

Abstract

NUMERICAL SIMULATION OF THE QUALITY OF VISION AROUND A TELESCOPE

Author: Joan Baiges Aznar
Tutor: Ramon Codina Rovira

Astronomical telescopes are devices which collect radiation from astronomical objects and put it in an image as sharp as possible. However, when trespassing the atmosphere, light beams are exposed to a series of processes which affect (negatively) the quality of the obtained image. Among these processes, the one that has the most appreciable effect is wavefront distortion.

Wavefront distortion can be quantified and therefore removed by means of adaptive optics systems, which modern telescope facilities include. It is convenient, when designing an adaptive optics system or even when choosing the emplacement and the external aerodynamics of the telescope facilities, to estimate the magnitude of wavefront distortion.

Quantities that allow us to quantify wavefront distortion (and the quality of the obtained images) are the air refractive index structure coefficient (C_n^2) distribution, the Fried parameter (r_0) and the Greenwood frequency (f_G). The refractive index structure coefficient (C_n^2) field can be deduced from the mean values of velocity, pressure and temperature fields and from turbulent diffusivity, which depends upon the turbulence of the air flow. On the other side, the Fried parameter (r_0) and the Greenwood frequency (f_G) can be obtained from integrating the refractive index structure coefficient (C_n^2) along a light beam, and also show some dependence on the wavelength of light beams.

This final year thesis of the civil engineering degree establishes a procedure to deduce the refractive index structure coefficient (C_n^2) field from velocity, pressure and temperature fields obtained from numerical simulation (Finite Element Method (FEM), Large-Eddy Simulation (LES)). This is achieved by means of the Smagorinsky model, which deduces turbulent diffusivity from the velocity deformation tensor of the filtered velocity field, the mesh size of the FEM domain and the turbulent Prandtl number (Pr). Once the velocity, pressure and temperature fields are known (and therefore the refractive index structure coefficient (C_n^2) can be computed) the path of light beams along the FEM domain is identified, and the quadratures needed to obtain the Fried parameter (r_0) and the Greenwood frequency (f_G) done. In this procedure, empirical data that allows us to estimate the refractive index structure coefficient (C_n^2) field outside the FEM domain is also used.

After testing the established procedure and putting it in practice with one real case we come to the following conclusions:

The established procedure allows us to correctly model the following phenomenon:

- Increasing the temperature gradient leads to an increase in the refractive index structure coefficient (C_n^2) and thus a diminishment of vision quality.
- The most troubling point, referred to vision quality, is that where the air flow comes off the telescope surface.
- Turbulent vortexes reduce vision quality.
- Values obtained for the refractive index structure coefficient (C_n^2) field coincide with those obtained from experimental data.

The established procedure shows the following lacks:

- The established procedure shows little sensitivity to the rise of turbulence due to velocity increase, although its influence is transmitted through the temperature field.
- The obtained refractive index structure coefficient (C_n^2) shows some dependence on the size of the used FEM mesh.

To sum up, the established procedure allows us to obtain an accurate approximation of the refractive index structure coefficient (C_n^2) field. However, one must be aware of its limitations when using it.

Resum

SIMULACIÓ DE LA QUALITAT DE LA VISIÓ AL VOLTANT D'UN TELESCOPI

Autor: Joan Baiges Aznar
Tutor: Ramon Codina Rovira

Els telescopis astronòmics recullen els raigs de llum procedents dels objectes celestis i els transformen en imatges el més nítides possible. No obstant, al travessar l'atmosfera, aquests raigs de llum pateixen tot un seguit de processos que empitjoren la qualitat de la imatge obtinguda. Un dels processos més rellevants és la distorsió del front d'ona.

La distorsió del front d'ona pot ésser mesurada i compensada amb els sistemes d'òptica adaptativa que s'incorporen a les instal·lacions dels telescopis. Tant per al dimensionament d'aquests sistemes com per a l'elecció de la ubicació de les instal·lacions o per al disseny de la forma exterior del telescopi és convenient estimar el valor absolut de la distorsió del front d'ona.

Els paràmetres que permeten quantificar la distorsió del front d'ona (i la qualitat de la visió) són la distribució del coeficient d'estructura de l'índex de refracció de l'aire (C_n^2), el paràmetre de Fried (r_0) i la freqüència de Greenwood (f_G). El camp del coeficient d'estructura de l'índex de refracció (C_n^2) es pot estimar a partir dels valors mitjans dels camps de velocitat de l'aire i la seva pressió i temperatura, i de la difusivitat turbulenta, que depèn del grau de turbulència del flux d'aire. Pel que fa al paràmetre de Fried (r_0) i la freqüència de Greenwood (f_G) es poden obtenir d'integrar el camp del coeficient d'estructura de l'índex de refracció (C_n^2) al llarg d'un raig de llum, i presenten també dependència de la longitud d'ona del raig de llum incident.

Aquesta tesina estableix un procediment que permet relacionar els camps de velocitat, pressió i temperatura obtinguts mitjançant simulació numèrica (Mètode dels elements finits (FEM), Large-Eddy Simulation (LES)) amb el camp del coeficient d'estructura de l'índex de refracció de l'aire (C_n^2). Aquesta relació es materialitza amb el model d'Smagorinsky, que estima la difusivitat turbulenta a partir del tensor velocitat de deformació del camp de velocitat filtrat, el tamany de malla del domini d'elements finits i el número de Prandtl turbulent (Pr). Un cop coneguts els camps de velocitat, pressió i temperatura (i de retruc el del coeficient d'estructura de l'índex de refracció (C_n^2)) s'identifica el recorregut del raig de llum al llarg del domini d'elements finits i es realitzen les quadratures pertinents per tal d'obtenir el paràmetre de Fried (r_0) i la freqüència de Greenwood (f_G). En aquest procés es fan servir també dades empíriques que permeten estimar el camp del coeficient d'estructura de l'índex de refracció (C_n^2) fora del domini d'elements finits.

Un cop implementat el procediment i després d'haver-lo aplicat a diversos casos test i a un cas real, es conclou:

El model implementat captura correctament els següents fenòmens:

- Un increment del gradient de temperatura comporta un major coeficient d'estructura de l'índex de refracció de l'aire (C_n^2) i per tant una disminució de la qualitat de la visió.
- El punt més conflictiu en quant a qualitat de la visió és aquell on el flux es desprèn de la superfície del telescopi.
- La presència de vòrtexos turbulents perjudica la qualitat de la visió.
- Els valors del camp del coeficient d'estructura de l'índex de refracció de l'aire (C_n^2) obtinguts s'adiuen amb els obtinguts de dades experimentals.

El model implementat presenta les següents mancances:

- El model implementat és poc sensible a l'increment de turbulència causat per l'increment de la velocitat, tot i que aquesta es captura a través del camp de temperatura.
- El camp del coeficient d'estructura de l'índex de refracció de l'aire (C_n^2) obtingut presenta una lleugera dependència del tamany de la malla d'elements finits emprada.

Es conclou que el model implementat proporciona una aproximació prou acurada del camp del coeficient d'estructura de l'índex de refracció de l'aire (C_n^2). No obstant, cal ser conscient de les seves limitacions a l'hora d'utilitzar-lo.