

ДИНАМІКА РОЗШИРЕННЯ ВСЕСВІТУ ЗА ДАНИМИ НАДНОВИХ ТИПУ ІА

М. М. Полещук^{1, a}, О. М. Сергієнко²

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Фізико-технічний інститут

²Астрономічна обсерваторія КНУ імені Тараса Шевченка

Анотація

Задача встановлення характеристик динаміки розширення всесвіту є важливим завданням сучасної космології. Факт динамічного розширення всесвіту було встановлено давно, але на сьогоднішній день остаточно не встановлені параметри цього процесу, а також фізична інтерпретація отриманих даних залишається предметом дискусій. Багато теорій пов'язують розширення всесвіту з темною енергією. В даній роботі ми проаналізували данні отримані з різних телескопів для різних червоних зміщень об'єднані в каталоги JLA та Pantheon, з врахування параметризації w в рівнянні стану темної енергії. Задача регресії розв'язується за допомогою нейронних мереж.

Ключові слова: темна енергія, нейромережа

Вступ

В цій роботі ми використовували нейромережі REFANN та ECOPANN для розв'язання задачі регресії на основі даних з різноманітних телескопів, які зібрано в каталогах JLA та Pantheon. Особливістю цих алгоритмів регресії є те, що навчання нейромережі проводиться на синтетичних даних. В процесі навчання генеруються штучні данні для навчання нейромережі, а експериментальні данні використовуються для встановлення точних значень вимірюваних величин та їх довірчих інтервалів.

1. Інструменти REFANN та ECOPANN

REFANN (REconstruct Functions with Artificial Neural Network) — набір програмного забезпечення для вирішення задачі регресії, за допомогою нейронних мереж.

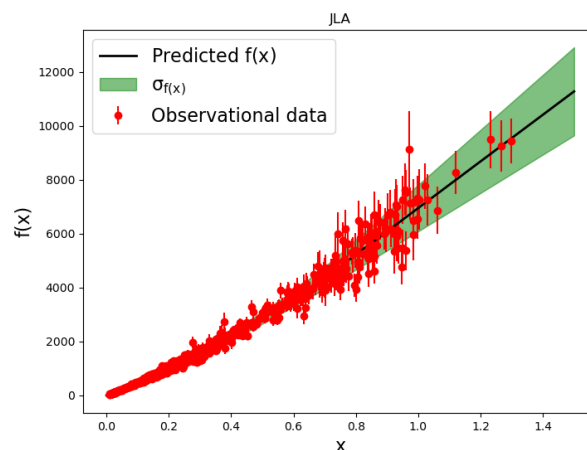
Кінцевим результатом роботи програми є функція — залежність модуля відстані від червоного зміщення [1].

Для навчання нейромережі використовуються синтетичні дані — дані, згенеровані псевдо-випадковим чином, зважаючи на певні опорні значення космологічних параметрів та їх довірчі інтервали.

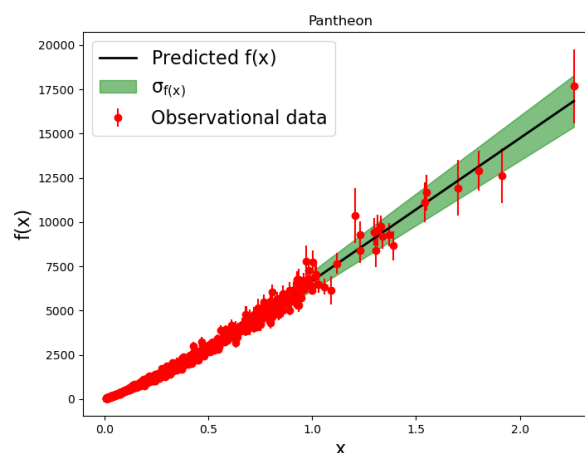
Це програмне забезпечення було використано нами для побудови апроксимованої функції на діаграмі Хаббла, для датасетів JLA та Pantheon (рис. 1).

Зокрема в похибці модуля відстані було враховано похибку червоного зміщення. Похибка червоного зміщення суттєво менша за похибку в вимірі модуля відстані, тому її вплив малопомітний.

ECOPANN (Estimating Cosmological Parameters with Artificial Neural Network) - набір програмного за-



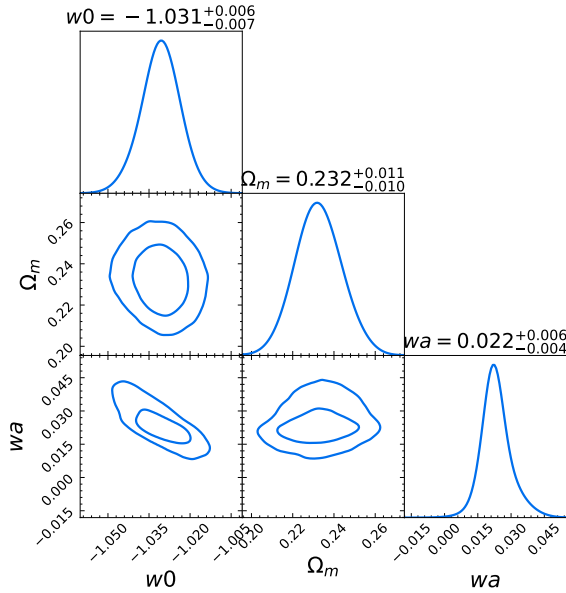
(а) Діаграма Хаббла для JLA



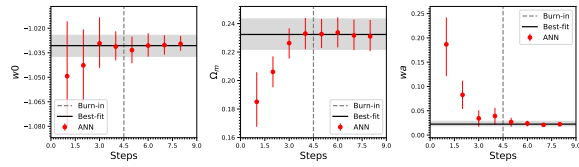
(б) Діаграма Хаббла для Pantheon

Рис. 1. Результати регресії для лінійної параметризації для JLA

^ami hail.pol1999@gmail.com

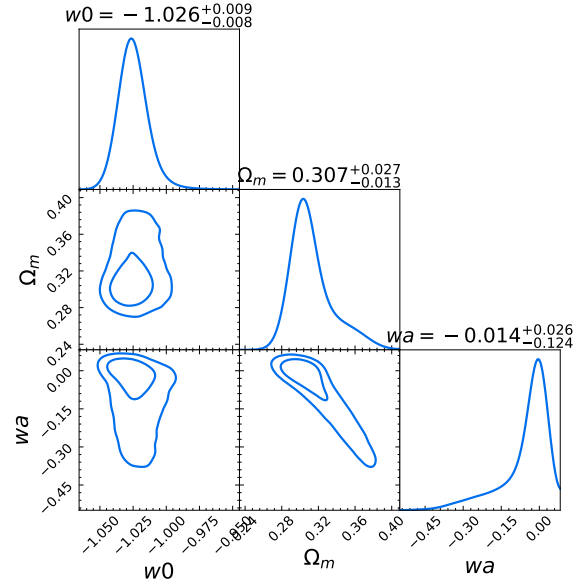


(а) Отримані параметри

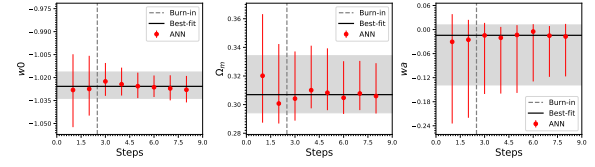


(б) Покрокова ілюстрація

Рис. 2. Результати регресії для лінійної параметризації для JLA



(а) Отримані параметри



(б) Покрокова ілюстрація

Рис. 3. Результати регресії для лінійної параметризації для Pantheon

безпечення, який також вирішує задачу регресії, але також встановлює параметри певної космологічної моделі.

Кінцевим результатом роботи програми є параметри космологічної моделі та їх довірчі інтервали [2].

Тут також використовуються синтетичні дані.

2. Дані JLA та Pantheon

JLA та Pantheon — каталоги наднових типу IA, в яких зібрано події, визначено їх модулі відстані, червоне зміщення, та розраховані похибки цих вимірювань.

Каталог JLA включає 740 добре підтверджених наднових в інтервалі [3]:

$$0 < z < 1.3.$$

Каталог Pantheon включає 1048 спектроскопічно підтверджених наднових в інтервалі [4]:

$$0.01 < z < 2.3.$$

3. Параметризація w

Ми вважаємо темну енергію ідеальною рідиною з рівнянням стану [5]:

$$w = \frac{P}{\rho}, \quad (1)$$

де P , ρ — тиск і густина темної енергії відповідно.

w — Параметр в рівнянні стану темної енергії який в найпростіших моделях рівний -1 . В нашій роботі ми будемо встановлювати його значення зважаючи на те, що він не є постійним.

4. Лінійна параметризація за червоним часовим фактором

Нами було проаналізовано наступну (2) параметризацію в рамках w CDM моделі:

$$w = w_0 + w_a(1 - a) = w_0 + w_a \frac{z}{z + 1}, \quad (2)$$

де a — масштабний фактор всесвіту,

z — червоне зміщення,

w_0, w_a — постійні, які ми будемо визначати.

За допомогою нейронних мереж було встановлено значення таких космологічних параметрів:

$$\Omega_m, w, w_a. \quad (3)$$

Постійна Хаббла обиралася рівною $H_0 = 70 \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$.

Використовуючи набір інструментів ECPANN вдалось навчити нейромережу на синтетичних даних та отримати значення параметрів (3) та їх довірчі інтервали (рис. 1а, 2а).

Для розрахунків бралися бази даних JLA і Pantheon, які описані в розділі 2.

Для роботи програми задавалися наступні інтервали значень, вказані в табл. 1.

	min	max	Початкове наближення
Ω_m	0	1	0.3
w_0	-1.037	-0.877	-0.957
w_a	-0.55	0.03	-0.29

Табл. 1. Таблиця параметрів апроксимації

Отримані результати можна проілюструвати діаграмою (рис. 2, 3).

Висновки

Результатом нашої роботи стало встановлення космологічних параметрів в рамках лінійної параметризації w в w CDM моделі та їх довірчих інтервалів.

Було встановлено наступні значення:

- для JLA

$$w_0 = -1.031 + 0.006 - 0.007,$$

$$\Omega_m = 0.232 + 0.011 - 0.010,$$

$$w_a = 0.022 + 0.008 - 0.004;$$

- для Pantheon

$$w_0 = -1.025 + 0.009 - 0.008,$$

$$\Omega_m = 0.307 + 0.027 - 0.018,$$

$$w_a = 0.014 + 0.0 - 0.124$$

Перелік використаних джерел

1. Reconstructing Functions and Estimating Parameters with Artificial Neural Networks: A Test with a Hubble Parameter and SNe Ia / Wang Guo-Jian, Ma Xiao-Jiao, Li Si-Yao, and Xia Jun-Qing // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 2020. — Jan. — Vol. 246, no. 1. — P. 13. — Access mode: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4365/ab620b>.
2. Wang Guo-Jian, Li Si-Yao, Xia Jun-Qing. ECo-PANN: A Framework for Estimating Cosmological Parameters Using Artificial Neural Networks // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 2020. — Aug. — Vol. 249, no. 2. — P. 25. — Access mode: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4365/aba190>.
3. Improved cosmological constraints from a joint analysis of the SDSS-II and SNLS supernova samples / Betoule M., Kessler R., Guy J., Mosher J., Hardin D., Biswas R., Astier P., El-Hage P., König M., Kuhlmann S., and et al. // Astronomy & Astrophysics. — 2014. — Aug. — Vol. 568. — P. A22. — Access mode: <http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201423413>.
4. The Complete Light-curve Sample of Spectroscopically Confirmed SNe Ia from Pan-STARRS1 and Cosmological Constraints from the Combined Pantheon Sample / Scolnic D. M., Jones D. O., Rest A., Pan Y. C., Chornock R., Foley R. J., Huber M. E., Kessler R., Narayan G., Riess A. G., and et al. // The Astrophysical Journal. — 2018. — May. — Vol. 859, no. 2. — P. 101. — Access mode: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/aab9bb>.
5. Amendola L., Tsujikawa S. Dark Energy Theory and Observations. — 2010. — P. 506 c. — Access mode: <http://www.cambridge.org/9780521516006>.