

Návrh řídicího systému pro teleskop EST a kalibrace jeho souřadnicového systému

Miroslav Klvaňa, *Astronomický ústav Akademie věd České republiky, v.v.i. observatoř Ondřejov, Česká republika, mklvana @asu.cas.cz*

Michal Humpula, *student University Karlovy v Praze, Praha, Česká republika, ahmul @matfyz.cz*

Michal Sobotka, *Astronomický ústav Akademie věd České republiky, observatoř Ondřejov, Česká republika, msobotka @asu.cas.cz*

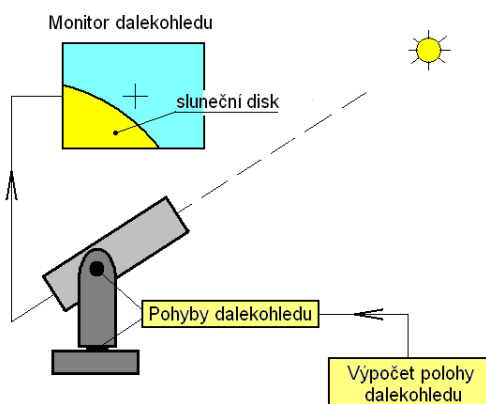
Abstrakt:

V současné době byly zahájeny práce na projektu teleskopu EST. Součástí teleskopu bude víceúčelový celodiskový sluneční dalekohled, jehož návrhem se v poslední době zabýváme. Analyzujeme možnosti začlenění celodiskového dalekohledu do řídicího systému teleskopu EST a způsob použití dalekohledu při justáži teleskopu a ke kontrole přesnosti řídicího systému během dlouhodobého provozu.

ÚVOD

Velké sluneční dalekohledy jsou v současné době většinou řízeny podle efemerid Slunce. Veškeré potřebné výpočty provádí počítač, který kromě výpočtu efemerid pro aktuální čas provádí korekce nepřesnosti nastavení obou os a korekce deformací dalekohledu. Tuto metodu používá také 1,5 m sluneční dalekohled GREGOR na Kanárských ostrovech.

Během montáže a následující justáže dalekohledu je třeba změřit chybové odchylky dalekohledu od správné polohy, způsobené deformací konstrukce a dalšími vlivy. Jejich korekci můžeme dosáhnout vysoké přesnosti nastavení polohy dalekohledu.



Obr.1: Princip pozičního řídicího systému dalekohledu.

Toto původní nastavení může být během dlouhodobého provozu narušeno namáháním konstrukce povětrnostními vlivy, opotřebením mechanických uzlů a

mechanickou deformací komponent dalekohledu. Zvláště u velkých dalekohledů s vysokými požadavky na přesnost nastavení polohy je potřeba pravidelně testovat přesnost jejich naváděcího systému.

Korekce chybových odchylek je součástí programového vybavení konkrétního řídicího systému dalekohledu. Předmětem této práce je návrh vhodného řídicího systému teleskopu, umožňujícího měření chybových odchylek teleskopu a jejich aktualizaci.

1. ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY DALEKOHLEDŮ

Řídicí systém dalekohledu umožňuje manipulaci s dalekohledem a jeho přesné nastavení na zadanou pozici. Existují dva základní principy řízení slunečních dalekohledů, lišící se principem sledování pohybu Slunce po obloze. Jsou to poziční řídicí systém a pointační řídicí systém.

1.1. Poziční řídicí systém

Nastavení polohy dalekohledu vychází z přesných výpočtů požadované polohy optické osy dalekohledu pro daný časový okamžik podle efemerid Slunce. Pro zvýšení přesnosti jsou prováděny korekce na optické vlastnosti zemské atmosféry a mechanické vlastnosti dalekohledu. Některé z těchto vlastností je možno kvantifikovat teoreticky, jiné určujeme experimentálně. Vypočtená poloha je pak nastavena podle údajů snímačů polohy montáže dalekohledu (obr.1).

Předností tohoto způsobu řízení dalekohledu je nezávislost na oblačnosti. Může být použit jak u dalekohledů, zobrazujících celý disk, tak i u dalekohledů s menším zorným polem. Jsou zde však

vysoké nároky na řídicí software. Mezi hlavní nedostatky pozičního řídicího systému patří nutnost aktualizace stavu mechanických vlastností teleskopu a s tím spojená potřeba aktualizace řídicího software. Tento systém není schopen reagovat na náhlé změny polohy optické osy dalekohledu, způsobené vnějšími vlivy, anomální refrakcí a automaticky provádět jejich korekci.

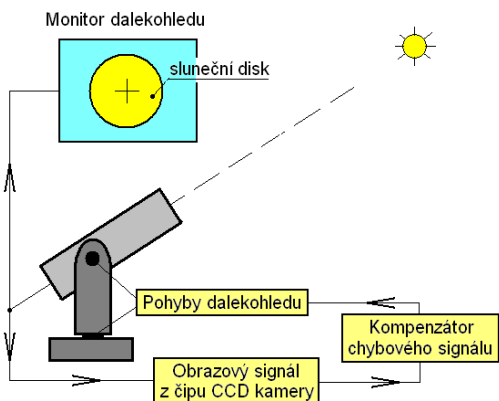
1.2. Pointační řídicí systém

Pointační řídicí systém odvozuje polohu dalekohledu od aktuální polohy slunečního disku na obloze. Dalekohledem promítáme obraz celého slunečního disku na čip CCD kamery a vyhodnocujeme jeho polohu. Výchyly obrazu slunečního disku z referenční polohy na čipu jsou kompenzovány pohybem montáže řízeného dalekohledu.

Podle vlastností referenční polohy, v nichž je pointací obraz disku na čipu udržován, rozlišujeme dva podsystemy pointačního řídicího systému. Referenční poloha může být buď stabilní (metoda stabilní polohy disku) nebo pohyblivá (metoda pohyblivého disku).

1.2.1. Metoda stabilní polohy disku

Výchyly obrazu slunečního disku z referenční polohy na čipu jsou kompenzovány pohybem montáže řízeného dalekohledu. Referenční poloha obrazu slunečního disku na čipu CCD kamery se nemění a optická osa řízeného dalekohledu vůči slunečnímu disku je stabilizována (např. směřuje na jeho střed).



Obr.2: Princip pointačního řídicího systému dalekohledu v režimu stabilní polohy disku. Poloha obrazu Slunce na monitoru se nemění.

Výhodou metody je, že na CCD čipu zobrazujeme pouze takové okolí slunečního disku, které má být dalekohledu dostupné, tzn. můžeme použít maximální průměr slunečního disku, což zvyšuje rozlišovací schopnost dalekohledu pro daný čip (obr.2).

Nevýhodou metody je, že omezuje dostupnost objektů, které se již nezobrazí na CCD čipu. Při začlenění do pointačního řídicího systému hlavního dalekohledu musí být řízený dalekohled vybaven vlastní kvalitní montáží se snímači polohy v obou osách.

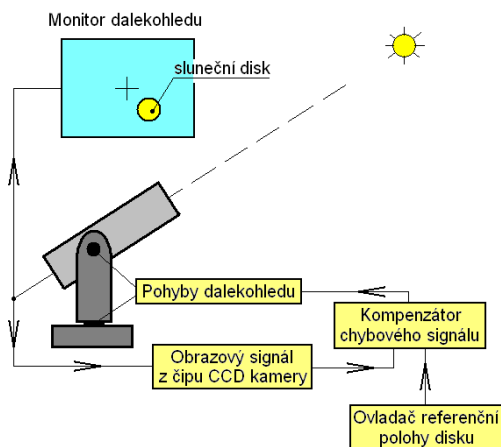
1.2.2. Metoda pohyblivého disku

Výchyly obrazu slunečního disku z referenční polohy na čipu jsou kompenzovány pohybem montáže řízeného dalekohledu. Referenční poloha obrazu slunečního disku na čipu CCD kamery je však v tomto případě proměnná (obr.3). Zadáním nové referenční polohy dojde k nastavení řízeného dalekohledu do nové polohy. Průměr obrazu slunečního disku na CCD čipu musí být takový, aby ve všech pracovních polohách dalekohledu se na CCD čipu vždy zobrazoval celý sluneční disk (tento požadavek vyplývá z nutnosti spolehlivého nalezení středu slunečního disku).

Při začlenění do pointačního řídicího systému hlavního dalekohledu musí být optická osa řízeného dalekohledu najustována rovnoběžně s optickou osou hlavního dalekohledu a řízený dalekohled nevyžaduje vlastní montáž.

Hlavní výhodou této metody je její jednoduchost. Dobrou vlastností metody také je, že střed zorného pole hlavního dalekohledu je uprostřed monitoru, zobrazujícího signál z čipu CCD kamery celodiskového dalekohledu.

Nevýhodou metody je podstatně menší použitelný průměr slunečního disku na CCD čipu a tím i nižší rozlišovací schopnost celodiskového dalekohledu ve srovnání s metodou stabilní polohy disku, popisovanou v bodě 1.2.1.



Obr.3: Princip pointačního řídicího systému dalekohledu v režimu pohyblivého disku. Polohu obrazu Slunce na monitoru určuje ovladač referenční polohy disku.

1.2.3. Vlastnosti pointačního řídicího systému

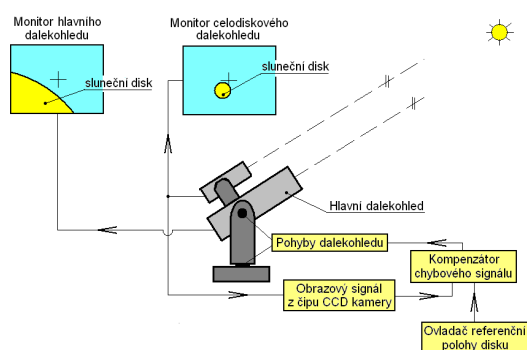
Pointační systém reaguje na náhlé změny polohy optické osy dalekohledu, způsobené vnějšími vlivy, a anomální refrakci a automaticky může provádět jejich korekci. Tímto odstraňuje nedostatky pozičního řídicího systému. Pointační systém automaticky odstraňuje vlivy mechanických vlastností teleskopu, které proto ani během dlouhodobého provozu není nutno testovat a analyzovat. Vlastní systém může tvořit zcela separátní hardware, nezávislý na řídicím systému teleskopu. Z uvedených důvodů je také řídicí software tohoto systému podstatně jednodušší.

Hlavním nedostatkem pointačního řídicího systému je vliv nehomogenit (oblačnosti) v zemské atmosféře na jeho přesnost. Tento systém však dovoluje přítomnost nehomogenit v atmosféře testovat a na základě testu informovat pozorovatele o aktuální přesnosti řídicího systému, případně provádět i potřebné korekce

Pro správné vyhodnocení polohy obrazu disku na čipu je třeba zabezpečit, aby v libovolné pracovní poloze dalekohledu se na čipu CCD kamery zobrazoval vždy celý sluneční disk, což současné velké dalekohledy s vysokým prostorovým rozlišením neumožňují. Takový hlavní dalekohled však můžeme doplnit dalším, celodiskovým dalekohledem a činnost obou dalekohledů vhodným způsobem zkombinovat.

1.3. Kombinovaný řídicí systém s pointací hlavního dalekohledu

Kombinovaný řídicí systém je jednou z variant kombinace pozičního a pointačního řídicího systému. Kombinovaný řídicí systém je možno použít u slunečních dalekohledů s malým zorným polem a s vysokými nároky na přesnost pozičních měření. Jak vyplývá z popisu pointačního řídicího systému, kombinovaný řídicí systém vyžaduje kromě hlavního dalekohledu ještě další dalekohled, zobrazující celý disk (obr.4).



Obr.4: Princip kombinovaného řídicího systému s pointací hlavního dalekohledu. Oba dalekohledy jsou mechanicky pevně spojeny tak, aby optické osy obou dalekohledů byly rovnoběžné. Montáž dalekohledu je řízena chybovým signálem z celodiskového dalekohledu.

Oba dalekohledy jsou namontovány na společné montáži, zaručující rovnoběžnost jejich optických os. Chybové odchylky, zjištěné celodiskovým dalekohledem, jsou kompenzovány pohyby společné montáže. Tím se hlavní dalekohled převádí z pozičního řídicího systému do pointačního řídicího systému. Tato varianta však vnese do pohybu hlavního dalekohledu neklid, vyvolaný zemskou atmosférou. Jeho kompenzace je značně náročná.

Domníváme se, že přednosti pointačního řídicího systému v oblasti kompenzace krátkodobých efektů nevyváží jeho nedostatky. Pokud budeme pozorovat během zhoršených atmosférických podmínek, projeví se

to na přesnosti navádění dalekohledu.

1.4. Sledovací řídicí systém bez pointace hlavního dalekohledu

Sledovací řídicí systém je další z variant kombinace pozičního a pointačního řídicího systému. Sledovací řídicí systém je vhodný pro velké sluneční dalekohledy s malým zorným polem (které nemohou zobrazit celý sluneční disk) a s vysokými nároky na přesnost pozičních měření. I v tomto případě potřeba hlavní dalekohled doplnit celodiskovým dalekohledem.

Hlavní dalekohled používá poziční řídicí systém. Celodiskový dalekohled pracuje v pointačním režimu. Pohyby celodiskového dalekohledu sledují pohyb slunečního disku a při pohybu teleskopu s oběma dalekohledy na společné montáži mění polohu osy celodiskového dalekohledu vůči hlavnímu dalekohledu.

Tento systém využívá přednosti pozičního i pointačního řídicího systému a kompenzuje jejich nedostatky. Dovoluje měřit chybové odchylky osy hlavního dalekohledu od správné polohy, způsobené deformacemi konstrukce a jinými dlouhodobými vlivy. Poloha hlavního dalekohledu není chybovými odchylkami přímo korigována a proto také není ovlivňována turbulencemi v zemské atmosféře. Tento typ řídicího systému bude podrobněji popsán v kapitole 4.

2. VOLBA MONTÁŽE DALEKOHLEDU

Volba montáže dalekohledů není důležitá jen z konstrukčního hlediska. Má podstatný vliv na otáčení zorných polí obou dalekohledů. Předpokládáme jeden typ obrazu zorného pole u celodiskového dalekohledu a dva obrazy u hlavního dalekohledu (první obraz přímo na výstupu hlavního dalekohledu a druhý obraz, promítnutý na vstupní šterbinu spektrografu). Optimálním řešením z hlediska pozorovatele je stejná vzájemná orientace všech tří obrazů s odstraněnou rotací během dne. Na rotaci těchto tří obrazů má podstatný vliv typ použité montáže.

2.1. Oba dalekohledy na společné paralaktické montáži

Při použití společné paralaktické montáže se obraz zorného pole nebude otáčet ani u celodiskového dalekohledu, ani na přímém výstupu hlavního dalekohledu. Obraz se bude otáčet pouze na šterbině spektrografu a jeho otáčení můžeme kompenzovat derotátorem, umístěným před šterbinu spektrografu. Tato varianta je nejjednodušší, vyžaduje však umístění hlavního dalekohledu na paralaktické montáži.

2.2. Použití dvou typů montáží

U celodiskového dalekohledu, umístěném na paralaktické montáži, se obraz otáčet nebude. Obrazy hlavního dalekohledu, umístěného na azimutální montáži, se budou otáčet jak v místě přímého výstupu, tak i na šterbině spektrografu, každý jinak. Pokud bychom používali pouze obraz zorného pole na šterbině

hlavního dalekohledu, můžeme jeho polohu nastavit derotátorem tak, aby souhlasila s polohou obrazu zorného pole celodiskového dalekohledu. Tato varianta je druhou nejjednodušší, vyžaduje však umístění celodiskového dalekohledu na zvláštní paralaktické montáži, tzn. větší nároky na prostor a komunikaci mezi dalekohledy.

2.3. Oba dalekohledy na společné azimutální montáži

Obraz zorného pole se bude otáčet jak na výstupu celodiskového dalekohledu, tak na přímém výstupu hlavního dalekohledu i na šterbině spektrografu. Obraz zorného pole celodiskového dalekohledu se může otáčet stejně jako obraz na výstupu hlavního dalekohledu, ale jinak než obraz na šterbině. Derotátor před šterbinou může kompenzovat jen otáčení na šterbině.

Výsledek: Při použití derotátoru se obraz na šterbině nebude otáčet, ale budou se otáčet obrazy na monitorech hlavního a celodiskového dalekohledu, což je z hlediska pozorovatele nevhodné. Řešením by mohla být rotace obrazu na všech monitorech (ztráta rozlišení, zpomalení).

3. EVROPSKÝ SLUNEČNÍ TELESKOP

V roce 2008 byly zahájeny projekční práce na evropském slunečním teleskopu EST (European Solar Telescope) [1]. Využití teleskopu bude zaměřeno na simultánní spektroskopii a spektropolarimetrii sluneční fotosféry a chromosféry s velmi vysokým prostorovým a časovým rozlišením v několika úsecích viditelného a infračerveného spektra.

Průměr hlavního dalekohledu teleskopu bude 4m a bude jedním ze dvou největších slunečních dalekohledů na světě. Na Kanárských ostrovech, kde bude umístěn, bude největším slunečním dalekohledem [1]. Hlavní dalekohled bude vybaven adaptivní optikou a bude napájet různá postfokální zařízení, jejichž specifikace se v současné době upřesňuje. Dalekohled nebude mít možnost zobrazit celý sluneční disk. Jeho zorné pole bude podstatně menší a bude zobrazovat pouze část slunečního disku. Součástí teleskopu bude proto víceúčelový celodiskový dalekohled, zobrazující ve třech spektrálních oblastech celý sluneční disk i s jeho okolím [2].

Celodiskový dalekohled bude vykonávat pět základních funkcí: poziční měření na slunečním disku a v jeho okolí, identifikace téhož objektu v různých spektrálních oblastech, nastavení teleskopu EST na požadovaný detail, testování souřadnicového systému teleskopu EST, monitoring aktuálního stavu a monitoring sluneční aktivity, zvláště erupcí a aktivních protuberancí.

V případě pozičních měření bude celodiskový dalekohled sloužit k orientaci pozorovatele na slunečním disku a v jeho okolí, k výběru zajímavých lokalit a k přesnému navedení teleskopu EST na vybraný objekt obrazu Slunce. Díky vlastnímu souřadnicovému systému bude možno nezávisle na poloze teleskopu EST určit souřadnice libovolného

místa v zorném poli celodiskového dalekohledu.

Souřadnice celodiskového dalekohledu budou určovány na odlišném principu a mohou být proto použity k testování a kontrole souřadnicového systému teleskopu EST během jeho dlouhodobého provozu.

Monitoring aktuálního stavu umožní pozorovateli sledovat aktuální stav celého Slunce v bílém světle, v H_{α} a v CaII-K a zaznamenávat jeho vývoj.

Monitoring sluneční aktivity umožní zachytit počátek aktivních chromosférických procesů a zaznamenávat jejich průběh. Tato činnost bude nezávislá na programu pozorování teleskopu EST. Pokud bude celodiskový dalekohled v pracovní poloze (nastaven na Slunce), bude se monitoring provádět automaticky.

Pomocný celodiskový dalekohled může být namontován buď na vlastní montáži mimo hlavní dalekohled nebo může být unášen přímo montáží hlavního dalekohledu.

Umístění celodiskového dalekohledu na vlastní montáži je principiálně možné a tato varianta může být i stabilnější, protože se na celodiskový dalekohled nebudou přenášet deformace konstrukce hlavního dalekohledu. Toto řešení však vyžaduje větší prostor. Umístění celodiskového dalekohledu na montáži společně s hlavním dalekohledem je v našem případě vhodnějším řešením, hlavně pro jeho kompaktnost. Upevnění celodiskového dalekohledu k montáži musí být však takové, aby poloha celodiskového dalekohledu nebyla ovlivňována deformacemi konstrukce hlavního dalekohledu.

4. NÁVRH OPTIMÁLNÍHO ŘÍDÍČÍHO SYSTÉMU PRO TELESKOP EST

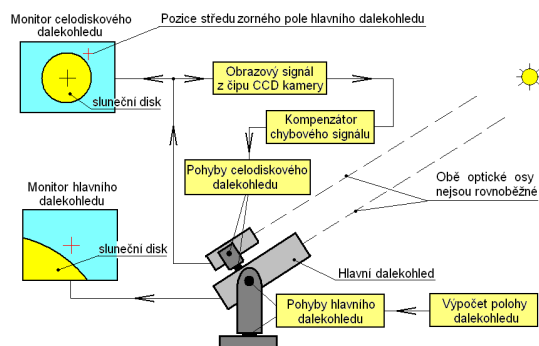
Konstrukce teleskopu EST je ve stádiu projektu. V současné době můžeme proto pouze předpokládat, že řídicí systém teleskopu EST, podobně, jako je tomu u teleskopu GREGOR, bude vycházet z přesných výpočtů požadované pozice optické osy teleskopu EST pro daný časový okamžik, to znamená, že se s nejvyšší pravděpodobností bude jednat o poziční řídicí systém, popisovaný v bodě 1.1.

Součástí teleskopu EST bude celodiskový dalekohled, nutný nezávisle na požadavcích na řídicí systém. Celodiskový dalekohled můžeme využít jako pointační dalekohled. Vzhledem k tomuto vybavení můžeme bez problémů využít sice složitější, ale zato nejvhodnější variantu řídicího systému dalekohledu – sledovací řídicí systém bez pointace hlavního dalekohledu.

Sledovací řídicí systém bez pointace hlavního dalekohledu (bod 1.4.) obsahuje hlavní dalekohled a celodiskový dalekohled s vlastní pointační montáží, dovolující pohyby celodiskového dalekohledu ve dvou osách.

Z důvodu kompaktnosti a menších mechanických nároků bude pointační montáž celodiskového dalekohledu upevněna na azimutální montáži hlavního dalekohledu (bod 2.3.). Obě montáže (montáž hlavního

dalekohledu a pointační montáž celodiskového dalekohledu) budou v obou osách vybaveny přesnými snímači polohy. Každý z obou dalekohledů bude vybaven vlastní CCD kamerou a jejich signály budou zobrazovány na monitoru hlavního dalekohledu a na monitoru celodiskového dalekohledu.



Obr.5: Řídicí systém teleskopu EST v režimu zapnuté pointace celodiskového dalekohledu

4.1. Řídicí systém celodiskového dalekohledu v režimu zapnuté pointace

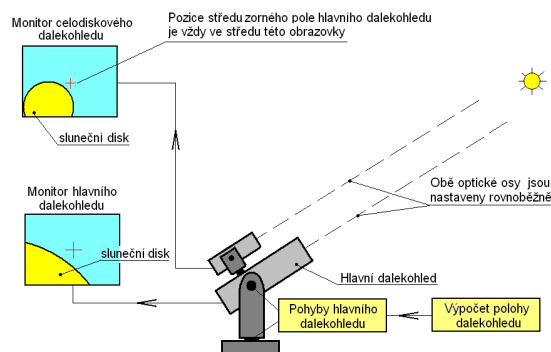
Vzhledem k tomu, že další funkce celodiskového dalekohledu vyžadují co nejvyšší prostorové rozlišení, použijeme pro teleskop EST variantu pointačního řídicího systému se stabilní polohou disku (bod 1.2.1.). Stabilní polohy obrazu slunečního disku na čipu CCD kamery celodiskového dalekohledu ve sledovacím režimu bude dosaženo pohyby pointační montáže, unášející celodiskový dalekohled (obr.5). Chybový signál, vznikající odchylkou obrazu slunečního disku od jeho referenční polohy na středu čipu, bude proporcionálně řídit oba motory pointační montáže. V důsledku toho dojde ke změně polohy celodiskového dalekohledu a ke kompenzaci chybové odchylky. Pointační montáž celodiskového dalekohledu bude tak sledovat pohyb hlavního dalekohledu a obraz slunečního disku se bude nalézat prakticky neustále v jeho referenční poloze na středu čipu CCD kamery celodiskového dalekohledu.

Na monitoru hlavního dalekohledu se bude zobrazovat zorné pole hlavního dalekohledu. Uprostřed monitoru celodiskového dalekohledu bude zobrazen nepohyblivý sluneční disk (obr.5) a kurzorem zde bude označena aktuální pozice středu zorného pole hlavního dalekohledu. Poloha kurzoru bude odvozena od čítačů polohy pohybů pointační montáže celodiskového dalekohledu a bude podkladem pro souřadnicový systém celodiskového dalekohledu.

Pokud se hlavní dalekohled vychýlí tak, že poloha kurzoru bude mimo zobrazovací plochu monitoru, ale v rozsahu pohybů pointační montáže, zmizí kurzor z monitoru, ale souřadnice, odečtené pointačním systémem, budou platné. Teprve po překročení rozsahu pohybů pointační montáže dojde k výpadku souřadnic pointačního systému.

Nedostatkem standardního režimu je omezené zorné

pole, dané okolím obrazu slunečního disku na monitoru. Pro sledování objektů ve větší vzdálenosti od středu slunečního disku je proto vhodné použít následující režim vypnuté pointace.



Obr.6: Řídicí systém teleskopu EST v režimu vypnuté pointace celodiskového dalekohledu

4.2. Řídicí systém celodiskového dalekohledu v režimu vypnuté pointace

V režimu vypnuté pointace mechanika pohybů pointační montáže celodiskového dalekohledu automaticky nastaví osu celodiskového dalekohledu rovnoběžně s osou hlavního dalekohledu. Střed zorného pole hlavního dalekohledu bude vždy ležet ve středu monitoru celodiskového dalekohledu a bude označen nepohyblivým kurzorem. Při pohybu hlavního dalekohledu se na tomto monitoru bude naopak neomezeně pohybovat obraz slunečního disku (obr.6). V režimu vypnuté pointace je možno používat pouze poziční souřadnicový systém hlavního dalekohledu.

Výhodou tohoto režimu je možnost vizuálního sledování objektů v libovolné vzdálenosti od středu slunečního disku. Tato vzdálenost není omezena vlastnostmi mechaniky pohybů celodiskového dalekohledu.

5. NÁVRH SOUŘADNICOVÝCH SYSTÉMŮ PRO TELESKOP EST

Každý z obou dalekohledů bude vybaven snímači polohy v obou osách. Tyto snímače polohy budou tvořit základ pro dva nezávislé, principiálně odlišné souřadnicové systémy: souřadnicový systém hlavního dalekohledu SSHD a souřadnicový systém celodiskového dalekohledu SSCD. V obou případech předpokládáme použití kartézského souřadnicového systému s počátkem ve středu slunečního disku, osou y ve směru osy rotace Slunce a jednotkami, odvozenými od údajů snímačů polohy. Kartézský souřadnicový systém umožňuje práci i mimo sluneční disk. Otáčení zorného pole každého z dalekohledů bude kompenzováno zobrazovacím programem tak, aby osy x souřadnicových systémů ležely v směru řádků obrazovek monitorů.

Principiální odlišnost obou souřadnicových systémů spočívá v metodě určení polohy středu slunečního disku, který je v obou případech počátkem souřadnicového

vého systému.

5.1. Souřadnicový systém hlavního dalekohledu SSHD

Poloha středu slunečního disku, totožná s počátkem souřadnicového systému SSHD, bude vypočítána na základě efemerid Slunce pro aktuální čas, s korekcí na známé chybové odchylky, způsobené mechanikou dalekohledu a dalšími dlouhodobými vlivy. Tento způsob řízení, založený na principu pozičního řídicího systému (viz bod 1.1.), bude použit jak pro souřadnicový systém hlavního dalekohledu, tak i pro souřadnicový systém celodiskového dalekohledu, pracujícího v režimu vypnuté pointace (viz bod 5.3.).

Při pohybu hlavního dalekohledu se bude obraz Slunce na obrazovce monitoru kamery hlavního dalekohledu posouvat (obr.1). Na obrazovce bude zobrazeno celé zorné pole hlavního dalekohledu. Údaje SSHD budou udávat polohu objektu, který se právě nachází ve středu obrazovky. Tento střed bude na obrazovce označen pevným kurzorem.

5.2. Souřadnicový systém celodiskového dalekohledu SSCD v pointačním režimu

Střed slunečního disku a počátek souřadnicového systému SSCD, pracující v pointačním režimu (viz bod 4.1.), bude určován elektronicky, vyhodnocením polohy obrazu slunečního disku na čipu CCD kamery celodiskového dalekohledu. V digitálním obraze slunečního disku, sejmutém z čipu CCS kamery celodiskového dalekohledu, je vyhledáno těžiště disku, spočítána chybová odchylka aktuální polohy těžiště od středu CCD čipu a v reálném čase je motory pointačního systému celodiskového dalekohledu provedena její korekce. Tím je sluneční disk udržován stále ve stabilní, pointované poloze na středu čipu (obr.5).

Uprostřed obrazovky monitoru celodiskového dalekohledu se bude zobrazovat nepohyblivý sluneční disk. Souřadnicový systém SSCD bude udávat polohu pohyblivého kurzoru na obrazovce monitoru celodiskového dalekohledu a bude zde současně označovat polohu středu obrazového pole hlavního dalekohledu.

Poloha kurzoru zde bude vykreslena v souřadnicovém systému SSCD podle souřadnic, přečtených v souřadnicovém systému SSHD. Oba systémy se mohou lišit polohou svých počátků, které byly určeny odlišným způsobem. Z rozdílu údajů obou souřadnicových systémů můžeme zjistit nepřesnosti výpočtu polohy středu slunečního disku pro souřadnicový systém SSHD. Tento režim je určen pro kontrolu přesnosti souřadnicového systému SSHD a aktualizaci známých korekčních parametrů, zmiňovaných v bodě 5.1.

5.3. Souřadnicový systém celodiskového dalekohledu v režimu vypnuté pointace

Princip souřadnicového systému celodiskového dalekohledu v režimu vypnuté pointace je vysvětlen

v bodě 4.2. Uprostřed monitoru celodiskového dalekohledu se bude zobrazovat nepohyblivý kurzor (obr.5). Obraz slunečního disku se při pohybu hlavního dalekohledu bude pohybovat a souřadnicový systém bude odečítat souřadnice objektu, nacházejícího se na kurzoru. V případě extrémně velkých vzdáleností sledovaných objektů od středu slunečního disku může sluneční disk z obrazovky i zcela zmizet. Z tohoto důvodu nelze hledat střed disku z obrazu slunečního disku na čipu CCD kamery celodiskového dalekohledu a proto nemůžeme používat souřadnicový systém SSCD. V režimu vypnuté pointace bude proto celodiskový dalekohled používat vždy souřadnicový systém SSHD (viz bod 5.1.).

Tento režim je určen pro sledování objektů ve velké vzdálenosti od středu slunečního disku a nelze v něm provádět měření korekčních parametrů a jejich aktualizaci.

6. POSTUP PŘI KALIBRACI SOUŘADNICOVÉHO SYSTÉMU TELESKOPU EST

Kalibrací souřadnicového systému teleskopu EST rozumíme určení dlouhodobých odchylek mezi polohou středu slunečního disku, vypočtenou na základě efemerid Slunce pro aktuální čas a polohou středu slunečního disku, zjištěnou podle aktuální polohy Slunce. Tyto odchylky mohou být způsobeny mechanikou dalekohledu a dalšími dlouhodobými vlivy.

Jak již bylo uvedeno v bodě 5.2., použijeme k tomuto účelu souřadnicový systém celodiskového dalekohledu SSCD v pointačním režimu. Protože SSCD bereme jako absolutní souřadnicový systém, je třeba zabezpečit jeho vysokou přesnost. Největším nebezpečím pro tento systém je nehomogenita atmosféry, která může negativně ovlivnit přesnost určení polohy středu slunečního disku a tím i polohu počátku souřadnicového systému SSCD.

6.1. Test nehomogenity zemské atmosféry

Mezi uvažované nehomogenity zemské atmosféry patří atmosférická refrakce a vodní pára v různých formách včetně oblačnosti. Na Kanárských ostrovech se kromě toho v atmosféře vyskytuje písek ze Sahary. Tyto faktory mohou způsobit změny jasu různých míst okraje slunečního disku. Změny jasu pak mohou ovlivnit přesnost určení středu disku a tím i přesnou polohu počátku souřadnicového systému SSCD.

Existuje řada možností, jak atmosférické nehomogenity testovat [3]. Dále popíšeme jednu z uvedených možností. Nejdříve je potřeba, bez ohledu na homogenitu atmosféry, najít střed slunečního disku.

- Vezmeme všechny body zdigitalizovaného obrazu CCD kamery celodiskového dalekohledu a z tohoto datového souboru vybereme body, jejichž jasy leží nad hranicí minimálního jasu.
- Nalezneme neváhané těžiště zbývajících bodů (nebereme do úvahy jasy vybraných bodů, ale pouze jejich souřadnice).

- c) Pro dané datum a použitý optický systém dalekohledu spočítáme průměr slunečního disku na čipu CCD kamery.
- d) Vybereme pozice vhodné pro vzorkování okraje slunečního disku, například body, rovnoměrně rozmístěné na kružnici o průměru slunečního disku, opsané kolem nalezeného těžiště.
- e) pro každý z těchto bodů provedeme bilineární interpolaci všech čtyř sousedních hodnot naměřených jasů.
- f) Spočteme rozdíly v jasech všech dvojic bodů, protilehlých z hlediska nalezeného středu slunečního disku.
- g) Výsledek vyneseme do grafu, v němž na ose x bude rozvinutý obvod kružnice a na ose y rozdíl v jasech odpovídajících dvojic.
- h) Křivku podle potřeby zhladíme filtrací a nalezneme maximální odchylku od nuly.
- i) Pokud maximální odchylka bude menší než zadaná hodnota, budeme považovat obraz slunečního disku za dostatečně homogenní a polohu středu disku, zjištěnou za těchto podmínek, za dostatečně přesnou a vyhovující. V opačném případě je třeba získanou pozici středu slunečního disku nutno považovat za nevěrohodnou a souřadnice SSCD za nepřesné.

6.2. Test stability celodiskového dalekohledu

Celodiskový dalekohled bude podstatně menší ve srovnání s hlavním dalekohledem teleskopu EST. Dá se proto předpokládat, že jeho konstrukce bude kompaktní a proto se zde budou méně projevovat mechanické deformace, které by stabilitu jeho souřadnicového systému mohly ovlivnit. Přesto je nutno jeho stabilitu podle následujícího postupu prověřit.

- a) Přesně najastujeme polohy obou os montáže teleskopu EST.
- b) Celodiskový dalekohled uvedeme do provozu v pointačním režimu (bod 5.2.).
- c) Pohyby montáže teleskopu EST budeme řídit podle efemerid středu slunečního disku pro aktuální čas, bez korekcí, souvisejících s hlavním dalekohledem.
- d) Dlouhodobě (během celého dne) budeme registrovat pohyb pointačního systému celodiskového dalekohledu s vyloučením segmentů registrace, které nevyhověly testu nehomogenity zemské atmosféry podle bodu 6.1.
- e) Na základě všech dostupných možností budeme minimalizovat pohyb pointačního systému celodiskového dalekohledu.

6.3. Kalibrace souřadnicového systému teleskopu EST

Po dosažení vyhovujících parametrů testu stability celodiskového dalekohledu (bod 6.2.) můžeme přistoupit ke kalibraci souřadnicového systému teleskopu EST. Souřadnicový systém celodiskového dalekohledu SSCD bude sloužit jako měřicí souřadnicový systém, jehož pomocí budeme určovat

nepřesnosti polohy hlavního dalekohledu teleskopu EST. Postup vlastní kalibrace bude následující:

- a) Celodiskový dalekohled uvedeme do provozu v pointačním režimu (bod 5.2.).
- b) Pohybem teleskopu nastavíme vhodný objekt (např. póru) na pevný kurzor ve středu obrazovky monitoru hlavního dalekohledu.
- c) Justážními prvky držáku pointačního systému pohybů celodiskového dalekohledu nastavíme kurzor na obrazovce monitoru celodiskového dalekohledu na tentýž objekt. Tím jsme zjustovali rovnoběžnost optických os obou dalekohledů pro daný časový okamžik. Pokud souřadnicový systém SSHD nebude korigován na chybové odchylky, měly by oba souřadnicové systémy udávat stejné hodnoty.
- d) Zahájíme dlouhodobou registraci diferencí obou souřadnicových systémů. Odečty souřadnic téhož detailu obrazu Slunce provádíme pouze v době, kdy testy podle bodu 6.1. potvrzují homogenitu zemské atmosféry. Vlivem sluneční rotace a vlastních pohybů se bude časem vybraný objekt posouvat mimo, ale na výpočet difference mezi oběma souřadnicovými systémy to nemá vliv.
- e) Takto získanou kalibrační křivku chybových odchylek použijeme pro korekci údajů souřadnicového systému SSHD.

ZÁVĚR

Kombinace hlavního dalekohledu teleskopu EST, doplněná celodiskovým dalekohledem, umožní pozorovateli využití nových možností práce s tímto teleskopem:

- a) Pozorování s vysokým prostorovým rozlišením (provádí hlavní dalekohled).
- b) Identifikace téhož objektu v různých spektrálních oblastech (používá se kombinace obou dalekohledů).
- c) Lokalizace oblasti, pozorované hlavním dalekohledem, jak na slunečním disku, tak i v jeho okolí, včetně mimořádně velkých protuberancí (používá se kombinace obou dalekohledů).
- d) Měření přesných pozic i ve velkých vzdálenostech od slunečního disku (včetně možnosti testování přesnosti změřených pozic; používá se kombinace obou dalekohledů).
- e) Monitoring sluneční aktivity celého slunečního disku včetně jeho okolí [2], nezávisle na pracovním programu hlavního dalekohledu (provádí celodiskový dalekohled).
- f) Archivace časového vývoje sluneční aktivity celého Slunce [2] nezávisle na pracovním programu hlavního dalekohledu. V tomto režimu se provádí vzorkování celého slunečního disku včetně jeho okolí s nízkou kadencí (provádí celodiskový dalekohled).
- g) Záznam sluneční aktivity, zvláště erupcí a eruptivních protuberancí včetně období před jejich aktivací [2], nezávisle na pracovním programu hlavního dalekohledu. V tomto režimu se provádí vzorkování celého slunečního disku včetně jeho okolí

s vysokou kadencí (provádí celodiskový dalekohled, pokud tuto činnost nemá v programu hlavní dalekohled).

Pracovní režimy e), f) a g) mohou být plně automatické a nezávislé na pracovním programu hlavního dalekohledu, což podstatně rozšiřuje možnosti využití teleskopu EST. Prohlídkou archívu časového vývoje sluneční aktivity (bod f)), má pozorovatel možnost získat informace o historii vývoje oblasti, která ho zajímá. Záznam sluneční aktivity podle bodu g) podstatně zvyšuje pravděpodobnost zachycení počátků aktivních procesů na Slunci.

Poděkování:

Práce byla realizována díky účinné podpoře programu EU FP7 v rámci projektu EST Design Study, číslo 212 482 a grantu GA AVČR IAA 300 30808.

LITERATURA:

- [www.astro-opticon.org/presentations/fp7_presentations/von der Luhe solarphysics.ppt](http://www.astro-opticon.org/presentations/fp7_presentations/von_der_Luhe_solarphysics.ppt)
Klvaňa M., Sobotka M., Melich Z., Melich R., Rail Z., „Celodiskový dalekohled pro EST“, referát této konference
Klvaňa M., Bumba V., 1998: „Souřadnicový systém slunečního dalekohledu na principu CCD kamery“, Zborník referátov z 13.celo-štátného slnečného seminára, B.Lukáč (ed), Slov. ústred. hviezdáreň Hurbanovo, 201-203