Antifragilidad en Redes Booleanas Aleatorias

Omar Karim Pineda López
PCIC, UNAM
Correo-e: omark.pineda@gmail.com

Abstract *In this paper we present an antifragile Random Boolean Network simulation model, propose a way to measure the antifragility in RBNs and try to describe the causes and implications of that antifragility. These measures are based on the difference of satisfaction before and after a perturbation. The satisfaction of a RBN is measure with Shanon's information and differential entropy. The perturbations are made modifying X number of random nodes every O steps for T timesteps. We observed that RBNs in the ordered phase are antifragile and RBNs in the chaotic phase are fragile.*

Introducción

Nassim Nicholas Taleb describe la antifragilidad[1] como una cualidad diferente, opuesta a la fragilidad; donde el estrés puede causar fácilmente que falle un sistema frágil, pero en algunos casos, algunos sistemas no solo desarrollan la capacidad de resistir el estrés, sino que, en realidad, mejoran a medida que están expuestos al estrés o producen resultados fortuitos; de ahí el término "antifrágil". La antifragilidad está más allá de lo resistente o robusto, algo robusto resiste las perturbaciones y se mantiene igual; algo antifrágil se pone mejor y mejor. Cuando se trata de eventos aleatorios, un sistema robusto no es lo suficientemente bueno. A la larga, todo lo que tiene la más mínima vulnerabilidad se rompe, dada la implacabilidad del tiempo

La antifragilidad está presente en muchos sistemas presentes en la naturaleza, un claro ejemplo es el sistema inmune, el cual exposición a diversas enfermedades a temprana edad ocasiona que el sistema se fortalezca y resista nuevas enfermedades de mejor manera en un futuro.

Al comprender los mecanismos de la antifragilidad podemos construir una guía sistemática y amplia para la toma de decisiones no predictivas bajo incertidumbre en los negocios, la política, la medicina y la vida en general, en cualquier lugar donde predomine lo desconocido, cualquier situación en la que haya aleatoriedad, imprevisibilidad, opacidad o comprensión incompleta de las cosas.

El estado del arte no incluye un método para analizar o medir la fragilidad, por lo que el presente proyecto tiene como objetivo la búsqueda de técnicas para medir la antifragilidad en redes booleanas aleatorias (RBNs), basándose en el perfil sigma[2] para medir el nivel de satisfacción del sistema antes y después de una perturbación, y así no sólo saber si un sistema se beneficia de la perturbación (indicando que es antifrágil), sino tener una medida de que tanto se beneficia dependiendo del grado de la perturbación, logrando indicar el nivel de antifragilidad de un sistema.

Las RBNs pueden ser modelos muy interesantes, ya que uno no tiene que asumir ninguna funcionalidad o conectividad particular de las redes para estudiar sus propiedades genéricas. De esta manera, las RBNs se han utilizado para explorar las configuraciones donde podría surgir la vida. El hecho de que las RBNs sean una generalización de los autómatas celulares hace que su investigación sea un tema muy importante[3].

Midiendo la Antifragilidad

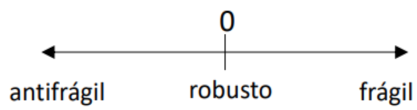
Se intentó medir la fragilidad de dos formas:

$$\oint = -\frac{\Delta\sigma}{|\Delta x|}$$

$$\oint = - \Delta\sigma \times |\Delta x|$$

Donde $\Delta\sigma$ corresponde a la diferencia del grado de satisfacción del sistema antes y después de la perturbación., y Δx corresponde al grado de perturbación en x.

Con esta medición de fragilidad tendríamos:



Para medir la satisfacción de la red se utiliza la medición complejidad basada en la entropía de Shannon:

$$E_i = -(p_0 \times \log_2(p_0) + p_1 \times \log_2(p_1))$$

$$C_i = 4 \times E(1 - E)$$

Donde C_i corresponde a la complejidad del nodo i, y p_j corresponde a la probabilidad de que ese nodo tenga el valor de j.

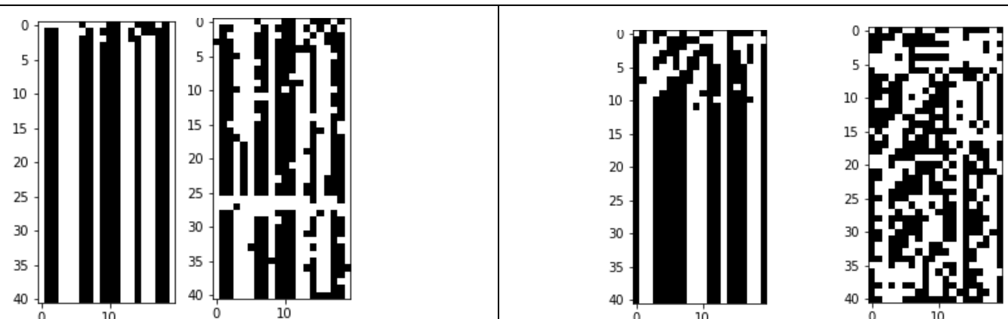
Por lo que la medida de grado de satisfacción de una RBN se define como la media de la diferencia de la complejidad final menos la inicial:

$$\Delta\sigma = \overline{C - C_0}$$

Debido a que la medida de complejidad de cada nodo esta entre 0 y 1, -1 ≤ $\Delta\sigma$ ≤ 1.

Se utilizó la complejidad como medida de grado de satisfacción porque, la complejidad representa un equilibrio entre cambio y regularidad (Kaufmann, 1993), esto permite que los sistemas se adapten de mejor manera. La regularidad asegura que la información sobreviva, mientras que el cambio permite la exploración de nuevas posibilidades, esenciales para la adaptabilidad[4]. Los sistemas vivos o sistemas de computación necesitan cierta estabilidad para sobrevivir o para mantener la información; pero también flexibilidad para explorar su espacio de posibilidades. En la Figura 1 (a) se puede observar una red antifrágil, que utiliza las perturbaciones para explorar nuevos estados, pero en general mantiene la información original. Por otro lado, en la Figura 1 (b) se muestra una red frágil que, con el mismo grado de perturbación, se vuelve caótica.

Podemos "mutar", "dañar" o "perturbar" un nodo de una RBN cambiando su estado actual. Podemos medir cuánto afecta un cambio aleatorio al resto de la red. En otras palabras, podemos



(a) K=2.0, $\oint = -0.0519$ (b) K=3.0, $\oint = 0.0401$

Figura 1: Trayectorias a través del espacio de estados de RBNs con diferente nivel de fragilidad, con N=20, de lado izquierdo se encuentra la red sin perturbaciones y de lado derecho se muestra la misma red fluyendo con perturbaciones desde el mismo estado inicial, con X=2 y O=1. Un cuadrado representa el estado de un nodo. Estados iniciales en la parte superior, el tiempo fluye hacia abajo.

medir cómo se propaga el daño. Esto se puede hacer comparando la evolución de una red "normal" y una red "perturbada".

Por lo que las perturbaciones a la red se realizan modificando al azar cierto número de nodos X, con cierta frecuencia O en un lapso T.

El grado de perturbación en x se define como:

$$\Delta x = \frac{X\left(\frac{T}{O}\right)}{N \times T}$$

tal que $0 \leq \Delta x \leq 1$.

Resultados

Como se muestra en las gráficas de la Figura 2, para la medición de fragilidad como la división de la diferencia del grado de satisfacción entre el grado de perturbaciones ($\oint = -\Delta\sigma/|\Delta x|$), cuando el grado de perturbaciones es cada vez más pequeño la fragilidad tiende a infinito. Además, para valores de K mayores 3, en la fase caótica, esta medida se desestabiliza y no muestra una tendencia clara.

En las gráficas de la Figura 3 se puede observar la medición de fragilidad como la multiplicación ($\oint = -\Delta\sigma * |\Delta x|$), la cual da una medida de fragilidad entre -1 y 1. Es importante notar que $\oint = -1$ que corresponde a la mayor antifragilidad posible solo puede obtenerse cuando la diferencia de satisfacción es de 1 y el grado de perturbaciones también es 1, lo que indica que se obtiene la mayor mejora posible, incluso cuando se tiene una perturbación máxima.

Se puede notar de que las RBNs que mejoran con las perturbaciones son las que se encuentran en la fase ordenada o crítica. En el régimen ordenado, generalmente el daño no se extiende: una red perturbada vuelve a la misma ruta de la red normal. Esto se debe a que los cambios no se pueden propagar tan fácilmente a otras partes de la red. En la fase caótica, estos pequeños cambios tienden a propagarse a través de toda red, por lo que es muy sensible a las perturbaciones. En la fase crítica, los cambios pueden propagarse, pero no necesariamente a través de toda la red.

Taleb sostiene que, hasta cierto punto, la exposición regular a dosis pequeñas de estrés puede fortalecer un sistema y protegerlo eventos extremos. En la Figura 3 podemos observar que una RBN antifrágil mejora con pequeñas perturbaciones hasta cierto punto, tiene una mejora máxima y luego deja de mejorar para perturbaciones extremas. Esto se puede ver también como el efecto de lento es más rápido[5], donde algunas perturbaciones mejoran el sistema, pero muchas lo empiezan a empeorar.

Adicionalmente, se percibió que las RBNs que mejoran más con las perturbaciones son las que tienen un mayor porcentaje de estados en atractores, es decir, un mayor número de atractores puntuales y con menores transientes.

Referencias

[1] Taleb, Nassim Nicholas. Antifragile: Things That Gain from Disorder. New York: Random House, 2012.

[2] Gershenson, C. (2011), The sigma profile: A formal tool to study organization and its evolution at multiple scales. Complexity, 16: 37-44. doi:10.1002/cplx.20350

[3] Gershenson, C. (2004) Introduction to Random Boolean Networks. arXiv:nlin/0408006v3

[4] Santamaría-Bonfil G, Gershenson C and Fernández N (2017) A Package for Measuring Emergence, Self-organization, and Complexity Based on Shannon Entropy. Front. Robot. AI 4:10. doi: 10.3389/frobt.2017.00010

[5] C. Gershenson and D. Helbing, “When slower is faster,” Complexity, vol. 21, no. 2, pp. 9–15, 2015. doi: 10.1002/cplx.21736

$$\oint = -\,\Delta\sigma \,/\, |\Delta x|$$

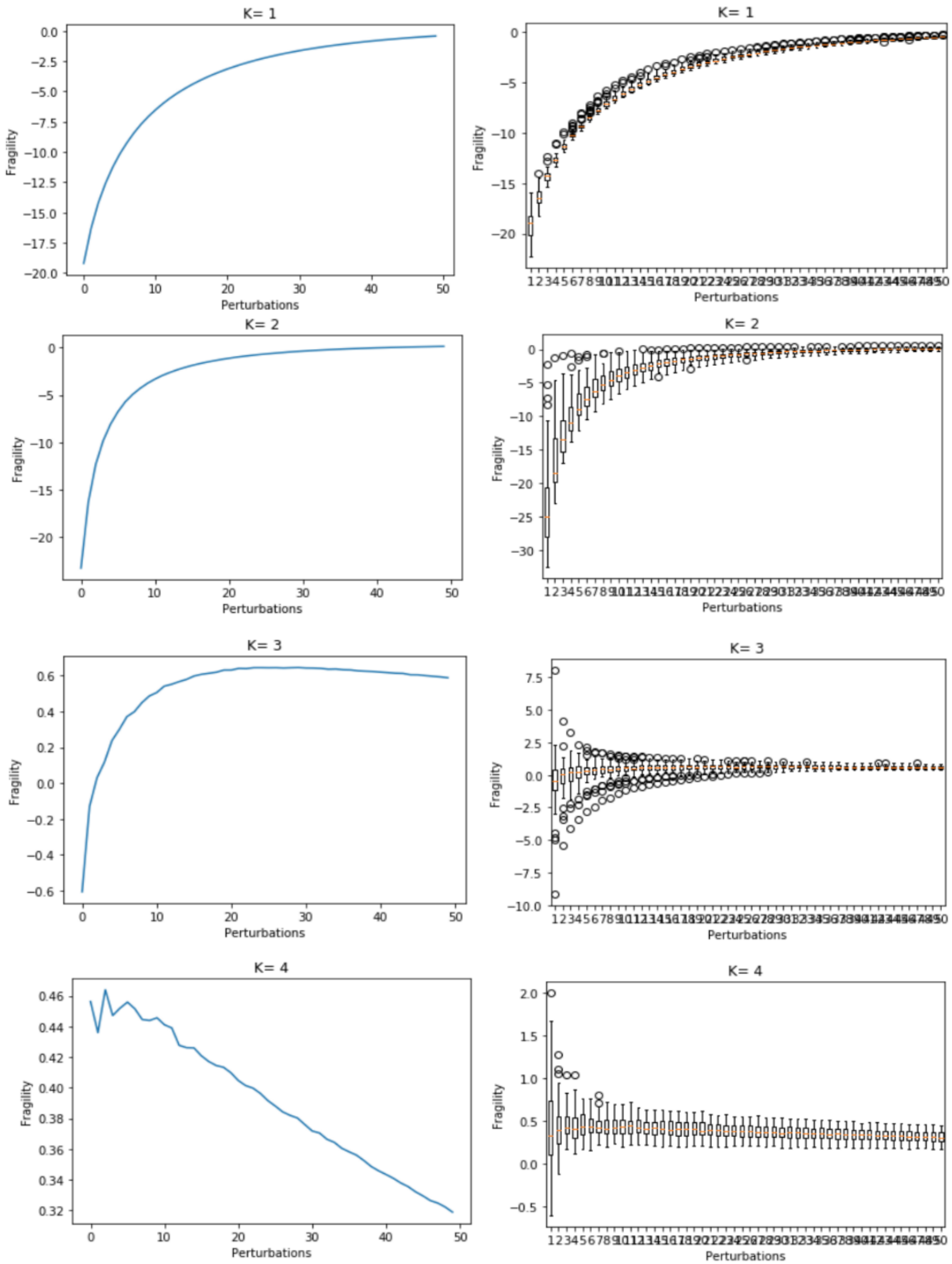


Figura 2: Fragilidad promedio de RBNs variando X, con N=100 y O=1, para diferentes valores de K. Midiendo la fragilidad como $\oint = -\,\Delta\sigma \,/\, |\Delta x|$.

$$\oint = -\Delta\sigma \times |\Delta x|$$

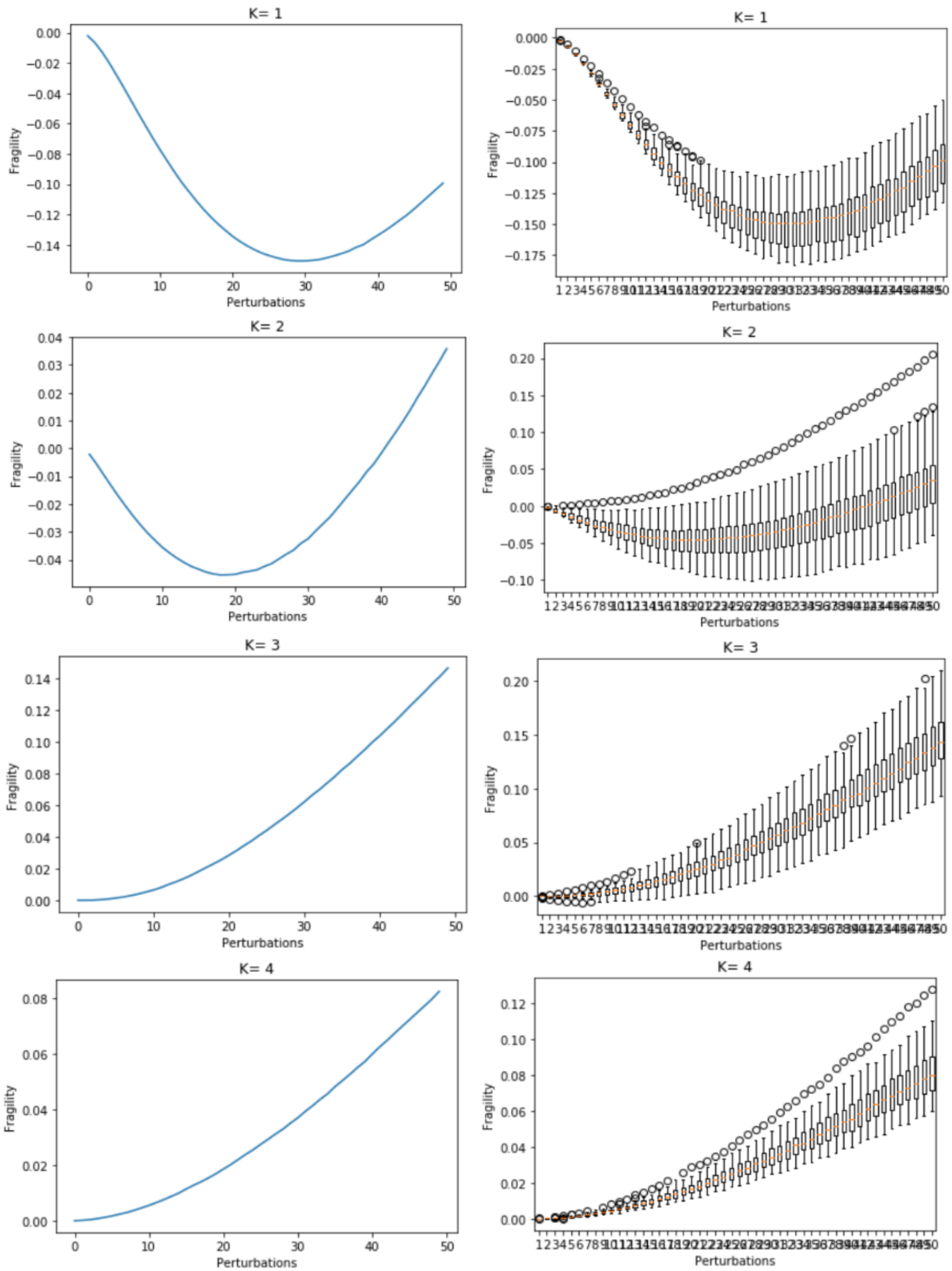


Figura 3: Fragilidad promedio de RBNs variando X, con N=100 y O=1, para diferentes valores de K. Midiendo la fragilidad como $\oint = -\Delta\sigma * |\Delta x|$