contabilizar desde el eje vertical en el sentido horario).

polar directivity figures f=2 KHz

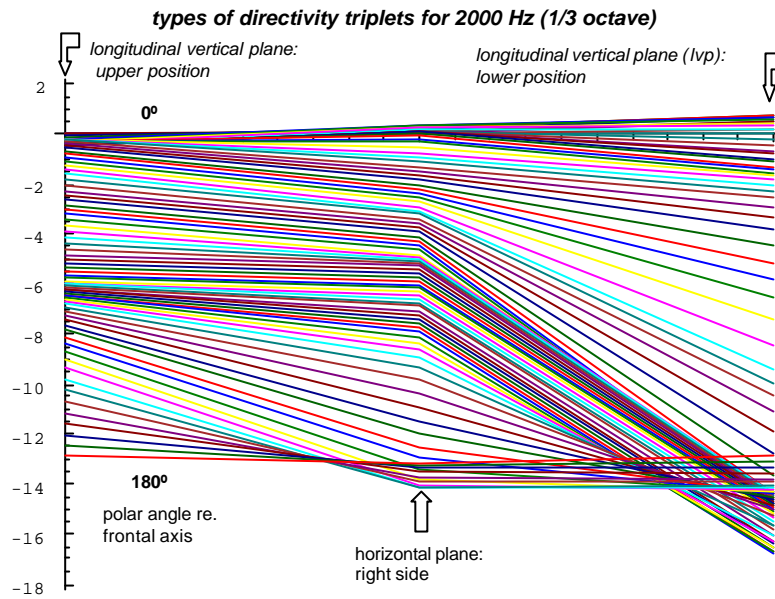


INTERPOLACION DE DATOS A TRES DIMENSIONES

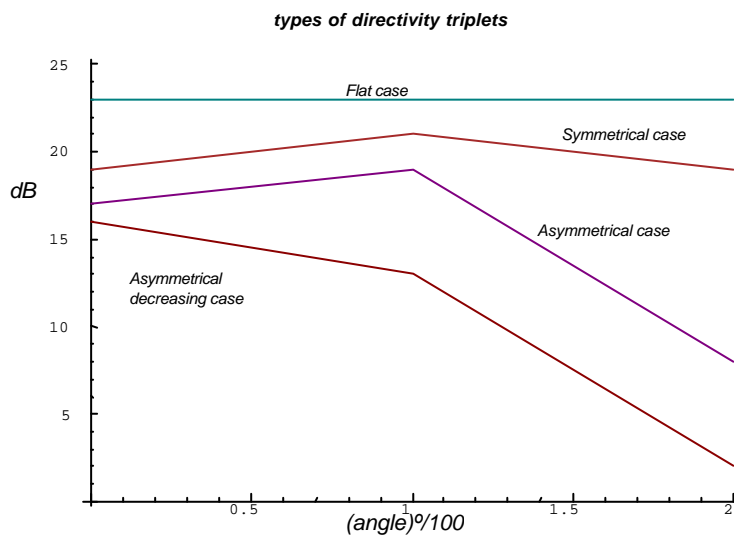
Por la facilidad del paso de los ángulos azimutal y de elevación a los cosenos directores de una dirección, mantendremos la presentación de la directividad en planos sagitales, cada uno correspondiente a un ángulo de elevación.

En cada uno de estos planos tenemos solamente cuatro valores correspondientes a los ángulos 0° (360°), 90° , 180° y 270° por lo que se hace mas agudo el problema de toda interpolación: atribuir una evolución 'razonable' de la función en los intervalos 'vacíos' particularmente cuando tienen gran amplitud, como es nuestro caso. La única información sobre la evolución de la directividad en estos intervalos proviene de la simetría observada en el plano horizontal con continuidad de la derivada, y las suavidad de las variaciones, que desde el punto de vista matemático se puede traducir, en una representación cartesiana (directividad en función del ángulo), por valores cero de la pendiente en los ángulos 90° y 270° y continuidad de la derivada en todo el intervalo. Por tanto disponemos de tres puntos de coordenadas $(dvs, 90)$, $(dh, 180)$, $(dvi, 270)$ y de las condiciones suplementarias indicadas.

Estas ternas de puntos pueden adoptar posiciones relativas variadas. En la Figura siguiente se muestran, para 2 KHz, a intervalos de 2° con la dirección frontal de la cabeza. Estas ternas de valores muestran los diferente tipos de interés desde el punto de vista de la interpolación.

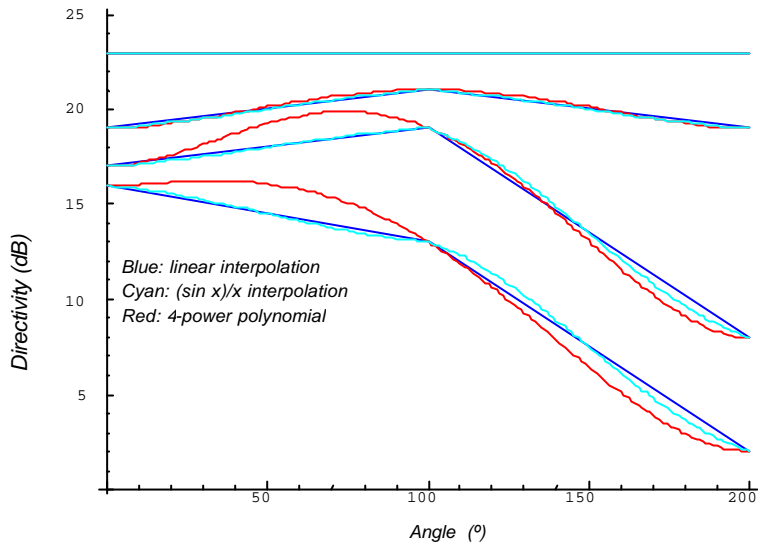


Las situaciones básicas se muestran en la Figura siguiente, que se ha idealizado, un tanto, por razones didácticas. Cualquier otra situación se reduce a alguna de estas o a sus simétricas respecto a los ejes OX, u OY. Por comodidad los valores del ángulo se han dividido por 100 y los de directividad convertidos en positivos por adición de un valor constante.



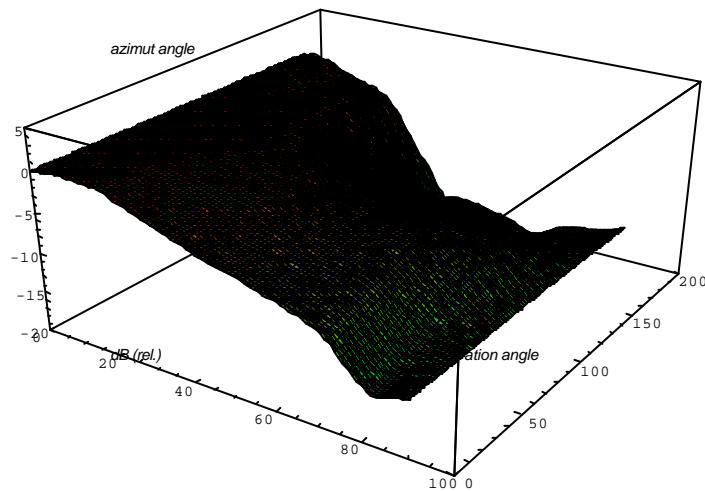
Las interpolaciones lineal y $(\sin x)/x$ pueden mantener la simetría respecto a plano vertical sagital pero no mantienen la continuidad de la derivada. Aparecen en los colores azul y turquesa en la Figura que sigue para las ternas de la figura anterior. También en esta misma figura se ha incluido, en rojo la interpolación polinómica de cuarto grado con las condiciones indicadas de continuidad de la derivada y valor cero en los puntos extremos del plano sagital. Esta interpolación de grado cuatro nos merece mas crédito que las anteriores aunque no hay certeza de que las cosas sean así pero muy probablemente si que son ciertas las indicaciones de hacia donde se deben producir incrementos (o decrementos) de valores respecto a la interpolación lineal: entre los dos valores contiguos más igualados de cada terna y más próximos al valor mas elevado y reducido.

Interpolation paths on typical triplets

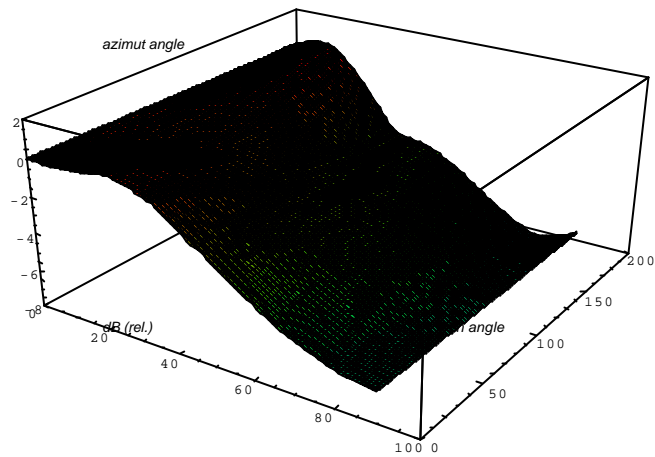


Aplicando esta función de interpolación las dos figuras que siguen muestran la directividad en planos sagitales correspondientes a ángulos de elevación de 0° a 180°, a intervalos de 2°. La primera Figura corresponde al tercio de octava de 2000 Hz, y la segunda a la señal de palabra completa. Aunque la interpretación de las figuras no es intuitiva ni inmediata, este tipo de ordenación es el más eficaz para atribuir a una dirección dada (caracterizada por los cosenos directores por ejemplo) el valor de directividad correspondiente.

directivity pattern: speech 2 KHz (1/3 oct)



directivity pattern: whole speech



REFERENCIAS

- [1] A. Moreno, J. Fretzschner, *Human head directivity in speech emission: A new approach* Acoustics Letters 1, 78-84, (1977)
- [2] J. Pfretzschner, A. Moreno, *Secondary method for microphone calibration in normal rooms* Journal of Sound and Vibration 76(2), 153-167
- [3] J. Pfretzschner, A. Moreno, *Field evaluation of ear muffs: Which is more suitable I.L. or T.L. ?* Applied Acoustics 24, 129-143, (1988)
- [4] R. Orloski, Applied Acoustics, 1982
- [5] Bradley, Intelligibility
- [6] Fillol y Legros. Intelligibility
- [7] J. Roberts, A. Moreno, A. Kacelnik, M. Hunter, *Physical considerations in the frequency limits of birdsongs*, Acoustics Letters 6, 100-105, (1983)