

Koncepcia virtuálneho laboratória pre prácu s optickým korelátorom

Rakoci František · Elektrotechnika, Informačné technológie

13.03.2017



Tento článok sa zaoberá koncepciou virtuálneho laboratória pre prácu s optickým korelátorom. Dostupnosť takto špecifického zariadenia pre všetkých študentov a výskumných pracovníkov v ľubovoľnom čase je výrazne obmedzená. Vzdialený online prístup k optickému korelátoru je efektívnym riešením pre zvýšenie dostupnosti. Virtuálne laboratórium poskytuje rozhranie, pomocou ktorého je možné komunikovať s optickým korelátorom na diaľku prostredníctvom počítača pripojeného k internetovej sieti. Navrhovaná koncepcia je modifikovateľná v závislosti od existujúcej infraštruktúry, finančných možností a špecifických potrieb organizácie, ktorá laboratórium prevádzkuje.

1. Úvod

Optické spracovanie informácií má v každodennom živote rastúci význam. S rastúcimi nárokmi na množstvo dát a rýchlosť ich spracovania začína byť použitie elektronických zariadení obmedzené. Sú dosiahnuté hranice ich fyzikálnych možností, spotreba energie je neúmerne dosiahnutému výkonu a vyžarovanie tepla nekontrolovateľné. Riešením týchto problémov môže byť obrovský výpočtový výkon, ktorý ponúkajú optické systémy. Technológie ako optická korelácia, uchovávanie holografických dát a optické prepínanie sú potenciálnymi nástrojmi na prekonanie limitov, ktoré sa v oblasti elektronických zariadení začínajú prejavovať. Jedným z riešení pre demonštráciu optického spracovania údajov je experimentálny optický korelátor, ktorý vykonáva optickú Fourierovu transformáciu. Umožňuje študentom a výskumným pracovníkom prakticky skúmať škálu problémov založených na optickej Fourierovej transformácii. S ľahko použiteľným softvérovým balíkom a Matlab rozhraním, poskytuje neoceniteľný nástroj vo svete Fourierovej optiky.

Virtuálne laboratórium v tomto článku reprezentuje prostredie zabezpečujúce vzdialenú prácu s optickým korelátorom, ktorý je umiestnený v laboratóriu optoelektronických systémov. Hlavnou úlohou virtuálneho laboratória je poskytnúť vzdialený prístup k reálnemu zariadeniu v skutočnom laboratóriu s cieľom vykonávať experimenty potrebné k osvojeniu problematiky optického spracovania obrazu. Najefektívnejšou cestou pre vzdialený prístup je použitie internetovej siete. Vďaka jej dostupnosti je možné využívať virtuálne laboratórium z akéhokoľvek miesta na svete prostredníctvom osobného počítača s internetovým prehliadačom. V závislosti od použitých zariadení a navrhutej topológie, je pre správnu funkciu celého systému

nevyhnutné definovať komunikačné rozhrania medzi týmito zariadeniami a internetovou sieťou.

V navrhutej koncepcii je komunikácia medzi korelátorom, internetovou sieťou a používateľom riešená pomocou dvoch samostatných serverov. Rozhranie medzi optickým korelátorom a sieťou je riešené pomocou ovládacieho servera, ktorý zabezpečuje preklopenie uzavretého štandardu a špecifických rozhraní optického korelátoru. Rozhranie medzi koncovým používateľom a sieťou je zabezpečené pomocou webového servera s používateľským rozhraním. Navrhované riešenie umožňuje vzdialené spracovávanie statických obrazov. Vstupný obraz a konfiguračné parametre sú odosielané z formulára používateľského rozhrania zobrazeného v internetovom prehliadači koncového používateľa. Používateľské rozhranie slúži taktiež na zobrazenie výsledku optickej korelácie. Všetky dôležité časti virtuálneho laboratória budú podrobne opísané v ďalšom texte. [1][2]

2. Optická Fourierova transformácia

Výhodou realizácie Fourierovej transformácie optickou cestou je vysoká rýchlosť spracovania. Keďže optická Fourierova transformácia je vo svojej podstate paralelný proces, nemusí sa porovnávať každý obrazový prvok vstupných obrazov zvlášť, ako je to pri konvenčnom elektronickom spracovaní. Výsledok je získaný pre vstupný obraz ako celok v jednom momente. Výkon zariadenia vykonávajúceho optickú Fourierovu transformáciu závisí tým pádom iba od rozlíšenia priestorového modulátora svetla na jeho vstupe a od rozlíšenia CMOS senzora na jeho výstupe. [5] Korelácia je definovaná ako Fourierova transformácia súčinu Fourierových obrazov vstupného a referenčného signálu s a r podľa vzťahu:

$$r * s = FT[R \times S] \quad (1)$$

kde označenie veľkými písmenami zodpovedá Fourierovej transformácii príslušných signálov označených malými písmenami. Optická korelácia v 1/f JTC (Joint Transform Correlator) systéme je realizovaná v dvoch krokoch základnej optickej Fourierovej transformácie. V prvom kroku sú funkcie r a s umiestnené a priestorovo oddelené vo vzdialenostiach

$$(x_0, y_0) \text{ a } (-x_1, -y_1) \quad (2)$$

od stredu plochy a sú zobrazené na priestorovom modulátore svetla pre vytvorenie vstupnej scény

$$s(x - x_0, y - y_0) + r(x + x_1, y + y_1) \quad (3)$$

Priestorový modulátor svetla je následne osvetlený kolimovaným koherentným kruhovo polarizovaným svetlom vytvoreným laserovým zdrojom svetla a kolimačnými šošovkami. Svetlo je modulované vstupnou scénou vytváranou tekutými kryštálmi priestorového modulátora svetla. Modulované svetlo následne prechádza transformačnými šošovkami. Fourierova transformácia vstupnej scény vzniká v zadnej ohniskovej vzdialenosti transformačných šošoviek. Na tomto mieste je distribúcia intenzity Fourierovej transformácie zaznamenaná CMOS kamerovým senzorom.

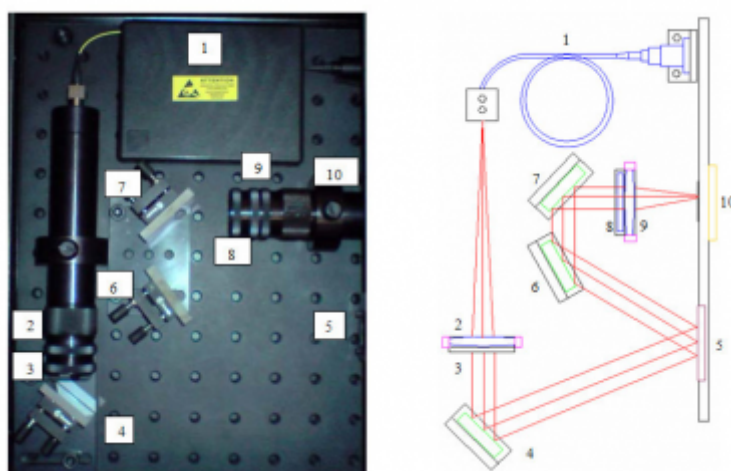
Distribúcia intenzity je nazývaná spojeným výkonovým spektrom a definovaná ako:

$$\begin{aligned}
 & |R(u, v)^{-2\pi j[-ux_1 - vy_1]} + R(u, v)^{-2\pi j[ux_0 + vy_0]}|^2 = \\
 & = (|R(u, v)|^2 + |S(u, v)|^2) + \\
 & + R^*(u, v)S(u, v)^{[-2\pi j(u(x_1 - x_0) + v(y_1 - y_0))]} + \\
 & + S^*(u, v)R(u, v)^{[-2\pi j(u(x_0 - x_1) + v(y_0 - y_1))]}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Koreláciu je možné získať aplikovaním ďalšej Fourierovej transformácie na získané spojené výkonové spektrum. Výkonové spektrum zaznamenané v prvom kroku je potrebné pred ďalším optickým spracovaním binarizovať. Binarizovaný obraz je opätovne zobrazený na ploche priestorového modulátora svetla a modulované svetlo je spracované systémom šošoviek. Výsledný obraz zaznamenaný CMOS kamerovým senzorom v druhom kroku je distribúciou intenzity Fourierovej transformácie spracovaného spojeného výkonového spektra. Distribúcia intenzít obsahuje požadované korelačné intenzity, ktoré sú zobrazené ako páry symetrických bodov. Intenzita bodov zodpovedá miere podobnosti referenčného a vstupného obrazu. Pozícia bodov zodpovedá relatívnej pozícii medzi vstupným a referenčným obrazom.[3]

3. Optický korelátor

Optický korelátor je zariadenie, ktorého úlohou je vykonávanie Fourierovej transformácie dvojrozmerného obrazu optickou cestou. Jadrom optického korelátora je kompaktný systém pozostávajúci zo sústavy šošoviek, priestorového modulátora svetla a CMOS kamerového senzora. Optickú Fourierovu transformáciu zabezpečuje vhodná konfigurácia šošoviek, ktorou prechádza modulované laserové svetlo. Vhodnou konfiguráciou spracovania je možné dosiahnuť 1/f korelátor so spojenou transformáciou (JTC).- výkonný systém pre vyhľadávanie a rozpoznávanie obrazov. Korelátor dokáže zabezpečiť porovnanie veľkých datových sád s meraním miery podobnosti a vzájomnej pozície objektov vstupnej scény. Umožňuje rozsiahlu analýzu a porovnávanie vstupných obrazov oproti rozsiahlym referenčným knižniciam.



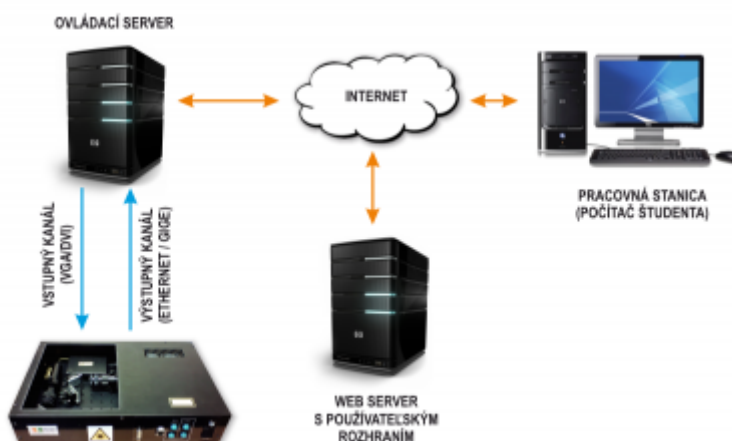
Obr. 1 Bloková schéma optického korelátora [4], 1) laserová dióda a jednovidové optické vlákno, 2) kolimačné šošovky, 3) polarizátor, 4) ploché zrkadlo, 5) SLM, 6) ploché zrkadlo, 7) ploché zrkadlo, 8) analyzátor, 9) transformačné šošovky, 10) CMOS kamerový senzor

Nízkovýkonové laserové svetlo je distribuované prostredníctvom jednovidového optického vlákna a slúži ako nosič informácií. Kolimované svetlo je následne modulované priestorovým modulátorom svetla, podľa tvaru vstupného obrazu. Priestorový modulátor svetla je ovládaný prostredníctvom DVI rozhrania, pomocou ktorého je možné adresovať každý pixel modulátora a vytvoriť tak požadovaný vstupný obraz na jeho ploche. Modulované laserové svetlo je následne premietnuté cez sústavu šošoviek, výsledkom čoho je Fourierova transformácia vstupného obrazu. Výstup spracovania je zaznamenaný pomocou CMOS kamerového senzora ako distribúcia intenzity optickej Fourierovej transformácie. Tento obraz z CMOS senzora je sprístupnený prostredníctvom Ethernetového rozhrania Gige.



Obr. 2 Optický korelátor [4]

4. Bloková schéma virtuálneho laboratória



Obr. 3 Bloková schéma virtuálneho laboratória pre prácu s optickým korelátorom

Systém virtuálneho laboratória pozostáva z niekoľkých funkčných celkov opísaných v nasledujúcom texte.

4.1. Optický korelátor

Optický korelátor je samotné zariadenie, ktoré má byť ovládateľné na diaľku prostredníctvom webového používateľského rozhrania. Korelátor prijíma vstupné obrazy pomocou DVI vstupu a poskytuje výstupný obraz prostredníctvom ethernetového rozhrania vo forme nekomprimovaného obrazu. Výstupný obraz vo vnútri optického korelátora je zaznamenaný priemyselnou kamerou Leutron, ktorej komunikačný štandard je používaný iba v špecifických oblastiach. Použitím dostupných softvérových riešení tým pádom nie je možné zabezpečiť kompletnú komunikáciu s koncovým používateľom bez použitia medzičlánkov. Na zabezpečenie tejto

komunikácie slúži dvojica nižšie popísaných serverov. [5]

4.2. Ovládací server

Úlohou ovládacieho servera je preklenúť komunikačné rozdiely medzi svetom internetu a vstupno-výstupnými rozhraniami optického korelátoru. Základom ovládacieho servera je aplikácia, ktorá dokáže zobrazíť vstupný obraz na DVI výstup servera (vstup korelátoru) a taktiež je schopná prijať obraz z korelátoru pomocou uzavretého komunikačného štandardu prostredníctvom ethernetového rozhrania Gige. Ovládací server má okrem komunikácie s optickým korelátorom bežiacu webovú službu, ktorá z internetovej siete prijíma vstupné obrazy a parametre dôležité pre spracovanie. Odpoveďou, ktorú následne posiela, je skupina výstupných obrazov z jednotlivých krokov korelácie.

4.3. Web server s používateľským rozhraním

Program obsluhujúci chod používateľského rozhrania pre koncového používateľa je umiestnený na samostatnom serveri. Tento fakt zvyšuje univerzálnosť navrhovaného systému a demonštruje možnosť využitia práce s optickým korelátorom aj pre externé inštitúcie. Web server s používateľským rozhraním využíva dve komunikačné cesty. Prvou cestou je komunikácia s koncovým používateľom. Používateľ má k dispozícii rozhranie, pomocou ktorého môže definovať parametre korelácie a zvoliť vstupný obraz pre spracovanie optickým korelátorom. Po potvrdení server tieto informácie pošle ovládacímu serveru optického korelátoru. Po získaní odpovede túto doručí opäť do používateľského rozhrania, kde bude k dispozícii pre koncového používateľa.

4.4. Pracovná stanica

Pracovnou stanicou je akýkoľvek osobný počítač s pripojením do siete internet. Jeho úlohou je zobrazíť používateľské rozhranie v internetovom prehliadači, poslať vstupné parametre na webový server a prijať odpoveď vo forme obrazu s výstupom korelácie.

4.5. Internetová sieť

Internetová sieť predstavuje v celom systéme prostriedok na zabezpečenie vzdialenej komunikácie. Čas potrebný na spracovanie od potvrdenia formulára koncovým používateľom až po doručenie odpovede závisí práve od parametrov internetovej siete. Keďže táto verzia virtuálneho laboratória nepredpokladá spracovanie videosekvencií, na prenosovú rýchlosť nie sú kladené špeciálne nároky.

5. Komunikácia v systéme virtuálneho laboratória

Úlohou navrhovaného virtuálneho laboratória je sprístupnenie komunikácie s optickým korelátorom študentom a výskumným pracovníkom, ktorí práve nemajú možnosť byť fyzicky prítomní v laboratóriu, kde je korelátor umiestnený. Navrhované riešenie má oddelený ovládací server a používateľský server pre potenciálnu možnosť využitia jedného zariadenia viacerými organizáciami. Predpokladom pre zvýšenie univerzálnosti využitia je všeobecné komunikačné rozhranie na strane ovládacieho servera.

Prvou, hlavnou časťou systému virtuálneho laboratória je ovládacia časť, ktorú tvorí samotný korelátor a ovládací server. Úlohou tohto spojenia je preklenúť nekompatibilitu vstupno-výstupných rozhraní optického korelátoru s ethernetovým rozhraním pre pripojenie do siete internet. Výsledkom je možnosť ovládania optického korelátoru jednoduchým volaním aplikačného rozhrania prostredníctvom protokolu HTTP. Volania sú rozdelené do dvoch skupín. Prvú skupinu tvorí získavanie a nastavovanie parametrov jednotlivých častí korelátoru. Vstupom týchto volaní je názov nastavenia a hodnoty nastavovaných parametrov. Výstupom je štruktúrovaný reťazec vo formáte JSON so všetkými príslušnými parametrami a ich aktuálnymi hodnotami.

5.1. CameraProperties

Táto funkcia nastavuje a vracia hodnoty parametrov ovplyvujúcich správanie CMOS kamerového senzora umiestneného v optickom korelátore.

- MasterGain - hlavné zosilnenie
- BlackLevel - úroveň čiernej
- Exposure - expozičný čas
- NoiseOffset - úroveň šumu
- Orientation - uhol otočenia obrazu

5.2. SLMProperties

Nastavenie priestorového modulátora svetla zahŕňa iba jeden parameter a to oneskorenie medzi zobrazením obrazu na ploche modulátora a zaznamenaním výstupného obrazu CMOS kamerovým senzorom.

- FrameDisplayDelay - oneskorenie

5.3. OFTProperties

Táto funkcia určuje spôsob samotného spracovania vstupného obrazu. Voľbou počtu krokov optickej Fourierovej transformácie je možné určiť, či výsledkom celého procesu bude jednoduchá Fourierová transformácia vstupného obrazu, alebo optická korelácia.

- PassesNumber - počet krokov Fourierovej transformácie
- FirstPassProcessing - predspracovanie obrazu medzi jednotlivými krokmi

Do druhej skupiny patrí funkcia, ktorá vyvolá samotný proces optickej Fourierovej transformácie, resp. optickej korelácie. Vstupom tejto funkcie je dvojrozmerný obraz, ktorý sa má spracovávať. Výstupom je sada obrazov po spracovaní v jednotlivých krokoch korelácie.

5.4. OFT

- InputImage - vstupný obraz

Spojenie optického korelátoru s ovládacím serverom je nevyhnutnou a zároveň postačujúcou časťou virtuálneho laboratória. Príkazmi pre vzdialený prístup pomocou protokolu HTTP je možné optický korelátor plnohodnotne využívať jednoduchým

volaním jednotlivých funkcií priamo z konzoly vzdialeného počítača.

Druhou, doplnkovou časťou virtuálneho laboratória je web server s grafickým používateľským rozhraním. Tento server slúži na zjednodušenie ovládania optického korelátoru. Nasadením grafického používateľského rozhrania rapídne klesajú nároky na znalosť realizácie vzdialeného prístupu a nízkoúrovňovej komunikácie pomocou protokolu HTTP. Používateľské rozhranie obsahuje interaktívne prvky, pomocou ktorých je možné intuitívne získať a nastaviť potrebné parametre optickej korelácie. Umožňuje taktiež vybrať príslušný súbor s obrazom vstupnej scény, ktorý sa po potvrdení odošle ovládaciemu serveru, na základe čoho sa na príslušnom mieste zobrazí výsledok spracovania optickým korelátorom.

Použitie webového servera a aplikácie s používateľským rozhraním je praktické taktiež z dôvodu nezávislého umiestnenia zariadenia a univerzálneho prístupu z akéhokoľvek miesta s pripojením k internetovej sieti. Prístup k samotnému ovládaciemu serveru pre širokú skupinu ľudí môže byť problematický z viacerých dôvodov. Najčastejším problémom je absencia verejnej IP adresy, resp. zablokované porty pre prístup z externej siete. Použitím webového servera, resp. samotnej aplikácie umiestnenej u nezávislého poskytovateľa webhousingových, alebo webhostingových služieb je možné problém s konektivitou vyriešiť centrálnou HTTP tunelom, alebo presmerovaním portov, čím sa znižujú nároky na komplikovanú konfiguráciu na strane koncového používateľa. Celková štruktúra a zvolená topológia sú však do veľkej miery manažovateľné a je možné ich jednoducho prispôbiť dostupným možnostiam príslušnej organizácie, ktorá dané laboratórium prevádzkuje.

6. Záver

Virtuálne laboratórium pre prácu s optickým korelátorom má veľký potenciál priblížiť reálne optické spracovanie obrazu aj študentom a výskumným pracovníkom, ktorí majú obmedzenú možnosť fyzicky navštíviť reálne laboratórium. Uvedená komunikačná topológia slúži na demonštráciu využitia vzdialeného prístupu pre externé inštitúcie. Pre minimalizáciu nákladov je možné celú komunikáciu centralizovať a realizovať chod laboratória s využitím jediného servera. Plánom do budúcnosti je prispôbiť komunikáciu tak, aby bolo možné vykonávať aj spracovanie jednotlivých snímok videosekvencií.

7. Referencie

1. P. Fecilák, K. Kleinová, Virtual laboratory environment based on Dynamips platform, 2012, In: ICETA 2012 • 10th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, p. 105-109
2. J. Janitor, P. Fecilák, F. Jakab, Enabling Long Distance Education with Realtime Video, 2012, In: ICETA 2012 • 10th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, p. 167-171
3. J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, Tretie vydanie, Greenwood Village, United States: Roberts & Company Publishers, 2005. 528 strán. ISBN 9780974707723
4. Cambridge correlators [online]. [cit. 2016-07-01]. Dostupné na internete: <http://www.cambridgecorrelators.com>
5. F. Rakoci, L. Ovseník, J. Turán, Inventarizačný systém dopravných značiek s využitím

optického korelátora, 2012, In: Electrical Engineering and Informatics 3 : proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. - Košice : FEI TU, 2012 S. 477-481. - ISBN 978-80-553-0890-6

Spoluautormi článku sú doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD., Dr. h. c. prof. RNDr Ján Turán, DrSc., Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Vysokoškolská 4, 040 01 Košice
