

Estudio sobre los algoritmos usados para la detección de exoplanetas mediante curvas de luz

Oscar Andrés Rosas Hernández, Jose Manuel Ramirez Vives
Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Cómputo, CDMX, México

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I-A. Preguntas de Investigación

A continuación mostramos las preguntas más importantes que buscamos resolver a lo largo de nuestra investigación.

- ¿Qué es un exoplaneta? ¿Cuál es la utilidad de conocerlos?
- ¿Qué es una curva de luz? ¿Qué unidades tiene?
- ¿Cuáles son las técnicas más comunes para encontrar exoplanetas?
- ¿Podemos, con alguno de estos métodos, encontrar más de un planeta en un mismo sistema? ¿Cuánto complicaría los cálculos dicha idea?
- ¿Cómo se encuentra el campo de detección de exoplanetas actualmente?
- ¿Existen otras misiones espaciales, telescopios, etcétera, que sean una fuente de información viable para esta tarea además de la misión de Kepler de la NASA?
- ¿Cuál es el porcentaje de exoplanetas que se han descubierto con cada método?
- ¿Cuál fue el método utilizado para poder encontrar exoplanetas realizado por el único equipo mexicano?
- ¿Qué teorías matemáticas son las necesarias para poder entender dichos métodos?
- ¿Qué técnicas de optimización y de análisis numérico usan?

I-B. Justificación

El propósito de este trabajo es incitar a que en el futuro se puedan aplicar algoritmos clásicos de la carrera como algoritmos genéticos, algoritmos de optimización y demás métodos numéricos enfocados en una de sus aplicaciones más fascinantes, la búsqueda de planetas más allá del sistema solar. Buscamos dar a conocer de manera general los métodos que se usan actualmente en el campo de la astrofísica y con ello demostrar lo relacionados que están dichos campos y motivar a nuestros compañeros a que se interesen y vean la capacidad que tendrán de aportar en campos como estos usando los conocimientos dados en la carrera en el área de algoritmos, computación teórica y métodos numéricos.

I-C. Objetivo General

Analizar el avance en el campo de la astrofísica, sobre todo en cómo es que se implementan de código real ideas físicas desarrolladas por la comunidad de astrofísicos. Buscamos comparar dichos algoritmos desde un punto de vista de las ciencias de la computación, sus características, ventajas y las principales diferencias.

I-C1. Objetivo Específicos:

- Definir qué son los exoplanetas y la utilidad de conocerlos.
- Explicar qué son y cómo interpretar las curvas de luz.
- Definir los métodos para la identificación de objetos astronómicos y algunas consideraciones de estos.
- Evaluar los avances en el tema y sus principales recursos de investigación.
- Conocer las diferencias y las características más importantes para cada algoritmo.

II. INTRODUCCIÓN

Como todos sabemos, nuestro universo es infinito (de ser que la la curvatura del espacio tiempo siga estando dentro el margen en el que esta, cercano a un valor igual a 0 y con ello mostrando que vivimos en un universo plano e infinito) y en esta infinidad podemos encontrar una cantidad inimaginable de estrellas, planetas y otros cuerpos celestes formando variados tipos de agrupaciones.

Con esto en mente, desde hace ya varios años el ser humano se ha preguntado ¿existirán acaso otros sistemas solares como el nuestro? ¿Estos sistemas contendrán algún planeta habitable como el nuestro?. Estas preguntas han llevado a los expertos a idear métodos para la detección de planetas en busca de uno como el nuestro y, afortunadamente, esta actividad ha dado resultados muy positivos, pudiendo responder ahora con seguridad: sí, existen planetas como el nuestro orbitando otros soles.

La pregunta que nosotros planteamos ahora es: ¿Cómo lo hacen y cómo podríamos apoyar en la optimización de estos métodos?

“Sea como sea, en algún momento, de algún modo, la humanidad saltará a las estrellas. [Hasta] hace relativamente poco no teníamos la menor garantía de que existiesen mundos en otras estrellas a los que viajar. Hoy sabemos que existen, conocemos cada vez más sobre ellos. Algún día, cuando decidamos dar el salto a las estrellas, sabremos qué dirección tomar. No será una búsqueda a ciegas” [8]

III. DESARROLLO

III-A. Exoplanetas

III-A1. Definición:

III-A2. Historia:

III-A3. Hot Jupiters:

III-B. Curvas de luz

III-B1. Definiciones:

III-C. Métodos utilizados en la identificación de exoplanetas

III-C1. Velocidades Radiales: El método de velocidad radial, también conocido como espectroscopia Doppler, es el método más efectivo para ubicar exoplanetas con tecnología existente. Aunque otros enfoques son muy prometedores para el futuro (como el tránsito u una visualización directa), la gran mayoría de los exoplanetas descubiertos hasta ahora fueron detectados por este método.

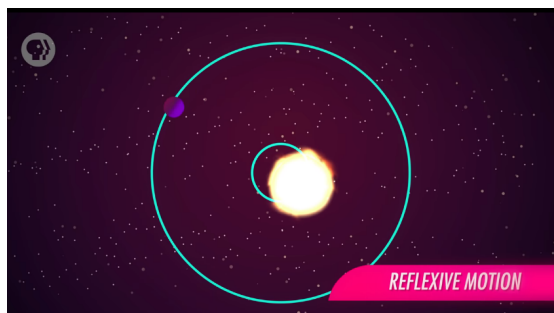


Figura 1. Documental: Exoplanets de Clash Course

El método de la velocidad radial se basa en el hecho de que una estrella no permanece completamente estacionaria cuando es orbitada por un planeta. Se mueve, aunque sea ligeramente, en un pequeño círculo o elipse, respondiendo al tirón gravitacional de su compañero más pequeño. Cuando se ven desde una distancia, estos movimientos leves afectan el espectro de luz normal de la estrella, o la firma de color.

Si la estrella se está moviendo hacia el observador, entonces su espectro aparecerá ligeramente desplazado hacia el azul; si se está alejando, se desplazará hacia el rojo. [6]

III-C2. Tránsito: Este método detecta planetas distantes midiendo el minuto de atenuación de una estrella a medida que un planeta en órbita pasa entre ella y la Tierra. El paso de un planeta entre una estrella y la Tierra se llama un "tránsito". Si tal atenuación se detecta a intervalos regulares y dura un período de tiempo fijo, es muy probable que un planeta esté orbitando la estrella y pasando frente a ella una vez por cada período orbital.

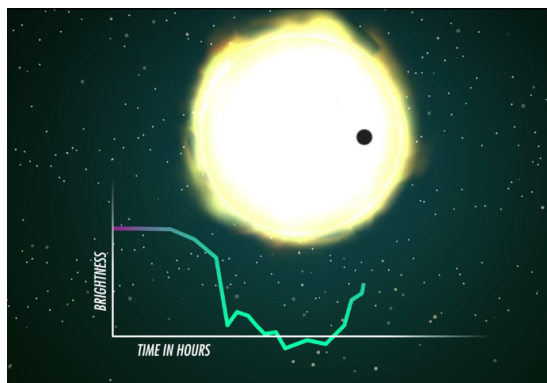


Figura 2. Documental: Exoplanets de Clash Course

La atenuación de una estrella durante el tránsito refleja directamente la relación de tamaño entre la estrella y el planeta: un pequeño planeta que transita una gran estrella creará solo una ligera atenuación, mientras que un gran planeta que transita una pequeña estrella tendrá un efecto más notable. El tamaño de la estrella anfitriona se puede conocer con una precisión considerable de su espectro, y la fotometría, por lo tanto, proporciona a los astrónomos una buena estimación del tamaño del planeta orbital, pero no de su masa.

Esto hace que la fotometría sea un excelente complemento del método espectroscópico, que proporciona una estimación de la masa de un planeta, pero no su tamaño. Usando ambos métodos, combinando masa y tamaño, los científicos pueden calcular la densidad del planeta, un paso importante para evaluar su composición.

Análizar las atmósfera

A medida que el planeta se mueve frente a la estrella, su brillo disminuye. Este planeta tiene una atmósfera que absorbe la luz azul y verde de manera eficiente mientras deja pasar la luz roja. Midiendo la disminución del brillo en diferentes longitudes de onda, se puede obtener la transmitancia de la atmósfera dependiente de la longitud de onda.

III-D. Avances en este campo de investigación

III-D1. Kepler:

III-D2. TESS:

III-D3. Aportaciones de México: En México solo se ha descubierto un solo exoplaneta por parte del Instituto de Astronomía de la UNAM que desarrollaron su propio algoritmo, todo bajo el mando del doctor Jorge Cantú.

Paso que el hallazgo no se realizó porque el trabajo era buscar exoplanetas, sino que fue por el desarrollo de una aplicación para hacer un ajuste de otros modelos astronómicos.

Se empleó un algoritmo llamado “algoritmo genético asexual” (AGA) que regularmente tiene aplicaciones en áreas genéticas. Se probó el AGA para ver su funcionabilidad en la estrella 55 Cancri, de la cual se sabía que tenía cuatro planetas. Se aplicó el método y el resultado fue infalible, era el mismo con el que los otros científicos habían logrado su descubrimiento.

Tiempo después, se aplicó a la observación de la estrella de Upsilon Andrómeda, en esta estrella se había confirmado la presencia de 3 planetas que orbitaban alrededor de Upsilon Andrómeda.

El primero descubierto en 1997 y los otros dos en 1999, ambos por grupos de científicos estadounidenses, de la San Francisco State University y del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.

Pero AGA predijo cuatro, este cuarto planeta mejoraba bastante toda la información que tenían sobre el sistema, por lo que el grupo de Cantú publicó un paper con sus descubrimientos. [4]

III-E. Análisis de los algoritmos utilizados

III-E1. Redes Neuronales: Las redes neuronales se basan en algunas ideas sobre cómo funcionan las neuronas en el cerebro, aunque creo que hay algunas diferencias significativas entre las redes neuronales informáticas y las redes neuronales en los organismos vivos.

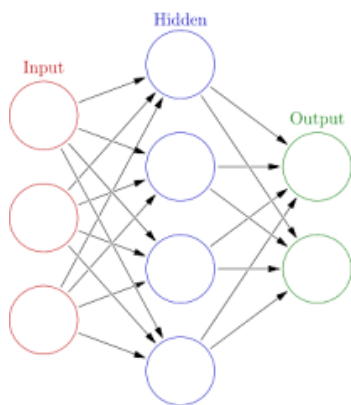


Figura 3. Fuente: Wikicommons

En el aprendizaje automático, una red neuronal se inicializa para tener ciertas neurona conectadas de una manera particular. Cada neurona puede realizar un cálculo dado en su entrada y produce una salida, que puede ir a más neuronas.

Ejecuta una entrada a través de la red y obtiene un resultado al final. Dependiendo de si el resultado se considera bueno o malo, los pesos de las conexiones entre las neuronas se ajustan (esto se realiza mediante un proceso denominado "propagación hacia atrás"). Usted ejecuta una gran cantidad de entradas y, según el resultado de cada ejecución, se ajustan los pesos, lo que afecta lo que sucederá en la siguiente ejecución.

No es trivial, pero si puede configurar la red correctamente, el resultado es que la red puede aprender de manera efectiva a través del tiempo cómo producir resultados que se consideran buenos para una entrada determinada.

Los éxitos modernos en el aprendizaje automático, como el AlphaGo de Deep Mind, dependen de la capacidad de utilizar recursos informáticos distribuidos extremadamente grandes para entrenar la red neuronal.

III-E2. Algoritmos Genéticos: Es una técnica de optimización basada en los principios de la genética y la selección natural. Con frecuencia se utiliza para encontrar soluciones óptimas o casi óptimas para problemas difíciles que, de lo contrario, llevaría toda una vida resolverlos.

Se usa frecuentemente para resolver problemas de optimización, en investigación y en aprendizaje automático.

En estos, tenemos un grupo o una población de soluciones posibles para el problema dado. Estas soluciones luego se someten a recombinación y mutación (como en la genética natural), lo que produce nuevos individuos y el proceso se vuelve a repetir a lo largo de varias generaciones.

A cada individuo (o solución candidata) se le asigna un valor de adecuación (basado en su valor de función objetivo) y a los individuos más en forma se les da una mayor oportunidad de aparearse.

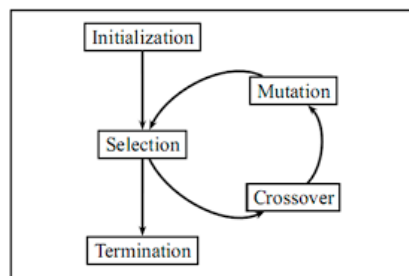


Figura 4. Fuente: Wikicommons

Esto está en línea con la Teoría Darwiniana de "Supervivencia del más apto".

[1]

REFERENCIAS

- [1] I. A. Ruge, M. A. Alvis, “Aplicación de los algoritmos genéticos para el diseño de un controlador PID adaptativo”, *Tecnura*, vol. 13, no. 25, p.p. 82,83 y 87, 2009. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257020617008>>
- [2] M. Gestal, et. al., “Introducción a los algoritmos genéticos y programación genética”, Universidad de Coruña, Coruña, 2010, ISBN: 978-84-9749-422-9
- [3] A. Rodríguez-González, et. al., “Multi-component analysis of position-velocity cubes of the HH 34 Jet”, *Astronomical Journal*, vol. 143, no. 3, Febrero, 2012. Disponible en: <<http://www.astroscu.unam.mx/apn6/PROCEEDINGS/B21-Rodriguez.pdf>>
- [4] J. Canto, S. Curiel and E. Martínez-Gómez. “A simple algorithm for optimization and model fitting: AGA (Asexual Genetic Algorithm)”, *Astronomy & Astrophysics*, manuscript no. 1740ms, Aceptado, Mayo 31, 2008. Disponible: <<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2009/27/aa11740-09.pdf>>
- [5] J. Schneider, “Definition of Exoplanets and Brown Dwarfs” *Handbook of Exoplanets*, pp. 1–6, 2018.
- [6] D. W. Latham, “Radial-Velocity Planets” *Encyclopedia of Astrobiology*, pp. 1400–1404, 2011.

- [7] J. N. Winn, "Planet Occurrence: Doppler and Transit Surveys," Handbook of Exoplanets, pp. 1–18, 2018.
- [8] C. Kitchin, "Exoplanets and Exoplanetary Systems: Pasts and Futures" Exoplanets Astronomers Universe, pp. 191–202, 2011.