

LabVIEW s podporou vícejádrových procesorů řídí největší dalekohled na světě

Článek popisuje použití grafického programovacího prostředí LabVIEW firmy National Instruments (NI) s podporou vícejádrových procesorů při vývoji systému pro řízení aktivní a adaptivní optiky v reálném čase u mimořádně velkých dalekohledů. V tomto projektu se ukázalo, že komerčně dostupný systém může řídit optiku ve výjimečně velkém teleskopu E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), který se právě buduje v chilských Andách.

Evropská jižní observatoř spoléhá na pokročilou techniku

Evropská jižní observatoř ESO (*European Southern Observatory*) je astronomická výzkumná organizace podporovaná třinácti evropskými zeměmi. Má zkušenosti s vývojem a instalací nejmodernějších dalekohledů na světě. V současnosti působí ESO ve třech observatořích v chilských Andách – La Silla, Paranal a Llano de Chajnantor. Využívá vždy nejnovější techniku. V observatoři v La Silla byly použity první komerční systémy adaptivní optiky u teleskopu o průměru 3,6 m, zatímco v teleskopu New Technology

Telescope o průměru 3,5 m byla použita aktivní optika. V Paranalu se zase uplatnilo integrované ovládání dalekohledu VLT (*Very Large Telescope*) a souvisejícího interferometru.

Nyní Evropská jižní observatoř buduje ve spolupráci se svými severoamerickými a východoasijskými partnery dalekohled ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*), radioteleskop v hodnotě miliardy amerických dolarů, který je vybaven 66 anténami pro pozorování v submilimetrových vlnových délkách. Jeho dokončení se v Llano de Chajnantor plánuje na rok 2012.

Dalším projektem je návrh teleskopu E-ELT. Průměr jeho primárního zrcadla je 42 m. V současnosti se pracuje na fázi B s rozpočtem 100 milionů dolarů, která zahrnuje projektovou studii a výrobu prototypu. Vlastní stavba bude zahájena podle očekávání na konci roku 2010.

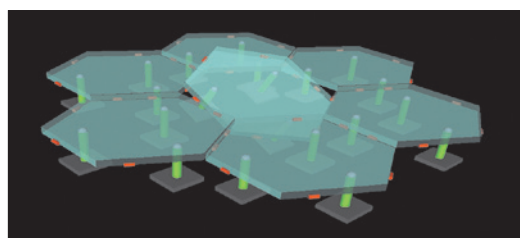
Aktivní a adaptivní optika velkých rozměrů

Při budování teleskopu o průměru 42 m se čerpá ze zkušeností s aktivní a adaptivní optikou a segmentovanými zrcadly organizace ESO a celé astronomické obce. Teleskop s aktivní optikou je ovládán pomocí mnoha senzorů, akčních členů a řídicího systému tak, aby byl stále zachován správný tvar zrcadla. Teleskop je aktivně udržován ve správné konfiguraci, aby byly odstraněny jakékoliv reziduální odchylky optického systému a aby se zlepšila efektivita a odolnost proti chybám. U těchto dalekohledů je nutné v noci aktivně upravovat optiku každou minutu, aby byl jejich obraz limitován pouze atmosférickými jevy.

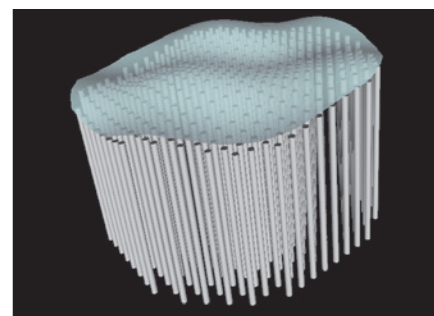
Adaptivní optika je založena na podobném principu. Atmosférické jevy jsou monitorovány při frekvencích stovek hertzů a tenké zrcadlo na ně reaguje vhodným za-

křivením. Rozsah turbulencí určuje počet akčních členů na těchto zakřivených zrcadlech. Sensory citlivé na podélné vlnění rychle vzorkují atmosféru a převádějí případné odchylky na příkazy pro zrcadlo. To vyžaduje velmi rychlý hardware a software.

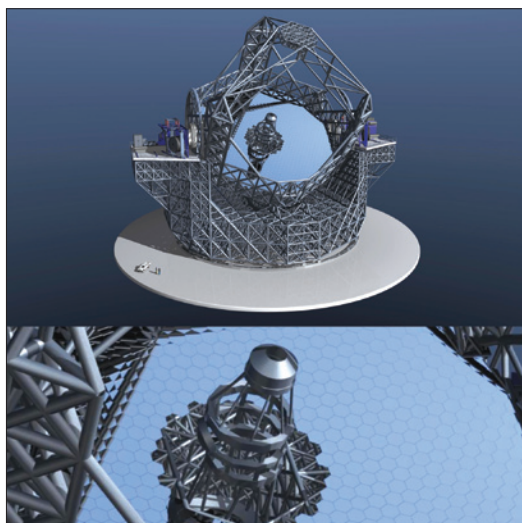
K řízení tohoto složitého systému je zapotřebí mimořádně velká výpočetní kapacita. Pro řízení každého z dříve realizovaných



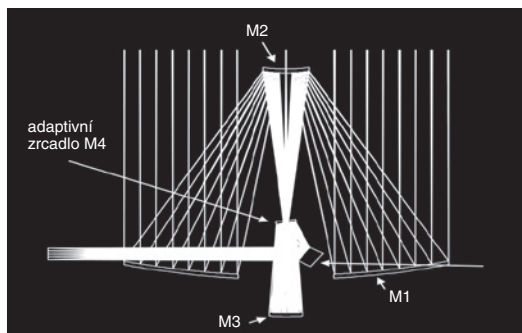
Obr. 3. Naklápění segmentů zrcadla M1



Obr. 4. Zrcadlo M4 je ovládáno pomocí 8000 akčních členů



Obr. 1. Teleskop E-ELT (nahore) a jeho primární zrcadlo M1 o průměru 42 m složené z šestiúhelníkových segmentů (dole)



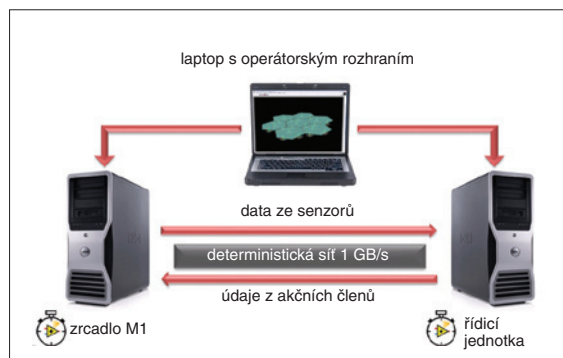
Obr. 2. Dalekohled obsahuje celkem pět zrcadel M1 až M5

systému vyvinula Evropská jižní observatoř speciální řídicí systém na bázi řízení v reálném čase v prostředí VME (*Virtual Machine Environment*). Uvedený postup by mohl být v tomto případě nákladný a časově náročný. Proto nyní observatoř zkouší ve spolupráci s techniky společnosti National Instruments řídicí systém založený na komerčně dostupném softwaru a hardwaru k ovládání primárního segmentovaného zrcadla M1 dalekohledu E-ELT. Společnými silami jsou také hledána řešení v podobě systémů na bázi komerčně dostupných produktů pro řízení adaptivního zrcadla M4 v reálném čase.

Segmentované zrcadlo M1 o celkovém průměru 42 m se skládá z 984 šestiúhelníkových zrcadel (obr. 1), každé o hmotnosti téměř 150 kg a průměru 1,5 až 2 m. Pro srovnání, průměr primárního zrcadla Hubbleova vesmírného teleskopu je 2,4 m. Jen primární zrcadlo dalekohledu E-ELT bude čtyřikrát větší než jakýkoliv jiný optický teleskop na Zemi. Dalekohled obsahuje celkem pět zrcadel M1 až M5 (obr. 2).

Extrémní požadavky řídicího systému na výpočetní kapacitu

Při činnosti zrcadla M1 se jeho segmenty mohou vzájemně naklánět (obr. 3). Odchylka je monitorována senzory umístěnými na okrajích zrcadel a akční členy mohou těmi-



Obr. 5. Schéma řízení zrcadla M1

to segmenty v případě potřeby pohnout v jakémkoliv směru o 3°. Na 984 segmentech zrcadla je nainstalováno 3 000 akčních členů a 6 000 senzorů.

Tento systém, řízený softwarem LabView, musí číst údaje ze senzorů pro určení polohy segmentů zrcadla, a jestliže se segmenty pohnou, musí je pomocí akčních členů vyrovnat. Software LabView počítá součin matice 3 000 × 6 000 bodů a vektoru o 6 000 bodech a tento výpočet provádí 500krát až 1 000krát za sekundu, aby bylo dosaženo efektivního nastavení zrcadla.

vychází výpočetní výkon na 9 000 × 15 000, a je tedy zhruba patnáctkrát větší než pro velké segmentované zrcadlo M1.

Evropská jižní observatoř spolupracovala se společností NI již na tvorbě synchronizačního systému a systému pro sběr dat z velkého počtu kanálů a přitom se pracovníci NI začali věnovat souvisejícím matematickým a řídicím problémům. Simulovali rozmístění, navrhli řídicí matici a řídicí smyčku. Základem těchto operací je velmi rozsáhlá maticově-vektorová funkce programu LabVIEW, provádějící značnou část výpočtu. Řízení zrcadel M1 a M4 vyžaduje enormní výpočetní výkon, který zabezpečuje několik vícejádrových systémů. Protože při řízení zrcadla M4 je třeba řešit patnáct submatic matic 3 000 × 3 000, bylo zapotřebí patnáct počítačů s co největším počtem jader. Proto bylo nezbytné použít řídicí systém se schopností pracovat s několika jádry. Pro to je velmi vhodné právě prostředí LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), které dokáže ovládat více jader s využitím komerčně dostupných řešení.

LabVIEW s podporou náročných výpočtů s vícejádrovými procesory

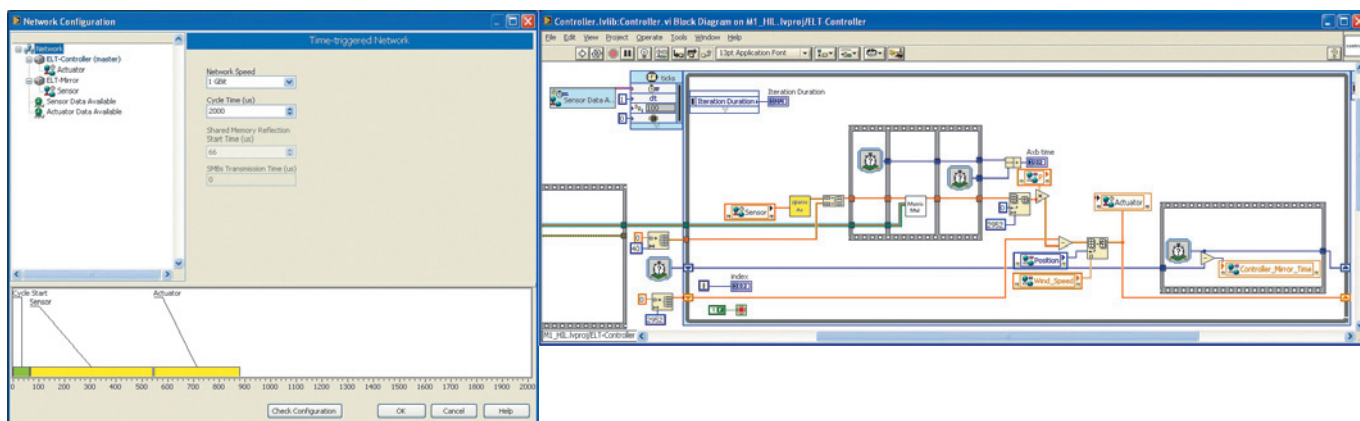
Protože bylo nutné navrhnout řídicí systém ještě před vlastní stavbou dalekohledu

zrcadla M1 reaguje na výstupní hodnoty řídicího systému a ověřuje jeho chování. Řídicí systém i simulátor zrcadla byly umístěny na vícejádrový počítač, na němž běží modul LabVIEW Real-Time Module, zajišťující deterministický běh.

V podobných úlohách vyžadujících náročné výpočty jsou velmi úzce propojeny komunikační a výpočetní úkoly. Chyby v komunikačním systému vedou k chybám celého systému. Proto vývoj celkového řešení zahrnuje návrh vzájemné souhry komunikace a výpočtů. Technici společnosti NI potřebovali rychlou, deterministickou výměnu dat v jádru systému, takže hned věděli, že tento systém nemůže využívat standardní Ethernet pro komunikaci, protože jeho síťový protokol je nedeterministický. Pro výměnu dat mezi řídicím systémem a simulátorem zrcadla M1 použili funkci deterministické sítě LabVIEW Real-Time Module a získali tak síť s deterministickým přenosem dat rychlostí 36 MB/s.

Společnost NI vypracovala úplné řešení pro zrcadlo M1, které využívá dvě pracovní stanice Dell Precision T7400, každou s osmi jádry, a notebook fungující jako rozhraní obsluhy. Toto řešení zahrnuje také dvě sítě – standardní síť propojující oba systémy reálného času (*Real Time Target*) s notebookem a časově deterministickou síť Ethernet o rychlosti 1 GB/s pro výměnu dat I/O mezi systémy reálného času (obr. 5).

Co se týče chování systému, bylo zjištěno, že řídicí jednotka během každé smyčky přijme hodnoty z 6 000 senzorů, vykoná řídicí algoritmus pro vyrovnání segmentů a vyše



Obr. 6. Obrazovky řídicího systému pro ovládání zrcadla dalekohledu

Senzory a akční členy rovněž řídí adaptivní zrcadlo M4. Nicméně M4 je tenké zakřivitelné zrcadlo o průměru 2,5 m, které je ovládáno s použitím 8 000 akčních členů (obr. 4). Řešení je podobné aktivnímu řízení zrcadla M1, ale namísto udržování tvaru je třeba tvar měnit podle aktuálních atmosférických poruch. Data výskytu atmosférických jevů jsou převedena na vektor o 14 000 hodnotách. Protože je nutné každých několik milisekund aktualizovat 8 000 akčních členů, vypočítá se součin řídicí matice 8 000 × 14 000 a vektoru o 14 000 hodnotách. Zaokrouhlením nahoru

E-ELT, mohla konfigurace systému ovlivnit některé konstrukční vlastnosti teleskopu. Vyvinutý řídicí systém bylo nezbytné vyzkoušet tak, jako by řídil skutečný dalekohled. Proto technici společnosti NI vyvinuli pomocí LabVIEW také systém, který v reálném čase simuluje činnost zrcadla M1. Řídicí systém zkoušeli metodou HIL (*Hardware-In-the-Loop*), která se běžně používá při navrhování řídicích systémů v automobilovém a leteckém průmyslu k ověřování řídicího prvku pomocí přesného simulátoru pracujícího v reálném čase. Vyvinutý simulátor

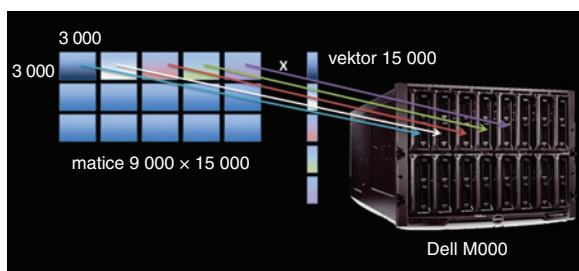
3 000 výstupních hodnot pro akční členy. Tým společnosti NI pro dosažení těchto výsledků vytvořil řídicí systém a simulátor skutečného chování teleskopu v reálném čase. Tento simulátor přijme během jedné iterace výstupní hodnoty 3 000 akčních členů, výpočet doplní proměnnou reprezentující atmosférické poruchy, jako je vítr, vykoná algoritmus pro simulaci zrcadla M1 a vyše hodnoty z 6 000 senzorů. Pro adekvátní řízení zrcadla musí celá řídicí smyčka proběhnout za méně než 1 ms (obr. 6).

Technici NI provedli dva srovnávací testy pro násobení matic a vektorů s využitím Lab-

VIEW Real-Time Module na počítači se dvěma čtyřjádrovými procesory:

- s využitím čtyř jader a funkce *single precision* (32bitové výpočty s pohyblivou desetinnou čárkou) bylo dosaženo doby výpočtu 0,7 ms,
- s využitím osmi jader a funkce *single precision* bylo dosaženo doby výpočtu 0,5 ms.

Zrcadlo M4 musí měnit tvar podle naměřených atmosférických jevů a technici společnosti NI dospěli k závěru, že tento problém lze řešit pouze za použití vyspělého deskového (*blade*) systému s vícejá-



Obr. 7. Řídicí systém je řešen pomocí šestnáctideskového počítače M1000 společnosti Dell

drovými procesory. Společnost Dell nabídla týmu NI pro otestování tohoto řešení vlastní šestnáctideskový systém M1000 (obr. 7). Výsledky testů byly povzbuzující. Každý z des-

kových počítačů M1000 disponuje osmi jádry, což znamená, že řídicí problém zpracováváný programem LabVIEW byl distribuován na 128 jader.

Technici společnosti NI dokázali, že pomocí prostředí LabVIEW a LabVIEW Real-Time Module lze vyvinout systém na bázi komerčně dostupných produktů a řídit vícejádrové výpočty pro dosažení výsledků v reálném čase. Tým Evropské jižní observatoře má tedy pro řešení dalekohledu E-ELT poslední objevy počítačové vědy, což může značně přispět i k pokroku v astronomii.

Jason Spyromilio,
European Southern Observatory

Automatické měření množství pylů v ovzduší

Sníh rychle taje, první krokusy vyrážejí ze studené půdy na denní světlo – a lidé trpící sennou rýmou opět vytahují kapesníky. Příčinou jejich obtíží je prudce se zvyšující výskyt typických jarních alergenů, jako jsou pylové částice lísky, olše, břízy apod. V rozhlase, televizi i v dalších médiích se začínají objevovat pravidelná pylová hlášení, která mají informovat veřejnost o aktuálním a očekávaném výskytu pylových částic v ovzduší. O spolehlivosti pylových hlášení lze ovšem často pochybovat. Předpověď je závislá na počasí a na počtu momentálně létajících pylových částic. Hlavní problém spočívá v tom, že je k dispozici jenom velmi málo kvantitativních i kvalitativních údajů o výskytu pylů v ovzduší, protože jejich stanovení je nákladné. Měří se většinou ručně. Kontrolovaný vzduch proudí na proužek lepicí pásky, na které se pylové částice obsažené v ovzduší zachytí. Pracovníci laboratoře zkoumají zachycené pylové částice pod mikroskopem a zjišťují počet pylových zrníček různého druhu. Je to zdoluhavá procedura, která se navíc vykonává jen na vybraných pracovištích.

Pro optimální předpověď pylové situace je zapotřebí hustší síť monitorovacích stanic. Německá meteorologická služba proto objednala patnáct nových moderních měřicích stanic, které vyvinuli odborníci Fraunhoferova ústavu pro aplikovanou informatiku FIT (*Institut für Angewandte Informationstechnik*) v Sankt Augustinu a Fraunhoferova ústavu pro toxikologii a experimentální medicínu ITEM (*Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin*) v Hannoveru ve spolupráci s výrobní firmou Helmut Hund GmbH. Podstata jejich řešení spočívá ve způsobu vyhodnocení. Stanice zjišťují skladbu a množství pylových částic v ovzduší zcela automaticky

a zjištěné údaje odesílají přímo na pracoviště meteorologické služby.

K tomu účelu nasávají měřicí stanice, které jsou umístěny ve velkých celokovo-



Obr. 1. Moderní monitorovací stanice zcela automaticky zjišťuje množství pylových částic v ovzduší (foto: Fraunhofer FIT)

vých skříních (obr. 1), kontrolované množství okolního vzduchu. Pylové částice, které jsou v něm obsaženy, se oddělí od běžných nečistot a separují se na speciálním nosiči. V podstatě je to tenká skleněná desička opatřená vrstvou gelu, ve které se za-

chycují pylové částice. Světelný mikroskop automaticky snímá obrazy pylových částic. Potíž je v tom, že na dvourozměrných obrazech se jeví převážně kulovité pylové částice (ať už lísky, olše nebo břízy) jenom jako kruhy. Při trojrozměrném zobrazení však vykazují zrnka různých druhů pylů drobné rozdíly, jako např. prohlubně.

Mikroskop proto vyšetřuje pylové částice v sedmdesáti různých vrstvách tím, že se sedmdesátkrát automaticky změní jeho ohnisková vzdálenost. Pro každou rovinu vypočítá systém místa, která jsou zobrazena nejostřeji. Ze všech těchto bodů se potom složí dvourozměrný obraz, který obsahuje trojrozměrné informace – obraz ukazuje jakoby „zplácnutou“ horní polovinu pylového zrnka. Má-li zde pylové zrnko prohlubně, na tomto obraze je to možné rozoznát. Ze získaných informací systém vypočítá určité matematické znaky, porovná je s údaji v databázi a určí, o jaký druh pylu jde. Během jedné až dvou hodin jsou výsledky k dispozici a po komunikační síti se odešlou na příslušné pracoviště meteorologické služby. Odborníci jsou přesvědčeni, že nové inteligentní monitorovací stanice, umožňující automaticky měřit množství pylových alergenů v ovzduší, výrazně přispějí ke zlepšení a zpřesnění předpovědi pylové situace.

[Mediendienst FhG, Nr. 2–2009, Thema 2: Pollenflug automatisch messen.]

Kab.