

Solární detektor oblačnosti

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

Abstrakt

Archivace výsledků pozorování slunečními dalekohledy začíná být, z hlediska ukládání pozorovaných dat v digitální formě, v současné době problematická. Rostoucí rozlišení digitalizovaných snímků a požadavky na vysokou kadenci vzorkování sluneční aktivity vyvolávají potřebu dlouhodobé archivace velkého objemu digitálních dat. Již dnes je manipulace s velkými objemy dat komplikovaná. Současným řešením je zpracované soubory dat likvidovat a publikovat jen výsledky pozorování. Tím se však připravujeme o možnost mnohdy unikátní jevy zpracovávat později novými, kvalitnějšími metodami.

Na příkladu celodiskového synoptického dalekohledu projektu SOLARNET demonstrujeme požadavky na kapacitu archivační paměti a uvádíme možnosti korekce objemu digitálních dat. Korekce objemu archivovaných dat je založena na námi vyvíjené metodě optimalizované archivace dat, jejíž spolehlivost zvyšuje speciální detektor oblačnosti. Popisujeme metodu optimalizované archivace dat, různé možnosti detekce mraků a jednu z námi navrhovaných originálních konstrukcí citlivého detektoru oblačnosti.

ÚVOD

Mezi přístroje, sledující celkovou aktivitu Slunce patří synoptické sluneční dalekohledy. Pozemský dalekohled může v nejlepším případě sledovat sluneční činnost pouze během doby, kdy se sluneční disk nalézá nad jeho obzorem. Proto jeho činnost je časově omezená. Nepřetržité sledování sluneční aktivity umožňuje (za vhodných meteorologických podmínek) síť pozemských synoptických dalekohledů, vhodně rozmístěných kolem Zeměkoule. Řešením tohoto problému se zabývá SOLARNET, projekt Evropské unie. Práce na projektu se účastní i tým pracovníků z Astronomického ústavu AVČR, v.v.i.

1. VLASTNOSTI DALEKOHLEDU

Ideálním přístrojem pro synoptická pozorování Slunce v pozemských podmínkách je dalekohled, registrující, vyhodnocující a s dostatečnou kadencí archivující sluneční aktivitu na celém slunečním disku a v jeho okolí. Skutečnost, že aktivní procesy mohou ve sluneční atmosféře probíhat současně na několika různých místech je důvodem, proč v zorném poli dalekohledu musí být celé Slunce včetně jeho okolí.

Nutnost simultánního pozorování všech probíhajících aktivních jevů s dostatečně vysokým časovým rozlišením nedovoluje sledovat jen vybraný

segment obrazu s velkým zvětšením tak, jak je tomu u velkých dalekohledů zaměřených na vysoké prostorové rozlišení.

Požadavek digitalizace dostatečně velkého zorného pole spolu s maximálním dosažitelným počtem pixelů snímacího čipu limitují rozlišovací schopnost synoptického dalekohledu. V současné době, při použití reálně dosažitelného čipu 6000 x 9000 pixelů, se bude rozlišení takového dalekohledu pohybovat kolem jedné obloukové vteřiny.

2. SÍŤ DALEKOHLEDŮ

Nároky na záznam a archivaci dat jsou dány účelem, pro něž jsou data určena. Síť synoptických dalekohledů sleduje dlouhodobou historii vývoje sluneční aktivity a podrobně zaznamenává průběh rychlých aktivních procesů. Specifickou vlastností sítě dalekohledů je možnost dlouhodobého pozorování Slunce (až 24 hodiny za den). Proto může, v případě vhodného počasí, síť dalekohledů poskytovat data pro výzkum, vyžadující dlouhodobá pozorování Slunce, např. pro helioseismologii (Harvey et al, 1996). Splnění požadavků na archivaci finálních dat takové synoptické sítě vyžaduje vysoké nároky na kapacitu paměti. Pro orientační výpočet kapacity paměti předpokládáme 2B digitalizaci snímků s kadencí jedna sekunda, současně ve čtyřech spektrálních kanálech (H α , CaII-K3, volitelná spektrální čára a kontinuum spektra).

3. KLASICKÉ UKLÁDÁNÍ DAT

Datový archiv dalekohledu:

Každý ze šesti dalekohledů, tvořících síť SOLARNET, musí mít svou vlastní paměťovou kapacitu pro uložení dat jednodenního pozorování (v noci se data, získaná během dne budou přenášet do centrální paměti sítě SOLARNET a paměť dalekohledu se uvolní).

Při klasickém ukládání dat budou nároky na kapacitu paměti každého z dalekohledů dány velikostí snímku, kadencí snímků, počtem spektrálních kanálů a maximálně možným pozorovacím intervalem dalekohledu, který je dán maximální délkou dne v roce. Data je nutno dočasně zálohovat, což opět zvýší nároky na kapacitu paměti.

Při velikosti čipu 6000 x 9000 pixelů a 2B ukládání intenzit bude velikost jednoho snímku 108 MB. Kadence snímků v každém ze čtyř spektrálních kanálů by měla být 1 sec (vzorkování aktivních procesů). Pro maximální délku dne 16 hodin a při zvětšení kapacity paměti o jednu třetinu z důvodu zálohování dat bude potřebná paměťová kapacita lokálního úložiště dat pro každý z dalekohledů přibližně 33 TB (je to cca 11 největších disků, používaných v současné době).

Datový archiv sítě SOLARNET:

Vzhledem k tomu, že denní pozorovací interval v síti dalekohledů SOLARNET vzroste ze 16 na 24 hodin, vzrostou požadavky na archivační kapacitu centrální paměti sítě ze 33 TB na 50 TB za den.

Důležitost archivace původních pozorování:

Na základě provedeného hrubého odhadu vidíme, že požadavky na kapacitu archivační paměti jsou neúnosně veliké. Radikálním řešením by bylo získaná data zpracovat, zpracovaná data zlikvidovat a zachovat pouze výsledky.

Synoptická pozorování nás však staví do role diváků, kteří možná právě sledovali unikátní, důležitý a třeba i neopakovatelný jev zásadního významu.

Archivace původních pozorování umožňuje tento jev později zopakovat a zpracovat novými metodami. Proto je v našem oboru vhodná archivace získaných dat nutností.

Redukce objemu archivovaných dat

Pokud je na Slunci nízká aktivita, není třeba archivovat celý snímek, ale jen jeho část. Pro archivaci jedné aktivní oblasti o velikosti 300x200 obl.sec bude při hustotě vzorkování 2px/1obl.sec velikost redukováného snímku 300x2x200x2x2B = 0,48 MB. Tato úspora, která ušetří cca 95% paměti je však bezprostředně vázána na periodicky se měnící sluneční aktivitu a není ji možno ovlivnit. Výběrem pro archivaci zajímavých oblastí ztrácíme možnost zkoumat nearchivované části zorného pole později.

Bezstrátová komprimace archivovaných dat by měla zajistit snadný přístup uživatele k pozorovacímu

materiálu. V současné době přináší tato metoda úsporu cca 50% paměťové kapacity.

Domníváme se, že značný efekt ve zmenšení nároků na kapacitu paměti bude mít zde popisovaná metoda optimalizované archivace dat, kterou jsme pro archivaci synoptických dat rozpracovali.

4. OPTIMALIZOVANÁ ARCHIVACE DAT

Metoda optimalizované archivace dat sluneční aktivity minimalizuje nároky na paměťovou kapacitu, potřebnou pro informačně bezstrátovou archivaci zaznamenávaného procesu. Princip metody je založen na porovnávání časové řady po sobě následujících snímků sledovaného procesu a testování změn mezi porovnávanými snímky.

Kromě změn, vyvolaných vlastní sluneční aktivitou, mohou při pozemních pozorováních vznikat i fiktivní změny, způsobené přístrojovými efekty a vlivem pozemské atmosféry. Pozemská atmosféra se projevuje změnami kvality obrazu (scintilace, seeing, ostrost, kontrast obrazu) a změnami jasu (kalima, rozptýlené světlo, oblačnost).

Fiktivní změny však nesouvisí se zkoumanými fyzikálními procesy na Slunci. Základní podmínkou úspěšnosti metody optimalizované archivace je vyloučení fiktivních změn ze souboru zaregistrovaných změn. Tímto postupem vytvoříme soubor reálných změn ve sluneční atmosféře a všechny snímky, mezi nimiž byla každá z reálných změn indikována, budou uloženy do archivu zaznamenávaného procesu.

V porovnání s výše popisovanou klasickou metodou archivace vypouští metoda optimalizované archivace dat snímky, které neobsahují novou užitečnou informaci. Archivované snímky nebudou sice časově ekvidistantní, ale přesto budou dokonale zaznamenávat reálný průběh sledovaného procesu. Počet archivovaných snímků bude záviset na sluneční aktivitě a díky vypuštěným snímkům se podstatně sníží nároky na kapacitu archivační paměti.

5. ZDROJE REÁLNÝCH ZMĚN

Lokální změna jasu:

Ve sluneční atmosféře pozorujeme jak lokální pokles jasu v digitalizovaném obraze původní klidné sluneční atmosféry (skvrny, filamenty), tak i jeho vzrůst (protuberance, erupce, fákulová a fukulová pole).

Kritická situace může nastat u velkých erupcí, jejichž jas může mnohokrát převyšovat maximální jas klidné atmosféry a může dojít k saturování měřeného jasu. Takový stav je nutno vhodným způsobem ošetřit, což může způsobit navýšení počtu archivovaných snímků.

Změna velikosti objektu:

Vzhledem k tomu, že digitalizujeme celý sluneční disk včetně jeho blízkého okolí, není tato změna ve většině případů kritická. Pouze u mimořádně velkých protuberancí může dojít ke ztrátě informací.

Změna tvaru objektu:

Vyhodnocení změny tvaru objektu nepřináší nové požadavky na archivaci dat.

Změna polohy objektu:

Vyhodnocení změny polohy objektu nepřináší nové požadavky na archivaci dat.

Kombinace již uvedených změn:

Ve většině případů registrace reálných změn dochází ke kombinaci různých změn a důsledky jejich vlivů musíme eliminovat.

6. ZDROJE FIKTIVNÍCH ZMĚN

Přístrojové efekty:

Kromě poruch v rovnoměrném pohybu dalekohledu, které je nutno odstranit, protože by způsobovaly rychlé změny polohy objektů a které eliminujeme programovou stabilizací polohy celého slunečního disku, bude většina ostatních změn (např. světelné odrazy, rozptýlené světlo) pomalého charakteru a jako reálné změny v obraze nebudou vyhodnoceny.

Atmosférická refrakce:

V důsledku atmosférické refrakce dochází v malých výškách nad obzorem k deformaci slunečního disku a jeho okolí. Jedná se o pomalý jev, který však narušuje symetrii obrazu slunečního disku a je nutno s ním počítat a eliminovat ho.

Seeing:

Rychlé pohyby lokálních struktur obrazu je třeba odstranit vhodným zpracováním jednotlivých srovnávaných snímků (např. integrací většího počtu snímků).

Ostrost obrazu:

Krátkodobé efekty souvisí se seeingem a řeší se stejným způsobem, jako seeing, dlouhodobé efekty jsou pomalé a nebudou vyhodnoceny jako reálné změny v obraze.

Kontrast obrazu:

Krátkodobé efekty souvisí se seeingem a řeší se stejným způsobem jako seeing, dlouhodobé efekty jsou pomalé a nebudou vyhodnoceny jako reálné změny v obraze.

Kalima:

Jedná se o velkoplošný, dlouhodobý a pomalý efekt snížení průzračnosti atmosféry, způsobený přítomností písku, který nebude vyhodnocen jako reálná změna v obraze.

Rozptýlené světlo:

Jedná se o velkoplošný, dlouhodobý a pomalý efekt, který nebude vyhodnocen jako reálná změna v obraze.

Oblačnost:

Přítomnost oblačnosti je zdrojem největších komplikací při rozpoznávání fiktivních změn. Vysoký gradientu jasu na okrajích mraků i při jejich velmi pomalém pohybu, stejně tak jako rychlý pohyb průzračných mraků může být chybně vyhodnocen jako reálná změna. Velká proměnlivost oblačnosti vyžaduje speciální prostředky pro její spolehlivou identifikaci.

Pokud se spolehlivou identifikaci oblačnosti nepodaří realizovat, nebude optimalizovaná archivace dějů, probíhajících na Slunci, ideální. Kromě reálných změn ve sluneční atmosféře bude archivována i část fiktivních změn, způsobených oblačností, což způsobí zvětšení nároků na kapacitu archivačního systému.

7. VLASTNOSTI MRAKŮ

Pokud do zorného pole dalekohledu vstoupí mrak, hrozí nebezpečí, že bude vyhodnocen jako reálná změna. Taková situace by mohla narušit optimální archivaci dat. Je proto potřeba zajistit spolehlivou detekci oblačnosti. Hlavními problémy, které je třeba při konstrukci detektoru oblačnosti řešit jsou vysoký kontrast obrazu, velký jasový rozsah a silně proměnná rychlost pohybu oblačnosti.

Vysoký kontrast:

Velký kontrast mezi jasným slunečním diskem a jeho blízkým okolím snižuje možné jasové rozlišení použitého snímače obrazu a tím i citlivost detekce atmosférických nehomogenit. Kromě toho zde hrozí i poškození snímače nadměrným zářením.

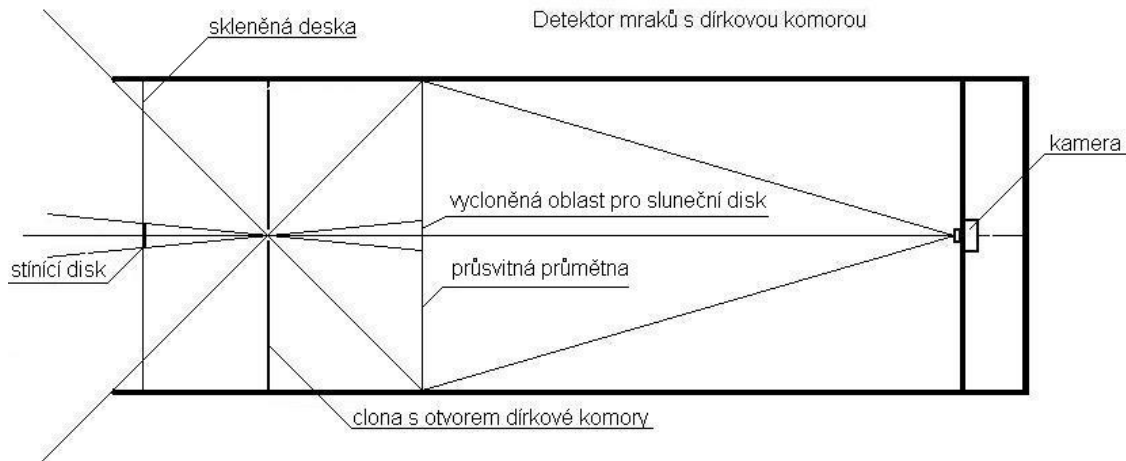
Změny jasu:

Proměnný jas atmosférických nehomogenit v různých spektrálních oborech může způsobit, že v dané spektrální oblasti může být jejich jas větší, menší, ale i stejný ve srovnání s okolní oblohou. Stejný jas znamená, že nehomogenita v dané spektrální oblasti není vidět. Pokud však archivace dat probíhá v jiné spektrální oblasti, může v ní být nehomogenita viditelná a pak bude chybně vyhodnocena jako reálná změna. Z tohoto důvodu je třeba oblačnost detekovat ve spektrálních oblastech, v nichž probíhá archivace dat.

Rychlost pohybu:

Vzhledem k velké proměnlivosti oblačnosti je její detekce značně obtížná. Proměnlivá rychlost pohybu oblačnosti vyžaduje zjišťovat jak velmi pomalé

změny, tak reagovat i na značně vysoké rychlosti posuvu a změny tvarů mraků. Vyhodnocení rychlosti pohybu mraků však může být užitečné pro volbu vhodného pozorovacího režimu.



Obr. 1: Konstrukce solárního detektoru oblačnosti se stínícím diskem a průsvitnou průmětnou

8. SOLÁRNÍ DETEKTOR OBLAČNOSTI

Vzhledem k vysokým nárokům na spolehlivost identifikace oblačnosti klasický způsob digitalizace obrazu slunečního disku a oblačnosti v jeho okolí pomocí digitální kamery nedostačuje a je třeba použít speciální optický systém, který tento rozdíl jasů potlačí a zdůrazní tak kontrasty, způsobené oblačností.

Optický systém detektoru:

Zobrazovacím prvkem detektoru je dírková komora, jejíž výhodou je značně širokoúhlé zobrazení, zachování perspektivy a minimální vliv rozptýleného světla, který by se při použití klasického objektivu uplatňoval. Neostrost zobrazení dírkovou komorou není kritická, protože samy zobrazované objekty atmosférických nehomogenit mají difuzní charakter a při jejich zpracování nehraje roli jejich tvar, ale přítomnost. Naopak rozostření jemných struktur, např. granulace, redukuje vlivy seeingu, změn ostrosti obrazu a kontrastu, které by jinak mohly být vyhodnoceny jako reálné změny obrazu.

Dírková komora vytváří na průsvitné průmětně obraz slunečního disku a jeho okolí. Z druhé strany průmětny je tento obraz snímán kamerou, osazenou objektivem. Na optické ose detektoru je před dírkovou komorou umístěn stínící disk, který na průmětně vycloňuje oblast, odpovídající přibližně velikosti zobrazovaného slunečního disku. Pokud bude optická osa detektoru směřovat na střed slunečního kotouče, bude stín stínícího disku snižovat intenzitu slunečního

disku a tím snižovat velký jasový rozsah obrazu. Detektor bude pracovat v optimálním režimu a bude mít nejvyšší citlivost při rozpoznávání mraků. Z tohoto důvodu je třeba, aby detektor oblačnosti byl spolehlivě pointován na sluneční disk.

Pointace detektoru:

Detektor bude umístěn na montáži, která bude řízena speciálním naváděcím systémem. Po zapnutí zjistí tento systém nejdříve, zda se někde na obloze nalézá Slunce (podle celkového jasu snímaného zorného pole). Pokud sluneční disk není zakryt mraky, což se rovněž pozná podle celkového jasu snímaného zorného pole, nastaví pointační systém montáž tak, že optická osa detektoru bude směřovat na střed slunečního disku. Toto je základní pracovní poloha detektoru. Motory paralaktické montáže jsou řízeny tak, že hodinový stroj udržuje sluneční disk na optické ose i v době, kdy je Slunce zakryto mraky. Pokud Slunce vystoupí z mraků, bude zjištěna odchylka polohy středu slunečního disku od optické osy detektoru a oba motory budou navíc tuto odchylku korigovat.

Částečné zakrytí slunečního disku mrakem se pozná podle toho, že pointace nedokáže nastavit střed slunečního disku na střed stínícího disku, část slunečního disku nebude vycloňena a celkový jas snímaného zorného pole bude větší ve srovnání s jasem v základní pracovní poloze detektoru.

9. DETEKCE OBLAČNOSTI

Existují různé metody zjišťování přítomnosti mraků na slunečním disku. Vlastní detekce oblačnosti může testovat celkové změny jasů, lokální nehomogenity na disku, odlišné od aktuálních struktur ve sluneční atmosféře a podobně. Vzhledem k tomu, že pointační systém citlivě reaguje na oblačnost, použijeme k detekci oblačnosti odchylky polohy detektoru od jeho základní pracovní polohy.

Jinou možností je testovat přítomnost mraků ještě předtím, než dojde k reakci pointace na jejich přítomnost. Tato metoda je z hlediska uživatele vhodnější, protože nedochází k nežádoucímu posuvu slunečního disku. Princip metody spočívá ve využití toho, že mraky jsou vždy větší, než sluneční disk. Pokud v blízkém okolí slunečního disku nezjistíme z testu nehomogenit jejich přítomnost, můžeme předpokládat, že ani na slunečním disku se nehomogenity nacházet nebudou. V opačném případě můžeme předpokládat, že intenzitní rozdělení na disku bylo nebo brzy bude narušeno.

ZÁVĚR

Popisovaná konstrukce detektoru oblačnosti zvyšuje kontrast obrazu snímané části oblohy, čímž značně zvyšuje efektivitu detekce různých typů mraků tímto detektorem v porovnání s klasickým přímým snímáním oblohy CCD kamerou.

Detektor dovoluje trvalé snímání slunečního disku a jeho širokého okolí. Jak v pracovní poloze, tak i trvale mimo ni nehrozí nebezpečí poškození detektoru slunečním zářením.

Konstrukce detektoru oblačnosti vyžaduje pointaci detektoru na sluneční disk.

Použití detektoru oblačnosti společně s metodou optimalizované archivace dat dovolí značně snížit požadavky na paměťovou kapacitu archivačního systému

Poděkování

Tento materiál byl zpracován jako náš návrh řešení dílčího úkolu projektu SPRING v rámci projektu FP7-312 495.

LITERATURA:

Harvey J.W. et al, 1996, Science 272, 1284 - 1286