

JASMINE計画における 高精度位置天文観測について

300分の1ピクセル精度の位置決め成功!

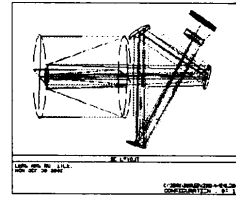


○矢野太平(理研)、郷田直輝、小林行泰、辻本拓司(国立天文台)、山田良透(京大理)、官谷幸利、荒木博志、田澤誠一、浅利一善、鶴田誠逸、花田英夫、河野宣之(国立天文台)、

JASMINE(赤外線スペースアストロメトリ)計画

(<http://www.jasmine-galaxy.org/index-j.html>)

概要: 近赤外線(K-band; 2.2μm)もしくはZ-band; 0.9μm)による銀河系内、特に銀河面、バルジのアストロメトリ(位置天文)観測を衛星を用いて行い、数億個の星の位置、距離、固有運動を今までにない高精度(K=12等もしくはz=16等で、10万分の1秒角)で測定する。これにより、可視光だけでは伺い知れない銀河系構造(特に、バルジ、遠くの銀河面)、および恒星物理、星の形成と進化を明らかにするとともに、系外銀河観測による宇宙論への直接的リンク、惑星系探査などのサイエンスも切り開くことを目的とする。



高精度位置決定について

星像中心の高精度位置決定はJASMINE計画でのアストロメトリ観測に必要なかつ重要な技術である。JASMINEでは10万分の1秒角の精度での星の位置決定を目標としている。この時、一検出器一回あたり、およそ1/300ピクセル程度の精度を必要とする。相対的位置は変わらない2つの擬似星像の重心間距離を測定する。重心は1ピクセルのどのような場所にあるかにより真の星の中心位置とずれが生じる。従って重心間距離は測定されるピクセルの位置によって異なる。この測定されるピクセル位置と重心間距離の関係を調べることで、高精度で星像中心を求める。

手法

- 2つの星をピックアップ
- 2つの星について星の重心を含むピクセルを中心に9×9ピクセル取り出し重心を求める。
- 真の中心と重心のずれ(誤差)は重心のピクセル中心からのずれ(重心の座標Xc)に比例するとした1次の補正を行う(比例係数k)。
誤差 $X_a - X_c = k \times X_c$ (X_a :真の中心座標)
- 多くの測定点を満たすパラメータkを最小2乗法により求める。

表式

星1について $X_{a1} = X_{c1} + k_1 X_{c1}$
星2について $X_{a2} = X_{c2} + k_2 X_{c2}$

関数Iを次式で定義

$I = 0 (X_{c2} > X_{c1})$

$I = 1 (X_{c1} < X_{c2})$

相対的距離 $|\delta X_{al}|$

$$\begin{aligned} |\delta X_{al}| &= X_{a2} - X_{a1} + I \\ &= X_{c2} - X_{c1} + k_2 X_{c2} - k_1 X_{c1} + I \\ &= (1 + k_2)(X_{c2} - X_{c1}) + (k_2 - k_1)X_{c1} + I \\ &\equiv \alpha \Delta + \beta X_{c1} + I \end{aligned}$$

ここで

$\alpha = (1 + k_2)$

$\beta = (k_2 - k_1)$

$\gamma = -1 \delta X_{al}$

$\Delta = (X_{c2} - X_{c1})$

この式を出来るだけ満足するようにパラメータ k_1 , k_2 を求めたい。すなわち、最小2乗法を用いる。

$$S = \sum (\alpha \Delta + \beta X_{c1} + \gamma + I)^2$$

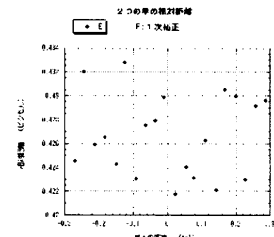
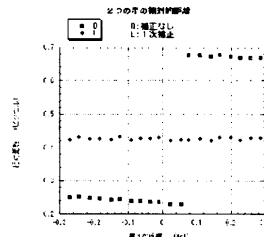
$$\alpha \sum \Delta^2 + \beta \sum \Delta X_{c1} + \gamma \sum \Delta + \sum I \Delta = 0$$

$$\alpha \sum \Delta X_{c1} + \beta \sum X_{c1}^2 + \gamma \sum X_{c1} + \sum I X_{c1} = 0$$

$$\alpha \sum \Delta + \beta \sum X_{c1} + \gamma \sum I + \sum I = 0$$

得られたパラメータより真の中心値 X_{a1} , X_{a2} が得られる。

解析結果



結論

現段階で300分の1ピクセル程度の精度が達成された。今回の実験ではポアソンノイズにより、理想的にいうと、300~350分の1ピクセルが限界であるのでかなり良い結果が得られている。またこれはJASMINE計画を遂行するにたる精度である。

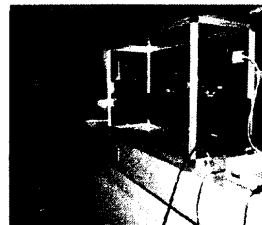
過去の記録

2002年 9月 100分の1達成

2002年 12月 300分の1達成(アルゴリズム改良)

実験装置

装置は長さ約1mの光学ベンチ上に、擬似星光源、集光レンズ、CCDカメラをこの順に設置し、集光レンズによる擬似星光源の像をCCD上に結像させる。擬似星は白色光またはHe-Neレーザー光を、5行5列に並べた断面10ミクロンの光ファイバー25本に導き、端面を光らせて作っている。CCDカメラは光軸に垂直な方向に、1ミクロン以下の精度で位置を調節し、星像中心とCCDピクセルの任意の相対位置関係を実現することができる。集光レンズは口径5cm、F値は2~4だが、回折により像の大きさを複数のCCDピクセルにまたがるように調整するため、直径1mm程度の絞りを入れる。(実験場所: 水沢観測センター)



・コンフィギュレーション(標準仕様)

	ファイバー、レンズ距離	レンズ、CCD 撮子距離
F45mm, F102mm (F10)	77.0mm	18.0mm
F45mm, F160mm (F16)	84.0mm	18.0mm
F45mm, F200mm (F20)	87.0mm	30.0mm

