18a-E4-6

高コントラスト撮像光学系における焦点面波面センシングによるスペックルノイズ低減

Speckle noise reduction by focal plane wave-front sensing in high contrast imaging optics

農工大工 [1], 国立天文台 [2],総研大物理 [3],日大理工 [4],北大工 [5]
○佐藤克磨 [1], 西川淳 [2,3], 大矢正人 [4,2], 堀江正明 [4,2], 田中洋介 [1], 熊谷紫麻見 [4], 黒川隆志 [1,2], 村上尚史 [5]
Tokyo Univ. of Agri. and Tech. [1], Natl. Astron. Obs. Japan[2], Grad. U. for Adv. Studies[3], Nihon U.[4], Hokkaido U.[5]
°K. Sato[1], J. Nishikawa[2,3], M. Ohya[4,2], M. Horie[4,2], Y. Tanaka[1], S. Kumagai[4], T. Kurokawa[1,2], N.Murakami[5]
E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

1. 背景

地球のような生命が存在する惑星の探索は、天文学の重要な研究テーマの一つである。系外惑星の直接観測のためには、高コントラストな撮像光学系が必要である。これは、恒星から僅かに離れた惑星の光は残しつつ、恒星の強い光を打ち消す（ナル干渉型）コロナグラフ、およびスペックルノイズを抑制する高精度の補償光学系からなる。我々は、10桁のコントラストを達成するために、非対称ナル干渉計を用いた高精度波面補償を行っている[1]。ここで補償光学後のコロナグラフ内の波面誤差によって生じるスペックルノイズが問題となる。本稿では、スペックルノイズを低減するために開発中の、焦点面波面センシング法[2]の数値実験と光学実験の結果を報告する。

2. スペックルノイズ低減の原理

我々のスペックルノイズ低減手法は、可変形鏡(DM: Deformable mirror)、コロナグラフ、焦点面カメラ、制御用パソコンを用いる(Fig.1)。焦点面のスペックル電場およびスペックル強度を$E=Ao+Boi$、Ioとする。DMにコサイン波状の電圧マップを加えると、瞳面で波面の位相が変調される。その結果、焦点面において2点の電場が変化する。スペックル電場が、DMによって実部方向に$\pm a$だけ変調された時の強度を$I_{\pm a}$、虚部方向に$\pm bi$だけ変調された時の強度を$I_{\pm b}$とする。これら5つの強度値を用いることにより、スペックル電場成分(Ao,Bo)ならびに変調電場a、bは次式のように求まる。

$$\begin{cases} A_o = (I_{+a} - I_{-a})/4a \\ B_o = (I_{+b} - I_{-b})/4b \\ a = \sqrt{(I_{+a} + I_{-a} - 2I_o)/2} \\ b = \sqrt{(I_{+b} + I_{-b} - 2I_o)/2} \end{cases}$$

スペックルノイズは求まったスペックル電場の負値の電場をDMで発生させて相殺することができる。

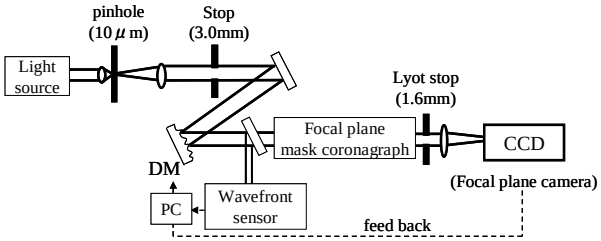
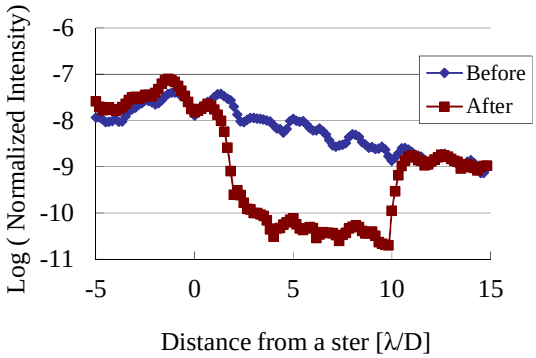


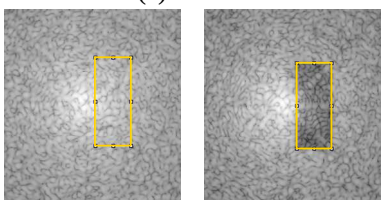
Fig. 1. Experimental setup for speckle noise reduction.

3. 実験結果

実験では、コロナグラフに焦点面八分割位相マスク（EOPM: Eight Octant Phase Mask）[3]を用いた。EOPMは、中心から放射状に8領域に分かれ、隣り合った領域の位相差はπとなっている。EOPM透過後の瞳面では、恒星光は瞳の外周に集中するため、絞り(Lyot Stop)により恒星光を除去できる。数値実験では、瞳面と焦点面の移動にFFTを用い、初期波面誤差λ/1000[rms]のときに、焦点面で縦±10λ/D,横2~10λ/Dの範囲でスペックルノイズのセンシングと除去を繰り返し50回行い、恒星光に対して10桁以上のコントラストを達成することに成功した(Fig.2)。光学実験は、Fig.1に示す光学系を用いて行い、恒星像から2λ/D付近のスペックルノイズを1桁低減させることに成功した。



(a) Data



Before　　After

(b) Image

Fig. 2 Numerical simulation.

4. まとめ

スペックルノイズ除去のための焦点面波面センシング法を提案した。数値計算および光学実験により、スペックルノイズを低減できることが確認され、提案手法の有効性が示された。

参考文献

[1] J.Nishikawa et al., Opt. Rev. 20, 453 (2013)
[2] M.Ohya et al., Proc. SPIE 8442, 844255-1-6 (2012)
[3] N.Murakami et al., Ap. J., 714, 772-777 (2010)

© 2014 年　応用物理学会