

Eine Computersteuerung und Nachführautomatik für Sonnentelkope

**Gerd Küveler, Fachhochschule Wiesbaden;
Eberhard Wiehr, Universitätssternwarte Göttingen;
Michele Bianda, Istituto Ricerche Solari Locarno (IRSOL)**

Abstract

An automatic guiding system for solar telescopes has been developed in joint cooperation of the Fachhochschule Wiesbaden and the solar observatories at Locarno/Swiss and on Tenerife island. Exact positions of the solar disc are taken by means of a two-dimensional intelligent sensor being illuminated by a reduced image of the telescope's primary focus. This allows to fix precisely (i.e. < 1 arcsec) any location on the solar disc on the spectrograph slit. The observer disposes all relevant functions for a comfortable computer control of the telescope, as e.g. the pointing of desired positions on the solar disc in various coordinat systems, the storage of observed positions for later use, and an automatic correction for the solar rotation. The software has been developed on a PC largely by means of the language LabVIEW.

Zusammenfassung

Eine Teleskopsteuerung für Sonnentelkope wurde in Zusammenarbeit der Fachhochschule Wiesbaden mit den Sonnenobservatorien in Locarno und auf Teneriffa entwickelt. Als Positionsgeber dient ein flächenhafter intelligenter Sensor, auf den ein stark verkleinertes, ausgespiegeltes Sonnenbild des Teleskop-Primärfokus projiziert wird. Mit dieser automatischen Steuerung kann jeder Ort auf der Sonnenscheibe exakt (< 1 Bogensekunde) auf dem Messspalt gehalten werden. Dem Beobachter stehen alle wichtigen Funktionen für eine komfortable Rechnersteuerung des Teleskops zur Verfügung, wie das Anfahren gewünschter Orte auf der Sonnenscheibe in verschiedenen Koordinatensystemen, das Speichern zum Wiederauffinden von zuvor beobachteten Positionen und eine automatische Rotationskorrektur. Die Software wurde auf einem PC weitgehend mit Hilfe der Programmiersprache LabVIEW entwickelt.

Motivation und Problemstellung

Klassisch aufgestellte astronomische Teleskope werden zur Kompensation der Erdrotation mit 15 Bogensekunden/Sekunde nach Westen um eine Achse, die parallel zur Erdachse ausgerichtet ist, nachgeführt. Eine automatische Korrektur von Ungenauigkeiten bei solcher Nachführung, hier speziell bei Sonnentelkopen, ist aus verschiedenen Gründen sehr wichtig: So ändert sich die Deklination (Nord-Süd-Koordinate) der Sonne während der Beobachtungszeit beträchtlich, besonders um den Frühlings- und Herbstpunkt mit bis zu einer Bogensekunde pro Minute. Dies entspricht dem Jahreszeiteffekt, der die Sonne im Sommer hoch und im Winter tief erscheinen lässt. Außerdem lässt die Lichtbeugung durch die Atmosphäre (Refraktion) einen Himmelskörper stets höher am Himmel erscheinen, als dies bei einem gradlinigen Lichtstrahl der Fall wäre. Dieser Effekt ist umso größer, je horizontnäher der Himmelskörper steht. Beginnt man in den frühen Morgenstunden mit der Beobachtung der Sonne, so nimmt der Refraktionseffekt bis zum Mittag ab, danach wieder zu. Andere Fehlerquellen haben ihre Ursache in der begrenzten Genauigkeit der Polachsen-Justierung (Aufstellungsfehler) und des Stundenantriebs zur Kompensation der Erdrotation. Dieser wird in aller Regel mit einem großen Rad mit 360 Zähnen (eins pro Grad) realisiert, deren Steigungen individuell schwanken. Sonnentelkope mit beweglichen Tubus unterliegen zusätzlich einer tageszeitlich unterschiedlichen Durchbiegung, die ebenfalls zu Nachführfehlern führt. Neuere Teleskope werden absolut nachgeführt, d.h. alle bekannten Effekte werden berechnet, was jedoch begrenzt ist durch die Genauigkeit, mit der die Korrekturen bekannt sind (etwa Tubusdurchbiegung oder Refraktion).

Herkömmliche Nachführautomaten für Sonnentelkope vom Gregory-Coude-Typ wurden bisher mit Hilfe eines separaten Leitrohrs realisiert. Der entscheidende Nachteil liegt in den unterschiedlichen Durchbiegungen von Haupt- und Leitrohr im Tagesverlauf. Dadurch kommt es zu erheblichen Nachführfehlern im Verlauf längerer Beobachtungen. Diese sind vermeidbar, wenn das Primärbild des Hauptteleskops für die Nachführregelung verwendet wird. Selbst kleine mechanische Instabilitäten des Hauptspiegels lassen sich dann korrigieren. Bei dem erwähnten Teleskoptyp wird nur ein kleiner Teil des eingefangenen Lichts - 1% um die optische Achse - zur Beobachtung verwendet. Der Rest wird über eine verspiegelte Lochblende durch ein Fenster im evakuierten Tubus nach außen geführt. Dieses "Abfallbild" bietet den Ansatz für die Lösung des Problems. Projiziert man nämlich dieses Bild auf einen photoelektrischen Positionssensor, so lassen sich Abweichungen von der Sollposition ermitteln und über eine Regelung durch Impulse auf die Nachführmotoren des Teleskops korrigieren. Angestrebt wird eine Genauigkeit von 1 Bogensekunde, das ist etwa ein zweitausendstel des scheinbaren Sonnendurchmessers am Himmel. Die Aufgabenstellung bestand darin, für zwei Sonnentelkope in Locarno am IRSOL [1] und auf Teneriffa („Göttinger“ Gregory-Coude-Teleskop am Observatorio del Teide) [2], die nahezu baugleich sind, eine neue, auf dem obigen Prinzip beruhende, Nachführregelung zu erstellen. Außerdem sollte eine Kompletsteuerung aller Funktionen der Teleskope vom PC aus möglich sein.

Realisierungskonzept

Basis der hier beschriebenen Teleskopsteuerung und Nachführregelung ist ein fotoelektrischer, digitaler Positionssensor von 2 cm x 2 cm Fläche der Firma Heimann, Wiesbaden [3]. Dieser ist horizontal wie vertikal in jeweils 64 Streifen unterteilt (Bild 1). Jeder Streifen liefert ein Intensitätssignal, das bereits intern gewandelt und somit digital verfügbar ist. Auf diesen Flächensensor wird ein verkleinertes, 7 mm durchmessendes Sonnenbild des Teleskop-Hauptspiegels projiziert. Das Originalsignal (10 bit Auflösung) ist Grundlage zur Ermittlung der exakten Position des Sonnenprofils in beiden Richtungen. Zur schnellen Positionsberechnung verwenden wir eine spezielle Fourier-Methode, die auf dem Shift-Theorem beruht. Dazu müssen lediglich die ersten beiden Fourier-Koeffizienten a_1 und b_1 berechnet, sowie eine Phasenkorrektur angebracht werden. Eine Beschreibung dieser Methode, die erheblich genauer als die Schwerpunktmethod ist, sowie deren Herleitung findet man unter [4]. Dort wird auch näher auf die astrophysikalischen und optischen Aspekte (Verkleinerung, Abschwächung und Abbildung der Sonne auf den Sensor) des Projekts eingegangen. Die notwendigen Rechenoperationen werden auf dem 16-bit-Mikrocontroller des intelligenten Sensors durchgeführt. Die im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelte Software (in C) für den Sensor-Prozessor ermöglicht bei Mittelung über 100 Positions-Einzelmessungen (Dauer ca. 0,1 s) eine Genauigkeit von etwa 0,3 μm . Nur noch das Endergebnis, die X- und Y-Position der Sonnenscheibe auf dem Sensor sowie die Intensität der Sonne (maximal beleuchteter Streifen in 10-bit-Counts), wird über die serielle RS232-Schnittstelle mit 57000 Baud zur weiteren Verarbeitung an einen PC übertragen.

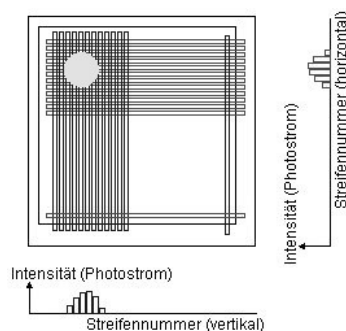


Bild 1: Prinzip des Streifensensors zur berührungslosen zweidimensionalen Positionsbestimmung.

Bezüglich des Betriebssystems fiel die Wahl wegen der hohen Verfügbarkeit von preiswerter Software, leichter Vernetzbarkeit und dem angenommenen hohen Vertrauheitsgrad bei den potentiellen Benutzern auf Windows NT von Microsoft. Als Programmierool wählten wir LabVIEW von National Instruments. LabVIEW erlaubt eine schnelle Entwicklung von sehr funktionellen, geräteähnlichen Benutzeroberflächen. Außerdem sind sicher funktionierende Treiber für die Standardschnittstellen und eine Vielzahl von Einschubkarten verfügbar. Eine Schwäche betrifft die Entwicklung stark algorithmisch geprägter Programmmodule, wie sie im vorliegenden Fall mehrfach erforderlich waren, v.a. bei der Be- und Umrechnung der Sonnenkoordinaten. Zwar wird die Entwicklung solcher nicht-grafischer Module mit Hilfe eines Formeleditors unterstützt, die entstehenden Programme sind aber selbst in der kompilierten Version recht langsam. Hier bietet sich die Einbindung von C- Unterprogrammen an. Diese kann "fest" oder in Form von Laufzeitbibliotheken (DLL) geschehen. Wir entschieden uns mit gutem Erfolg für C++-DLL, die mit dem Borland C++-Builder erstellt wurden.

Die Teleskopsteuerung

Von dem so erstellten Programmsystem PIG (Primary Image Guider) wurde eine hohe Funktionsvielfalt erwartet. Ein Startmenu stellt die Grundfunktionen zur Auswahl. Hinter jeder Funktion verbirgt sich ein grafischer Bildschirm zu deren Nutzung. Dieser enthält sämtliche Eingabe- und Anzeigeelemente. Nur für selten benutzte, komplexe Unterfunktionen öffnet sich ein zusätzliches Fenster, um den Standardbildschirm zu entlasten.

SETUP erlaubt die Eingabe zahlreicher Programmparameter, die die Benutzung flexibel und an unterschiedlichen Teleskopen mit unterschiedlichem geografischen Standort ohne Neukompilierung möglich macht.

ADJUST ist eine optische und akustische Justierhilfe bei der Installation und Neuinstallation (nach Wartungsarbeiten) des Positionssensors.

CALIBRATE dient der Einmessung der Sonne in das Sensor-Koordinatensystem. Dies geschieht einmal täglich vor Beginn der Beobachtung, weil die Sonne ihren scheinbaren Durchmesser ändert; zu Zeiten geringer Änderung (etwa nahe dem Aphel am 4. Juli) bleibt der Sensor über mehrere Tage genau.

REMOTE erlaubt die Fernsteuerung des Programms mittels eines zentralen Rechners, der wahlweise seriell oder über TCP/IP angebunden ist. Die interaktive Steuerung per Maus und Tasten ist dann gesperrt.

GUIDE&SCAN (Bild 2) ist die Standard-Arbeitsfunktion, deren wichtigsten Aufgaben sind:

- 1) Handtaster zur manuellen Aktivierung der Teleskopmotoren (Bild 2, Mitte)
- 2) Anzeige des aktuellen Beobachtungsorts auf der Sonne in Bogensekunden relativ zur Sonnenmitte und in heliographischer Länge und Breite (B, L), numerisch und grafisch
- 3) Wahl eines Beobachtungsorts, also Festlegung eines neuen Sollwerts für die Nachführregelung. Dazu stehen verschiedene Methoden zur Wahl:
 - a) numerische Eingabe der Koordinaten (in Bogensekunden oder B, L)
 - b) Übernahme der Cursorposition auf der aktuell berechneten Sonnenkarte (Bild 2, oben links)
 - c) Anfahren eines Ortes auf der Sonne (z.B. Sonnenfleck) mit dem üblichen Handtaster und Übernahme des Ortes als Sollwert
 - d) Übernahme einer Position aus einer Tabelle, die bis zu 200 zuvor abgespeicherte Positionen enthalten kann (Bild 2, unten links). Beliebige viele Tabellen sind speicher- und wieder ladbar.
- 4) Zusätzlich ist die Position der Sonnenmitte (Mitte der scheinbaren Sonnenscheibe) permanent gespeichert und kann per Buttonklick zum Sollwert gemacht werden. Ein Sollwert kann wahlweise in der Positions-Tabelle abgespeichert und/oder von der Nachführregelung "festgehalten" werden (Button "Guide").
- 5) Möchte der Beobachter ein bestimmtes Objekt auf der Sonne (Fleck, Fackel, Flare, Protuberanz, ...) verfolgen und nicht eine bestimmte starre Koordinate festhalten, so kann er

"Follow Solar Rotation" aktivieren. Es erfolgt dann eine kontinuierliche Anpassung des Sollwerts an die Sonnenrotation. Zusätzlich lassen sich alle Koordinaten, die in der Positionstabelle gespeichert sind, bezüglich der Sonnenrotation korrigieren.

- 6) Eine abschaltbare Wolken- und Mindestintensitätserkennung unterbricht ggf. die Positionsregelung, und verhindert so ungewollte "Ausflüge" des Teleskops in Richtung Endschalter. Die wichtigsten aktuellen Angaben über die Sonne und über Programmparameter, z.B. Anzahl der Positionsmittellungen pro Korrektur, werden permanent angezeigt.

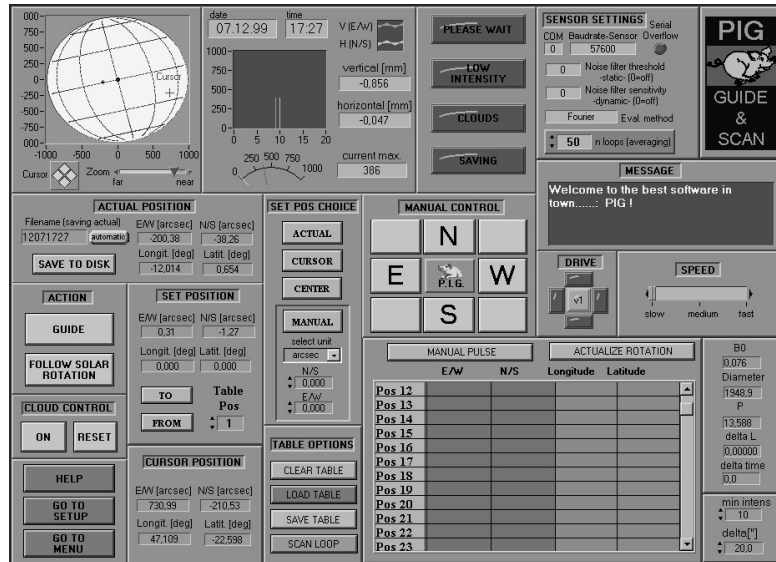


Bild 2: Benutzeroberfläche der PIG-Hauptfunktion GUIDE&SCAN

Die Vielzahl der Bedien- und Anzeigemöglichkeiten dieser "alles-auf-einen-Blick" – Oberfläche erscheint zunächst verwirrend. Die Zusammenfassung verwandter Funktionen zu gerahmten Blöcken und die farbliche Abhebung erleichtert jedoch die Übersicht entscheidend. Nach erstem Einsatz in Locarno und auf Teneriffa wurde dies von mehreren Benutzern bestätigt.

Das PIG-Handbuch als pdf-Datei sowie die komplette Benutzeroberfläche mit Kurzbeschreibung findet man im Internet unter <http://r5.mnd.fh-wiesbaden.de/pig>.

Erfahrungen mit der Teleskopsteuerung

Mit dem oben beschriebenen Positionssensor lassen sich alle oben beschriebenen Nachführfehler hinreichend genau erkennen. Per Software wird die Regelabweichung durch Befehle an die Achsenmotore korrigiert. Damit hat der beobachtende Astronom die Möglichkeit, ein Objekt, z.B. einen Sonnenfleck, stundenlang exakt zu verfolgen. Diese Nachführregelung ist das Kernstück einer kompletten Teleskopsteuerung.

Ein eindrucksvoller Test wurde am 15. August 1997 am IRSOL durchgeführt. Hierzu wurde über zwei Stunden bei eingeschalteter Teleskop-Nachführung (15"/s) jedoch ohne Korrekturregelung durch den Sensor die Positionssignale aufgezeichnet (Bild 3). Man erkennt deutlich das Anwachsen der Deklination (obere Messkurve), das exakt dem erwarteten Wert für einem 15. August entspricht. Die Stundenachse (=Nachführachse, untere Messkurve) zeigt die 4-Minuten-Periode des 360-Zähne-Kranzes mit einer Amplitude von 3 - 4". Die rms-Genauigkeit dieser Positionssignale liegt unter einer Bogensekunde bei einem scheinbaren Sonnendurchmesser von rund 2000".

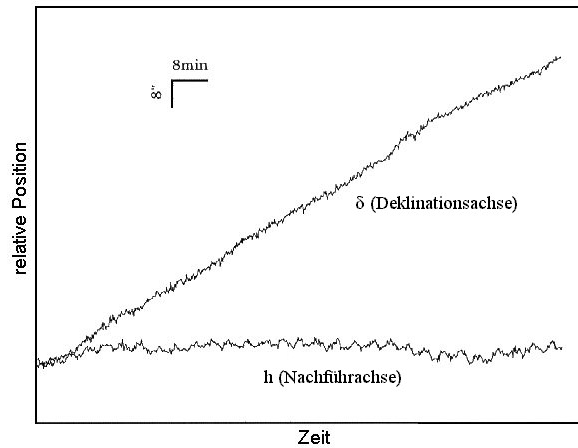


Bild 3: 2-Stunden-Registrierung mit Stunden-Nachführung (h-Achse) aber ohne Regelung der Position in beiden Achsen (h und δ) etwa in der Mitte der Sonnenscheibe. Deutlich erkennbar die Süddrift der Sonne um $96''$ (δ -Achse) sowie periodische Schwingungen der h-Position (Nachführachse) aufgrund eines Zahnkranzes aus 360 Zähnen.

Ein Nachteil des Systems besteht in seiner Ungenauigkeit bezüglich absoluter Koordinaten auf der Sonne. Der Grund liegt in der unsauberen Abbildung des verkleinerten Sonnenbilds auf den Sensor, die jedoch konstruktionsbedingt ist. Es entsteht eine deformierte „Sonne“. Denkbare Lösungsansätze wären eine relativ aufwendige mathematische Korrektur oder der Ersatz des Sensors durch eine der inzwischen auf dem Markt befindlichen „intelligenten“ CCD-Kameras, die mit „on-board“-Bildverarbeitungssoftware ausgestattet sind. Aus der Kontur des deformierten Sonnenrands ließe sich exakt der Schwerpunkt der Scheibe bestimmen. Unsere Software ist so ausgelegt, dass PC-seitig keine Änderungen notwendig wären.

Für wertvolle Beiträge zu diesem Projekt danken wir den Herren Dr. A. D. Wittmann und D. König, Univ. Sternwarte Göttingen, J. Rinn und M. Schmelz, FH Wiesbaden sowie Dr. E. Weißhaar, NUMATEC GmbH und Dr. A. Epple, MPI f. Aeronomie Katlenburg-Lindau.

Literatur

- [1] M. Bianda, E. Wiehr: Das Sonnenobservatorium im Tessin, *Sterne & Weltraum* 33, p. 108 ff (1994)
- [2] E.H. Schröter, E. Wiehr.: Die deutschen Sonnenteleskope auf Teneriffa, *Sterne & Weltraum* 24, p. 319 ff (1985)
- [3] W. Blum, H. Kroha, P. Widmann: 1995, 7th European Symposium on Semiconductor Detectors, Schloa Elmau, Germany
- [4] G. Küveler, E. Wiehr, D. Thomas, M. Harzer, M. Bianda, P. Sütterlin, A. Epple, E. Weisshaar: Automatic Guiding of the Primary Image of Solar Gregory Telescopes. *Solar Physics* 182, p. 247 ff (1998)