

# Σφάλματα στην Ακρίβεια Σκόπευσης Τηλεσκοπίων

Άγγελος Κιοσκλής  
Φεβρουάριος 2006



## ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

- \* Ένα σύστημα τηλεσκοπίου & βάσης παρουσιάζει σφάλματα στην ακρίβεια σκόπευσης όταν σε ορισμένες περιπτώσεις σκοπεύει άλλο σημείο από αυτό που θα έπρεπε
- \* Ακόμη και τα πιο ακριβή συστήματα βάσεων & τηλεσκοπίων παρουσιάζουν μικρές ατέλειες, με αποτέλεσμα μειωμένη ακρίβεια σκόπευσης, 'ολίσθηση' των αντικειμένων στις μακρές φωτογραφικές εκθέσεις και αδυναμία σκόπευσης ορισμένων περιοχών του ουρανού
- \* Ήδη από την δεκαετία του 1990, τα ηλεκτρονικά βοηθήματα των τηλεσκοπίων μαζικής παραγωγής επιτρέπουν μεγάλη ακρίβεια σκόπευσης, της τάξης των λίγων πρώτων λεπτών της μοίρας
- \* Τα περισσότερα σφάλματα σκόπευσης μπορούν να διορθωθούν ή να περιοριστούν σημαντικά, επιτρέποντας πολύ ικανοποιητική ακρίβεια σκόπευσης με την χρήση σύγχρονου software (πχ T-Point, TPAS) τα οποία χρησιμοποιούν στατιστικούς αλγόριθμους για την διάγνωση, ανάλυση και αντιστάθμιση των σφαλμάτων σκόπευσης



# ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ & ΑΤΕΛΕΙΩΝ

Το ζητούμενο είναι να απομονωθεί κάθε ένα από τα διάφορα σφάλματα στην ακρίβεια σκόπευσης και να αντισταθμισθεί η επίδρασή του.

Ο διαχωρισμός των επιμέρους προβλημάτων και ατελειών του τηλεσκοπίου & βάσης που συνθέτουν το συνολικό σφάλμα σκόπευσης δεν είναι εύκολος, διότι συνήθως τα διάφορα σφάλματα:

- \* αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, έχοντας πολλαπλασιαστική ισχύ
- \* εμφανίζονται μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες (πχ σε ορισμένες περιοχές του ουρανού)
- \* παρουσιάζουν επικάλυψη ή ταύτιση ως προς την επίδραση

Διαδικασία Ανάλυσης & Αντιστάθμισης Επιμέρους Σφαλμάτων:

- (1) διάγνωση του συνολικού σφάλματος στην ακρίβεια σκόπευσης
- (2) προσωρινή αντιστάθμιση των πλέον επιβαρυντικών προβλημάτων
- (3) επανάληψη της διαδικασίας μερικές φορές ώστε να διαπιστωθεί ποιά σφάλματα εμφανίζουν 'σταθερότητα' προκειμένου να ενταχθούν μόνιμα στο μαθηματικό μοντέλο διόρθωσης του συστήματος



# ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ

Τα Σφάλματα Σκόπευσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- \* Τύπος 1: Εσφαλμένες Ρυθμίσεις (settings) & Ανθρώπινα Λάθη
- \* Τύπος 2: Κατασκευαστικές Ατέλειες της βάσης & του τηλεσκοπίου

*Σφάλματα Τύπου 1*: Είναι τα συνηθέστερα Λάθη στην ρύθμιση της ώρας, των γεωγραφικών συντεταγμένων, της πολικής ευθυγράμμισης και των τεχνικών χαρακτηριστικών των κωδικοποιητών (encoders), εσφαλμένη γεωμετρική τοποθέτηση των encoders (εμφανίζουν 'τζόγο' ή είναι τοποθετημένα σε έκκεντρη θέση), χρονική 'υστέρηση' στην ανίχνευση της κίνησης από τα encoders, κλπ

*Σφάλματα Τύπου 2*: Διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες:

Τύπος 2α: Τυχαία μη επαναλαμβανόμενα σφάλματα, όπως μετατόπιση οπτικών στοιχείων, απόκλιση οπτικού & μηχανικού άξονα, μηχανική στρέβλωση οπτικού σωλήνα / βάσης λόγω βαρύτητας

Τύπος 2β: Συστηματικά (περιοδικά & μή-περιοδικά) σφάλματα, όπως γεωμετρικές ατέλειες & έλλειψη ορθογωνιότητας μηχανικών αξόνων & επιφανειών τριβής, ατελής ζυγοστάθμιση οπτικού σωλήνα κλπ)



## ΤΥΠΟΙ ΒΑΣΕΩΝ & ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Οι ισημερινές βάσεις (German equatorial mount) & οι βάσεις 'φουρκέτα με ισημερινή σφήνα' (fork mount & equatorial wedge) εμφανίζουν τον μεγαλύτερο αριθμό *ανιχνεύσιμων* σφαλμάτων, και μάλιστα πολλές από αυτές μπορούν να αναλυθούν μία φορά και να αντισταθμίζονται πλέον μονίμως από το software. Για τις μόνιμα τοποθετημένες ισημερινές βάσεις & φουρκέτες με σφήνα πάνω σε σταθερή κολώνα οι μόνιμα αποθηκευμένες διορθώσεις στο σύστημα μπορούν να είναι ακόμη περισσότερες έναντι παρόμοιων, αλλά μετακινούμενων βάσεων.

Οι υποαζιμουθιακές βάσεις (όπως των Dobsonian), οι ισημερινές πλατφόρμες (equatorial platforms) και οι χονδροειδώς ευθυγραμμισμένες ισημερινές βάσεις ή φουρκέτες με σφήνα εμφανίζουν μικρότερο αριθμό ανιχνεύσιμων σφαλμάτων, αλλά τα περισσότερα από αυτά τα σφάλματα μπορούν να αντισταθμιστούν με μόνιμο τρόπο από το software μετά από την αρχική ανάλυση, δίνοντας μονίμως υψηλή ακρίβεια σκόπευσης.



# ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ -σελ 1

Για την πλήρη ανάλυση των σφαλμάτων & ατελειών ενός συστήματος τηλεσκοπίου & βάσης απαιτούνται πρόσθετες σκοπεύσεις αστέρων, μετά την αρχική ευθυγράμμιση του ουράνιου θόλου, με 1 - 2 αστέρια.

Τα περισσότερα σφάλματα μπορούν να αντιμετωπισθούν με μόνιμο τρόπο κάνοντας αναλυτική διάγνωση μία μόνο φορά, έτσι ώστε τελικά σε κάθε νυχτερινή παρατήρηση να χρειάζεται σκόπευση λίγων μόνο πρόσθετων αστέρων για διόρθωση των υπολοίπων σφαλμάτων.

## Σφάλματα & Ελάχιστες Απαιτήσεις Πρόσθετων Σκοπεύσεων Αστέρων

**1.** Εύρεση της πραγματικής αρχής της μέτρησης (σημείο 0) της Απόκλισης / Ύψωσης από τα encoders: **2 έως 4 αστέρια**  
*[Αυτή η διόρθωση επιφέρει την μεγαλύτερη βελτίωση στην ακρίβεια σκόπευσης από κάθε άλλη επιμέρους διόρθωση]*

**2.** Μη ευθυγράμμιση της ισημερινής βάσης με τον πραγματικό άξονα περιστροφής της Γής: **4 αστέρια**



## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ -σελ 2

3. Μη ορθογωνιότητα μεταξύ των μηχανικών αξόνων της Απόκλισης / Ύψωσης και της Ορθής Αναφοράς / Αζιμουθίου: **5 έως 6 αστέρια**

4. Μη ορθογωνιότητα μεταξύ του οπτικού άξονα και του άξονα Ορθής Αναφοράς / Αζιμουθίου: **6 έως 10 αστέρια**

5. Συστηματικό περιοδικό μηχανικό σφάλμα ανά περιστροφή  $360^\circ$  (διαιρούμενο σε δύο επιμέρους σφάλματα: ημίτονου και συνημίτονου της γωνίας) λόγω της έκκεντρης τοποθέτησης των encoders ή της ελλειπτικότητας των αξόνων / επιφανειών τριβής ως προς την Ύψωση ή / και την Ορθή Αναφορά (αναλόγως του τύπου βάσης), αλλά και την μηχανική στρέβλωσή τους λόγω βαρύτητας: **10 έως 30 αστέρια**

6. Μηχανική στρέβλωση λόγω βαρύτητας του οπτικού σωλήνα, του άξονα της Απόκλισης σε ισημερινή βάση, και των βραχιόνων της φουρκέτας: **30 έως 100 αστέρια**

*[Στην πράξη, για την αποτελεσματικότερη ανάλυση των προβλημάτων χρειάζονται αρκετά περισσότερα τυχαία επιλεγμένα αστέρια]*



# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΜΕ T-POINT

ΠΡΙΝ...

... ΚΑΙ ΜΕΤΑ

**Fit Data (Before)**

Sky RMS = 199.92    PSD = 204.27

Terms	Correction (arc secs.)
<input type="checkbox"/> (IH) Index Error HA	
<input type="checkbox"/> (ID) Index Error Dec	
<input type="checkbox"/> (NP) Non-perp. (HA,Dec)	
<input type="checkbox"/> (CH) Non-perp. (Dec,DTA)	
<input type="checkbox"/> (ME) Polar axis elevation	
<input type="checkbox"/> (MA) Polar axis East/West	

Paramount GT-1000S

**Fit Data (After)**

Sky RMS = 12.38    PSD = 13.33

Terms	Correction (arc secs.)
<input checked="" type="checkbox"/> (IH) Index Error HA	-244.89
<input checked="" type="checkbox"/> (ID) Index Error Dec	1.46
<input checked="" type="checkbox"/> (NP) Non-perp. (HA,Dec)	-98.29
<input checked="" type="checkbox"/> (CH) Non-perp. (Dec,DTA)	205.56
<input checked="" type="checkbox"/> (ME) Polar axis elevation	-15.35
<input checked="" type="checkbox"/> (MA) Polar axis East/West	-8.42
<input type="checkbox"/> Fork flexure	
<input checked="" type="checkbox"/> Tube flexure	-17.12

None    Equatorial

More Terms...    13 terms in use.

Fit    Fit Information...

Graph: Scatter Diagram

User-Defined Graph:  Use    Setup...

Paramount GT-1000S



## ΑΛΛΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

- \* Το software αναλύει τα σφάλματα σκόπευσης και προτείνει τις απαραίτητες διορθώσεις. Ο χρήστης αποφασίζει εάν θα εντάξει αυτά τα στοιχεία στο μαθηματικό μοντέλο διόρθωσης της σκόπευσης.
- \* Το software μπορεί να υποδείξει τις ακριβείς διορθώσεις για τέλεια πολική ευθυγράμμιση ταχύτερα από την κλασσική μέθοδο με 'ολίσθηση' του ίχνους ενός αστεριού (drift alignment)
- \* Για την σωστή διάγνωση των σφαλμάτων απαιτείται σκόπευση με υψηλή ακρίβεια, δηλαδή με προσοφθάλμιο φακό με σταυρόνημα ή έστω με κανονικό προσοφθάλμιο φακό υψηλής μεγέθυνσης
- \* Η επιλογή των αστέρων σκόπευσης για την ανάλυση των σφαλμάτων έχει μεγάλη σημασία, καθώς πρέπει να είναι σχετικά ισοκατανεμημένα στον ουράνιο θόλο ως προς την Απόκλιση & την Ορθή Αναφορά
- \* Ακόμη και η ευθυγράμμιση των οπτικών (collimation) μεταβάλλει τα σφάλματα στην ακρίβεια σκόπευσης

