

## Caracterización dinámica de redes modales en láseres de semiconductor

Jordi Tiana Alsina\*, M. Carme Torrent, Jordi Garcia-Ojalvo

Departamento de Física e Ingeniería Nuclear, Universidad Politécnica de Catalunya, Colom 11, 08222 Terrassa

Los láseres de semiconductor presentan una gran variedad de comportamientos dinámicos, incluyendo fluctuaciones de baja frecuencia, colapso de coherencia, caos, etc<sup>1</sup>. La mayoría de estudios teóricos sobre estos fenómenos dinámicos se han llevado a cabo en modelos monomodo, aún cuando la mayoría de láseres de semiconductor comerciales operan en varios modos longitudinales. En esta comunicación presentamos un estudio experimental de la dinámica multimodo de láseres de semiconductor, interpretando los diferentes modos como un conjunto de osciladores acoplados, con un patrón de acoplamiento complejo.

El espectro óptico de un láser de semiconductor multimodo presenta una dinámica de *mode hopping*, i.e, un encendido y apagado de los modos del láser en función del tiempo. En la Fig. 1 presentamos la dinámica del espectro de un láser de semiconductor multimodo solitario (Mitsubishi ML976H6F) en función del tiempo.

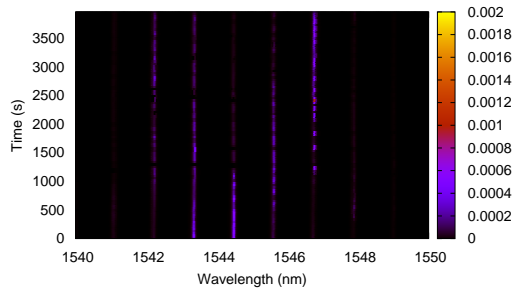


Figura 1. Evolución temporal experimental de los modos de un láser de semiconductor solitario.

Queremos ver si existe una causalidad entre la dinámica de un modo respecto de los otros, tanto en el caso de un láser solitario como en presencia de realimentación óptica. Para ello utilizamos el método de la *coherencia dirigida parcial (partial directed coherence, PDC)*<sup>2</sup>. Este método permite describir las relaciones que existen entre series temporales multivariadas, basándose en la descomposición de coherencias parciales obtenidas a partir de modelos multivariados autorregresivos (MVAR)<sup>3</sup> del tipo

$$\mathbf{x}(k) = \sum_{j=1}^p \mathbf{a}_j \mathbf{x}(k-j) + \varepsilon(k) \quad (1)$$

donde  $\mathbf{x}(k)$  es un vector de dimensión  $n$  que representa el estado de los  $n$  modos del láser en un instante de tiempo  $k$ ,  $p$  es el orden del modelo autorregresivo,  $\mathbf{a}_j$

son la matrices de coeficientes del modelo, y  $\varepsilon(k)$  es un ruido multivariado Gaussiano blanco. Estos parámetros se pueden estimar mediante un algoritmo de mínimos cuadrados lineal a trozos<sup>4</sup>.

Para hacer el estudio del acoplamiento entre modos asimilaremos nuestro láser a una red compleja de osciladores acoplados. El método de las PDCs nos permite conocer la intensidad del acoplamiento entre modos, en términos de la función de correlación cruzada entre los mismos,

$$\pi_{j \rightarrow i}(\omega) = \frac{|A_{ij}(\omega)|}{\sqrt{\sum_k |A_{kj}(\omega)|^2}}, \quad (2)$$

donde  $A(\omega) = I - a(\omega)$  es la matriz de coeficientes del modelo autorregresivo multivariado definido arriba, en el espacio de frecuencias. El área total de esta función nos indica la intensidad del acoplamiento entre el modo  $j$  y el  $i$ . La aplicación de este cuantificador a la situación de la Fig. 1 nos conduce a una red con la topología mostrada en la Fig. 2. En esta comunicación se presentarán también resultados similares para un láser con realimentación óptica.

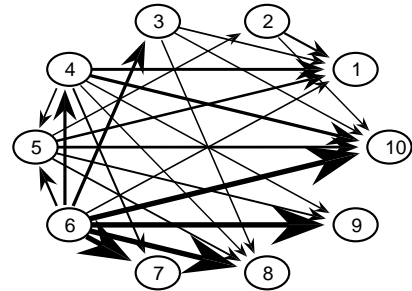


Figura 2. Diagrama de la red de modos del láser solitario.

Estos resultados muestran que los láseres de semiconductor multimodo podrían ser usados como modelos experimentales bien controlados para el estudio de la dinámica, interacción y sincronización de redes complejas.

\* jordi.tiana.alsina@gmail.com

<sup>1</sup> J. Ohtsubo, Prog. Optics **44**, 1 (2002).

<sup>2</sup> B. Schelter *et al*, Journal of Neuroscience Methods **152**, 210 (2005).

<sup>3</sup> L.A. Baccala y K. Sameshima, Biol. Cybern. **84**, 463 (2001).

<sup>4</sup> A. Neumeier y T. Schneider, ACM Trans. Math. Software **27**, 27 (2001).