

ZÁRÓJELENTÉS

a T 043136 ELE számú OTKA szerződés
keretében végzett munka eredményeiről

A téma címe:

Programozható optoelektronikus tömbprocesszorok (POAC) és alkalmazásaik

A téma vezetője:

*Tőkés Szabolcs
MTA SZTAKI*

A kutatás időtartama: 2003-2005

Összefoglalás

Kidolgoztunk és megépítettünk egy hordozható programozható opto-elektronikus analogikus CNN számítógépet (Laptop-POAC), amelyet céltárgyak felismerésére és követésére alkalmaztunk. A POAC (programmable optical analogic array computer) magprocesszora egy új típusu optikai korrelátor, amelyben bakteriorhodopszin (BR) filmet alkalmaztunk dinamikus (újraírható, többszörösen olvasható, törölhető) holografikus anyagnaként.

Ez az optikai CNN implementáció egyesíti az optikai számítógépek nagy sebességét, rendkívül nagy prázumosságát (millió nagyságrendű csatornaszám) és a nagymértű optikai templatek alkalmazásának lehetőségét a CNN eszközök rugalmas programozhatóságával.

Különös jellemzője ennek az optikai tömbprocesszornak az, hogy a programozó templateket vagy egy kétdimenziós akusztó-optikai eltérítővel (ez esetben 64x64 pixel méretű templateket használtunk), vagy egy VCSEL lézer mátrixszal valósíthatjuk meg. A bemenő képeket 600x800 pixel felbontású folyadékkristályos mikromegjelenítővel vittük be. Meghatároztuk a jelenleg beszerezhető kulcselemekkel elérhető maximális felbontás és a sebesség korlátait. Ezáltal kimutattuk, hogy a kispárhuzamoságú elektronikus adatátvitel (továbbá a létező CCD, CMOS és vizuális CNN chipok felbontás/sebesség) korlátai miatt kétdimenziós optika utófeldolgozásra van szükség és lehetőség.

Új és hatékony céltárgy felismerő és több tárgy kvázi-egyidejű követésére alkalmas algoritmust dolgoztunk ki. Mérésekkel bizonyítottuk a berendezés és az algoritmusok hatékonyságát.

A megépített modellben egy video-sebességű CCD kamera detektálja a korrelogramokat, azonban elkezdtek egy CNN-UM chippel és egy nagysebességű és nagyfelbontású CMOS kamerával működő optikai poszt-processzor kidolgozását. Így lehetővé fog válni az 550 kép/sec képfrekvenciájú, 1000 x 1000 pixel felbontású korrelátorból és optikai poszt-processzorból álló berendezés kifejlesztése.

Optikai CNN template- és algoritmus könyvtárat dolgoztunk ki, mellyel sokféle képfeldolgozási feladat megoldható és fontos feladat ennek a könyvtárnak a bővítése.

A POAC elv egyszerűsített változatát alkalmazva kifejlesztettünk egy optikai biztonságtechnikai rendszert (OBR), mely diffrakciósan kódolt optikai bélyegekkel működik. Ennek a készüléknek és rendszernek rendkívül fontos alkalmazásait készítettük elő a következő területekre: bank-technika, beléptető rendszerek, temékek feltörhetetlen

zárjeggyel törtéző bélyegzése, személy-, okmány- és gépkocsi-azonosító rendszer. E területeken rendkívül nagy piaci igények várhatók.

Mind a POAC , mind az OBR fejlesztése során jelentős technológiai eredmények is születtek. Itt elsősorban a gyors és nagyfelbontású bakteriorhodopszin (BR) film kidolgozására és felhaználására, másrészt a hullámoptikai célokot szolgáló fotolitográfiai szoftverek, a mester-rács készítő technológia és a Ni nyomóbélyegegk előállítási technológiájának kidolgozására kell hivakoznunk.

Holografikus kereső korrelátor (holographic searching correlator - SC)

Korábban a szakirodalom kétféle holográfiai elven működő korrelátort ismert, úgymint a VanderLugt típusú (VLC - VanderLugt correlator) és az un. joint-Fourier típusu (JTC) korrelátorokat.

Munkánk során kifejlesztettünk egy harmadik típusu korrelátort. Ezt talán legjobban a kereső-korrelátor (SC – searching correlator) névvel jellemezhetjük.

A VLC illesztett holografikus térfrekvencia szűrővel működik, amely hologramo(ka)t a felismerendő alakzat(ok)ról – templét(ek)ről - előre el kell készíteni. Ezek készülhetnek optikai úton vagy numerikus szimulációval (ez utóbbi esetben viszont gondoskodni kell az optikai megjelenítéséről).

A VLC-nek két jelentős hátránya van:

1. A holografikus illesztett szűrő elkészítése lassú és bonyolult folyamat (a frekvencia tartományban működik és csak korlátozott template-készlettel, nem adaptíven dolgozik)
2. Rendkívül kényes a beszabályozásra és rezgésekre.

A JTC tértartományú bemenettel működik. Minden egyes bemenőképpel és az éppen aktuális felismerendő templéttel (mely a referencia hullámot adja) külön-külön el kell készíteni egy-egy Fourier-hologramot. Egyetlen síkhullámmal rekonstuált hullámfrontját optikailag inverz-Fourier transzformálva kapjuk a korrelogramot.

A JTC hátrányai:

1. Rendkívül gyors hologram rögzítésre van szükség és minden hologram csak egyszer használható.
2. Az előbbi feladat olyan gyors és nagyfelbontású dinamikus holgrafikus anyagot, nagy fényintenzitást igényel, mely jelenleg gyakorlati alkalmazásokra nem létezik.

Az SC is tértartományú bemenettel működik, azonban klasszikus Fourier-hologram rögzítéssel dolgozik. Egyetlen pontforrás Fourier-transzformáltja (vagyis síkhullám) a

referencia nyaláb. Az így felvett hologramból a template Fourier-transformáltjának a hullámfrontjával rekonstruálunk, így közvetlenül megkapjuk a korrelogramot.

Az SC előnye:

1. Egyetlen bemenőkép-hologramot nagyon sok templattal korrelálhatunk (vagyis a bemenő képen sok alakzat keresését végezhetjük el újabb hologram rögzítése nélkül). Megfelelően gyors (érzékeny, törölhető, újraírható) és nagyfelbontású dinamikus holografikus anyaggal viszont a bemenő hologramok is elegendően nagy (video-) képfrekvenciával változtathatóak. Méréseink szerint ilyennek bizonyult a hazai előállítású (SZBKI Biofizikai Intézete) bakteriorhodopszin (BR) film.
2. Sok bemenő kép hologramját rögzítve egy hordozón (pl. egy holografikus CD tárcsáján) adatbázist rögzíthetünk, melyben egyszerű módon kereshetünk template-alakzatokat.
3. A templatek cseréjével és a korrelogram visszacsatolásával CNN műveletek sorozata végezhető, CNN algoritmusok futtathatók a POAC-on.

A POAC deszkamodelljét több különböző elrendezésben (pl. Lippmann-Denisyuk, Bragg hologram) megépítettük, elvégeztük matematikai analízisüket, numerikus szimulációikat és kísérleti vizsgálatukat. Ezek tanulságai alapján terveztük és építettük meg a hordozható Laptop-POAC változatot.

Mivel a publikációinkban a kutatás minden fázisának leírása megjelent, az alábbiakban az "egy kép többet mond, mint ezer szó" kínai mondásra hivatkozva, néhány ábrán igyekszünk tömören bemutatni eredményeinket.

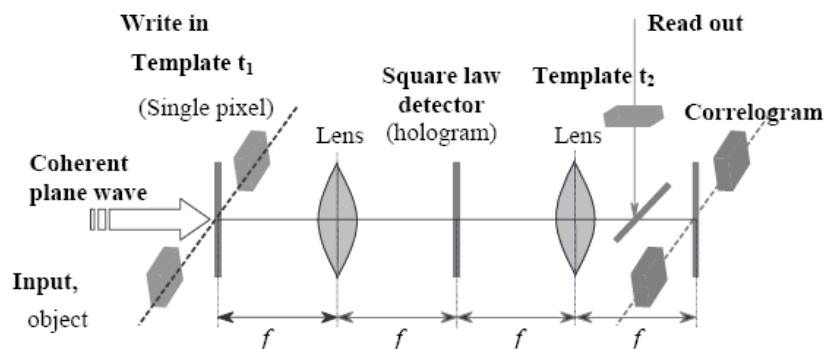


Fig. 1. Scheme of the unconventional, flexibly programmable optical correlator architecture. The hologram of the input image applying a t_1 reference object (or a single reference pixel) is dynamically fixed as in the case of JTC. Additional programming (by template t_2) is carried out in the read-out step. In the second step(s) a great number of different templates can be used, so extremely high correlation speed can be achieved.

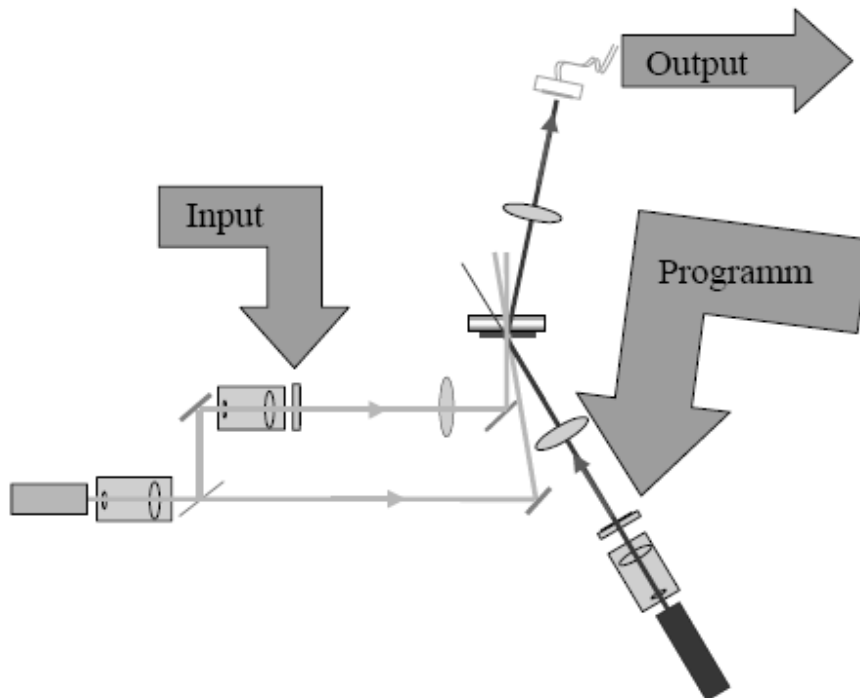


Fig. 2. Architecture of the two-wavelength Laptop POAC system

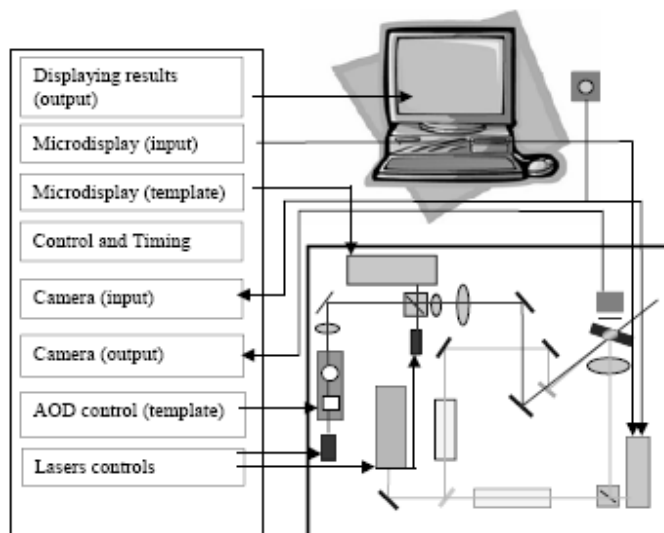


Fig. 3. Schematic view of the Laptop POAC control.

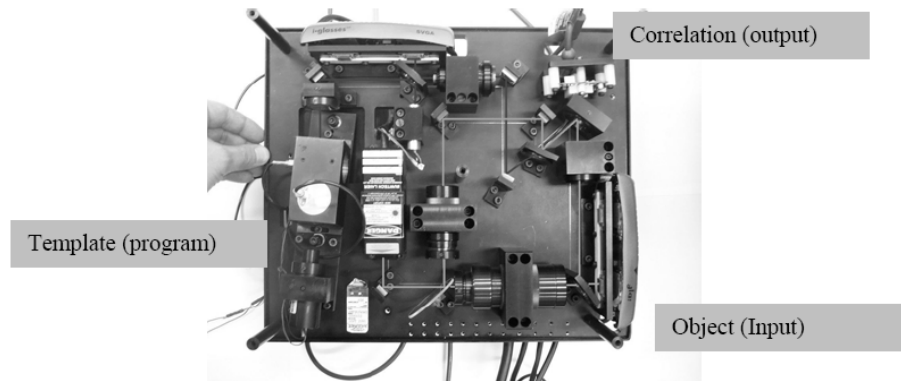


Fig. 6. Photo of the laptop POAC architecture. Red and green lines denote the paths of the laser beams. Input (LCD), programming (AOD or LCD for templates) and output (CCD) devices are also indicated.

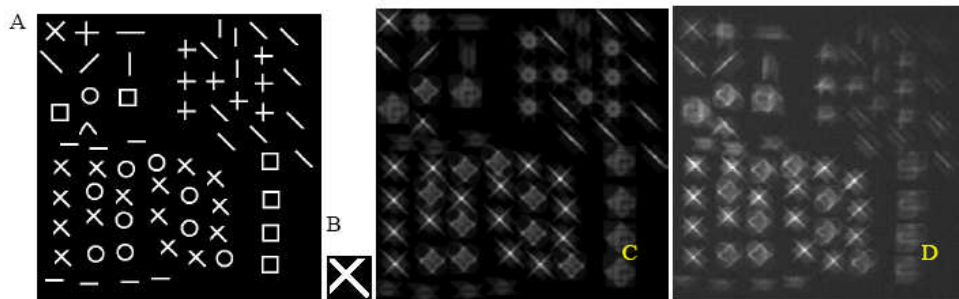


Fig. 7. Computed (C) and experimentally measured correlation (D) of the input image (500x500) (A) and the template (32x32) (B) can be compared. Cross correlation terms show a high degree of similarity. When applying an appropriate threshold, the correlation peaks become separable. The system performance can be estimated from the signal-to-noise-ratio.

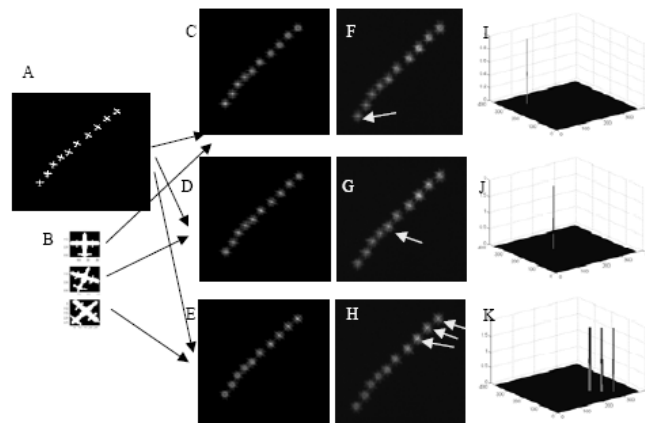


Fig. 12. Our measured and filtered results prove that adaptive target detection and tracking tasks can be accomplished robustly within the programmable optical correlator framework. Inset (A) depicts the time sequence of the input image (500x500), (B) the applied (32x32) templates. The according computed (C, D, E); the experimentally measured (F, G, H) correlograms; and the processed (filtered and thresholded) correlation peaks (I, J, K) shows, the performance of the optical correlator. Gray arrows indicate the detected correlation peaks.

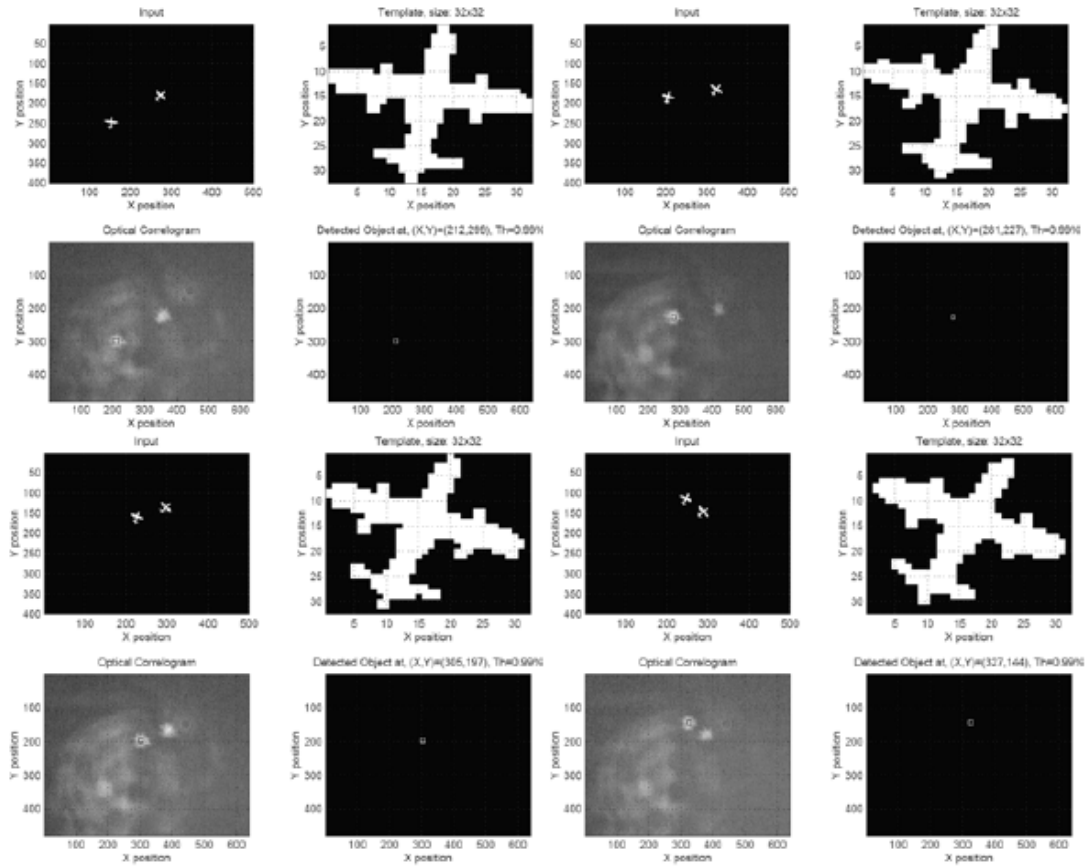


Fig. 13. Adaptively tracked targets using the Laptop POAC system.