

# Tomasz Światowiec

## Wizualizacja danych astronomicznych

Instytut Informatyki  
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Tematem referatu jest wizualizacja danych astronomicznych, czyli pochodzących z różnego rodzaju teleskopów i sond kosmicznych. Szczególna uwaga została poświęcona analizie danych z internetowego serwisu astronomicznego Hipparcos oraz stworzonej przeze mnie aplikacji do wizualizacji tych danych. Omówiono również w skrócie inne dostępne aplikacje do celów wizualizacyjnych.

*Wizualizacja informacji – proces mający na celu prezentację danych w formie zrozumiałej dla zwykłego użytkownika (np. w formie obrazów). Dane pochodzą z różnych obiektów, np. z czujników i są przechowywane w formie tablic wielowymiarowych.*

### **Historia astronomii.**

Astronomia ma początek już w czasach starożytnych. Starożytni Grecy analizowali ruch gwiazd i planet, oni również opracowali system geocentryczny. Najstarszą obserwację astronomiczną datuje się na rok 4000 p.n.e., z ok. 3000 roku p.n.e. pochodzą pierwsze pisane materiały na temat astronomii. W starożytnych czasach ludzie potrafili już przewidywać zaćmienia Słońca, a kalendarz opracowali bazując na Słońcu.

Przełomem w dziedzinie astronomii jest rok 1543. Wtedy Mikołaj Kopernik opublikował słynne dzieło „O obrotach ciał niebieskich”, w którym przedstawił heliocentryczną teorię wszechświata (dotychczas za słuszną uważano teorię geocentryczną). Najbliższe 100 lat to okres odkryć nowych gwiazd i planet i wielu publikacji, np. Johanna Keplera.

W 1687 roku Isaac Newton publikuje pracę na temat teorii grawitacji, która ma olbrzymi wpływ na astronomię. W kolejnych latach dowiadujemy się coraz więcej na temat wszechświata, powstaje wiele teorii na temat jego początku.

Kolejnym kamieniem milowym jest ogłoszenie teorii względności przez Alberta Einsteina w roku 1905. W następnych zostają odkryte białe karły, czerwone olbrzymy i wiele innych obiektów astronomicznych.

Na dzień dzisiejszy odkryto miliony gwiazd w odległości milionów lat świetlnych od Ziemi, wciąż jednak rozmiary wszechświata są wielką zagadką,

niewiele również wiadomo na temat jego powstania.

### **Historia grafiki i wizualizacji.**

Wizualizacja jest znana w społeczeństwie od setek lat. Najprostszym jej przykładem mogą być mapy – pozwalają przekształcić szereg liczb (współrzędne, wysokość) na formę bardziej atrakcyjną dla widza, czyli obraz. Innym przykładem może być prognoza pogody.

Współczesnym „guru” wizualizacji jest Edward Tufte, profesor Yale, nazwany przez New York Times „Leonardo Da Vinci danych”. Jest ekspertem od wszelkiego rodzaju wykresów i diagramów, to jemu właśnie zawdzięczamy „sparkline”, czyli diagram pokazujący zmiany jakiegoś parametru, np. akcji na giełdzie. Tufte jest autorem pracy „The Visual Display of Quantitative Information” z 1983 roku. Opisał w niej zasady wizualizacji danych naukowych, w szczególności sprzeciwiał się jakiegokolwiek upiększaniu obrazów, wszelkiej dekoracji, uważał, że obraz ma na celu wyłącznie przekazać informacje i pomóc w jej interpretacji. Ostatnio (2003) człowiek ten głównie znany z jest z krytyki wobec Power Pointa (praca pt. „PowerPoint is evil”). W odpowiedzi na to, zwolennicy Power Pointa przygotowali te prace w formie prezentacji PowerPoint .

Poważny rozwój wizualizacji zaczął się w 1987 roku, po wydaniu specjalnego numeru „Computer Graphics” dotyczącego wizualizacji danych naukowych. Od tego czasu temat wizualizacji (ogólnej oraz niektórych tylko obszarów nauki) zaczęto poruszać na wielu konferencjach i warsztatach na temat grafiki komputerowej, np. Siggraph. Wydano też wiele książek i artykułów na ten temat.

### **Dane wolumetryczne**

Dane astronomiczne są przykładem danych wolumetrycznych.

Oznacza to, że parametry obiektów (w tym przypadku planet, gwiazd) są przechowywane w postaci wielowymiarowych tablic zawierających liczby.

Innymi przykładami danych wolumetrycznych są np. obrazy tomografii mózgu (<http://graphics.stanford.edu/data/voldata>)

### **Dane astronomiczne**

Wiele serwisów udostępnia dane astronomiczne pochodzące z teleskopów i sond kosmicznych. Są to np.:

NASA Astronomical Data Center (USA)

<http://adc.gsfc.nasa.gov/>

CASU Astronomical Data Centre (UK)

<http://casu.ast.cam.ac.uk/casuadc>

The Canadian Astronomy Data Centre (Kanada)

<http://cadwww.dao.nrc.ca/>

SIMBAD Astronomical Database (Francja)

<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

Serwisy te umożliwiają przeszukiwanie baz danych wg wielu kryteriów.

### Najważniejsze parametry astronomiczne

- Współrzędne ICRS (International Celestial Reference System):
  - Rektascencja – kąt dwuścienny pomiędzy płaszczyzną koła godzinowego punktu równonocy wiosennej (rektascencja równa  $0^h$ ) a płaszczyzną koła godzinowego obiektu.
  - Deklinacja - kąt pomiędzy kierunkiem poprowadzonym od obserwatora do obiektu a płaszczyzną równika niebieskiego.
- Fe/H – temperatura w st. Kelvina, logarytm dziesiętny współczynnika grawitacji, względny współczynnik metaliczności
- GEN (Geneva Photometric System) - indeks kolorów, różnica między jasnością światła przepuszczonych przez odpowiednie filtry (U – ultrafiolet, B – niebieskie, V – widzialne)
  - U-B color index
  - V-B color index
  - B1-B color index
  - B2-B color index
  - V1-B color index
  - G-B color index

Ponadto pomiar ten zawiera względną jasność obiektu.

- JP11 (Johnson's Photometry) – jasność światła o danej długości fali
  - U (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 360 \text{ nm}$
  - B (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 450 \text{ nm}$

- V (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 555 \text{ nm}$
- R (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 670 \text{ nm}$
- I (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 870 \text{ nm}$
- J (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 1.2 \text{ }\mu\text{m}$
- K (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 2.2 \text{ }\mu\text{m}$
- L (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 3.5 \text{ }\mu\text{m}$
- M (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 5.0 \text{ }\mu\text{m}$
- N (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 9.0 \text{ }\mu\text{m}$
- H (nmes) magnitude at  $\lambda_{\text{eff}} = 1.62 \text{ }\mu\text{m}$
- MK (Morgan – Keenan) - klasyfikacja obiektów kosmicznych na podstawie rozmiaru, jasności i koloru (względem słońca):

Klasa	Temp. [K]	Kolor	Masa	Promień	Jasność
O	30000 – 60000	NIEB.	60	15	1400000
B	10000 – 30000	NIEB-BIAŁY	18	7	20000
A	7500 – 10000	BIAŁY	3,1	2,1	80
F	6000 – 7500	ŻÓŁTO-BIAŁY	1,7	1,3	6
G	5000 – 6000	ŻÓŁTY	1,1	1,1	1,2
K	3500 – 5000	POMARAŃ.	0,8	0,9	0,4
M	2000 – 3500	CZERW.	0,3	0,4	0,04

Wg tej klasyfikacji Słońce jest obiektem klasy G.

- oRV (radial velocities) – prędkości kątowe obiektów, w km/s
- PLX (trigonometric parallax) – wartość określająca położenie obiektu względem obserwatora
- PM (proper motions) – wartość określająca zmiany położenia obiektu
- Pos (position) – pozycja obiektu
- ROT (Stellar Rotational Velocities) – prędkości w ruchu obrotowym
- UBV – indeksy kolorów, podobnie jak w GEN

### Projekt Hipparcos

Nazwa Hipparcos oznacza **High Precision Parallax Collecting Satellite**, została nadana na cześć starożytnego greckiego astronoma Hipparchosa z Nikei.

Projekt Hipparcos bierze swój początek w latach 80 XX wieku. Powstał w organizacji ESA (European Space Agency), a jego celem było utworzenie uniwersalnego katalogu pozycji, jasności gwiazdnych i ruchów gwiazd. Od samego początku okazało się jednak, że jego znaczenie dla światowej astronomii jest o wiele większe – w porównaniu z innymi istniejącymi katalogami, Hipparcos oferował dużo więcej danych, obarczonych mniejszym błędem, a dzięki sieci odnośników, również dane z innych opracowań. Najbardziej oczekiwaną zaletą Hipparcosa był wzrost precyzji pomiaru położenia i paralaks gwiazdnych – precyzja wzrosła znacznie w porównaniu z pomiarami dokonywanymi z Ziemi - oraz wzrost ilości skatalogowanych

obiektów.

Konstrukcja katalogu Hipparcosa, który zawierał znaczące dane dla obiektów zaobserwowanych przez satelitę, powstała w 1989 roku. Ukazała się w formie drukowanej (w 1994 roku), na taśmach (1994-1995, znajduje się w obserwatorium w Strasburgu, jest dostępna poprzez ich serwisy internetowe – Vizier i Simbad). W 1997 roku powstała wersja na CD-ROM.

Satelita został wyniesiony na orbitę przez rakietę Ariane 4 18 sierpnia 1989 r. Pierwotnie miał znaleźć się na orbicie geostacjonarnej, jednak awaria napędu sprawiła, że ostatecznie Hipparcos spoczął na mocno wydłużonej (mimośród 0,7) orbicie na wysokości od 526 do 35900 kilometrów nad Ziemią, z okresem obiegu równym ok. 640 minut. Pomimo tego utrudnienia, zrealizowano niemal wszystkie zaplanowane cele naukowe. Łączność zawieszono 17 sierpnia 1993 roku.



Program został podzielony na dwie części: eksperyment Hipparcos – polegający na pomiarze pięciu parametrów astrometrycznych około 120 tysięcy gwiazd, z dokładnością 2 do 4 miliarcsekund, oraz eksperyment Tycho, który miał za zadanie pomiar właściwości astrometrycznych i fotometrycznych kolejnych 400 tysięcy gwiazd, z nieco mniejszą dokładnością.

Wyniki obserwacji zebrano w katalogach Hipparcos (położenia 118 tysięcy gwiazd z dokładnością jednej milisekundy kątowej i jasność z dokładnością do 0,2%) oraz Tycho (pozycje z dokładnością 20-30 milisekund kątowych, jasności - do 6%), ukończonych w sierpniu 1996 r. Podczas czterech lat intensywnej pracy Hipparcos odkrył wiele gwiazd podwójnych, zarejestrował zmiany blasku tysięcy gwiazd zmiennych oraz wyznaczył położenie gwiazd z niespotykaną dotąd precyzją. Jest to największy katalog gwiazd, jaki kiedykolwiek

sporządzono.

Propozycje.

W 1982 roku ESA rozesłała w środowisku astronomicznym zaproszenie do zgłaszania propozycji obiektów, które mają się znaleźć w tworzonym katalogu. Wpłynęło 214 propozycji, zawierały informacje na temat wielu rodzajów obiektów gwiazdnych, np. Białych karłów czy mgławic, dotyczyły dynamiki, struktury i masy. Łącznie zaproponowano ok. 500000 obiektów.

Ponieważ jednak, na podstawie bazy Simbad, stwierdzono sporą redundancję w tych danych, zbiór został ograniczony do ok. 214000 obiektów gwiazdnych. Wyboru dokonano z udziałem autorytetów świata astronomicznego, zapewniając, że tak wyselekcjonowane dane będą spełniać wszystkie wymagane kryteria. Selekcja polegała na zakwalifikowaniu każdego obiektu do kategorii pod względem ważności (w skali od 1 do 5), ponadto starano się pokryć całe sklepienie niebieskie równomiernie. Po wielu burzliwych dyskusjach ustalono 214000 obiektów, które miały zostać dokładnie zbadane i opisane w katalogu Hipparcos. Te obiekty znalazły się w bazie INCA i zaprezentowane przez Komitetem Astronomicznym w roku 1986.

Teoria a praktyka.

W praktyce udało się osiągnąć spory sukces i skatalogować znaczną część z planowanych 214000 gwiazd. Stało się tak przede wszystkim dlatego, że w propozycjach ESA, większość gwiazd posiadała dużą jasność, była więc łatwiejsza do zbadania. Wśród najjaśniejszych gwiazd, o najwyższych priorytetach, skuteczność badania Hipparcos wynosi 100%.

### **Katalog online.**

Katalog Hipparcos jest dostępny online pod adresem

<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=hipsearch>.

Należy podać:

- RA – rektascencja w stopniach
- DEC – deklinacja w stopniach
- Tolerance – dopuszczalna odchyłka współrzędnych RA i DEC od zadanych

Ponadto można ograniczyć zbiór wynikowy do gwiazd o jasności większej niż podana, można też przeszukać katalog po numerach identyfikacyjnych (HIP lub TYC).

W odpowiedzi na zapytanie otrzymujemy zbiór gwiazd spełniających nasze kryteria – listę wszystkich obiektów wraz ze wszystkimi parametrami.

Strona z odpowiedzią zapisana jest w formacie, który ułatwia analizę danych przez programy komputerowe. Właściwy segment z danymi zawarty jest między tagami <pre> i </pre>, natomiast każda linijka (każdy znaleziony obiekt)

The Hipparcos Space Astrometry Mission: Search facility - Mozilla Firefox

http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=hipsearch

Research & Science Home ESA Public Web Site Sci-Tech Portal Hipparcos Public Web Site Hipparcos Sci-Tech Portal

**Hipparcos** European Space Agency  
 Fundamental Physics Mission 17-August-2007 11:51:24

Asrophysics Missions Planetary Exploration Missions Solar Terrestrial Science Missions

Livellink is up and running again. We apologise for the inconvenience of the downtime. If you find any problems please report them to us.

## The Hipparcos and Tycho Catalogues Search facility

To search the Hipparcos and Tycho-1 Catalogues

enter one of the following five search criteria:

Decimal degrees: RA DEC Tolerance

Sexagesimal: H M S D M S D M S

Enter optional threshold Magnitude for search:

The above search on position (ICRS, epoch J1991.25) returns all objects centered on the given coordinate within a square region (width=2\*Tolerance), listed in ascending RA and divided between Hipparcos and Tycho Catalogues.

You may also impose a magnitude limit on the entries which are returned. Field H5/T5, the V magnitude in the Johnson UBV photometric system, is used in this case. Only stars brighter than this magnitude will be returned from the search. (The limit is applied to both Hipparcos and Tycho stars.)

Or enter a specific Hipparcos (or HD) or Tycho Catalogue identifier to retrieve data with field descriptions plus access to light curves, Double and Multiple Systems Annex and Variability Annex (where appropriate).

Hipparcos Identifier:  HD Identifier:   
 Tycho Identifier:

If you don't know the HIP number for your favorite star, check out the [SIMBAD](#) source name resolver.

UserID:   
 Pass:

Lost/Broken Password ??

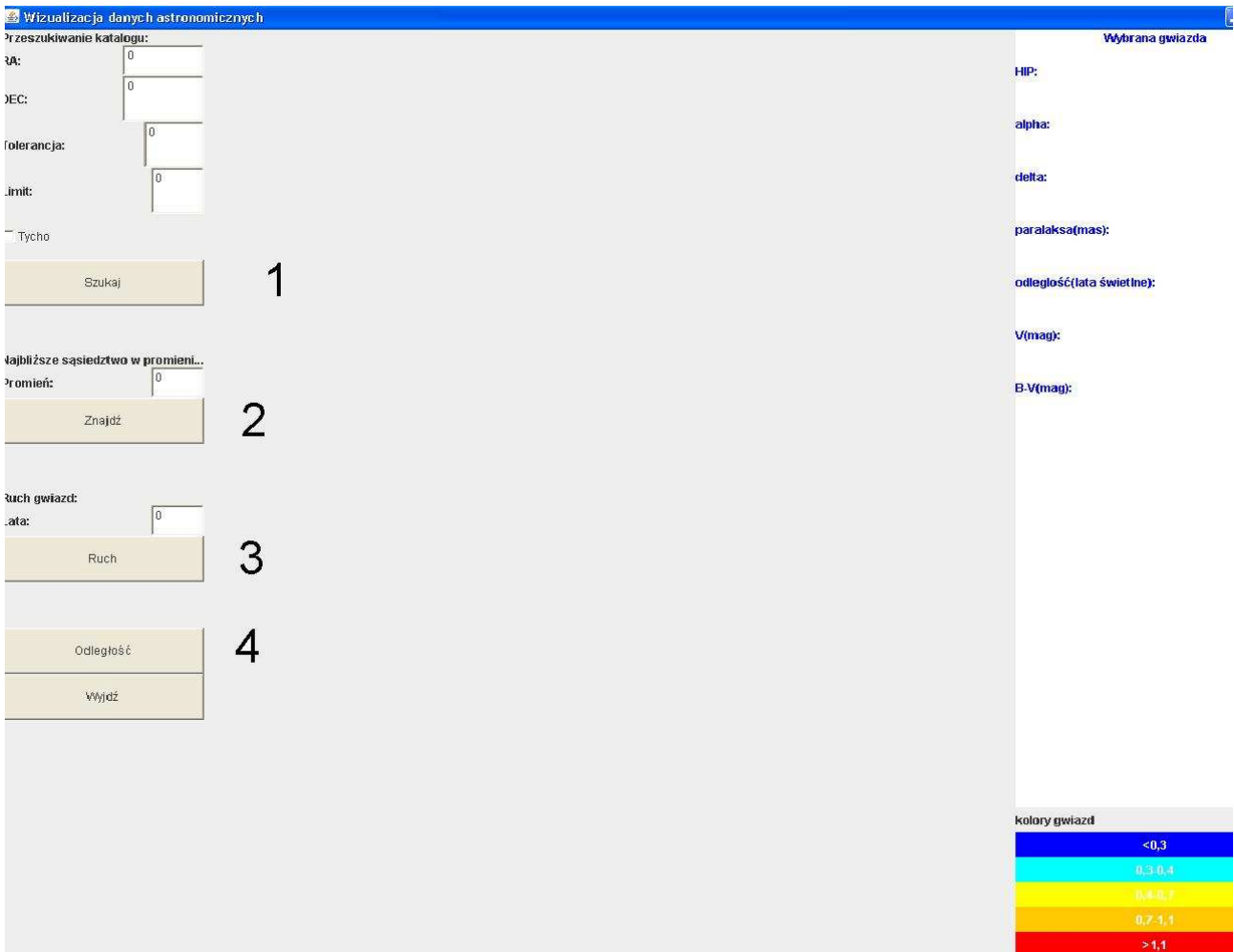
Zakończono

Start Windows Comm... EPDI.odt - Ope... Adobe Reader ... The Hipparcos ... The Hipparcos ... 7. Red Hot Chili... Felik z pracy BT 13:51

zaczyna się od litery H (katalog Hipparcos) lub T (katalog Tycho). Jest również łatwa do obróbki przez standardowe komendy systemu Unix, np. grep, cut.

## Metody wizualizacji

Program do wizualizacji danych z katalogu Hipparcosa został napisany w języku Java, przy użyciu pakietu Java3D. Java3D wykorzystuje OpenGL lub Direct3D do tworzenia obrazów trójwymiarowych. Okno główne programu wygląda następująco:



W widoczne pola należy wpisać elementy zapytania, na podobnej zasadzie, jak na stronie WWW:

RA – rektascencja w stopniach, H8 z katalogu Hipparcos

DEC – deklinacja w stopniach, H9 z katalogu Hipparcos

Tolerancja – tolerancja, podobnie jak w zapytaniu na stronie

Limit – ograniczenie wyników do określonego promienia (przydatne, gdy zbiór wynikowy jest bardzo liczny).

Ponadto można zaznaczyć, czy chcemy również otrzymać dane z katalogu Tycho. Wtedy zbiór wynikowy jest dużo większy.

Po wciśnięciu przycisku „Szukaj” aplikacja połączy się z Internetem i pobierze żądane dane z katalogu. Zapytanie do bazy jest przesyłane w adresie http i ma postać:



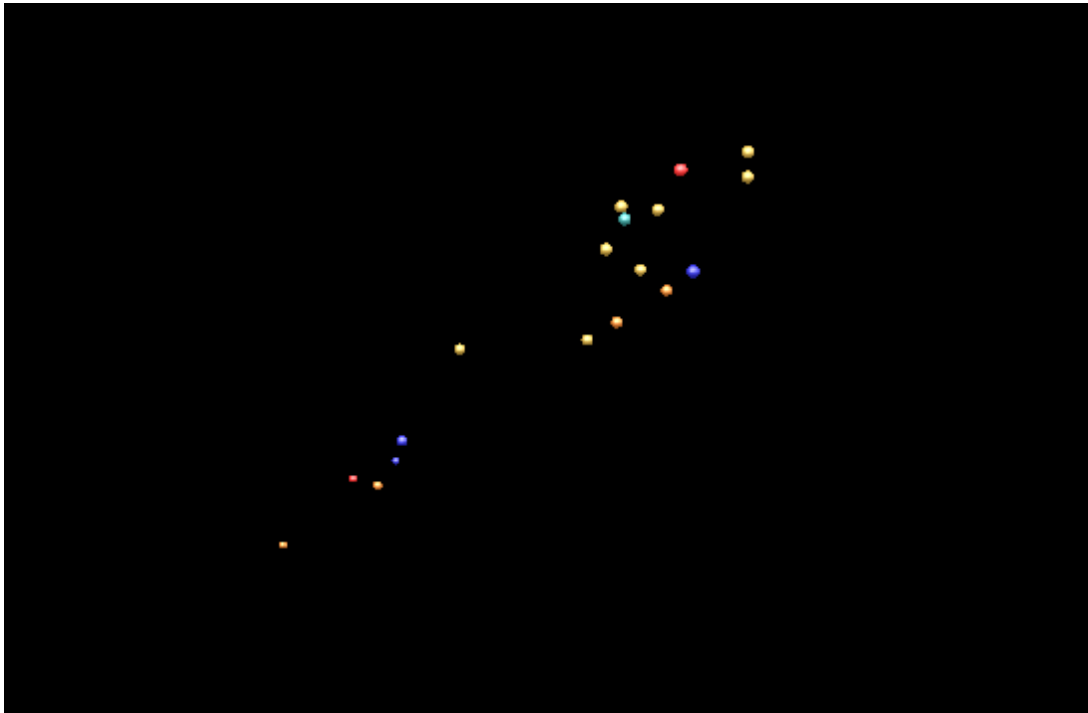
[http://www.rssd.esa.int/hipparcos\\_scripts/HIPcatalogueSearch.pl?noLinks=1&raDecim=XXX&decDecim=YYY&box=ZZZ](http://www.rssd.esa.int/hipparcos_scripts/HIPcatalogueSearch.pl?noLinks=1&raDecim=XXX&decDecim=YYY&box=ZZZ), gdzie:

XXX – współrzędne RA

YYY – współrzędne DEC

ZZZ - tolerancja

Po poprawnym odebraniu danych z serwera i odpowiedniej przeróbce, dane zostaną wyświetlone tak jak na rysunku:



## **Inne dostępne metody wizualizacyjne.**

### **Format HDF (Hierarchical Data Format)**

Format używany do przenoszenia graficznych i numerycznych danych między komputerami. Został stworzony w NCSA (National Center for Supercomputing Applications). Jest dostępny za darmo, składa się z bibliotek, narzędzi, aplikacji testujących, interfejsu Javy oraz stworzonego w Javie programu przeglądającego (HDFView).

HDF wspiera różne modele danych, m.in. tablice wielowymiarowe, obrazy rastrowe. Każdy model danych posiada inne narzędzia do obróbki oraz posiada własne API do czytania i edycji danych i metadanych. Cały czas powstają nowe modele danych.

Plik HDF może składać się z grupy połączonych obiektów, do których można się odwoływać pojedynczo bądź grupowo.

Format HDF wywodzi się z wynalezionej przez NASA formatu CDF (Common Data Format).

### **AIPS/AIPS++ (Astronomical Image Processing System)**

Zestaw narzędzi do edycji, formatowania, przekształcania i analizy obrazów i innych danych astronomicznych. Główny nacisk położony jest na redukcję danych. Narzędzia wchodzące w skład pakietów AIPS/AIPS++ są głównie przeznaczone do danych pochodzących z różnego rodzaju teleskopów, jednak są przydatne również w przypadku danych z innych źródeł.

AIPS++ jest zbiorem aplikacji niskiego poziomu, natomiast AIPS składa się z bardziej złożonych aplikacji. Zasadniczo obydwa zestawy posiadają podobne składowe o podobnych funkcjach, różniące się nazwą.

AIPS jest dostępny dla wszystkich systemów z wyjątkiem Microsoft Windows.

### **Format FITS (Flexible Image Transport System)**

Ten format jest powszechnie używany w astronomii. Plików FITS często używa się do przechowywania danych innych niż obrazy, na przykład widm, list fotonów, kostek danych i wiele innych. Plik FITS może zawierać wiele rozszerzeń, z których każde może zawierać obiekt danych. Dużą zaletą formatu FITS w zastosowaniach naukowych jest to, że nagłówek takiego pliku jest napisany w języku naturalnym w ASCII, więc użytkownik może obejrzeć nagłówki, żeby sprawdzić plik nieznanego pochodzenia. Każdy plik FITS składa się z jednego lub więcej nagłówków zawierających obrazy ASCII (łańcuchy o ustalonej długości 80 znaków), które zawierają pary słowo kluczowe/wartość, przeplecione między blokami danych. Pary słowo kluczowe/wartość dostarczają metadanych takich jak rozmiar, źródło, format danych binarnych, dowolne komentarze, historia danych i cokolwiek zażyczy sobie autor. Niektóre słowa kluczowe są zarezerwowane do użytku w ramach formatu FITS, jednak ten standard dopuszcza dowolne użycie pozostałej przestrzeni nazw.

## Linki

1. Information visualization journal <http://www.palgrave-journals.com/ivs/index.html>
2. Słowniczek wielkości astronomicznych  
[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/astronomical\\_quantities.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/astronomical_quantities.html)
3. Artykuł nt. wyznaczania wielkości obiektów kosmicznych  
<http://www.talkorigins.org/faqs/astronomy/distance.html>
4. Obliczanie jasności gwiazd  
<http://www.astronomynotes.com/starprop/s4.htm>
5. Wizualizacja danych wolumetrycznych  
<http://www.cs.ucdavis.edu/~ma/VolVis/>
6. Projekt Hipparcos -  
<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS>
7. The Monthly Sky Guide - Ian Ridpath & Wil Tirion - fragmenty
8. ESA - <http://www.esa.int/science/hipparcos>
9. Canadian Astronomy Data Centre (CADC) -  
<http://cadcwww.dao.nrc.ca/astrocat/hipparcos/>
10. Baza SIMBAD - <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
11. ICRS - [http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/ICRS\\_doc.html](http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/ICRS_doc.html)
12. Wikipedia – <http://en.wikipedia.org>