

FREDRIK KULLANDER, LARS ALLARD, JOUNI RANTAKOKKO,
PER SAKARI, LARS SJÖQVIST, JOHAN ÖHGREN

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



Fredrik Kullander, Lars Allard, Jouni Rantakokko,
Per Sakari, Lars Sjöqvist, Johan Öhgren

Optisk retrokommunikation, statusrapport

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1847--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	Månad, år December 2005	Projektnummer E 3076
	Delområde 41 Ledning med samband och telekom och IT- system	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Fredrik Kullander Lars Allard Jouni Rantakokko Per Sakari Lars Sjöqvist Johan Öhgren	Projektledare Fredrik Kullander	
	Godkänd av Ove Steinvall	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Fredrik Kullander	
Rapportens titel Optisk retrokommunikation, statusrapport		
Sammanfattning Verksamheten inom optisk retrokommunikation har under året inriktats mot att demonstrera länkar på olika avstånd och visa hur mobilitet skall hanteras. Vid sidan av experimentella studier har dessutom en studie av taktiska tillämpningar genomförts. Slutsatser var bland annat att tekniken är lämpad i tillämpningar som kommunikation från små plattformar t ex taktiska UAV:er, bojar, markenheter ingående i marksensornätverk samt utrustning för igenkänning och märkning (IFF) av militära enheter. En ny laser-enhet med aktiv reglering av laserstrålen har utvecklats. Metodiska tester av tekniken har påbörjats och särskilt atmosfärs effekter har studerats. Vätskekristaller och drivelektronik för olika försök har förberetts och testats. Optiska retromodulatorer har monterats i en TV-mast för länkprov på avstånd upp till 8 kilometer. Flera stationära länkar har etablerats på avstånd upp till 1,4 km vid olika väderförhållanden, under kortare tidsperioder. Matriser med kvantbrunnsstrukturer, tänkta att användas i retroreflektorer av fokalplanstyp, med funktion både som modulator och detektor har utvärderats.		
Nyckelord Fri optisk kommunikation, modulerbar retroreflektor, laser, atmosfärspropagering, ferroelektrisk vätskekristall, multipel kvantbrunn, optisk modulator.		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 20 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1847--SE	Report type Base data report
	Programme Areas 4. C4ISTAR	
	Month year December 2005	Project no. E 3076
	Subcategories 41 C4I	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Fredrik Kullander Lars Allard Jouni Rantakokko Per Sakari Lars Sjöqvist Johan Öhgren	Project manager Fredrik Kullander	
	Approved by Ove Steinvall	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Fredrik Kullander	
Report title (In translation) Optical retro communication, progress report		
Abstract <p>Our activities in the field of optical retro communication have been directed towards demonstrative links at different ranges and aim to show how mobility shall be handled. Along with the mainly experimental efforts, a study of tactical applications was carried out. Some conclusions from this study were that the retro communication is a suitable technology for links from small platforms such as UAV:s, buoys, ground units within ground sensor networks and equipment for identification of battlefield units, e.g. for discriminating friends from foes (IFF). A new laser transceiver with active laser beam pointing has been developed. Systematic tests of the technology have been initiated with a particular emphasis on atmospheric effects.</p> <p>Liquid crystals and drive electronics for different trials have been prepared and tested. Modulated retro reflectors have been mounted in a TV broadcasting mast for link trials with a range up to 8 km. Several stationary links have been set up for limited time periods, at a range up to 1.4 km and under various weather conditions. Focal plane arrays of semiconductor quantum wells have been evaluated for use in modulated retro reflector arrangements with the function of both detector and modulator.</p>		
Keywords Free-space optical communication, modulated retro reflector, laser, atmospheric propagation, ferro-electric liquid crystal, multiple quantum well, modulator.		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 20 p.	
	Price acc. to pricelist	

Inledning	5
Rapportens struktur och syfte	5
Projekt mål.....	5
Omvärldsrelation	5
Nationellt.....	5
Internationellt.....	5
Civila uppdragssatsningar inklusive EU	5
Årets resultat.....	5
Andra projektrapporter 2005.....	6
Andra nyligen utgivna rapporter med koppling till verksamheten	6
Studieverksamhet	7
Grundläggande princip	7
Analys av taktiska tillämpningar.....	7
Tekniska egenskaper som kan bidra till informationsöverläge.....	7
Tillämpningar som forskningen primärt bör inriktas mot.....	7
Viktiga aspekter för närvarande.....	7
Jämförelse med radioteknik.....	8
Fri optisk kommunikation, förstudie inom WEAG.....	8
Teknikutveckling, prov och försök	9
Laser och mottagare för retrokommunikation.....	9
Laserenhet med tip-tilt-korrektion	9
Handhållen laserenhet.....	9
Bojförök.....	9
Vätskekristallmodulatorer.....	9
Kvantbrunnsmodulatorer.....	10
Examensarbete i samverkan med Acreo AB	10
Långtidsförök med stationär länk.....	10
Sammanfattande slutsatser	11

Inledning

Rapportens struktur och syfte

Rapporten riktas till er som inte är helt insatta i det här arbetet men vill få en snabb uppdatering av vad vi gör i projektet. Rapporten har löpande text först och bilder på slutet. Om du läser texten får du en sammanfattande bild av nuläget. Bilderna i slutet av rapporten ger dig också en överblick och kan räcka om du är delvis insatt i vad vi gör redan. Texten och bilderna tillsammans förmedlar information som vid en muntlig presentation.

Projektmål

Projektet började i år (2005) och beräknas pågå till och med 2007. Syftet är att studera hur optisk retrokommunikation kan användas och vilka prestanda som kan uppnås i taktiska situationer. De övergripande målen och frågeställningarna för projektet enligt plan var att:

- demonstera ett länksystem med boj för kommunikation till en undervattensplattform
- demonstrera och utvärdera överföring med höga datatakt på långa avstånd där atmosfären kan vara begränsande
- värdera retrokommunikation i taktiska tillämpningar.

Omvärldsrelation

Rapporten avser i huvudsak verksamheten inom projektet ”Retrokommunikation i taktiska tillämpningar” men täcker även in verksamhet finansierad inom projekten ”Undervattenskommunikation” på avdelningen för systemteknik och ”Kommunikationskanalens egenskaper i tätort (Komet)” på avdelningen för ledningssystem. Samverkan med båda avdelningarna har varit mycket god och bidragit till att driva arbetet i en bra riktning.

Nationellt

Vi har även en god samverkan med Acreo AB i Kista samt Chalmers tekniska högskola då det gäller optiska modulatorer för retrokommunikation. Acreo var med i det av FMV finansierade särskilda forskningsprogrammet för fotonik från 1998 till 2003 och tog fram snabba (Mbit/s) modulatorer för retrokommunikation. Chalmers bidrog med sitt kunnande inom vätskekristallteknik som för närvarande kommer till användning för enklare modulatorer.

Internationellt

Internationell samverkan sker genom vår CEPA-medverkan som beskrivs mer nedan. Vi har haft kontakter med Naval Research Laboratory (NRL) som för närvarande leder utvecklingen inom området. Diskussioner om samarbete gällande sjömätningar har förts, underlag för att söka medel från Office of naval research (ONR) Global tillsammans med NRL:s forskningsgrupp har tagits fram. Vi har dock ännu inte fått medel för ett sådant projekt.

Civila uppdragssatsningar inklusive EU

Verksamheten kan breddas till civila tillämpningar och vi undersöker tillsammans med Acreo olika möjligheter till sådan finansiering från den civila sektorn t ex från forskningsprogram inom fordonsindustrin. Det nätverk som vi börjar bygga upp kring det nuvarande CEPA-programmet med intressen utanför den militära sektorn kan också bidra till att vi kan få ihop bra forskningsgrupper för att gemensamt söka medel från t ex EU:s ramprogram.

Årets resultat

Vi har nått närmast projektmålen (slutår 2007) då det gäller värdering av tekniken genom den studie av taktiska tillämpningar som genomförts. Det är värt att nämna att kopplingen mellan FOI-avdelningarna bidragit positivt till att stärka bilden av vilka tillämpningar som vi inledningsvis bör ha i fokus.

Vår provverksamhet har syftet att visa under vilka förutsättningar retrokommunikationslänkar fungerar och vilka prestanda som kan erhållas. För prover har vi tagit fram två laserenheter, varav en mer

för demonstrationer (handhållet system) och den andra för metodiska tester av retrokommunikation och med aktiv strålkontroll. Vätskekristaller och drivelektronik för bojförsök har förberetts och testats. Sjöprov har dock ej genomförts under året. Flera stationära länkar har etablerats vid olika väderförhållanden under kortare tidsperioder. Inriktningen primärt är att inhämta information om hur turbulens påverkar prestanda.

Matriser med kvantbrunnsstrukturer, tänkta att användas i retroreflektorer av fokalplanstyp, med funktion både som modulatorer och detektor har utvärderats. Mer detaljer från det gångna årets verksamhet redovisas även på annat håll.

Andra projektrapporter 2005

- Sjöqvist L., Kullander F., Rantakokko J. (2005). "Retro communication in tactical applications", Linköping, FOI. FOI Memo. 05-1578.
- Kullander F., Sakari P., Sjöqvist L., Öhgren J. (2005). "System trials with modulated retro-reflective optical communication links", In: Proceedings of Unmanned/Unattended Sensors and Sensor Networks II, Bruges, Sept 2005. SPIE vol 5986, pp 12/1-12.

Andra nyligen utgivna rapporter med koppling till verksamheten

- Kullander F. (2005). "Second progress report for the CEPA program of information exchange on Free space optical communications for tactical applications", Linköping, FOI. FOI correspondence. 05-1325:4.
- Rantakokko J. (2005). "Förstudie – Kan prestanda för retrokommunikationssystem förbättras genom att använda traditionella radiosystemtekniker?", Linköping, FOI. Teknisk rapport. FOI-R--1883--SE.
- Zhang D. (2005). "A free space optical communication link with a combined modulator-detector array", Kista, Acreo AB. Master Thesis. ACR-017212.
- Waern Å., Lundborg B., Löfsved E., Eriksson G., Öhgren J., Rantakokko J., Pettersson M., Sakari P. (2005), "Slutrapport för projekt KOMET", Linköping, FOI. Användarrapport. FOI-R--1810--SE.
- Sakari P., Pettersson M. (2005). "Laserkommunikation för spridning av VMS-data inom fartygsförband", Linköping, FOI. Användarrapport. FOI-R--1718--SE.
- Sangfelt E., Nilsson B., Öberg T., Lundberg M., Kullander F. (2005). "Kommunikationslänk under vatten, forskning och verksamhet under 2005", Stockholm, FOI. FOI Memo. 05-1541.
- Grönberg P. (2005). "Key reconciliation in quantum key distribution", Linköping, FOI. Teknisk rapport. FOI-R--1743--SE.
- Jonsson P. (2004). "Review of free-space quantum key distribution", Linköping, FOI. Användarrapport. FOI-R--1165--SE.
- Sjöqvist L., Hällstig E., Öhgren J., Allard L. (2004). "Retrocommunication – final report", Linköping, FOI. User report. FOI-R--1220--SE.
- Sakari P., Pettersson M., Öhgren J. (2004). "Retrokommunikation i stadsmiljö", Linköping, FOI. Teknisk rapport. FOI-R--1466--SE.
- Sakari P. (2004). "Ultraviolet kommunikation", Linköping, FOI., ej publicerat dokument.
- Öhgren J., Vahlberg C. (2004). "Utveckling av nya vätskekristallmodulatorer – bestämning av optiska och elektriska egenskaper", Linköping, FOI. Teknisk rapport. FOI-R--1486--SE.
- Kullander F., Olsson A., Sangfeldt E., Sjöqvist L., Zyra S., Öhgren J. (2003). "Free-space optical communication with underwater systems using modulated retro-reflectors", Stockholm, FOI. User report. FOI-R--0951--SE.
- Sakari P., Pettersson M. (2003). "Laserkommunikation för spridning av VMS-data inom fartygsförband", Linköping, FOI. Användarrapport, FOI-R--1718--SE.
- Sakari P., Pettersson M. (2003). "Optical communication in urban areas, focus on non line-of-sight optical communication", Linköping, FOI. Teknisk rapport. FOI-R--0944--SE.

Studieverksamhet

Grundläggande princip

Tekniken utnyttjar så kallade retroreflektorer, oftast i form av hörnkuber, som liknar vanliga reflexer i det att det återspeglar ljuset, typiskt från en belysande laser. De ger dock en väsentligt smalare stråle tillbaka till belysaren vilket gör att ljusenergin tas väl till vara. De har samtidigt egenskapen att kunna återspegla ljus inom ett stort vinkelområde vilket gör att de blir relativt okänsliga för vibrationer eller vinkelrörelser där de är monterade. Med snabba modulatorer vid retroreflektorn kan meddelanden med hög dataakt skickas i det ljus som återspeglas. Generellt sett tänker vi oss tekniken för framtida små plattformar. Själva retromodulorn kan idag utformas på olika sätt beroende på vilken egenskap som är den viktigaste. Modulatorns typ, transmissiv eller reflektiv, är delvis avgörande för vilka konfigurationer som är möjliga. En transmissiv modulator, som t ex en slutare som kan öppna och stänga framför en hörnkub, är enkel att sätta ihop. Reflektiva modulatorer har dock flera fördelar eftersom de kan integreras bättre. I en hörnkubslösning räcker det med att en av tre ytor är modulerande vilket minskar modulornas yta. En mindre modulatoryta ger som regel en snabbare komponent. I retroreflektorer av fokalplanstyp är reflektiva modulatorer naturligare. Valet av denna typ motiveras av ökad hastighet genom att mindre modulatorer krävs. Det sker dock på bekostnad av ett minskat synfält. För att öka synfältet och bibehålla en liten modulator kan matriser användas i optikens fokalplan. Så kallad kattögeoptik ger ett större synfält med utnyttjande av en buktig gränssyta i linssystemets fokalplan.

Analys av taktiska tillämpningar

För att bättre förstå nyttan av retrokommunikation i taktiska tillämpningar har vi studerat scenarion med ambitionen att identifiera relevanta taktiska situationer. Att få och sen ge en kvantitativ bild av framtida scenarion för svenska förband visade sig snart vara ett relativt mödosamt och svårt arbete. Som grund för analysen valdes ett scenario benämnt "Atlantia" för den nu aktuella svenska insatsstyrkan. Ur scenariot identifierades ett antal typsituationer där retrokommunikation kunde komma till användning. Slutsatser från analysen var generellt att tekniken inte i första hand är lämpad för nätverksbyggandet utan snarare i tillämpningar som kommunikation från små plattformar t ex taktiska UAV:er, bojar, markenheter som ingår i marksensornätverk samt utrustning för igenkänning och märkning (IFF) av militära enheter.

Tekniska egenskaper som kan bidra till informationsöverläge

- Hög kapacitet.
- Snabb dataöverföring.
- Goda smygegenskaper med liten risk för avlyssning.
- Små kommunikationsenheter med liten effektförbrukning – för små plattformar/individuella soldater.

Tillämpningar som forskningen primärt bör inriktas mot

- Extraktion av sensordata från UAV, helikopter eller autonoma sensornätverk.
- Kommunikationslänkar för specialförband i framskjuten spaning.
- Marina länkar, t ex från boj för att kommunicera information från undervattenssystem.
- Optisk märkning för identifiering, följning och lokalisering t ex vid sök- och räddningsoperationer.

Viktiga aspekter för närvarande

- Utveckla laserenheter.
 - Komplexa och bulkiga inriktningssystem bör undvikas.
 - Möjliggör handhållna system.
- Förbättra den optiska effektbudgeten för att primärt ge säkra länkförbindelser uppåt 10 km
- För att vinna acceptans för tekniken är dessutom en eller flera av följande egenskaper väsentliga att visa
 - Kapacitet, > 10 Mbit/s
 - Låg tillverkningskostnad

- Enkelt att använda. Ställer t ex tekniska krav som stort synfält och ögonsäkerhet
- Mycket liten energiförbrukning
- Låg vikt och volym.

Jämförelse med radioteknik

Retromodulatorns hastighet utgör en begränsande faktor för hur hög dataakt som kan uppnås i ett retrokommunikationssystem. Genom att införa flernivåmodulation kan det vara möjligt att väsentligt öka dataakten i situationer med höga signalstyrkor. Felrättande kodning och diversitetstekniker kan förbättra kvalitén i det mottagna meddelandet (d v s reducera antalet bitfel). Adaptiv modulation i kombination med felrättande kodning är en teknik som är väl lämpad för användning i retrokommunikationssystem då kanalen relativt enkelt kan estimeras i dessa system. Genom adaptiv modulation och kodning kan systemet anpassas till kanalens förutsättningar. Då signalstyrkan är stark kan en hög dataakt erhållas, medan ett robust system kan uppnås under svåra kanalförhållanden genom att använda en binär modulation och en kraftig felrättande kod.

Under året gjordes en grov jämförelse av prestanda för retrokommunikationssystem och några olika befintliga och experimentella radiosystem, främst för UAV-tillämpningen. De stora potentiella fördelarna med ett retrokommunikationssystem är möjligheterna att konstruera ett kommunikationssystem där en av noderna kan göras väldigt liten, lätt, effektsnål och billig, och ändå medge en hög kapacitet med räckvidder på flera kilometer. Nackdelen med fri optisk kommunikation är dock generellt väderberoende räckvidd och tillgänglighet. Ett radiosystem som opererar på 60 GHz har många likheter med retrokommunikationssystem, bl a relativt goda smygegenskaper, potential för hög dataakt, och det är i huvudsak ett line-of-sight kommunikationssystem med begränsad räckvidd. I likhet med retrokommunikation så är 60 GHz radiosystem fortfarande på forsknings- och utvecklings-stadiet. Om räckvidden istället är viktigare än smygegenskaperna för en specifik tillämpning så kan ett radiosystem som opererar på frekvenser omkring 38 GHz vara intressanta då det är möjligt att uppnå långa räckvidder och höga kapaciteter. Övriga radiosystem som det är intressant att bevaka utvecklingen för är i huvudsak de system som tas fram inom IEEE 802.XX standarderna. De kan möjligen ge radiosystem som kan jämföras mot retrokommunikationssystem i storlek, effektsnålhet och pris.

Fri optisk kommunikation, förstudie inom WEAG

Vi har under året startat upp internationell samverkan inom WEAG CEPA 8 och ingått ett informationsutbytesavtal, ERG 108.077, om ett program med rubriken ”Free Space Optical Communications for Tactical Applications”. Sverige leder programmet och håller ordförandeskapet i programmets styrgrupp (Management Group, MG). Verksamheten startades i juni 2005 och total tid för samverkansprogrammet är bedömd till 12 månader. FOI:s medverkan finansieras från det här projektet tillsammans med FMV.

Programmet syftar till att utreda förutsättningarna för industriprojekt inom området fri optisk kommunikation och föreslå potentiella samarbetsprojekt. Det är en förstudie och innefattar utredande av teknik och metoder inom området, identifiering av lämpliga optiska kommunikationsmetoder för taktiska tillämpningar samt deltagarländernas möjligheter och vilja till industriell utveckling av taktiska optiska kommunikationslänkar. Sverige, Tyskland, Storbritannien, Nederländerna, Belgien och Spanien deltar med egna tillgängliga resurser under projekttiden. Två möten i Bryssel har hållits, 20-21 juni etablerades programmet och en arbetsplan upprättades. Under ett andra möte 29–30 november redovisades status från tre aktiva arbetspaket inom programmet och fortsättningen planlades. Ett arbetspaket benämnt ”Tekniköversikt” (leds av Nederländerna) ser ut att bli färdigt till i början av 2006. Ett annat arbetspaket om atmosfärsinverkan (leds av Spanien) har påbörjats. Ett arbetspaket om tillämpningar med användarpespektivet (leds av Sverige) var tillräckligt långt kommet för att göra det möjligt att initiera ett fjärde arbetspaket (leds av Storbritannien) med fokusering på ett antal tillämpningar. ”UAV” och ”Marin miljö” ser ut att vara gemensamma tillämpningsområden. Retrokommunikation kan bli en metod av gemensamt intresse.

Teknikutveckling, prov och försök

Laser och mottagare för retrokommunikation

För kommunikation från en retroenhet krävs i andra änden en enhet som belyser och mäter det återreflekterade ljuset; en laserenhet.

Laserenhet med tip-tilt-korrektion

Utvecklingen av en kompakt sändar/mottagarenhet (laserenhet) har påbörjats. För kommunikation på avstånd i ett intervall mellan 1 och 10 km har inriktningen under året varit att ta fram en enhet som kan följa snabba ändringar i retroenhetens skenbara läge. Sådana ändringar uppstår på grund av plattformens vibrationer och atmosfärens turbulens. Laserenheten är gjord för ljuskällor vid både 1550 och 850 nm (för att möjliggöra tester med både kvantbrunns- och vätskekristallmodulatorer) som kopplas till utgående optik med optisk fiber. Den innefattar i nuläget en polarisationsavkännande detektor för avläsning av vätskekristallmodulatorer. Detektordelen kan lätt skiftas från polarisations- till intensitetsmod eftersom olika modulatorer kommer att användas. Mottagaren bygger kring ett teleobjektiv med 8 cm apertur. För automatisk finjustering av den utgående laserstrålens inriktning mot retroenheten har en så kallad tip-tilt spegel testats och skall nu monteras i laserenheten. Den styrbara spegeln regleras med signalerna från en positionskänslig detektor för att hålla kvar laserstrålens inriktning mot retroenheten, även under inverkan av störning. Spegelsystemet möjliggör en minskning av laserstrålens divergens vilket ger en ökad signaleffekt.

Handhållen laserenhet

I samverkan med Komet-projektet har en laserenhet avsedd för enkel handburen inriktning mot retrokommunikationsenheter på avstånd under en kilometer tagits fram. Systemet demonstrerades nu i november på kortare avstånd. Vätskekristaller användes i retromodulatorerna.

Bojförsök

Ett delmål under året har varit att göra nya fältförsök med en bojmonterad enhet för retrokommunikation. Syftet med sådana försök är att testa tekniken på en instabil plattform och klarlägga hur väl kommunikationslänken fungerar under inverkan av olika yttre faktorer.

Utrustningen befanns dock vara i dåligt skick efter tidigare fältförsök, bl a med skadade vätskekristallmodulatorer och det har inte varit möjligt att genomföra fältprov under året. En stor arbetsinsats gick istället åt till reovering av utrustningen: nya modulatorerna har tillverkats, nya elektriska ledare har satts dit där gamla fallit av. Gamla värmetrådar har avlägsnats och nya har tillverkats och monterats. Temperaturgivare i enheten monterades om för att inte flytta på sig vid påfrestning. Drivelektroniken sågs också över varvid förbättringar gjordes. Både drivkretsarna för modulatorerna och temperaturregleringen har testats och fungerade då som avsett.

Vätskekristallmodulatorer

En ny typ av vätskekristallmodulatorer från Chalmers har provats och jämförts med de modulatorer som tidigare tagits fram på FOI. De nya modulatorerna har vid mätningar visat sig ha en bandbredd över 50 kHz och datatakt över 100 kbit/s har uppmätts med binär kodning. De nya modulatorerna designades specifikt för den typ av hörnkub som används och har en cirkulär aktiv yta (17 mm i diameter) som täcker in hela hörnkuben. Ett par nackdelar har dock framkommit under mätningarna. Kontrastförhållandet är sämre än de modulatorer som tidigare tagits fram på FOI och dessvärre är dämpningen i våglängdsområdet kring 1550 nm högre än beräknat vilket har visat sig vid testmätningar med infraröda detektorer.

Ett annat viktigt prov under våren var att utsätta en modulator av vardera sorten för en spänningsnivå som gav genomslag i vätskekristallen. Dessa värden är viktiga för att kunna optimera drivelektroniken.

Även vinkelkänsligheten uppmättes. Modulatorerna monterades mot hörnkuber och signalstyrkan uppmättes med avseende på orientering, dels som funktion av vinkling kring normalaxeln och dels som funktion av normalaxelns vinkling från det infallande ljusets riktning. Retromodulatorerna vreds med hjälp av en stegmotor samtidigt som signalstyrkan registrerades.

Vätskekristallmodulatorer kan möjligen ge ännu högre dataakter i kombination med digital kodning i flera nivåer. De är därmed inte helt ointressanta även om det bör betonas att vi på sikt räknar med att ersätta dem med kvantbrunnsmodulatorer eller eventuell annan teknik som ger högre dataakter.

Kvantbrunnsmodulatorer

Kvantbrunnsmodulatorerna som hittills tagits fram, i samverkan med Acreo, arbetar vid 850 nm som är en mindre praktisk våglängd för fältförsök av ögonsäkerhetsskäl. Ny teknik finns för 1550 nm våglängd vilket är synnerligen intressant. NRL i USA har redan fungerande modulatorer vid den här våglängden. Acreo har tillverkat komponenter vid 1550 nm dock vid sidan av vår gemensamma verksamhet. Det är synnerligen önskvärt att vi kan få till stånd en samverkan kring 1550 nm tekniken vilket i nuläget är en fråga om resurser. För att underlätta tester vid 850 nm fiberkopplades under året den laser som används för dessa prover.

Examensarbete i samverkan med Acreo AB

En ny princip där fokalplansmatriser (arrayer) med kvantbrunnsstrukturer kan användas både som retromodulatorer och detektorer har studerats. Fördelen med en sån lösning är bl a att en liten modulatomyta kan kombineras med ett stort synfält. Detektorfunktionen gör det möjligt att styra ut retromoduleringen i riktningen för infallande ljus. Det går även att hantera laserstrålar som kommer in från olika håll och skicka olika information i olika riktningar.

En ny komponent som tagits fram för tester av den här principen består av en rad element, 64 stycken, längs en linje, där varje element kan fungera antingen som detektor eller modulator och drivas separat. En civilingenjörstudent från KTH har arbetat med komponentutvecklingen vid Acreo och besökt institutionen för lasersystem under hösten för gemensamma prov. Komponentens egenskaper både som detektor och modulator har undersökts. Den testades även i en fokalplansmontering med avseende på överföringsavstånd, vinklinskänslighet och överhörning mellan element. Signaler sändes och togs emot i en testuppställning med 180 meters avstånd till laserenheten.

Långtidförsök med stationär länk

Ett antal inledande fältförsök har genomförts med laserenheten placerad i FOI:s horisontlaboratorium och vätskekristallmodulatorer placerade på olika platser med avstånd från några hundra meter till 8 km. På 8 km har retromodulatorerna monterats i en TV-mast. Försök på 300 m och på 1,4 km avstånd har genomförts med syfte att studera signalamplitudens fluktuationer p g a turbulens i luft. Effekten har visat sig vara betydande även vid det relativt korta avståndet på 300 meter, troligen delvis beroende på närheten till byggnader samt det rådande varma vädret vid mättillfällena. Några försök att etablera kontakt med retromodulatorerna i masten har gjorts. Avståndet på 8 km är dock på gränsen för vad som är möjligt med nuvarande utrustning och än så länge har endast svaga signaler fångats upp från modulatorerna i masten.

För mastexperimentet tillverkades två elektronikkort, designade för att ge optimal kontrast och korta omslagstider. Elektronikkorten provades ut i laboratoriet tillsammans med en rad modulatorer av båda sorterna. Med de bästa modulatorerna erhöles en bandbredd omkring 50 kHz. En modulator av vardera slaget valdes för montering i mastskaftet. De båda retromodulatorerna provades ytterligare för att säkerställa att de skulle fungera som tänkt i utomhusmiljö. I en temperaturkammare provades de i olika temperaturer samtidigt som temperaturregleringen och strömförbrukningen vid olika modulationsfrekvenser kontrollerades. Resultatet var tillfredsställande.

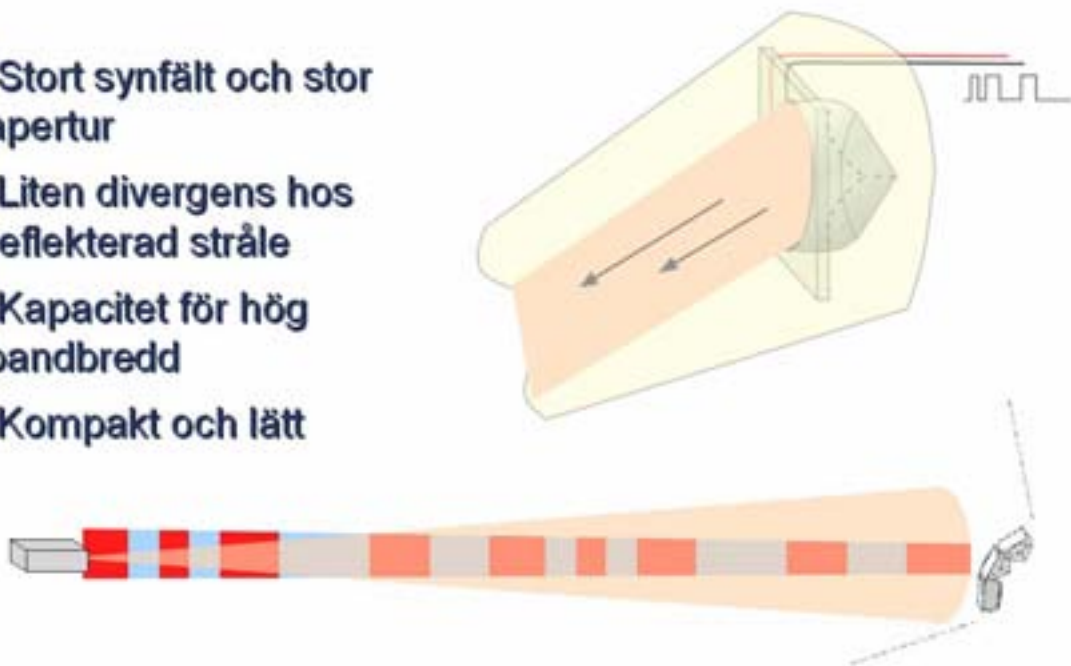
Sammanfattande slutsatser

Optisk retrokommunikation erbjuder en rad intressanta egenskaper för taktiska militära tillämpningar som extremt höga bandbredder (upp till tiotals Gbits/s), avlyssningssäker kommunikation, robust och effektsnål teknik, låg vikt och volym samt att ingen frekvensplanering krävs. Vi har under året fått mer fokus på vad som är viktigt att vi arbetar med och vi har skapat en tydligare målbild med förankring i möjliga framtida scenarion.

För närvarande är verksamheten inriktad på att få till demonstrativa länkförsök där vi tydligare visar hur retrokommunikation kan tillämpas. Det finns kritiska komponenter för retrokommunikation vid sidan av kvantbrunnsmodulatorer t ex komponenter för styrning av laserstrålen, detektorer och optiska filter. Både dessa komponenter och modulatorerna kräver fortsatt utveckling dock troligen på andra institut eller företag. För detta behövs dock finansiering och för att få det så krävs som vi ser det att vi kan visa på attraktiva kommunikationslösningar. Vad som för närvarande därför har setts vara av vikt och lite av vår roll är att förstå hur retrokommunikationslänkar kommer att fungera i olika tillämpningar och vad som kommer att påverka prestanda. Eftersom de tillämpningar vi ser genomgående innefattar mobilitet ställs höga krav på den laserenhet som ingår i retrokommunikationslänken varför vi lägger fokus på hur den skall fungera.

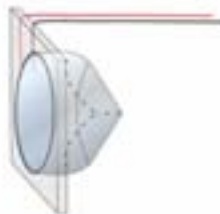
Nästa steg blir att montera tip-tilt-spegeln med dess reglersystem och fortsätta med utprovning av tekniken samt mätningar av länkprestanda under olika förutsättningar. Vi räknar med att under nästa år göra prover mot modulatorer installerade på boj samt långtidsmätningar mot retroenheter på olika avstånd. Särskild vikt kommer att läggas på problemområden med direkt koppling till kommunikation från en taktisk UAV.

- Stort synfält och stor apertur
- Liten divergens hos reflekterad stråle
- Kapacitet för hög bandbredd
- Kompakt och lätt

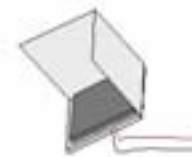


Retrokommunikation - Principen

- Transmissiv



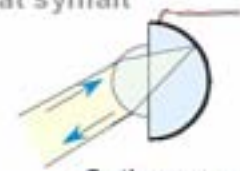
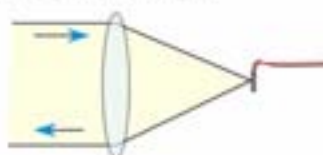
- Reflektiv



Begränsat synfält

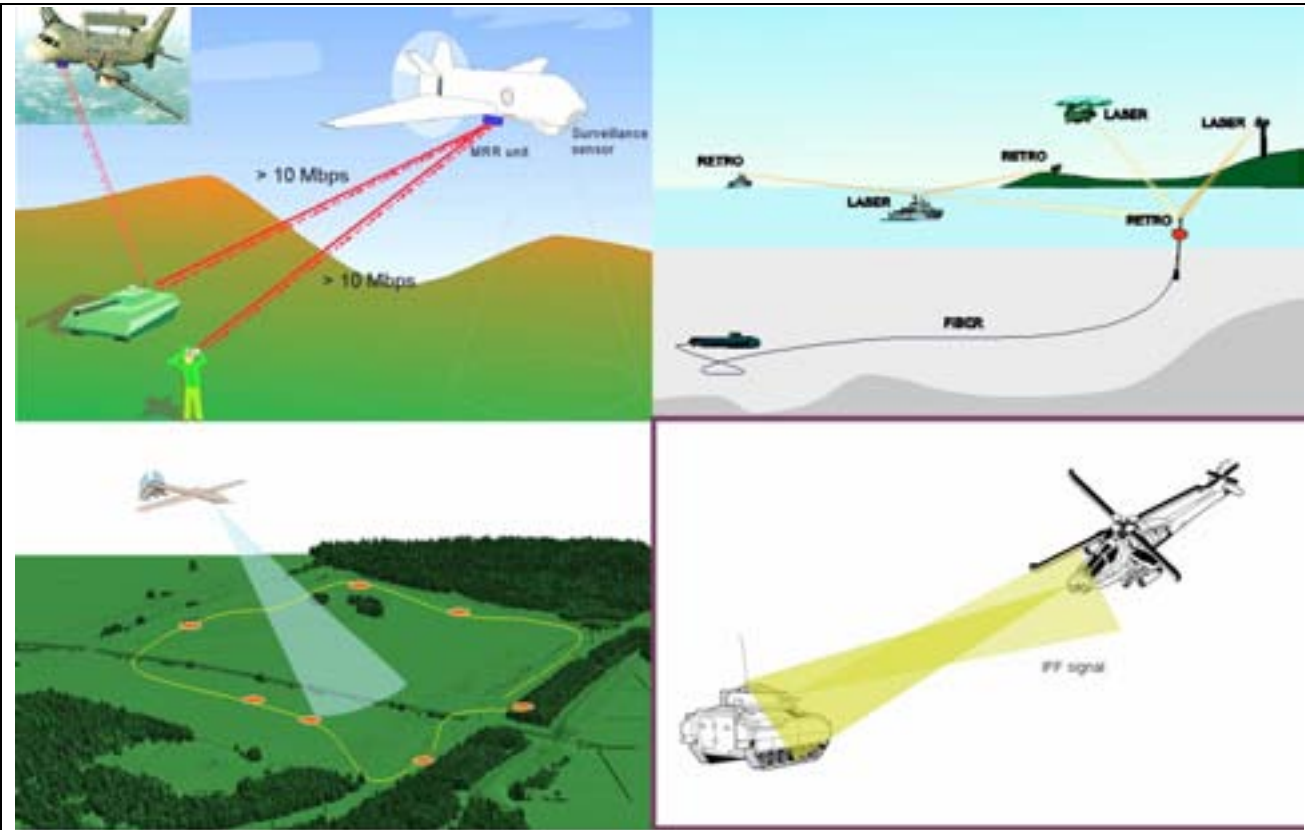
Ökat synfält

- Reflektiv, fokalplans-typ

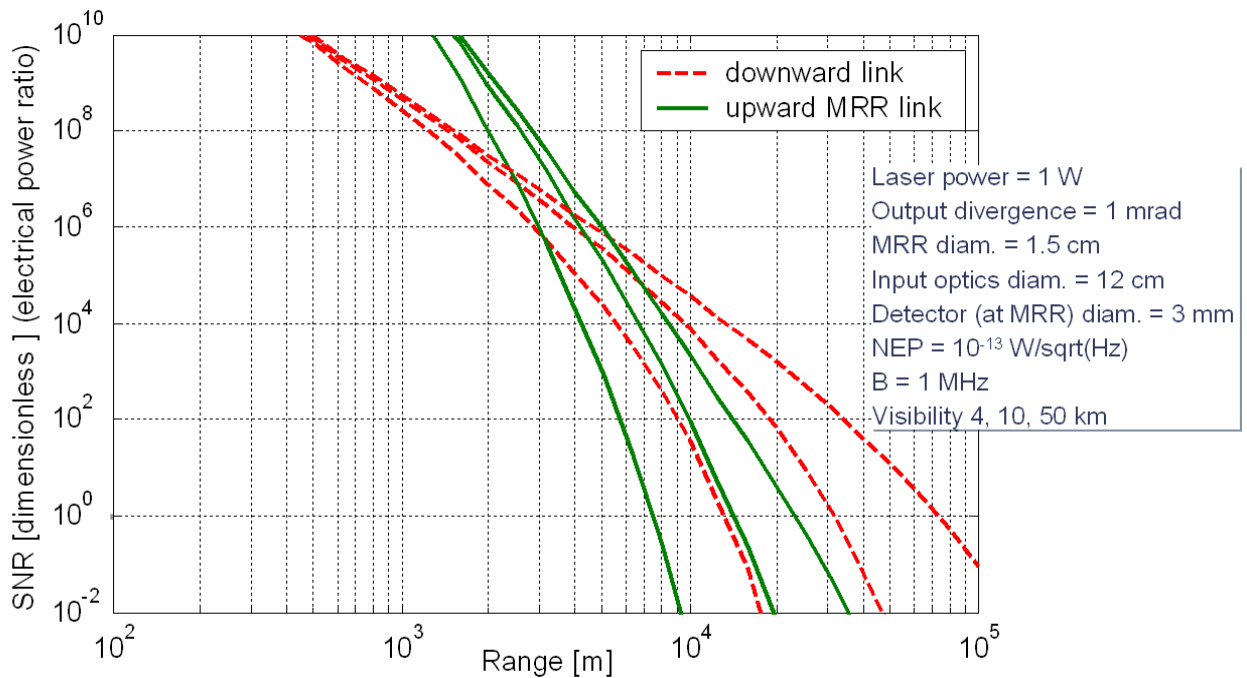


Cat's eye optik

Olika konstruktionstyper



Tillämpningar



Räckvidder upp mot 10 kilometer möjligt med dagens teknik

Fördelarna

- **Hög bandbredd**
 - Gbps-möjlighet
 - 10 Mbps visat på FOI
- **Riktighetsnogrannheten**
 - Mekanisk eller icke-mekanisk
 - Automatisk inriktning och tracking
- **Smygenskaper**
 - Liten divergens
 - Våglängder
- **Svårt att störa**

Nackdelarna

- **Väderberoende räckvidd**
- **Kräver fri sikt**
 - Kräver styrning för plattformar i rörelse

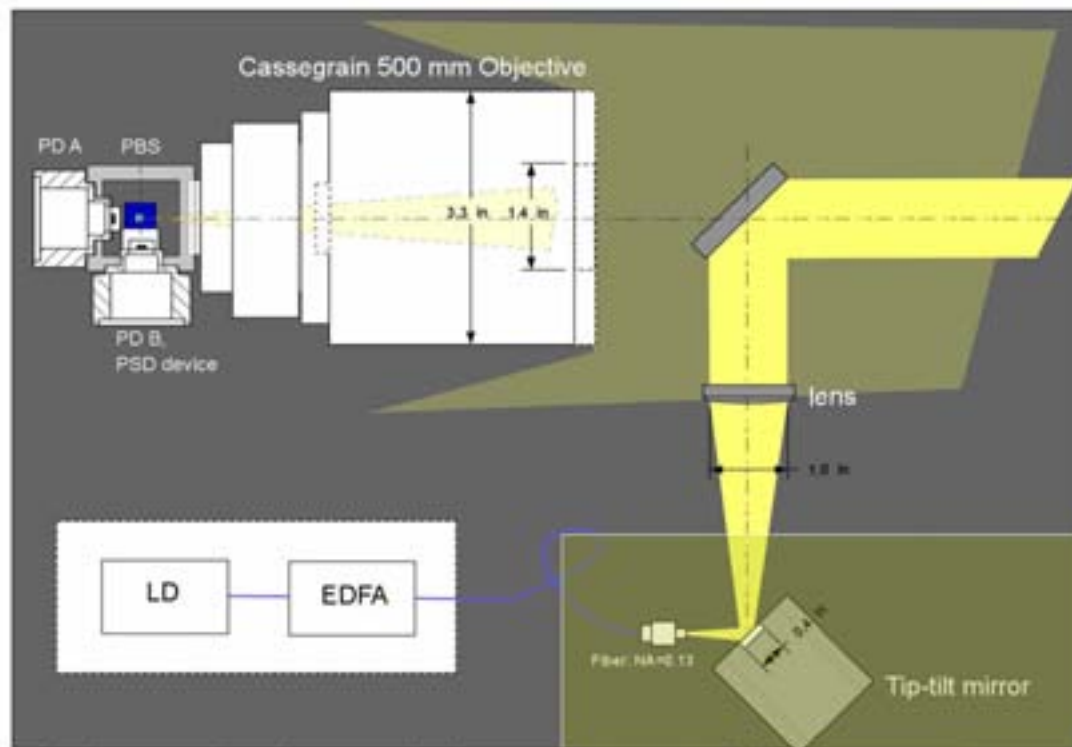
Bra och dåligt

<i>Technique</i>	<i>Stealth and robustness</i>	<i>Max. capacity</i>	<i>Availability</i>	<i>Max. range</i>	<i>Mainly line-of-sight (LOS)</i>	<i>Low weight & size</i>	<i>Low power consumption</i>
<i>Retro communication</i>	Very good	> 100 Mbit/s possible in near future	Weather can cause sudden drop-outs	Several km	Only LOS	Yes	Yes
<i>Future retro communication</i>	Very good	>10 Gbit/s	Weather dependent, improved by coding and atmospheric comp. techniques	>10 km	Only LOS	Yes	Yes
<i>Existing microwave link - RL 371</i>	Very good robustness (due to frequency hopping)	~2 Mbit/s	Very good	>30 km	Limited NLOS capability at shorter distances	No	No
<i>Existing microwave link - ULTRA-HCLOS</i>	Reduced robustness compared to RL 371	~8 Mbit/s	Very good	>30 km	NLOS capability at shorter distances	No	No
<i>iBurst (Proposal for future IEEE 802.20 standard)</i>	Bad	~16 Mbit/s	Good	Several km in NLOS	Designed for NLOS operation	Decent (larger than retro)	Potentially (always higher than retro)
<i>38 GHz (experimental systems)</i>	Decent, not as good as at 60 GHz	>100 Mbit/s	Good	>20 km	Very limited NLOS capability	Yes	Potentially (higher than for retro)
<i>60 GHz (experimental systems)</i>	Good	100-1000 Mbit/s possible in near future	Weather dependence (up to 12 dB/km attenuation in heavy rain)	3-4 km	Very limited NLOS capability	Yes	Potentially (higher than for retro)

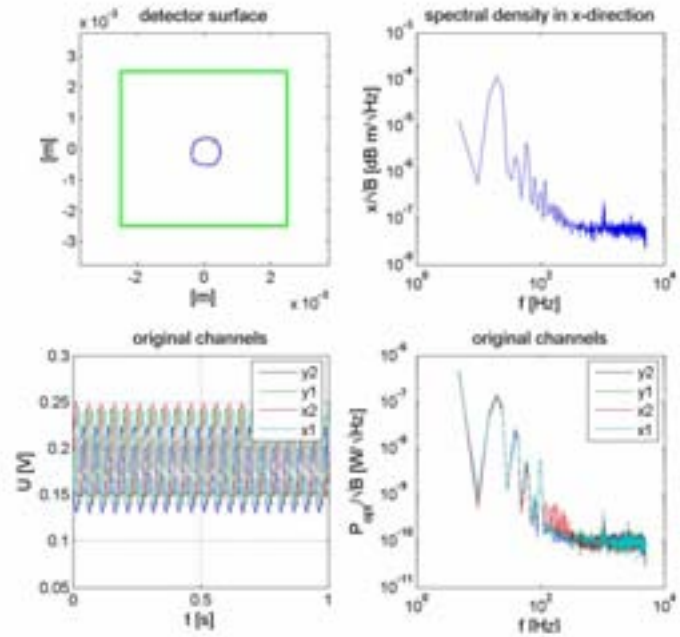
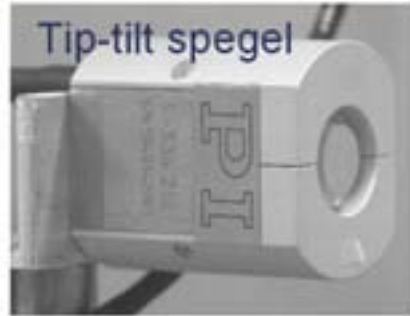
Jämförelse med några radiosystem



Laserenhet för retrokommunikation



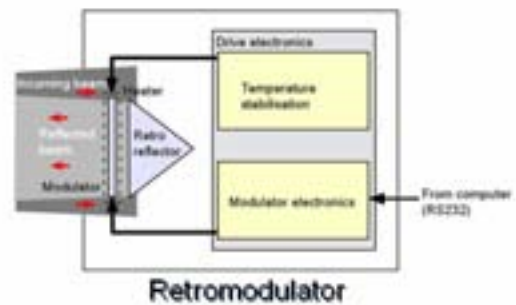
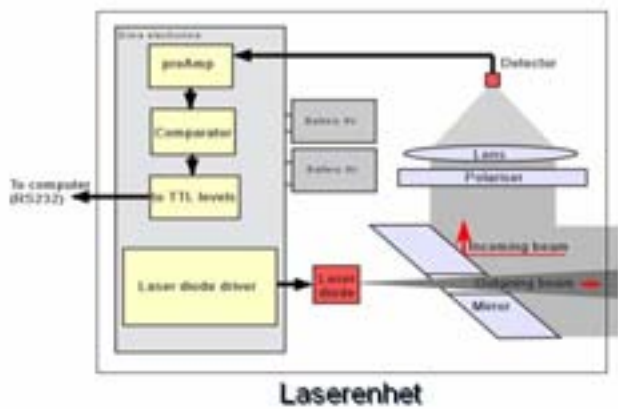
Laserenhet för retrokommunikation med finreglering av stråle och polarisationsdetektion



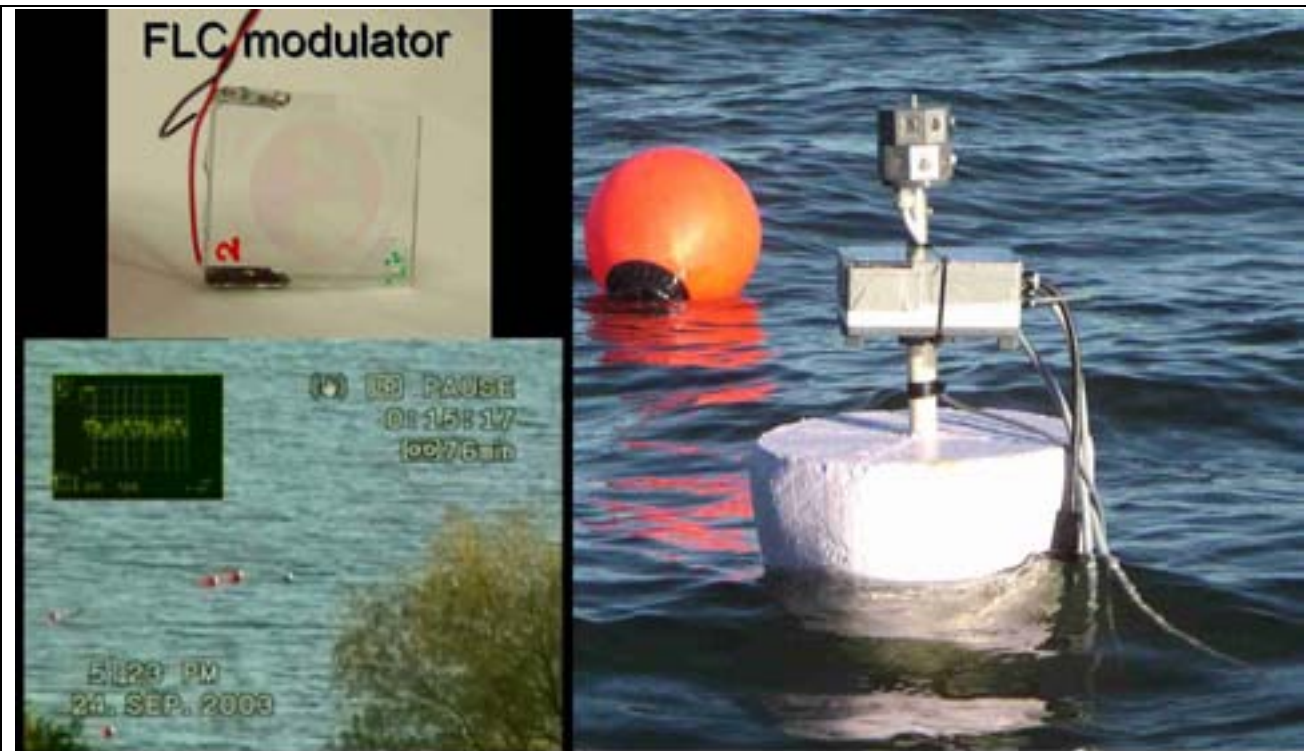
Strålkontroll för laserenhet



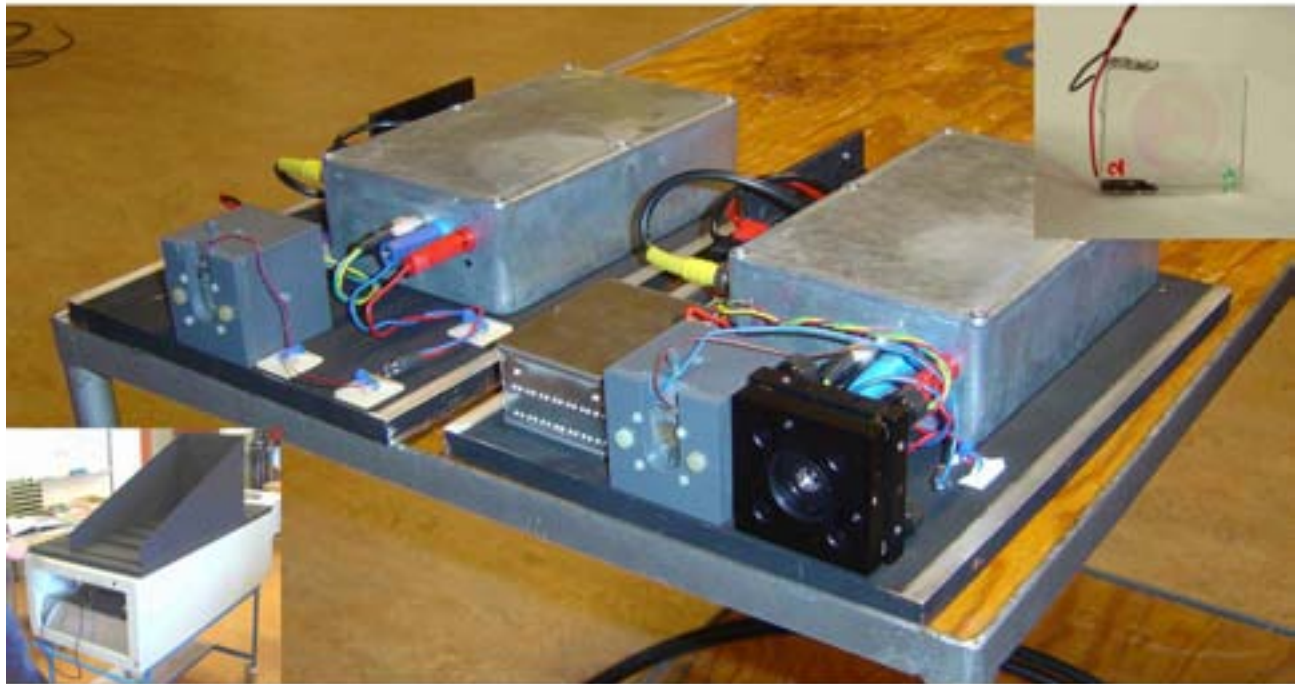
- Handhållet
- Korthållslänk
- FLC modulator
- Urban miljö



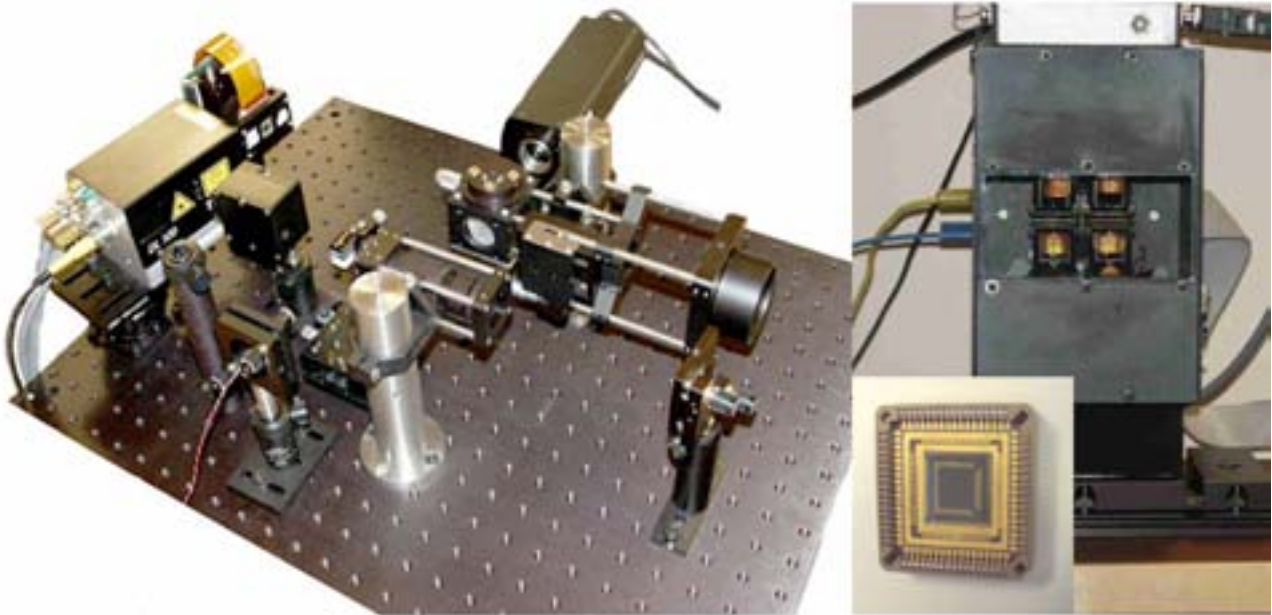
Enklare handhållen laserenhet och retromodulator



Försök med retrokommunikation från boj

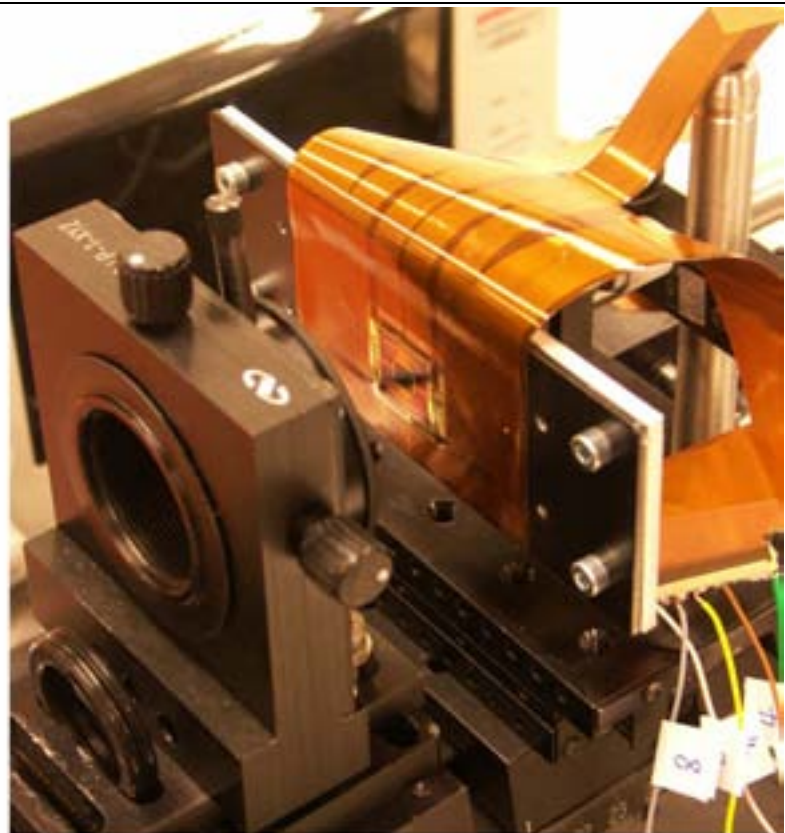


Vätskekristallmodulator för mastmontering



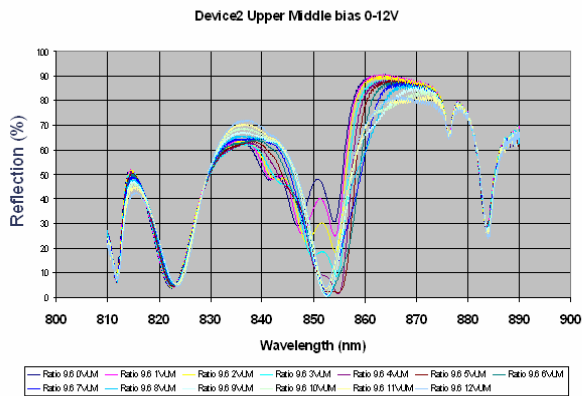
Försök med kvantbrunnsmodulatorer

- Cat's eye
- Reflektiv
- Inbyggd detektor
- Mbps bandbredd
- Exjobb

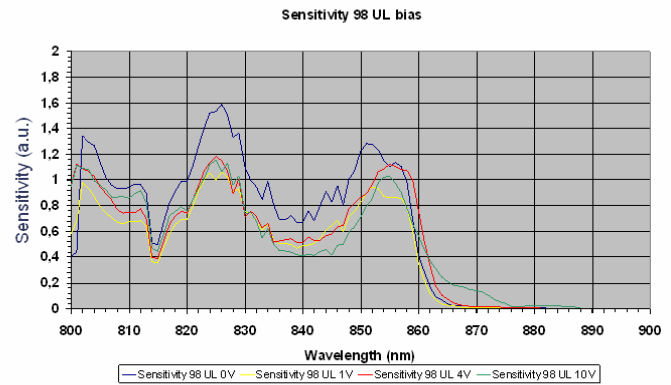


Fokalplansmatris med multipel kvantbrunnsteknik

Modulator



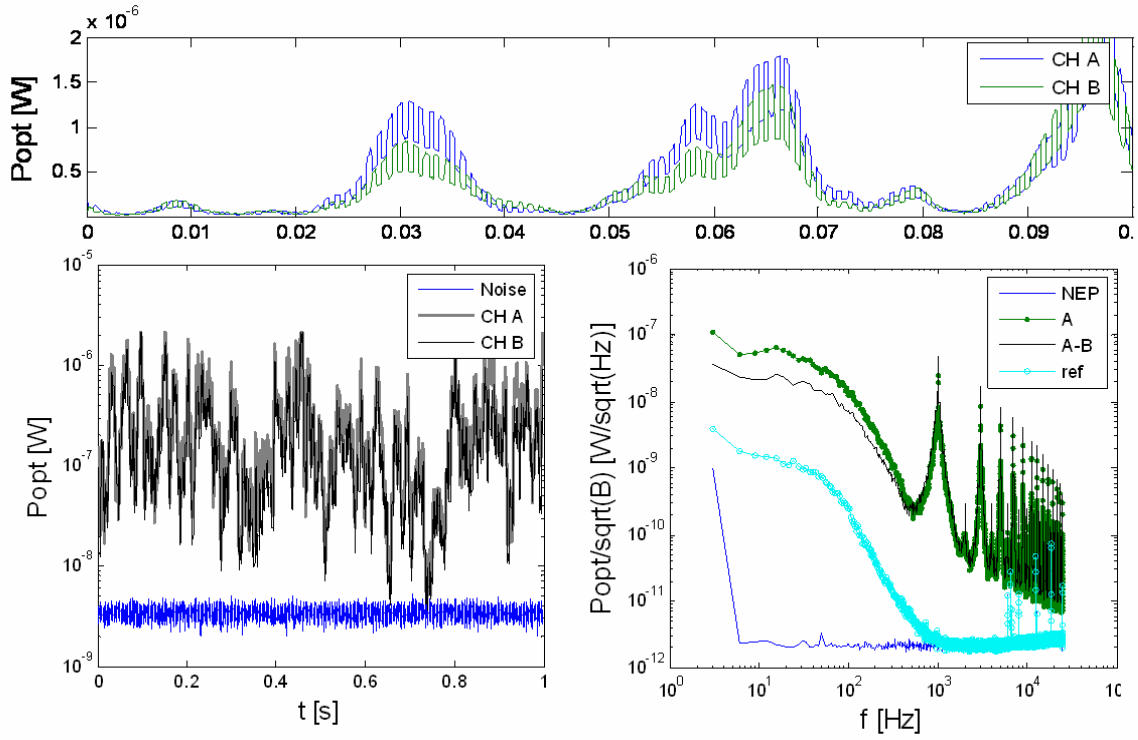
Detektor



Fokalplansmatris med multipel kvantbrunnsteknik



Försök vid FOI



Länk, avstånd 1,4 km