

分割主鏡シミュレーター (第3版バージョン8) — 設計 / 行列測定方法

岡山新技術望遠鏡グループ

平成 23 年 5 月 19 日

目次

1 概要	1
2 内環の仮想アクチュエータ駆動量の内周セグメント駆動による逆補正	1
2.1 座標定義	1
2.2 内環の仮想アクチュエータを動かしたときのギャップセンサー値	2
2.3 ある Zernike パラメータで内周セグメントのアクチュエータを動かしたときのギャップセンサー値	2
2.4 内環を駆動した場合のギャップセンサー読み出し値を逆補正するアクチュエータ駆動量	3
2.4.1 z_0	4
2.4.2 z_x, x_y	4
3 まとめ	4

1 概要

シミュレーターとは異なり実際の望遠鏡では、アクチュエータを動かしたときのギャップセンサーの出力値の行列を定義ファイルから作成することは不可能であり、代わりにアクチュエータを動かしてギャップセンサーの値を読む操作を行う必要がある。このとき、主鏡セグメント同士の間ギャップセンサーではそのままそれぞれのセグメントにあるアクチュエータを駆動することで行列要素を埋めることが可能であるが、アクチュエータを設置しない内環と内周セグメント間のギャップセンサーについては、シミュレーターで内環に仮定している仮想アクチュエータを動かすことはできないためにこの部分の行列要素を何らかの方法で測定する必要がある。

可能性のある方法としては、内環の仮想アクチュエータを動かしたときに発生する内環・内周セグメント間ギャップセンサーの値を実現するような内周セグメントのアクチュエータ駆動量を求めて、それを利用して逆補正をかけることで測定するという方法が考えられる。

本バージョンでは、上述のような方法を利用してアクチュエータを動かすことで測定した行列を作成できるようにし、その行列を利用したシミュレーションが可能になるような機能を追加する。

2 内環の仮想アクチュエータ駆動量の内周セグメント駆動による逆補正

2.1 座標定義

まず、内環・内周セグメントについて図 1 のように座標・パラメータを定義する。図 1 左は内環をグローバル系 Z 軸 (光軸方向上) から見た表示で、 $a_1 \sim 3$ が仮想的なアクチュエータの位置、白丸がターゲットとなるギャップセンサーの位置を示す。点線で示された内環のアクチュエータを定義している円の半径を r_m とする。また、図 1 右は半径方向の断面を示し、水平線が内環、斜めがセグメントを示す。望遠鏡光軸から、 x_1 をギャップセンサー定義位置までの、 x_3 を内周

セグメント中心点までのグローバル系でZ軸に垂直な面内の距離、セグメント系でのギャップセンサー（白丸）の位置を $(y, z)^s = (x_2, d)$ とする。また、セグメント背面に垂直な軸（セグメント系Z軸）とグローバル系Z軸のなす角を θ 、ギャップセンサーの測定面とグローバル系Z軸のなす角を α とする。なお、ギャップセンサーの測定面は今のところ図1右と同じ平面内のみが（シミュレータや実際の作成時にも）想定されている。

これらにより、ギャップセンサーのグローバル系での位置はギャップセンサーの定義位置の半径 x_1 により、 $(x, y)^s = (x_1 \sin \phi, x_1 \cos \phi)$ とあらわされる。

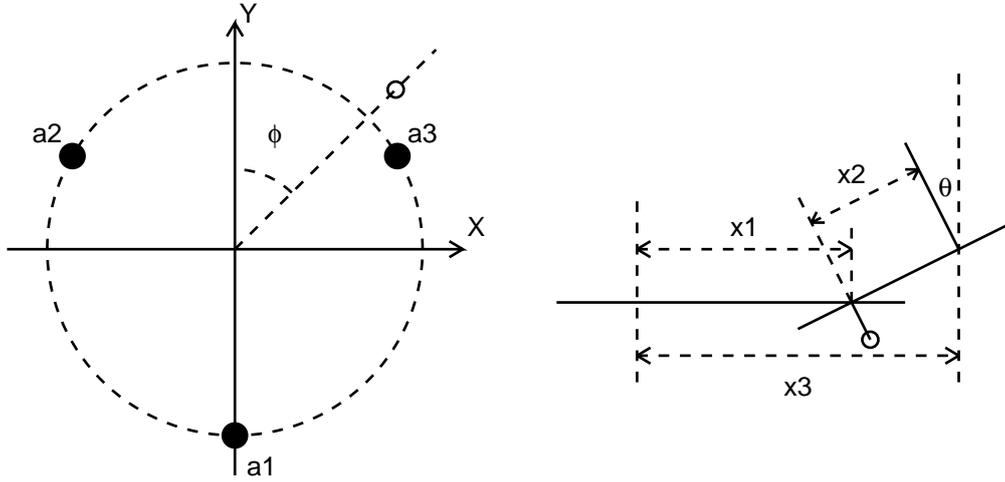


図 1: 内環周りの座標定義

2.2 内環の仮想アクチュエータを動かしたときのギャップセンサー値

内環の仮想アクチュエータを $\delta = (a_1, a_2, a_3)$ 動かしたときのギャップセンサー読み出し値を求める。

いま、 δ によって内環が移動する量を Zernike パラメータとして表記することを考える。グローバル系 Z 軸方向の並進量 z_0 、グローバル系 X 軸方向の傾き z_x 、グローバル系 Y 軸方向の傾き z_y とすると、それぞれ

$$a_1 = z_0 - z_y r_{in}, \quad a_2 = z_0 + \frac{1}{2} z_y r_{in} - \frac{\sqrt{3}}{2} z_x r_{in}, \quad a_3 = z_0 + \frac{1}{2} z_y r_{in} + \frac{\sqrt{3}}{2} z_x r_{in}$$

となる。

これを利用すると、ギャップセンサー対向板位置 $(x_1 \sin \phi, x_1 \cos \phi)$ における変化は $\delta_z^g = z_0 + z_x x_1 \sin \phi + z_y x_1 \cos \phi$ であり、対向板・センサー面のなすベクトルと測定方向を向いた単位ベクトルの内積というギャップセンサー測定値の定義から、読み出し値は

$$\delta_g = (z_0 + z_x x_1 \sin \phi + z_y x_1 \cos \phi) \cos \alpha$$

とあらわされる。

2.3 ある Zernike パラメータで内周セグメントのアクチュエータを動かしたときのギャップセンサー値

Zernike パラメータ $(z_0, z_x, z_y)^g$ を与えたときに、そのパラメータを示す位相差分布を作るようなアクチュエータの駆動量を求める操作はすでに実現されている。これを利用してアクチュエータを駆動した場合の、ギャップセンサーの読み出し値を求める。

導出は、Zernike パラメータ $(z_0, z_x, z_y)^g$ からアクチュエータ駆動量（もしくは各セグメントでのセグメント座標系での並進・傾きの量）に変換し、アクチュエータ駆動量とギャップセンサーのセグメント座標系上での位置 $(x, y)^s$ からセグメ

ント系での移動量 z^s を求める。アクチュエータはセグメントを傾けずに上下駆動する (もしくは、セグメントが駆動されてもギャップセンサーのセグメント系での位置 $(x, y)^s$ は変化しない) という定義から、この z^s はそのままギャップセンサーの対向板・センサー面のなすベクトルといえる。よって、これと測定方向を向いた単位ベクトルの内積を取ることによってギャップセンサーの測定値が得られる。

中心点が $(x_3 \sin \phi, x_3 \cos \phi)$ となる一つのセグメントについて、位相差分布 $(z_0, z_x, z_y)^g$ となるようなアクチュエータの駆動を行った場合のセグメント座標系でのセグメントの傾きは

$$(z_0, z_x, z_y)^s =$$

$$\left[\frac{\cos \theta - \sin^3 \theta (z_x^g \sin \phi + z_y^g \cos \phi)}{1 + \sin \theta \cos \theta (z_x^g \sin \phi + z_y^g \cos \phi)} (z_0^g + z_x x_3 \sin \phi + z_y x_3 \cos \phi), z_x^g \cos \phi - z_y^g \sin \phi, \frac{z_x^g \sin \phi - z_y^g \cos \phi}{1 + \sin \theta \cos \theta (z_x^g \sin \phi + z_y^g \cos \phi)} \right]^s$$

とあらわされる。これに対し、センサーヘッドの駆動量は

$$\delta_z^s = z_0^s + x^s z_x^s + y^s z_y^s$$

であり、このベクトルの方向はグローバル系で $(\sin \theta \sin \phi, \sin \theta \cos \phi, \cos \theta)^g$ である。そして、ギャップセンサー読み出し量は

$$\delta_s = \delta_z^s \cdot (\sin \alpha \sin \phi, \sin \alpha \cos \phi, \cos \alpha)$$

となることから

$$\delta_s = (z_0^s + x^s z_x^s + y^s z_y^s) \cos(\theta - \alpha)$$

である。

いま、簡単化のために、必ずギャップセンサーの定義位置について $x^s = 0$ である、つまりセグメント中心点と光軸中心がなす平面内 (グローバル系 Z 軸を含む平面) にギャップセンサーの定義位置が必ずくる、と仮定する。この仮定の下では $x^s = 0, y^s = -x_2$ となり

$$\delta_s = (z_0^s - x_2 z_y^s) \cos(\theta - \alpha)$$

である。ここで、 $z_0, z_x, z_y \ll 1$ であることから $\sin \theta \cos \theta (z_x^g \sin \phi + z_y^g \cos \phi) \ll 1$ となることを利用すると

$$\delta_s = (\cos \theta (z_0^g + z_x x_3 \sin \phi + z_y x_3 \cos \phi) - x_2 (z_x^g \sin \phi - z_y^g \cos \phi)) \cos(\theta - \alpha)$$

である。

2.4 内環を駆動した場合のギャップセンサー読み出し値を逆補正するアクチュエータ駆動量

ここまでで、あるグローバル系での Zernike パラメータを与えたときの、内環上の仮想アクチュエータの駆動量とギャップセンサー読み出し値および、セグメントの位相差をその Zernike パラメータとなるように駆動した場合のギャップセンサーの読み出し値が導出された。

これらに対し、ギャップセンサーの読み出し値が同じ値になるように Zernike パラメータを補正する定数を求めると、行いたい操作が実現できることになる。

いま、

$$\delta_g \sim (z_0 + z_x x_1 \sin \phi + z_y x_1 \cos \phi) \cos \alpha$$

$$\delta_s \sim (\cos \theta (z_0^g + z_x x_3 \sin \phi + z_y x_3 \cos \phi) - x_2 (z_x^g \sin \phi - z_y^g \cos \phi)) \cos(\theta - \alpha)$$

であり、座標系定義から $x_1 = x_3 - x_2 \cos \theta + d \sin \theta$ である。

2.4.1 z_0

δ_g の z_0 成分は $z_0 \cos \alpha$ 、 δ_s の z_0 成分は $z_0 \cos \theta \cos(\theta - \alpha)$ であることから、係数は

$$\frac{\delta_s}{\delta_g} \sim \frac{\cos \theta \cos(\theta - \alpha)}{\cos \alpha}$$

である。

2.4.2 z_x, x_y

$z_x \sin \phi$ と $z_y \cos \phi$ に対する係数は同じ式で表されており、 δ_g の $z_x \sin \phi$ 成分は $x_1 \cos \alpha \cdot z_x \sin \phi$ 、 δ_s の $z_x \sin \phi$ 成分は $(x_3 \cos \theta - x_2) \cos(\theta - \alpha) \cdot z_x \sin \phi$ である。よって係数は

$$\frac{\delta_s}{\delta_g} \sim \frac{(x_3 \cos \theta - x_2) \cos(\theta - \alpha)}{x_1 \cos \alpha} \sim \frac{(x_3 \cos \theta - x_2) \cos(\theta - \alpha)}{(x_3 - x_2 \cos \theta + d \sin \theta) \cos \alpha}$$

である。

3 まとめ

シミュレータにおけるアクチュエータ駆動量とギャップセンサー読み出し値の間の変換行列について、内環が関係しない行列要素はアクチュエータを一つずつ駆動しギャップセンサーを読み出すことにより測定することができる。内環が関係する行列要素、つまり内環と内周セグメント間のギャップセンサーについては、内環の仮想アクチュエータを駆動した場合の内環が形成する位相差分布 (内環はグローバル系 Z 軸に垂直に定義されているため内環の傾きに相当する) に対応する並進・回転の量に対して

$$\frac{\delta_s}{\delta_{g_0}} \sim \frac{\cos \theta \cos(\theta - \alpha)}{\cos \alpha}$$

$$\frac{\delta_s}{\delta_{g_{x,y}}} \sim \frac{(x_3 \cos \theta - x_2) \cos(\theta - \alpha)}{x_1 \cos \alpha} \sim \frac{(x_3 \cos \theta - x_2) \cos(\theta - \alpha)}{(x_3 - x_2 \cos \theta + d \sin \theta) \cos \alpha}$$

の係数を掛けた並進・回転量を求め、位相差分布がこの Zernike パラメータになるようなアクチュエータ駆動量に変換して逆補正をかけた状態でのギャップセンサー読み出し量を利用すればよいことが判明した。