

Tópicos Avanzados de Inteligencia Artificial:
Redes complejas y aprendizaje computacional

Dr. José Matías Alvarado Mentado, *Departamento de Computación, CINVESTAV*

Objetivo

El estudio de las redes complejas habilita el análisis de patrones de interacción en procesos naturales, sociales y tecnológicos. En este curso se estudian modelos matemáticos y algoritmos para analizar patrones emergentes complejos, como resultado de la interacción a gran escala de elementos simples. En estas redes, de libre escala y mundo pequeño, las estrategias para identificar los comportamientos complejos utilizan aprendizaje automático inteligente y teoría de juegos.

Presentación

El analizar procesos en redes complejas naturales, médicas, tecnológicas o sociales, es relevante; se modelan las interacciones entre los nodos (individuos), con enlaces y estructuras emergentes, y a partir de criterios de cercanía, cohesión, agrupamiento y centralidad entre los nodos. El desarrollo de modelos formales y algoritmos de aprendizaje de tales interacciones, de colaboración y competencia, con patrones emergentes diversos, con frecuencia asimétricos, con correlaciones a nivel local y global, a gran escala, conlleva retos de eficacia y eficiencia computacional.

En el curso se modelan y automatizan las estrategias con algoritmos de aprendizaje y reconocimiento automático; con implementación de redes neuronales clásicas y profundas, convolucionales ó como máquinas restringidas de Boltzman (RBM) y del modelo de Ising. Los algoritmos son paralelizables y distribuidos.

Contenido

0. Juegos:
 - a. Estratégicos: multi-jugador y de tablero; competitivos, cooperativos.
 - b. Juego en forma normal.
 - c. El equilibrio de Nash. Otros equilibrios.
 - d. Juegos deportivos de equipo y el ajedrez. Juego de Go.

1. Redes complejas:
 - a. Conceptos básicos: agrupamiento, centralidad, cohesión, diámetro, jerarquías.
 - b. Distribución del grado entre nodos.
 - c. Tipos de redes:
 - i. De Mundo Pequeño.
 - ii. De Libre escala.
 - d. Modeladas con una ecuación diferencial.
 - i. Ciclos.
 - ii. puntos de convergencia.

2. Redes complejas:
 - a. De (no) cooperación en un juego; la tragedia de los comunes.
 - b. Arquitectura con estrategias recurrentes:
 - i. Estable y condiciones de cooperación.

- ii. Evolución de la red.
3. Modelos estocásticos de interacción y comportamiento complejo emergente.
 - a. Conceptos de termodinámica, energía y entropía.
 - b. Distribución de probabilidades de Boltzman.
 - c. Teoría de la información de Claude Shanon.
 - d. Modelo de Ising.
 - e. Redes booleanas en biología
 - i. Topología y modelo de Kauffman
 - iii. Aplicación a regulación genética
 4. Aprendizaje automático con redes neuronales:
 - a. Clásicas. Algoritmo de Retro-propagación.
 - b. Convolucionales.
 - c. Restringidas de Boltzman. De creencias profundas.
 - d. Ejemplos de inteligencia artificial a gran escala: AlphaGoZero y otras.
 5. Aplicaciones de aprendizaje automatizado:
 - a. Para elegir estrategias en juegos cooperativos.
 - b. Para la distribución de tareas y balance de carga en *clusters* gigantes.
 - c. Selección de estrategias en teoría de juegos a gran escala.
 - i. En el juego de Go.
 - ii. En la metástasis de cáncer y la respuesta inmune.
 - iii. Crecimiento y control de epidemias.

Referencias

1. Complex networks: Structure and dynamics. S. Boccaletti, V. Latora, Y. Moreno, M. Chavez, D.U. Hwang. 424, Elsevier, 2005, Vol. Physics Reports. 0370-1573.
2. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, and V.V. Vazirani, Algorithmic Game Theory, Cambridge University Press, 2007.
3. Classes of small-world networks. L. A. N. Amaral, A. Scala, M. Barthé lémy, H. E. Stanley. 21, s.l. : Applied Physical Sciences, 2000, Vol. 97. 11149–11152.
4. S.N. Dorogovtsev, J.F.F.Mendes. Evolution of Networks. Oxford, 2003
5. Evolutionary games on graphs. György Szabó, Gábor Fáth. 97 – 216, Physics Reports, 2007, Vol. 446. 0370-1573.
6. Emergence of Scaling in Random Networks. Barabasi, Albert and Albert, Reka. Science, 1999, Vol. 286
7. Rojas, Raúl. Neural Networks: a systematic study. Springer Verlag. 2004.
8. R. Alvarez-Martínez, G. Cocho, R. F. Rodríguez, G. Martínez-Mekler. Birth and Death Master Equation for the Evolution of Complex Networks. Elsevier, 2013.
9. Yee A. & Alvarado Matías, Well-Time pattern recognition in Go gaming automation. In MMCTSE, Mathematical Methods & Computational Techniques in Science & Engineering, Athens, Greece, 2014.
10. Yee Arturo, Alvarado Matías, Mathematical Modeling and Analysis of Learning Techniques for the Game of Go. International journal of mathematical models and methods in applied sciences. Vol. 9, 2015. Páginas: 293-302. ISSN: 1998-0140.
11. D. Silver, A. Guang, A. Guez, L. Sifre1, G. van den Driessche, J. Schrittwieser, I. Antonoglou, V. Panneershelvam, M. Lanctot, S. Dieleman, D. Grewe, J. Nham, N. Kalchbrenner, I. Sutskever, T. Lillicrap, M. Leach, K. Kavukcuoglu, T. Graepel & D. Hassabis, Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search, Nature, 529, 42016.

12. Barradas-Bautista D, Alvarado-Mentado M, Agostino M, Cocho G (2018) Cancer growth and metastasis as a metaphor of Go gaming: An Ising model approach. PLoS ONE 13 (5): e0195654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195654>.
13. Dominguez, A. Barradas, D, Alvarado, M. Modeling the Game of Go by Ising Hamiltonian, Deep Belief Networks and Common Fate Graphs. IEEE Access, Vol 7, 120117 – 120127. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2917442.
14. Dominguez, A. Barradas, D, Alvarado, M. Modeling Cancer Immunoediting in Tumor Microenvironment with System Characterization through the Ising-model Hamiltonian. In BMC Bioinformatics, 2022. Preprint in <https://www.researchsquare.com/article/rs-746701/v1>.
15. Arroyo, R., Flores, D. Alvarado, M. Cancer metastasis and the immune system response: modeling the micro-environment by Ising Hamiltonian. October 2020, Revista Mexicana de Fisica 1(4):25-31.
16. Alcalá-Corona, S.A., Sandoval-Motta, S., Espinal-Enríquez, J. and Hernández-Lemus, E., 2021. *Modularity in Biological Networks*. Frontiers in Genetics, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2021.701331/full>

Evaluación sugerida:

2 exámenes, 30% cada uno sobre la evaluación total.

1 proyecto con temáticas del curso, 40% de la evaluación total.

Tareas y participaciones en clase. 10 % de la evaluación total, para compensar.