

Los Peines y la Codificación Homodínea de Imágenes Dinámicas

Luis Mochán

Investigador del Instituto de Ciencias Físicas, UNAM y miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Tome un peine. No deseo insinuar que Ud. está despeinado; lo que quiero es invitarlo a hacer un experimento. Tome otro peine, de preferencia idéntico al anterior. Ahora coloque los dientes de uno detrás de los dientes del otro. Lo que verá se parecerá a lo que muestra la figura 1. Note el patrón que emerge. Por ejemplo, la figura muestra líneas horizontales que no forman parte de uno ni otro peine pero que se forman al ver los dientes de uno por entre los dientes del otro. Observe cómo cambia el patrón al inclinar y al mover uno de los peines. Esta clase de patrones, formados por la yuxtaposición de texturas que se repiten regularmente como los dientes de un peine, los alambres en un mosquitero o los hilos de una tela semitransparente, se denominan patrones de Moiré. Quizás los haya visto en ciertas telas, donde dan origen a figuras que recuerdan las ondas en el agua.

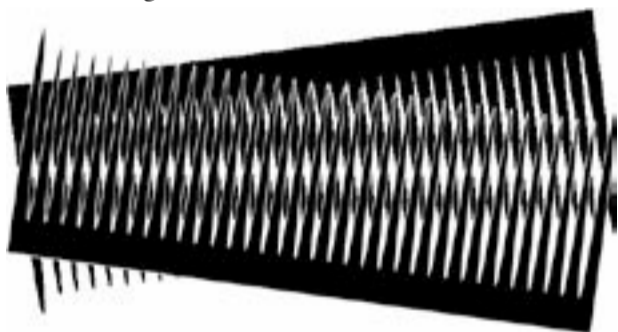


Figura 1. Dos peines ligeramente inclinados entre sí y colocados uno detrás del otro. Al observar los dientes de un peine a través de los dientes del otro aparece un patrón de líneas horizontales que no forma parte de ninguno de los dos.

¿Por qué se forman estos patrones? ¿Cómo describirlos matemáticamente? Considere dos acetatos transparentes colocados uno detrás del otro en cada uno de los cuales imprimimos una imagen en blanco y negro, o mejor dicho, en transparente y negro. ¿Qué observaremos al verlos? La imagen resultante será opaca en aquellas regiones en las que una zona negra del primer acetato cubra una zona negra del segundo. También quedará negra donde una zona negra del primero cubra una zona transparente del segundo o una transparente cubra una negra. La imagen resultante tendrá regiones transparentes únicamente donde una zona transparente cubra otra transparente. Este resultado está resumido en la figura 2.

Figura 2. Tabla de superposición de acetatos. Al colocar una zona negra o transparente (renglón superior) encima de una zona negra o transparente (columna izquierda) se obtiene uno de cuatro resultados (cuadro abajo a la derecha) de manera análoga a la tabla de multiplicar binaria, identificando al número 0 con las zonas negras y al 1 con las transparentes.

Como ilustra la figura, superponer dos figuras impresas en una transparencia es equivalente a multiplicarlas: identificando las zonas opacas con el número 0 y las zonas transparentes con el número 1, la imagen resultante es el producto

	×	0	1
0		0	0
1		0	1

Figura 2

de las dos imágenes que la conforman. El patrón de líneas ilustrado en la figura 1 resulta entonces de las curiosas propiedades del producto de funciones periódicas, que se repiten regularmente (o casi regularmente). Como ilustra la figura 3, el producto de dos funciones periódicas con frecuencias ligeramente distintas está formado por una parte que oscila lentamente y otra que oscila rápidamente.

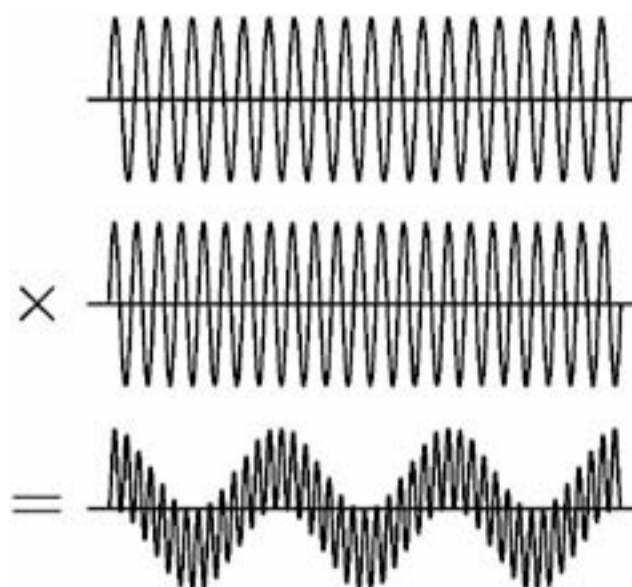


Figura 3. Gráfica de dos funciones periódicas y de su producto. El producto de dos oscilaciones con frecuencias similares (la superior tiene 20 oscilaciones a todo lo ancho mientras que de abajo tiene 23) tiene una parte que oscila lentamente (3 oscilaciones) y otra que oscila rápidamente (43 oscilaciones).

Esta propiedad del producto de oscilaciones es empleada cotidianamente en la radiodifusión: Los micrófonos de una estación de radio recogen señales que oscilan con relativa lentitud, con frecuencias de algunos cientos de Hertz (ciclos por segundo). Estas señales se emplean para modular ondas de radio, con frecuencias altas, típicamente de millones de Hertz. Los aparatos radioreceptores pueden extraer la señal

de audio multiplicando la señal de radio por una onda con la frecuencia nominal de la estación de radio. La componente de baja frecuencia de la onda resultante es la señal de audio que es amplificada y enviada a las bocinas para generar sonido. Esta técnica para detectar señales (hay muchas otras) se conoce como detección homodínea.

La discusión anterior muestra que la formación de patrones de Moiré entre figuras que oscilan rápidamente en el espacio, como los peines de la figura 1, es análoga a la detección homodínea de señales de audio en la radiodifusión. Sin embargo, los patrones de Moiré ofrecen mayor riqueza pues las imágenes que los componen pueden variar a lo largo de diversas direcciones y pueden ocupar distintos planos en el espacio. En el Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM he desarrollado herramientas matemáticas y programas computacionales que permiten la codificación y decodificación homodínea de imágenes tomando para ello conceptos prestados de la óptica no lineal, uno de nuestros temas de investigación. Aprovechando el paralaje dinámico se logró además producir imágenes que, aunque físicamente se hallan fijas, se animan de movimiento visual cuando el observador camina frente a ellas dando origen a una experiencia dinámica pero bajo el control del espectador. El paralaje dinámico consiste en el movimiento aparente de los objetos cercanos con respecto a los objetos lejanos cuando el observador avanza, como ilustra el viejo chiste de los dos pasajeros en un tren comentando el paisaje:

--¿Ya viste los postes de luz al lado de la vía? --Sí. ¿Qué tienen? --Nota lo rápido que se mueven hacia atrás. --Cierto. De regreso vayámonos en poste.

Así como los postes cercanos parecen desplazarse rápidamente hacia atrás con respecto a las montañas lejanas cuando avanzamos velozmente en un tren, al caminar frente a nuestras imágenes inducimos un movimiento aparente entre sus distintos planos, lo cual modifica el patrón de Moiré generado. El reto, resuelto mediante una serie de algoritmos originales y un conjunto de programas ad-hoc de computadora fue aprovechar el paralaje dinámico y el efecto Moiré para elaborar las animaciones deseadas.

Como una ilustración de los conceptos anteriores, se elaboró una colección de cuadros animados cuyo tema es la óptica física y que pretende introducir de manera atractiva, didáctica e interactiva muchos conceptos de la física ondulatoria. Estos cuadros conforman la exposición Luz en Movimiento, expuesta temporalmente en Universum, el museo de ciencias de la UNAM. Cada uno de los cuadros está formado por la yuxtaposición de dos retículas consistentes en cientos de líneas que difieren apenas de rectas verticales equi-espaciadas. Ambas retículas se hallan impresas en materiales transparentes situados en dos planos distintos y están iluminadas difusamente por atrás. La imagen que observa el espectador no se halla ni en uno ni en el otro plano, sino que emerge sinérgicamente de la superposición de ambos formando un patrón de Moiré.

La secuencia de cuadros inicia con una partícula vibrante que ilustra todos los atributos de un oscilador: su amplitud, frecuencia, fase y dirección. A continuación se muestra cómo aparece el movimiento ondulatorio al acoplarse un gran número de osciladores. Se señalan los distintos tipos de ondas y se exploran todos sus atributos, como son su longitud de onda y velocidad de propagación, entre otros. Se presentan ondas cuyos frentes tienen diversas formas planas y curvas y que se propagan en el espacio a lo largo de un sinnúmero de direcciones. El principio

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.



de Huygens permite entender dicha propagación y conduce a las leyes de la reflexión y de la refracción. Estas permiten entender el funcionamiento de lentes y espejos y la formación de imágenes en instrumentos ópticos. Por otro lado, se estudia la superposición de ondas, la interferencia constructiva y destructiva, rudimentos de análisis de Fourier y el concepto de grupos de ondas. Tras presentar el patrón de interferencia entre dos ondas coherentes se ilustra el experimento de Young, el cual demuestra el carácter ondulatorio de la luz. La interferencia entre ondas contrapropagantes explica tanto el timbre de un instrumento musical como el funcionamiento de un laser. Finalmente, se muestra el carácter electromagnético de la luz mediante el campo cercano y lejano producido por el movimiento de los electrones en los átomos. Un cuadro adicional ilustra la propagación de grupos de ondas y su dispersión normal y anómala incluyendo los fenómenos superluminales que han sido objeto de investigaciones recientes.

Las cédulas de cada cuadro están basadas en preguntas que invitan al visitante a observar y explorar. El nivel de detalle de los cuadros permite aprender de ellos tanto a estudiantes de ciencias físico-matemáticas como a legos y hasta a niños de nivel pre-escolar. No es indispensable observar y entender todos los detalles, algunos de los cuales son demasiado sutiles como serían el límite de resolución de Abbe o el corrimiento de Gouy, para disfrutar la exposición. El montaje de esta exposición requirió vencer muchos obstáculos técnicos, lo cual se logró durante los primeros meses del 2008 mediante el invaluable, entusiasta y generoso apoyo de un magnífico equipo de expertos en múltiples disciplinas adscritos a la Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC) coordinados por Julia Tagüeña, su entonces directora, por Concepción Ruiz Ruiz-Funes, entonces directora de Universum y por Pilar Contreras, directora del Museo de la Luz. Fue exhibida por primera vez en el Museo de la Luz, de abril a septiembre de 2008, aunque algunos prototipos habían sido mostrados previamente en una exposición callejera en Cuernavaca que formó parte del ciclo de conferencias Café conCiencia, y en dos Encuentros de Arte y Ciencia que se llevaron a cabo en el Instituto de Ciencias Nucleares y en el Instituto de Física de la UNAM. La exhibición se halla alojada desde septiembre pasado en la sala de exposiciones temporales A de Uni-

versum <http://www.universum.unam.mx/> y será clausurada próximamente, el 13 enero de 2009. Algunos de los cuadros pueden verse en mi página personal <http://em.fis.unam.mx/public/mochan/luzenmovimiento>.

Aunque he demostrado la codificación homodínea de imágenes animadas ilustrando conceptos físicos, la técnica permite mayor expresión creativa y lúdica. Por ejemplo, he ilustrado juglares que balancean varias pelotas a la vez, galaxias espirales en rotación, engranes articulados

que rotan en sincronía y ojos que siguen o que rehuyen al espectador. Quizás Ud. pueda sugerir posibles aplicaciones de esta nueva técnica gráfica.

que rotan en sincronía y ojos que siguen o que rehuyen al espectador. Quizás Ud. pueda sugerir posibles aplicaciones de esta nueva técnica gráfica.

CARTELERA VIGENTE DEL JUEVES 10. DE ENERO AL JUEVES 8 DE ENERO DE 2009

CINEMEX

CUERNAVACA

DIANA

AUTOPISTA MEX. - ACA. KM.87.5, COL. FLORES MAGON (JUNTO A LA MEGA COMERCIAL), TEL: 3 15 92 40

ESTRENOS	CUENTOS QUE NO SON CUENTO ESP (A) 10:35 11:10 11:45 12:55 13:30 14:05 14:40 15:20 15:50 16:30 16:55 17:35 18:10 18:50 19:20 19:55 20:30 21:05 22:15 21:40 22:50	BOLT UN PERRO FUERA DE SERIE ESP (AA) 10:05 11:00 11:55 12:05 13:05 13:50
	DESPERAUX: UN PEQUEÑO GRAN HEROE (A) 10:00 11:55 11:30 13:25 14:15 15:35 16:40 17:50 18:35	RUDO Y CURSI (B15) 10:45 12:50 15:00 17:10 19:10 21:15
	AUSTRALIA (B) 11:50 14:00 14:55 17:20 18:15 20:40 21:30	NI EN TU CASA NI EN LA MIA (B) 10:15 14:25 18:20 22:10
	FREE STYLE ESP: PERSIGUIENDO UN SUEÑO (A) 12:10 16:05 19:50	EL DIA QUE LA TIERRA SE DETUVO IMAX (B) 15:10 17:15 19:30 21:55 IMAX
	VOLVERTE A VER (B) 16:15 18:30 20:55 JUE - SAB Y MIE 23:10	EL DIA QUE LA TIERRA SE DETUVO (B) ING 20:10 22:30 ESP 20:45 22:55
	MADAGASCAR 2 ESP (AA) 10:30 12:30	

JACARANDAS

AV. CUAHUINHUAJAC KM. 5, FRACC. ALEGRIA (JUNTO A CARREFOUR), TEL: 3 15 91 25

ESTRENOS	CUENTOS QUE NO SON CUENTO ESP (A) 10:00 11:05 12:10 13:15 14:00 14:20 15:25 16:05 16:30 17:35 18:10 18:40 19:45 20:15 20:50 21:55 22:20 JUE - SAB Y MIE 23:00	RUDO Y CURSI (B15) 10:20 12:25 14:30 16:45 18:45 21:00 JUE - SAB Y MIE 23:00
	DESPERAUX: UN PEQUEÑO GRAN HEROE (A) 10:10 12:15 14:15 16:25 18:35	NI EN TU CASA NI EN LA MIA (B) 19:10 21:15 JUE - SAB Y MIE 23:05
	AUSTRALIA (B) 9:50 13:00 16:10 19:20 22:30	EL DÍA QUE LA TIERRA SE DETUVO (B) ESP 20:40 22:50 ING 17:45 19:55 22:05
	VOLVERTE A VER (B) 11:30 13:45 16:00 18:15 20:30 22:45	MADAGASCAR 2 ESP (AA) 10:05 10:50 12:00 12:45 13:55 14:40 15:50 16:35 18:30
	BOLT ESP UN PERRO FUERA DE SERIE (AA) 9:55 11:10 11:55 13:10 15:10 17:10	CREPÚSCULO ESP (B) 20:25 22:50

Cinemex Jacarandas florece

Ven a conocer nuestro complejo totalmente remodelado

Salas tipo estadio • Nuevas butacas • Alavista • La Tetera

línea cinemex 01-800-710-8888

cinemex.com

CONTENIDO QUE NO RECOMENDAMOS PARA MENORES DE 15 AÑOS

CONTENIDO QUE NO RECOMENDAMOS PARA MENORES DE 15 AÑOS

CONTENIDO QUE NO RECOMENDAMOS PARA MENORES DE 15 AÑOS

EL DIA QUE LA TIERRA SE DETUVO IMAX

EL DIA QUE LA TIERRA SE DETUVO IMAX

EL DIA QUE LA TIERRA SE DETUVO IMAX

B15: NO RECOMENDABLE PARA MENORES DE 15 AÑOS CORREO ELECTRÓNICO: buzon@cinemex.com.mx

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar:
www.acmor.org.mx