

Streszczenie

Search for galaxy mergers in big sky surveys

Luis E. SUELVES

Podczas swojego cyklu życia i ewolucji galaktyki mogą zbliżać się do siebie i zderzać, tworząc jedne z najbardziej imponujących widoków na niebie. Interakcja galaktyk może skutkować połączeniem się dwóch lub więcej galaktyk w jedną. Galaktyki w trakcie zderzeń wykazują dużą różnorodność zniekształceń morfologicznych spowodowanych siłami pływowymi powstającymi podczas tego procesu. Wygląd układu galaktyk w trakcie zderzenia zależy od ich stosunku mas, etapu procesu, orientacji względem linii widzenia, jasności, odległości i rozmiaru łączących się galaktyk, ale także właściwości teleskopów i kamer.

Niniejsza rozprawa obejmuje badania, które przeprowadziłem w celu wykrywania i klasyfikowania zderzeń galaktyk w dużych zbiorach danych uzyskanych z obserwacji dużych obszarów nieba. Przeglądy, z którymi pracowałem, to Sloan Digital Sky Survey (SDSS) i głębszy Subaru/Hyper Suprime-Cam (HSC). Oba poprzedzają nadchodzący Large Survey of Space and Time (LSST), który będzie prowadzony przez Vera Rubin Obserwatory i który w ciągu jednej nocy będzie zbierał taką samą ilość danych, jaką SDSS zebrał przez prawie dekadę. Gwałtowny wzrost rozmiaru danych z dekady na dekadę sprawia, że konieczne stało się rozwinięcie zautomatyzowanych technik przetwarzania danych. W tym celu pracowałem nad metodami kalibracji obrazu i technikami uczenia maszynowego (ML), takimi jak sieci neuronowe (NN) lub metody redukcji wymiarowości.

W rozprawie opisuję odkrycie i rozwój nowej potencjalnej metodologii identyfikacji zderzeń galaktyk w dużych przeglądach. Metoda ta opiera się na wpływie, jaki otoczenie zderzających się galaktyk ma na tło nieba na zdjęciu astronomicznym. Efekt związany z tłem został odkryty podczas testowania wydajności sieci neuronowej wykorzystującej wyłącznie informacje fotometryczne. Trenowaliśmy sieć na zrównoważonym klasowo zbiorze danych galaktyk łączących się i niełączących się, stworzonym z galaktyk SDSS, sklasyfikowanych wizualnie przez ochotników w Galaxy Zoo Data Release 1 (GZ DR1). Testowanie wielu kombinacji parametrów fotometrycznych jako danych wejściowych NN doprowadziło nas do odkrycia, w jaki sposób błąd tła nieba SDSS DR6 był w stanie śledzić fuzje galaktyk z dokładnością dla $92,64 \pm 0,15$ % zestawu treningowego i z dokładnością $92,36 \pm 0,21$ % dla zestawu testowego. Co więcej, badanie płaszczyzny błędu nieba utworzonej przez pasma g i r ujawniło, że graniczna linia decyzyjna jest wystarczająca do osiągnięcia dokładności 91,59%. Interpretacja tego wyniku jest taka, że błąd tła nieba jest wrażliwy na źródła o niskim stosunku sygnału do szumu wokół obserwowanych galaktyk, w tym wypadku ogony pływowe zderzających się galaktyk.

Sukces metody opartej na błędzie tła nieba skłonił nas do przetestowania jej rozszerzenia na szerszy zbiór galaktyk z SDSS DR6. W rzeczywistości był to cały zbiór GZ DR1. Zbadałem obecność łączących się galaktyk różnych typów w różnych regionach diagramu. Okazało się, że galaktyki nie łączące się z pobliskimi gwiazdami i galaktyki nie oddziałujące ze sobą mogą również pojawiać się w regionach zajmowanych przez galaktyki łączące się. Aby uniknąć tych zanieczyszczeń, zbudowałem drzewo decyzyjne, które odrzuca galaktyki z pobliskimi gwiazdami lub galaktyki zbyt odległe, aby mogły potencjalnie się zderzyć. Zapewniło to 67,07 % brudnych nie-zderzeń, które zostały pomyślnie odrzucone, oraz 72,44 % procent zderzeń, które zostały poprawnie sklasyfikowane. Zatem dalsze dostosowanie

tego podejścia zoptymalizowane w kierunku zmniejszenia zanieczyszczeń sprawiłoby, że granica byłaby w stanie prawidłowo sklasyfikować źródła SDSS.

Na koniec przetestowaliśmy, jak wdrożyć metodę błędu nieba na głębszych obrazach HSC. Wykorzystaliśmy obrazy północnego bieguna ekliptycznego (NEP), dostępne w ramach współpracy AKARI-NEP. W tej dziedzinie dołączyłem do opartego na ML wyszukiwania zderzeń na obrazach HSC bieguna północnej ekliptyki (NEP), prowadzonego przez mojego promotora pomocniczego dr. Williama J. Pearsona. Potwierdziliśmy wizualnie kandydatury na zderzające się galaktyki zidentyfikowane przez model i opublikowaliśmy pierwszy katalog zderzeń w NEP. Program Galaxy Zoo: Cosmic Dawn! dostarczył kolejny zestaw klasyfikacji morfologicznych, z których wybrałem próbkę do rozszerzenia błędu nieba HSC. W obrębie apertury wokół każdego źródła oszacowałem tło i uzyskałem rozkład pikseli o niskim stosunku sygnału do szumu. Ponieważ błąd nieba w SDSS jest obliczany podczas pomiaru tła nieba, skonstruowałem również własną metodę redukcji danych, upewniając się, że cechy niskiej jasności powierzchniowej (LSB) z materiału pasów pływowych wokół zderzających się galaktyk nie zostaną utracone. Porównałem obrazy z różnymi podejściami do problemu odjęcia tła, dzięki czemu doszedłem do wniosku, że metoda stosowana standardowo dla danych HSC zachowuje elementy o niskiej jasności powierzchniowej w stopniu wystarczającym do wykrywania zderzeń galaktyk. Obliczyłem wiele parametrów dla pikseli LSB, zbadałem przestrzeń parametrów za pomocą metod redukcji wymiarowości i stwierdziłem, że mają one potencjał utworzenia nowego uproszczonego obszaru, w którym można znaleźć zderzenia galaktyk.

Podsumowując, w rozprawie wykazałem, że zderzenia galaktyk mogą być identyfikowane w dużych przeglądach nieba dzięki efektowi, jaki wywiera na tło nieba wokół nich materiał o niskim stosunku sygnału do szumu.