Interdependencia no lineal y transferencia de información en mapas caóticos acoplados: robustez y límites de identificación

Santiago Ismael Flores-Chávez, Miguel Vizcardo Cornejo.
Universdad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Introducción y objetivo

La predicción cruzada [1] y la transferencia de entropía (TE) [2] permiten estudiar interacciones dirigidas, pero sus indicadores dependen de la observación y la reconstrucción. Evaluamos cómo ruido, sincronización y longitud de las series afectan la identificación de dirección y la interpretación de intensidad, y examinamos una corrección fenomenológica del efecto del ruido.

Métodos

El estudio inicial comparó predicción cruzada por un vecino, TE por histogramas y un modelo local logístico adaptado en mapas tienda acoplados, con ocho condiciones iniciales por caso. Se analizaron las asimetrías direccionales; para predicción cruzada y TE, respectivamente,

$$A_E = E(Y|X) - E(X|Y), \qquad A_T = I(Y_{n+1}; X_n \mid Y_n) - I(X_{n+1}; Y_n \mid X_n),$$

donde E es el error RMS normalizado e I la información mutua condicional. Controles de dimensión y horizonte se contrastaron con predictores clásicos en el 'mapa tienda' (tent map), el mapa de Hénon y el sistema de Lorenz. La extensión de atenuación de A_E incorporó dos mapas de tiendas y un mapa logístico.

Resultados

En el mapa de tienda, con $N = 2000$, acoplamiento 0.10 y ruido de desviación 0.05, TE recuperó el signo impuesto en 8/8 realizaciones y predicción cruzada en 3/8 (figura a). Las asimetrías se anularon al sincronizarse las trayectorias pese al acoplamiento no nulo; la intensidad no mantuvo una relación global monótona con los indicadores. Ruido y longitud condicionaron el desempeño. Para el modelo revisado de atenuación, el MAE reservado disminuyó de 0.07858 a 0.04469 (43.1 %); la diferencia pareada fue -0.03389, IC puntual del 95 % $[-0.03603, -0.03190]$, incluyendo incertidumbre de parámetros.



Figura. (a) Recuperación del signo en el contraste inicial indicado. (b) MAE e IC puntuales con reajuste: azul, modelo revisado; naranja, solo ruido. "Logístico" corresponde a $N = 8000$, $\mu = 0.20$.

Conclusiones y alcance

En el régimen unidireccional estudiado del mapa tienda, ambos métodos recuperaron la dirección impuesta sin ruido y sin sincronización, la transferencia de entropía conservó el signo, mejor que la predicción cruzada. Así, la recuperación de dirección dependió del método, el ruido y la longitud de la serie en el contraste ensayado. El modelo propuesto redujo el error medio de predicción de la asimetría frente a la referencia de solo ruido; la mejora persistió al incorporar incertidumbre de parámetros. El trabajo determina condiciones de recuperación y pérdida de direccionalidad.

Palabras clave: interdependencia no lineal; transferencia de entropía; caos; ruido; sincronización.

Referencias. [1] L. Cisneros et al., *Phys. Rev. E* **65**, 045204 (2002), doi:10.1103/PhysRevE.65.045204.
[2] T. Schreiber, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 461 (2000), doi:10.1103/PhysRevLett.85.461.