

La Compresión de la Palabra Cuantificada

Por

Claude BERGER



EL PROBLEMA de las telecomunicaciones puede reducirse siempre a un modelo compuesto de los siguientes elementos: un generador de información o transmisor al que se inyectan datos de información, un medio de propagación y un receptor de la información. Por ejemplo, si analizamos la comunicación oral entre dos personas: las cuerdas vocales y la cavidad bucal es el transmisor (los datos de información son las órdenes del cerebro), el aire es el medio de propagación y el oído el receptor. (El cerebro interpreta la información).

Durante la transmisión de la información la señal emitida se degrada debido al ruido que introduce el medio de propagación; la meta es la fidelidad de la señal en el receptor, por tanto, será necesario someter la señal a un tratamiento particular. Lo anterior puede hacerse durante la emisión, en la recepción o en ambas simultáneamente. Por ejemplo, a una señal modulada en frecuencia se podrán amplificar las frecuencias más altas, que son las más afectadas por el ruido del medio (las frecuencias bajas corres-

ponden a un índice de modulación menor). Los tratamientos de este tipo se llaman adaptativos. Si el medio no es estacionario, es decir, si las perturbaciones varían en función del tiempo, en cierto modo será preciso adaptarse a la degradación progresiva impuesta por la travesía del medio. Se dice entonces que se efectúa un tratamiento auto-adaptativo.

Existe otro tipo de adaptación: el que se hace en el generador de información. Esta forma de adaptación exige conocer la información y seleccionar sus normas importantes. Para precisar la noción de adaptación en la fuente se tratará a continuación de desarrollar en forma simple los problemas que plantea la cuantificación de la palabra y la comprensión de los datos para realizar una transmisión eficaz de la información.

Las razones de la cuantificación de la información

En forma muy general la información se transmite en forma de señal, la mayoría de las veces eléctrica, llamada analógica; es decir, la variación de los parámetros, amplitud, fase o frecuencia instantánea son continuos. Un micrófono

(un captador de presión), un elemento piezo-eléctrico (que transforma la señal acústica en eléctrica) produce una señal continua, continuidad que es la consecuencia de nuestra percepción macroscópica de los fenómenos.

Si por esencia los fenómenos microscópicos pueden considerarse ligados a la teoría de las cuantas, las limitaciones de los sentidos, en el análisis de los fenómenos, nos presentan una percepción continua de hechos discretos de muy corta duración.

Sin embargo, existe la necesidad de cuantificar las señales, es decir, convertir la señal analógica en una señal discreta (de magnitud y duración finitas), que puede representarse por una serie de 0 y 1, y por lo tanto, totalmente discontinua. Las teorías modernas de la transferencia de información a lo largo de las fibras nerviosas o de la conservación de

la información en el cerebro están basadas en la numerización o cuantificación binaria de la información, cuantificación que intervendría directamente al nivel de nuestros captadores sensoriales (oído, por ejemplo).

La cuantificación o numerización de la información se ha impuesto en telecomunicaciones por cuanto permite la regeneración integral de la información. En efecto, una serie de "bits", 0 ó 1, alterados por los medios de propagación, puede ser reconstruida integralmente idéntica al mensaje inicial, siempre que la perturbación no haya sido demasiado grande. Un simple reloj que produce tops síncronos del ritmo de base utilizado en el momento de la generación del mensaje y una serie de básculas en circuitos integrados permiten, a un bajo costo y volumen muy reducido, reconstituir el mensaje (Fig. 1).

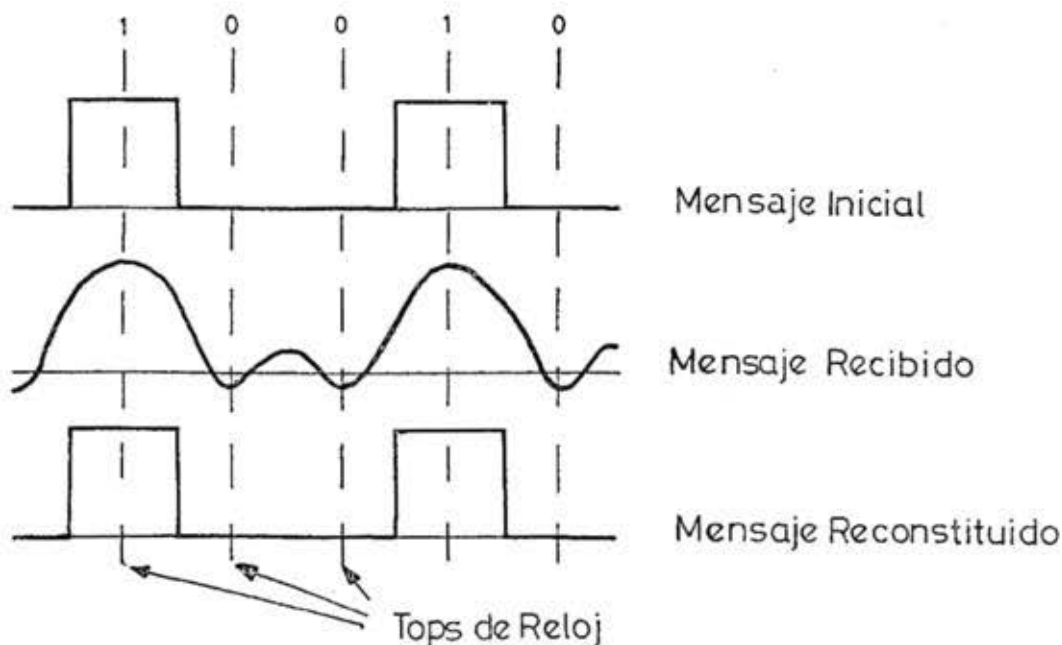


Fig.1

Esta propiedad, sumamente importante, que por principio no existe en la transmisión analógica, tiene además la posibilidad de cambiar el orden de los "bits" de una manera conocida y convenida con anticipación entre el emisor y el recep-

tor, es decir presenta la posibilidad de transmitir la información en una criptografía indescifrable para quienes no dispongan de la clave de modificación. Estas son las dos razones esenciales que han favorecido el gran desarrollo de la

técnica numérica. No obstante, a estas razones es preciso agregar que esta tecnología se adapta especialmente a la lógica del tercero excluido.

En efecto, los únicos estados posibles de un diodo son dos: diodo pasante (circuito cerrado) o diodo bloqueado (circuito abierto) que en lógica del tercero excluido, existen dos alternativas: "X pertenece a A" o "X no pertenece a A".

La numerización o cuantificación de la palabra

En su forma analógica la voz humana ocupa una banda espectral que se extiende de 100 Hz a 12.000 Hz, aproximadamente. En esta banda las frecuencias no tienen la misma importancia, se demuestra fácilmente, la inteligibilidad de la voz se basa en frecuencias que van desde 300 a 3.400 Hz, siendo las frecuencias cercanas a 1.000 Hz las más ricas en información. En un cable telefónico la señal de palabra bruta proveniente del micrófono está limitada a la ocupación espectral antes mencionada (300 a 3.400 Hz por ejemplo) y se obtiene una buena calidad de conservación cuando la potencia media de la señal de la voz es del orden de 200 veces superior a la potencia del ruido (térmicos u otros). Se dice que se requiere razón señal-ruido del orden de 200. Shannon ha demostrado que

una señal de amplitud de banda limitada a una frecuencia máxima podía ser reemplazada por una serie de señales (muestras) distantes de $\frac{1}{2W}$ segundo,

es decir, $2W$ muestras por segundo. En cada instante del muestreo se dispone de una señal de amplitud A . Este valor A de la amplitud puede ser representado por un número binario.

En efecto, supongamos que las diferentes muestras tengan siempre una amplitud comprendida entre 5 volts y +5 volts y dividamos este intervalo 2 V volts en 64 intervalos todos iguales entre sí como está indicado en la escala E (Fig. 2).

Los diferentes intervalos son numerados, por ejemplo, en el orden natural partiendo desde la parte baja de la escala. Si se considera ahora la señal (muestra) en el instante t_1 , de amplitud A , este valor A está comprendido en el intervalo i . En la figura se ve que se trata del intervalo 62° . Se ha establecido así una correspondencia biunívoca entre las diferentes amplitudes posibles de las señales (muestras) y los diferentes intervalos: por supuesto se ha redondeado el valor A al valor superior de la amplitud correspondiente al intervalo. En la figura, a modo de ejemplo, se ve que si $A=4,62$ aproximadamente, A está comprendido en el intervalo 62° . Se comprende entonces que la indicación del número de orden del intervalo expresa la amplitud de la señal. Por lo tanto es el número de

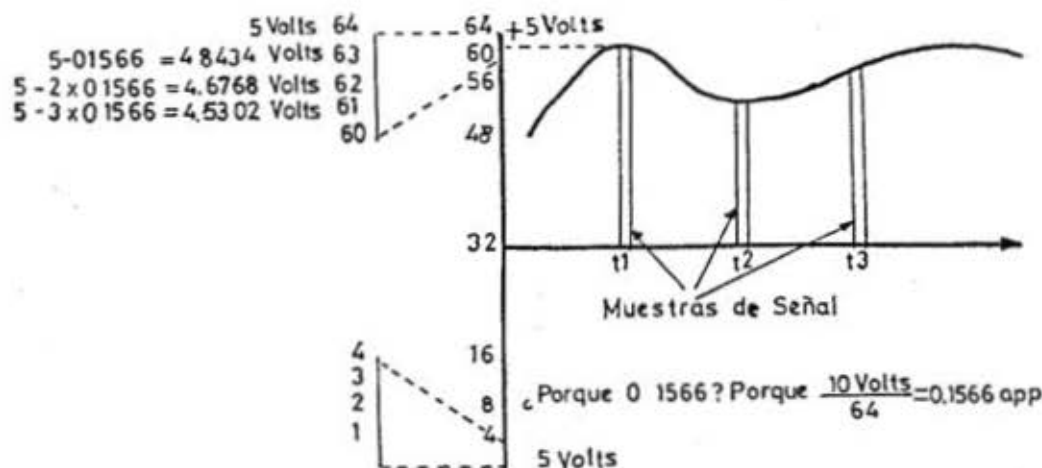


Fig. 2

orden del intervalo el que vamos a retener y lo expresaremos no en el sistema decimal, sino que en el sistema binario. Se recuerda brevemente la corresponden-

cia simple entre las numeraciones decimal y binaria

x decimal = $a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_n 2^n$ donde los a_i son iguales a 0 ó a 1.

Ejemplo

en decimal		en binario
0		0 o también 000000
1 = $1 \cdot 2^0$		1 000001
2 = $1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$	10 000010
3 = $1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$	11 000011
4 = $1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$	100 000100
64 = $1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^0$	100000 100000

Una señal cualquiera (muestra) tendrá una amplitud traducida en sistema binario por 6 cifras binarias como se indica en la columna de la derecha. Entonces (si se considera 3.400 a 4.000 Hz), una señal de 4.000 Hz. dará 8.000 muestras por segundo ($\frac{1}{2} W = \frac{1}{800}$ segundo) y

cada señal será traducida por 6 bits (número binario), lo que corresponde a $6 \times 8.000 = 48.000$ (bits/segundo). Esto es lo que se llama la modulación por impulsos codificados, (MIC en forma abreviada)

El baud y el bit

Una señal cuantificada puede ser reducida a una serie de intervalos de tiem-

po de modo que, durante cada uno de ellos, el parámetro amplitud, fase o frecuencia de esta señal se mantenga constante. Se llama "velocidad de manipulación" expresada en bauds a la inversa del tiempo más pequeño durante el cual el parámetro se mantiene constante.

Por ejemplo (Fig. 3): cuando una señal telegráfica compuesta de una señal start, de una señal stop y de cinco momentos, 0 ó 1, portadores de la información a transmitir, cuyo instante más pequeño durante el cual ésta se mantiene constante es de 20 ms, la velocidad en bauds es $\frac{1}{20 \text{ ms}} = 50$ bauds.

(ms = milisegundo).

El "bit" que ya hemos utilizado es una unidad de información, es una cantidad

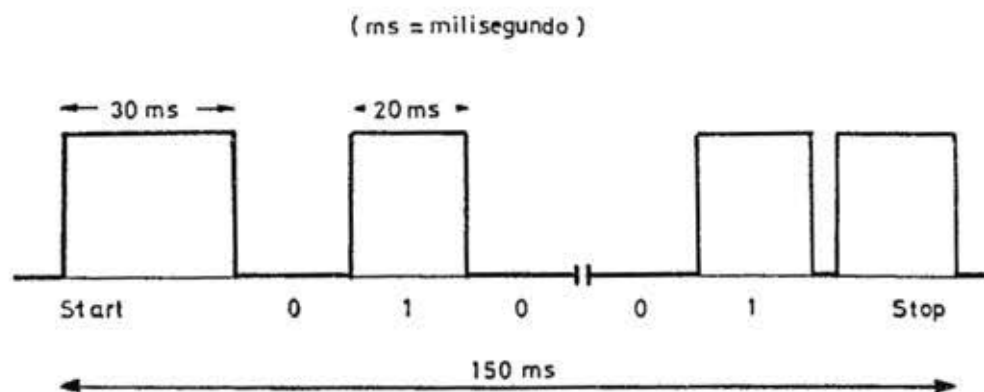


Fig. 3

mensurable y para presentarla es cómodo hacer simplemente referencia a la alternativa: ¿cara o sello?, ¿sí o no? ¿tal carta es roja o negra?, etc. La respuesta a una pregunta semejante cuyas dos respuestas son igualmente probables, tiene una probabilidad $\frac{1}{2}$. Se dice también que la entropía de la pregunta se vuelve nula si se conoce el resultado. La entropía de una alternativa corresponde a un "bit". La información que corresponde al conocimiento de la respuesta es por definición igual a 1 bit. El bit de información compensa al bit de entropía o de incertidumbre y se puede decir que la información es una entropía negativa.

Si se acepta esta noción del bit, sin preocuparse demasiado del carácter resumido de esta presentación, se concebirá fácilmente, por ejemplo, que la elección de un resultado entre 4 resultados igualmente probables, corresponde a la elección de una de las cuatro cifras decimales 0, 1, 2, ó 3, que uno puede escribir también en el sistema binario 00-10-01-11. Así cada serie de dos cifras corresponde a 2 bits de información, puesto que la primera (o segunda) cifra que compone uno de los cuatro números binarios precedentes puede ser 0 ó 1 con las mismas probabilidades. En general, la elección de un resultado entre

$16 = 2^4$, $32 = 2^5$, ó $64 = 2^6$ resultados igualmente probables corresponde respectivamente a 4, 5 ó 6 bits. A partir de esta noción simple, se puede llegar a la cifra de 48.000 bits/seg. que traduce la cantidad de información a transmitir por segundo sin degradar una señal de palabra.

Además conviene recordar que un impulso de un ms. de duración ocupa aproximadamente una amplitud espectral de 1 KHz y que, más generalmente, la amplitud de banda del espectro de un impulso clásico es del orden inverso a su duración. Se comprende entonces que una velocidad de transmisión de 1 baud corresponde a 1 Hz de banda.

Según la manera en que el mensaje trae la información, es decir según su codificación, 1 baud puede corresponder a uno, varios o a una fracción de bit. En efecto, podemos decidir que la serie (1)

$\overline{1} \overline{0} \overline{0} \overline{1}$ corresponde a la información 1 y que la serie (2) $\overline{0} \overline{1} \overline{0} \overline{1}$ corresponde a la información 0. Si nosotros recibimos (1) tenemos el bit 1. Si nosotros recibimos (2) tenemos el bit 0. Se dice que el bit 1 ó 0 está representado por la serie de los cuatro impulsos 0 ó 1, que constituyen la serie (1) ó (2), serie significativa de la información 0 ó 1. En este caso se precisan varios impulsos (cuatro aquí) para traducir 1 bit (0 ó 1). Para transmitir 1 bit en un tiempo T será preciso que el impulso tenga una duración de $\frac{T}{4}$ seg. La cadencia en

bauds es entonces de $\frac{1}{T/4}$. Por segundo

se transmitirá $\frac{1}{T}$ bit puesto que un bit demanda un tiempo de T segundo. Por lo tanto, la velocidad en bauds es igual a la cadencia en bits multiplicada por la cantidad de impulsos que corresponden a un bit (cuatro en el ejemplo).

A la inversa, un impulso de amplitud dada igual T segundo puede corresponder a varios bits de información. Por ejemplo, supongamos un impulso de duración 1 ms. (por lo tanto la velocidad en bauds es 1.000 Hz) y supongamos que la amplitud de este impulso puede ser 0, 1, 2 ó 3. Durante la recepción de la señal el reconocimiento del impulso y de su amplitud es distinguir un nivel (0, 1, 2 ó 3) entre los cuatro niveles posibles que podríamos suponer igualmente probables a priori. Según lo que ya hemos explicado esto corresponde a una elección entre cuatro, por tanto 2 bits de información ($2^2 = 4$). En este caso un impulso llevaba una información de 2 bits, pero es preciso distinguir bien los diferentes niveles de amplitud en el momento de la recepción y por lo tanto, el ruido deberá ser mínimo para no hacernos incurrir en un error respecto a la medida de la amplitud del impulso recibido.

En el caso más clásico, se dice que se efectúa una transmisión binaria si un impulso lleva 1 bit de información. Hay entonces igualdad entre la velocidad en bauds y la cantidad de bits transmitidos por segundo (velocidad de información en bits/seg. = velocidad en bauds).

Volviendo al problema de la transmisión numérica de la palabra, una codificación binaria de esta información lleva a los 48.000 bauds y por lo tanto a 48 KHz de ocupación espectral.

Se ve bien el precio que hay que pagar: 48 KHz en lugar de 4.000 Hz aproximadamente si uno se hubiera quedado con el sistema analógico. En cambio, esta vez no es necesaria la relación de señal de ruido de 200 y una relación de señal a ruido de 2 es suficiente. En efecto, nos basta reconocer la presencia de un 1 ó de un 0, es decir la presencia o ausencia de un impulso, lo que haremos correctamente si el ruido es inferior a la mitad del impulso ($S/B = 2$).

Este cambio entre "potencia de señal" o mejor "razón señal-ruido" y "ancho de banda" ha sido muy bien expresado por Shannon en la fórmula:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N} \right) \text{ ó } C = \text{Capacidad}$$

de un canal en bits/seg.

= Cantidad de bits susceptibles de ser transmitidos en el canal, por segundo

W = Ancho de banda en hertz del canal de transmisión

P = Potencia de la señal

N = Potencia del ruido

(Log en base 2, puesto que hemos razonado en el sistema binario).

Las diferentes codificaciones

La forma de cuantificación precedente se llama MIC como ya lo hemos mencionado o PCM (Pulse Code Modulation). Existen otras maneras de numerizar la señal de palabra, que llevan a cantidades de información del orden de los 20 Kbits/seg. (codificación Δ por ej.). El objeto de este artículo no es hacer una revisión de estas diferentes codificaciones todas las cuales llevan una importante cantidad de información del orden de 20 Kbits/seg. (codificación Δ por ejemplo). El objeto de este artículo no es hacer una revisión de estas diferentes codificaciones todas las cuales llevan a una importante cantidad de información en bits por segundo, y por lo tanto a un gran ancho de banda en transmisión binaria, sino más bien mostrar la línea de pensamiento directriz que ha llevado a la Dirección de Investigaciones y Medios de Pruebas (D.R.M.E.) a efectuar in-

vestigaciones en materia de conversaciones telefónicas. De hecho, el problema de fondo es el siguiente: ¿Son efectivamente necesarios esos 20.000 ó 48.000 bits/seg. para no degradar la señal de la palabra cuantificada?

Un problema como éste no podía tener una solución satisfactoria sin que se tratara de saber cómo funciona el receptor que es el oído y sin que se contemple un tratamiento adaptativo a la fuente que constituye el aparato fonatorio. Por supuesto, esto no es tal vez el buen método y a lo mejor puede objetarse que "los aviones no mueven las alas como los pájaros", pero esta forma pragmática de contemplar el problema ha parecido muy razonable y parece dar la mayoría de las oportunidades de llegar a soluciones satisfactorias realizando en la mejor forma posible un equilibrio entre "costo-rendimientos técnicos-necesidades".

El oído humano

Mencionemos brevemente el alto rendimiento del captador acústico que constituye el oído humano. Un individuo normal puede percibir una potencia acústica de 10^{-15} Watt/cm², lo que corresponde a una presión del orden de la milésima parte de la presión atmosférica. Este es el límite de la sensibilidad del oído. Además, el oído funciona correctamente hasta niveles acústicos del orden de los 100 a 200 Watt/cm². Se dice que la dinámica del oído es de $\frac{100}{10} = 10^{-17}$, dinámica su-

mamente importante que de ninguna manera tienen los sensores electromagnéticos realizados por el hombre.

Sin entrar a describir el oído externo, medio e interno, vemos que es un órgano casi lineal que probablemente hace una discriminación frecuencial, es decir que actúa como lo haría una batería de circuitos acordados del tipo LC. Aproximadamente 30.000 pestañas dispuestas sobre la membrana auditiva codifican la información sonora recogida y la transmiten al cerebro pasando por nudos de concentración (neuronas). La grabación en la memoria del sonido recibido, codificado a partir del oído por 30.000 fibras nerviosas, se hace por intermedio de 10.000.000 de terminaciones nerviosas al nivel de la corteza cerebral (los

métodos modernos de aprendizaje y de auto-correlación tratan de explicar así el funcionamiento del cerebro humano).

La noción de espectro instantáneo

¿Con qué tipo de señales trabaja el cerebro humano? ¿Cuáles son los datos que le llegan del oído?

Se puede dar una respuesta simple de la siguiente manera. El oído no hace un análisis de Fourier en el sentido bien conocido en matemática. La transformación de Fourier está en efecto mal adaptada a un fenómeno físico cualquiera, ya que exige un tiempo de integración infinito. Para comprender mejor el funcionamiento del oído, es preciso introducir la noción de espectro instantáneo. Supongamos realizada una batería de resonado-

res acordados separando diferentes frecuencias (repartidas logarítmicamente) entre 300 y 4.000 Hz y excitamos esta batería de filtros mediante un sonido, sílaba o fonema (por ejemplo el "Pa" de "Papillón"). El conjunto de las señales que aparecen saliendo de los filtros constituye el espectro instantáneo.

La hipótesis de la reducción de la palabra

La experiencia demuestra que el espectro instantáneo evoluciona en forma significativa cada cuatro milisegundos y que se caracteriza en cada tramo de 4 ms por la existencia de 3 protuberancias o formatos (o máximo de energía).

En la Fig. 4 se han representado dos espectros instantáneos distantes por 4 ms:

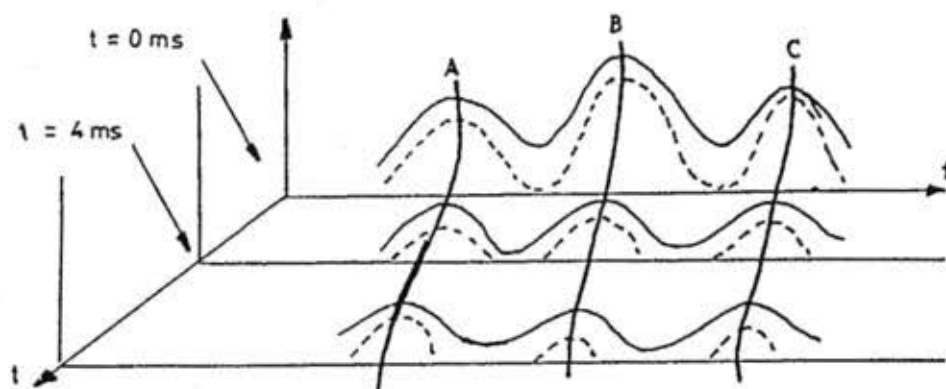


Fig. 4

Se encuentra que no es necesario transmitir integralmente la señal correspondiente al espectro instantáneo, pero que la inteligibilidad de nuestra palabra está contenida en las tres frecuencias y amplitudes de las tres protuberancias. En otras palabras, nos basta transmitir únicamente 3 informaciones de frecuencia y de amplitud para transmitir la palabra. En el momento de la recepción podrá efectuarse la síntesis de la palabra a partir de tres osciladores sincronizados en frecuencia y amplitud por la señal recibida, lo que permitirá la señal que figura en la línea de puntos en la figura.

La presentación que acaba de hacerse está muy simplificada y especialmente para una reconstitución de calidad, las relaciones de fase importante entre las frecuencias de los formatos deben ser respetadas en el caso de los sonidos debidos a las vocales. Sin embargo, es suficiente para explicar la comprensión de los datos resultantes. ¿Por qué transmitir en efecto el espectro instantáneo durante todos los 4 ms cuando basta transmitir 3 puntos solamente. (A, B y C en la figura?)

Para determinar el orden de magnitud de la cantidad en bits a transmitir, nece-

sitamos que las abscisas o frecuencias de los puntos A, B, C, estén definidas a un promedio de 200 Hz más o menos; por lo tanto hay 20 en 4.000 Hz de banda. Para transmitir la indicación de la abscisa de un punto A, B o C, lo que corresponde aproximadamente a hacer una elección entre 20, son precisos 5 bits ($2^4 < 20 < 2^5$). Si la amplitud está definida por 5 bits, entonces es preciso transmitir:

$$\left(\begin{array}{c} (3.5) \\ \text{Bits} \\ \text{de amplitud} \end{array} + \begin{array}{c} (3.5) \\ \text{Elección} \\ \text{de las tres} \\ \text{frecuencias} \end{array} \right)$$

· 250 = 7.500 bits/seg.
250 veces por segundo: cada 4 ms

El balance asciende por lo tanto a 7.500 bits/seg. aproximadamente, lo cual desde ya es favorable. No obstante, es posible mejorarlo e interesarse en la evolución en el tiempo de estos formatos, es decir en la línea de cresta de los formatos. ¿Por qué no codificar entonces inteligentemente esta línea de cresta y tratar de transmitir su contenido informativo con un mínimo de bits?

Los estudios continúan sobre este punto preciso y ya se puede considerar como factible una comprensión de la palabra reduciendo la salida (debit) a 2.400 e incluso 1.200 bits/seg.

Los trabajos en curso demuestran que es razonable esperar una reducción de la salida (debit) binaria vocal hasta 600 bits/seg. La calidad de la palabra sintetizada a partir de 600 bits/seg. de información todavía es muy aceptable y equivalente a la que se obtiene a partir de 1.200 bits/seg. Por supuesto esta comprensión no se obtiene sino después de un tratamiento un poco más complejo sobre la continuidad de las líneas de cresta de los formatos de los cuales ya hemos hablado.

Otras investigaciones de más alto vuelo se efectúan igualmente en esos dominios, pero partiendo de una línea de pensamiento diferente, en el sentido que entran en el campo del reconocimiento de las formas. En efecto, se puede tratar de reducir por tratamiento el ritmo de palabra de un locutor cualquiera a un ritmo standard, y luego representar el sonido emitido por este locutor mediante formas acústicas en el plano tiempo-frecuencia. En estas condiciones un men-

saje hablado no es más que una serie de formas. Se ha demostrado que estas formas podían ser simplificadas al máximo de manera que no representaran más que el contenido informativo del sonido elemental o fenómeno. En cantidad reducida estas formas son del orden de 600. La evolución de una fase cualquiera se traduce entonces en una sucesión de formas tipos y el problema es la correspondencia entre los sonidos emitidos por el locutor y la forma de base. Los métodos de intercorrelación bien explotados permiten establecer esta correspondencia en tiempo diferido. Si mediante una codificación simple se asocia un número binario a cada una de las formas, entonces se ha circunscrito el problema de la transmisión de la palabra a un problema muy clásico de transmisión de datos. Por supuesto, la cantidad de bits necesarios por segundo es muy pequeña y en principio puede ser reducida a 50 ó 100 bits segundo. El lector se habrá dado cuenta de las enormes dificultades que hay para hacer correctamente el tratamiento a grandes rasgos indicado aquí y, por el momento, un tratamiento como este sólo puede contemplarse en tiempo diferido, lo que limita mucho el interés de estos estudios desde el punto de vista de la transmisión militar de la información, que debe hacerse más frecuentemente en tiempo real.

La pregunta que hay que hacer es si valdrán la pena algún día las sumas invertidas en estos estudios y cuáles son las ventajas o las posibilidades nuevas que se ofrecerán tanto en el aspecto militar como civil.

Objetivo de estas investigaciones

Limitando esta exposición al problema de la reducción de redundancia vocal, es decir descartando el reconocimiento de las formas acústicas, investigación cuyo final está mucho más lejano, puede decirse que las aplicaciones de estos estudios son bien definidas.

—En el dominio de las telecomunicaciones, un canal de transmisión con una capacidad de 48.000 bits por segundo, actualmente utilizado para la transmisión en una vía de palabra numerizada en MIC, podrá transmitir 30 a 40 vías telefónicas numerizadas a 1.200 (bits segundo). En el aspecto

financiero el precio de la transmisión del bit será dividido por lo tanto por un factor del orden de 30. Esta ventaja debe tomarse muy en cuenta por lo elevado que es el costo del bit, así como en el caso de las transmisiones por satélite es normal tratar de amortiguar el costo del lanzamiento. Con toda seguridad hay aplicaciones importantes en el dominio de los haces hertzianos y de las comunicaciones por satélite.

- Otro campo de aplicación es el de las transmisiones ionosféricas, utilizando la reflexión de las ondas sobre la ionósfera y para los cuales sólo puede emplearse una amplitud de banda máxima de algunos miles de hertz —banda de coherencia alrededor de una portadora dada entre dos y 30 MHz por ejemplo—. La reducción a 1.200 bits por segundo de salida vocal permite pasar una palabra en sistema binario en 1.200 hertz de banda y por lo tanto es perfectamente compatible con la capacidad de las transmisiones ionosféricas, que por lo demás pueden mejorarse mediante un tratamiento auto-adaptativo al medio, como se indicó al comienzo de este artículo.
- En otro aspecto, la reducción a 1.200 bits por segundo, y menos, permite añadir sin mayores inconvenientes bits de redundancia para evitar errores de transmisión y bits de codificación para que la información sea indescifrable.

—Finalmente, la cuantificación o numerización de la palabra, permite presentar la fonía bajo la misma forma que los datos, por lo tanto ya no hay que hacer distinción entre la transmisión de la palabra y la transmisión de los datos, pero el grado de error admisible para la fonía es del orden de 10^{-3} , mientras que en transmisión de datos, es preciso limitarla a 10^{-6} . No obstante, esta presentación homogénea de la información de palabra o de los datos reduce todos los problemas de transmisión de información al problema de la transmisión de los bits y aminora todos los tratamientos que hay que efectuar.

En conclusión, estas investigaciones efectuadas por D.R.M.E. condicionan notablemente las posibilidades futuras en el dominio de las telecomunicaciones y de las comunicaciones hombre-máquina. Tienen un carácter a la vez fundamental y muy científico y técnico y tecnológico al mismo tiempo. En el plano científico se ha elegido una idea directriz, que guía las investigaciones en el sentido de la explotación rentable de este vasto dominio de la palabra. Con toda seguridad en los próximos años se desarrollarán sistemas de comprensión de la señal vocal con diversas aplicaciones tanto en el plano militar como civil.

Traducido de la Revista "Défense Nationale" — Agosto-Septiembre, 1975.

