

最近の技術から

Shift-and-add 法による天体スペックルデータからの像再生

馬場直志

北海道大学工学部応用物理学科 〒060 札幌市北区北13条西8丁目

1. ま え が き

地上から望遠鏡で天体を観測すると、大気ゆらぎのため天体像が乱れてしまう。大気の時間的ゆらぎのないような短時間内の撮像では、スペックルパターンが現われる。このような天体スペックル干渉^{1,2)}データからの天体像再生法として、現在注目されているのが shift-and-add 法 (以下 SAA と記す)^{3,4)}と、triple correlation 法^{5,6)}である。

これらの方法は、従来から用いられているスペックル像のパワースペクトルより天体像の自己相関を求める方法 (Labeyrie 法) とは異なり、実像再生が可能であり、さらに、参照星のスペックルデータを本質的には必要としないという利点がある。SAA 法は、triple correlation 法に比べて、像再生原理が簡単で演算時間が少なくすむ。ここでは、SAA 法による天体スペックルデータからの天体像再生について述べる。

2. SAA 法

観測されるスペックル像には、望遠鏡による天体の回折限界像が、歪められた形として個々のスペックルに現われると考えられる。SAA 法とは、撮像される多数フレームの各スペックル像中において、強度が最大となる点を見だし、その点を像再生フレームの中心にもっていき (shift) 重ね合わせる (add) という方法である。

2重星の場合、図1のように、スペックル像中には主星 (明るい星) と伴星 (暗い星) からのそれぞれの光によって形成されるスペックル対 (図1で・と+) が存在する。スペックル像中で、強度最大の点は主星の光によって形成されたスペックル位置である確率が高く、この位置から定方向定距離のところに、伴星の光によって形成されたスペックルが存在するはずである。そこで、SAA 操作を多数フレームについて行なうと、2重星の像がバックグラウンドに対して浮き出てくることになる。2重星に対する SAA 像からは、自己相関像 (Labeyrie 法) とは異なり、伴星の位置角が 180° の不

定性なく求まることになる。

SAA 法による実際のスペックルデータからの像再生⁷⁾の例を図2に示す。(a)は岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡で撮像した ADS 2200 の代表的スペックル像で、このようなスペックル像 86 フレームから得た SAA 像をコントラスト表示したのが(b)である。

3. SAA 法の改善

2章で述べた SAA 法は、各スペックル像中の最大強度位置情報を利用する方法であり、basic- または simple-SAA と呼ばれている。これに対して、各スペックル像中の局所極大を見だし、それらの位置情報をもとに SAA を行なうと、効率的に像再生ができる。これは、SAA 法と命名される以前に、Lyndsら⁸⁾が用いた方法 (LWH 法) であり、かれらはベテルギウスの像再生を行なった。Bagnuolo⁹⁾ は、同じような方法を2重星の像再生に適用し、カペラの主星と伴星との等級差推定を行なった。

SAA 法による再生像では、シーイングに依存するバックグラウンド成分上に、回折限界像が重なる。このため良好な再生像を得るには、バックグラウンド成分をとり除く必要がある。このバックグラウンド成分の空間分布をガウス関数近似し、SAA 像から差し引くという簡便な方法もあるが、Christou ら¹⁰⁾や Ribak¹¹⁾ は weighted SAA (WSA) と名づけた方法に基づきバックグラウンド成分を除去した再生像を得た。

WSA では、スペックル像 $I(\mathbf{r})$ 中の個々のスペックル位置と強度を表わすインパルス列分布 $\text{Imp}(\mathbf{r})$ をまず求める。 $\text{Imp}(\mathbf{r})$ は $I(\mathbf{r})$ とこの平滑化画像との差画像の極大値とその位置を見出すことで得られる。次に $I(\mathbf{r})$ と $\text{Imp}(\mathbf{r})$ のフーリエスペクトル $I(\mathbf{f})$ と $\text{Imp}(\mathbf{f})$ を求める。再生像 $S(\mathbf{r})$ は、

$$S(\mathbf{r}) = FT \left\{ \sum_n I_n(\mathbf{f}) \text{Imp}_n^*(\mathbf{f}) / \sum_n |\text{Imp}_n(\mathbf{f})|^2 \right\}$$

から得られる。ここで FT はフーリエ変換を表わし、 n は各フレームについての添字を表わす。右辺の分母が、

バックグラウンド成分除去の働きをしている。

SAA 操作を行なう場合、できるだけ観測天体の回折限界像のレプリカとなっているスペckルを抽出し像合

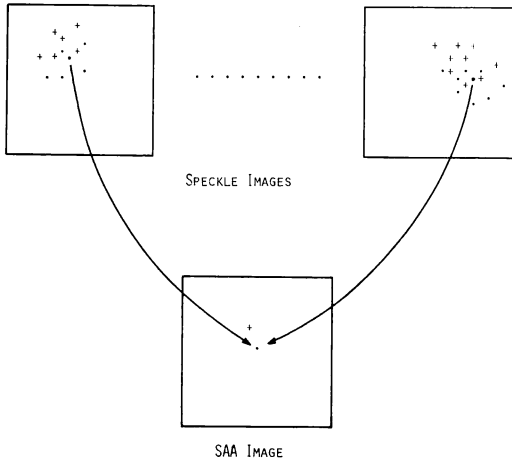
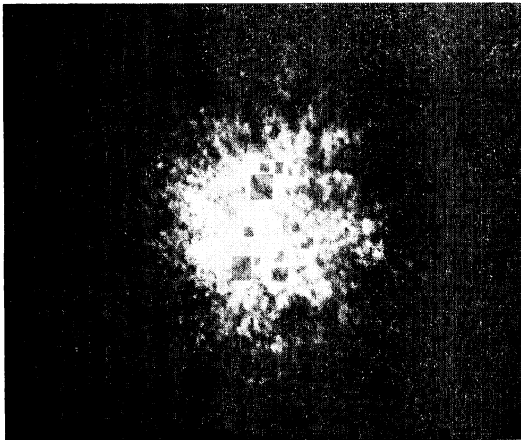
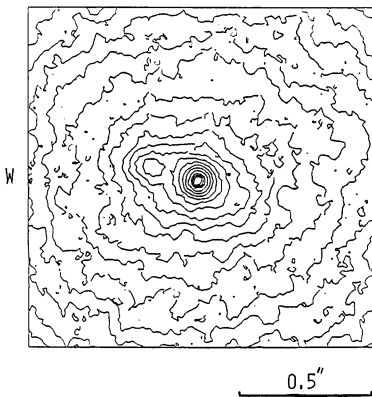


図 1 スペckル像と SAA 像



(a)



(b)

図 2 ADS 2200 のスペckル像(a)と SAA 像のコントア-図(b)

成することが望ましい。このために SAA 法で得られる再生像からマッチフィルターをつくり、スペckル像の中から良質のスペckルを選び出し SAA を行なうという過程を反復実行すると、良好な再生像が得られる¹¹⁾。

再生すべき像は有限の拡がりをもつので、この像関数のフーリエ変換面での実変数を複素変数に拡張したとき、そのゼロ点位置によって像関数は一義的に決まる(指数型整関数の数学的性質)。そこで、各スペckル像の複素ゼロ点位置を求め、統計的に頻度多く存在するゼロ点から像再生することが可能である。これが Bates ら¹²⁾ による zero-and-add 法である。

SAA 法の基本原理は単純であるが、これに種々の技法を組み入れ再生像の改善を行なっているというのが、SAA 法による像再生の現状である。

文 献

- 1) A. Labeyrie: "Attainment of diffraction limited resolution in large telescopes by Fourier analysing speckle patterns in star images," *Astron. Astrophys.*, **6** (1970) 85-87.
- 2) 大坪順次: "天体スペckル干渉法," *光学*, **13** (1984) 360-367.
- 3) R. H. T. Bates and F. W. Cady: "Towards true imaging by wideband speckle interferometry," *Opt. Commun.*, **32** (1980) 365-369.
- 4) B. R. Hunt, W. R. Fright and R. H. T. Bates: "Analysis of the shift-and-add method for imaging through turbulent media," *J. Opt. Soc. Am.*, **73**(1983) 456-465.
- 5) G. Weigelt and B. Wirtzner: "Image reconstruction by the speckle-masking method," *Opt. Lett.*, **8**(1983) 389-391.
- 6) A. W. Lohmann, G. Weigelt and B. Wirtzner: "Speckle masking in astronomy: triple correlation theory and applications," *Appl. Opt.*, **22**(1983) 4028-4037.
- 7) N. Baba, S. Isobe, Y. Norimoto and M. Noguchi: "Stellar speckle image reconstruction by the shift-and-add method," *Appl. Opt.*, **24** (1985) 1403-1405.
- 8) C. R. Lynds, S. P. Worden and J. W. Harvey: "Digital image reconstruction applied to Alpha Orionis," *Astrophys. J.*, **207** (1976) 174-179.
- 9) W. G. Bagnuolo, Jr.: "The application of Bates' algorithm to binary stars," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **200** (1982) 1113-1122.
- 10) J. C. Christou, E. K. Hege, J. D. Freeman and E. Ribak: "Self-calibrating shift-and-add technique for speckle imaging," *J. Opt. Soc. Am.*, **A-3** (1986) 204-209.
- 11) E. Ribak: "Astronomical imaging by filtered weighted-shift-and-add technique," *J. Opt. Soc. Am.*, **A-3** (1986) 2069-2076.
- 12) A. M. Sinton, B. L. K. Davey and R. H. T. Bates: "Augmenting shift-and-add with zero-and-add," *J. Opt. Soc. Am.*, **A-3** (1986) 1010-1017.

(1987年3月2日受理)