

WE HAVE LIFTOFF, DEL 4 AV 2

Växlingar i ljuset

Telefonväxeln, med vilken man kan koppla telefonsamtal mellan olika abonnenter blev vanlig i slutet av 1800-talet. Idag kan vi göra det samma med ljusstrålar i ett optiskt nät. Det är en annan typ av signaler, men principerna är desamma.



LM Ericssons 50-linjers telefonväxel från 1897. Principen var då som nu att ta signal från en inkommande linje (våglängd) och koppla ut på en utgående linje (fiber) med hjälp av en ledning (speglarna i en våglängdsselektiv växel). Övervakningsfunktionen (OSC) hänger på växelns högersida. Damen i fråga benämns numera router och telefonkatalogen kallas för routingtabell. På fönsterbänken står användarterminalen, telefonapparaten "Taxen".

INNEHÅLL

Från rack till spegel: Nedbrytning av systemet.

Problem: Hur ska man koppla om ett optiskt nät, samt de fyra lösningarna.

Gammaldags lösning, optisk omkoppling, våglängdsselektiv omkoppling och matrisväxling.

ROADM – en våglängdsselektiv växel: Definitioner.

Ett helt system på ett kort: Software Defined Optics: En titt i det allra innersta och enhetens komponenter för signalövervakning, samt våglängdsväljaren.

Praktiskt utförande: En titt på några av komponenterna, som inkommande fiber och två typer av styrbar reflektor.

Ett praktiskt exempel – Tulegatan: Med alla dessa kunskaper kan vi nu titta närmare på en riktigt stor kopplingscentral. Kopplingen visas i tre översiktsgrader, som översiktskarta, som optisk-elektrisk koppling med routrar och servrar och slutligen den optiska kopplingen.

OSC – Optical Supervision Channel: så flyter order ut i nätet.

Avslutning

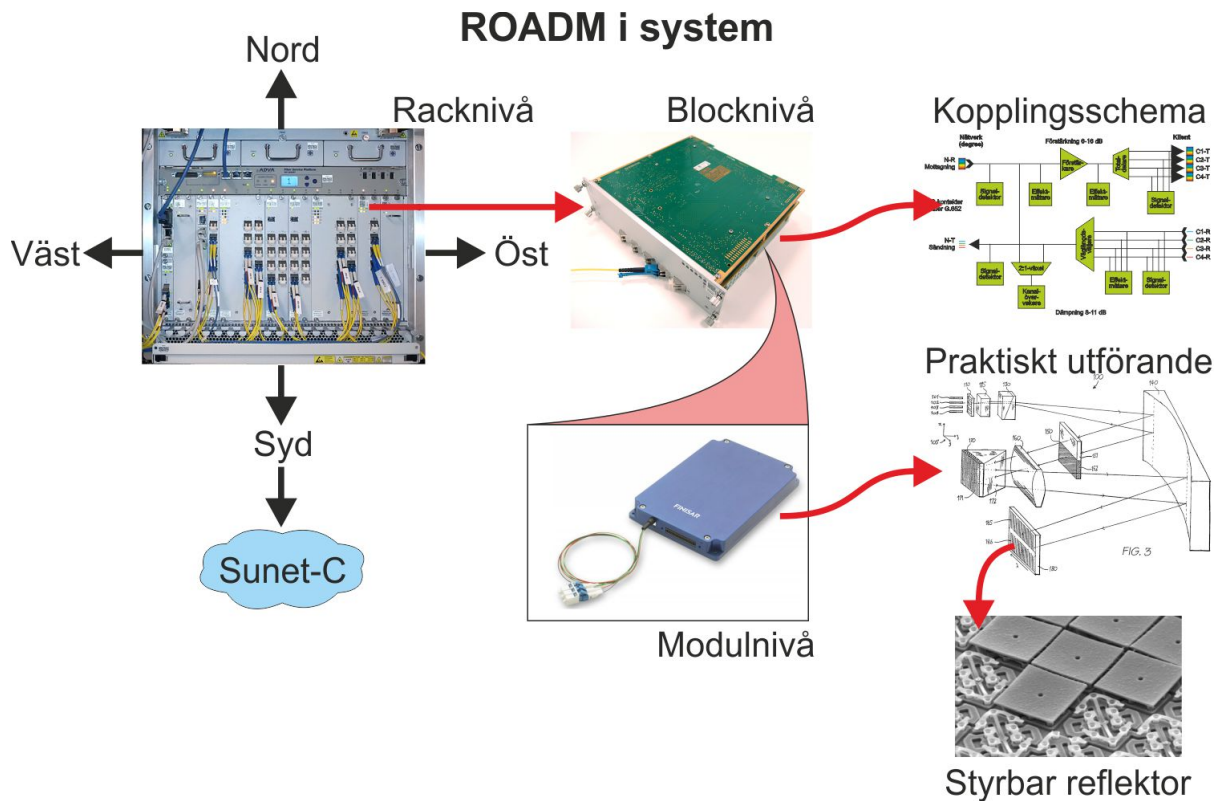
Läs mer: nyttig läsning.

Data om Adva ROADM

Konstiga ord i sammanfattning

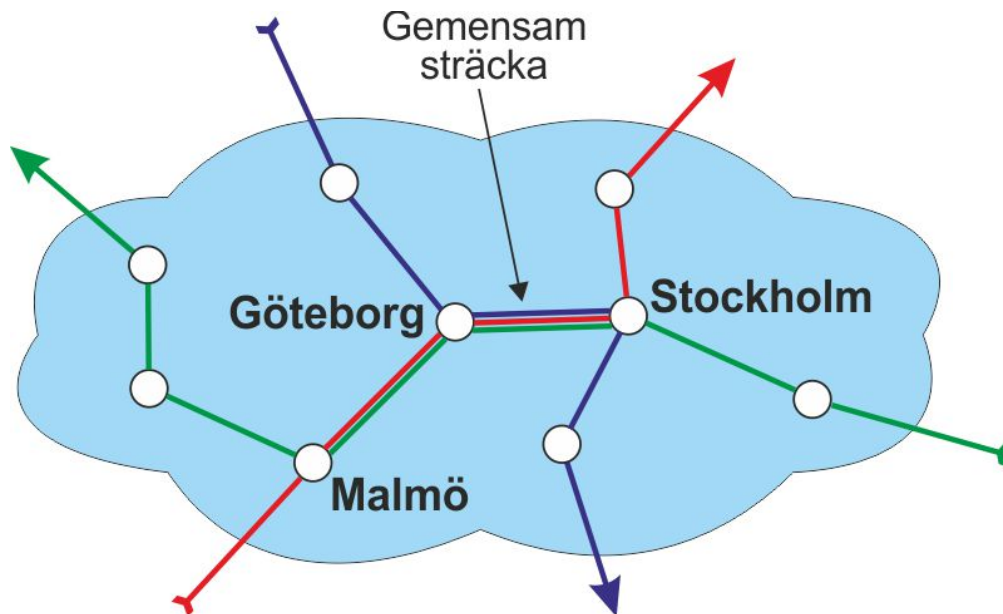
FRÅN RACK TILL SPEGEL

En Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer (ROADM) är den märkligaste optiska komponent man kan hitta i ett optiskt nätverk. Den medger omkoppling av enskilda ljusvåglängder mellan olika fibrer, den kan flytta hela våglängdsband mellan fibrer och blockera dem man inte vill ha. Den är helt enkelt en växel i våglängdsdomänen, eller måhända ett elektriskt omställbart korskopplingskåp för ljus.



Denna artikel ska beskriva ROADM ned på komponentnivå och därefter berätta hur komponenten används i en stor datorcentral, nämligen Sunets datorhall på Tulegatan, numera inte längre nätets centrum, men väl centrum för nätets tjänster.

PROBLEM



En nätägare har ett optiskt nät uppbyggt med glasfibrer. Olika användare vill kunna skjuta in ljus av olika våglängd på olika ställen i nätet och sedan ta ut det på andra ställen. Över långa sträckor måste ljus från olika användare gå tillsammans och dela på en fiber. För att kunna få in och ut ljus på rätt ställe måste man kunna växla det. För att kunna få ut vissa våglängder på ett ställe och andra våglängder på ett annat ställe måste man kunna växla våglängdsselektivt.

En växel kan byggas upp på flera olika sätt. Olika metoder har provats genom tiderna.

Gammaldags lösning

I varje knutpunkt i nätet kan man omvandla allt ljus till elektriska signaler och undersöka datat i en helt vanlig router, ta ett routingbeslut, omvandla tillbaka datat till ljus och skicka det vidare på nästa fiber. Det är en dyrbar metod som dessutom är bandbredds begränsande och energislukande. Det vore bättre om man kunde växla ljuset utan att först behöva göra om det till en elektrisk signal.

Optisk omkoppling

Ljus från en inkommande fiber kan studsas på en spegel och speglas tillbaka till en annan, utgående fiber. Spegeln kan vara vridbar och välja utgående fiber. Det kallas optisk omkoppling (optical switching).

Våglängdsselektiv omkoppling

Ljus från en inkommande fiber kan delas upp i olika våglängder i ett prisma (eller motsvarande), varefter varje våglängd får studsas på varsin vridbar spegel och speglas tillbaka till en utgående fiber. Det kallas våglängdsselektiv omkoppling (wavelength selective switching).

Matrisväxling

Ljus från exempelvis 32 inkommande fibrer kan kopplas om till någon av 32 utgående fibrer i en växelmatris, liknande en gammaldags koordinatväljare med reläer. Det kallas optisk matrisväxling (optical matrix switching). Detta används inte i Sunet.

ROADM – EN VÅGLÄNGDSSELEKTIV VÄXEL



Man skulle kunna översätta "reconfigurable optical add-drop multiplexer" till "omställbar optisk växel med avtappning och påfyllning av våglängder". Apparaten används normalt i stamnätet i ett stort fibernät och utgör mellanstation där data i form av enskilda våglängder behöver plockas ut ur stamnätet (drop) eller stoppas in (add).

En ROADM finns till för att det ska vara enkelt och kostnadseffektivt för en nätleverantör att konfigurera om nätet genom att kunna växla optiska dataströmmar hit och dit i form av ljus, utan att först behöva omvandla den optiska strömmen till elektriskt data, växla den elektriskt och sedan återställa den till ljus igen. Optoelektrisk omvandling är dyrbar teknik, vilket gör routing med elektroniska routrar betydligt mycket dyrare än växling med ROADM. Facktermen för apparater som inte använder sig av elektrooptisk omvandling utan bara hanterar ljus, är *passiv*. En modern ROADM är till sin natur våglängds- och polarisationsoberoende.

Hela nyttan med att koppla Sunet som ett nät av ringar är att signalerna ska ha flera alternativa vägar att färdas, om en sträckning skulle gå sönder. I varje nodpunkt sitter en ROADM som kan växla riktning på de våglängder som behöver kopplas runt en trasig sträcka. Facktermen för detta är *Mesh Restoration*.

För att vara sant universell måste en ROADM också vara **färgoberoende, kollisionsfri, dubbelriktad** och kunna hantera **flexibel våglängdsdelning**. En sådan ROADM kallas CDCG (colorless, directionless, contentionless and gridless).

En **färgoberoende** (colourless) ROADM är inte våglängdsberoende. Våglängder ska kunna kopplas om dynamiskt. Enskilda våglängder på inkanalen ska kunna flyttas till vilken utgående fiber som helst utan att fibern ska behöva flyttas fysiskt. På så sätt kan omkopplingen styras helt med programvara.

En **kollisionsfri** (contentionless) ROADM innebär att alla våglängder, oavsett viken ingång (degree) de kommer från, ska kunna växlas ut på valfri utgång. Detta uppnås främst i ett system av flera ROADM med flera ingångar.

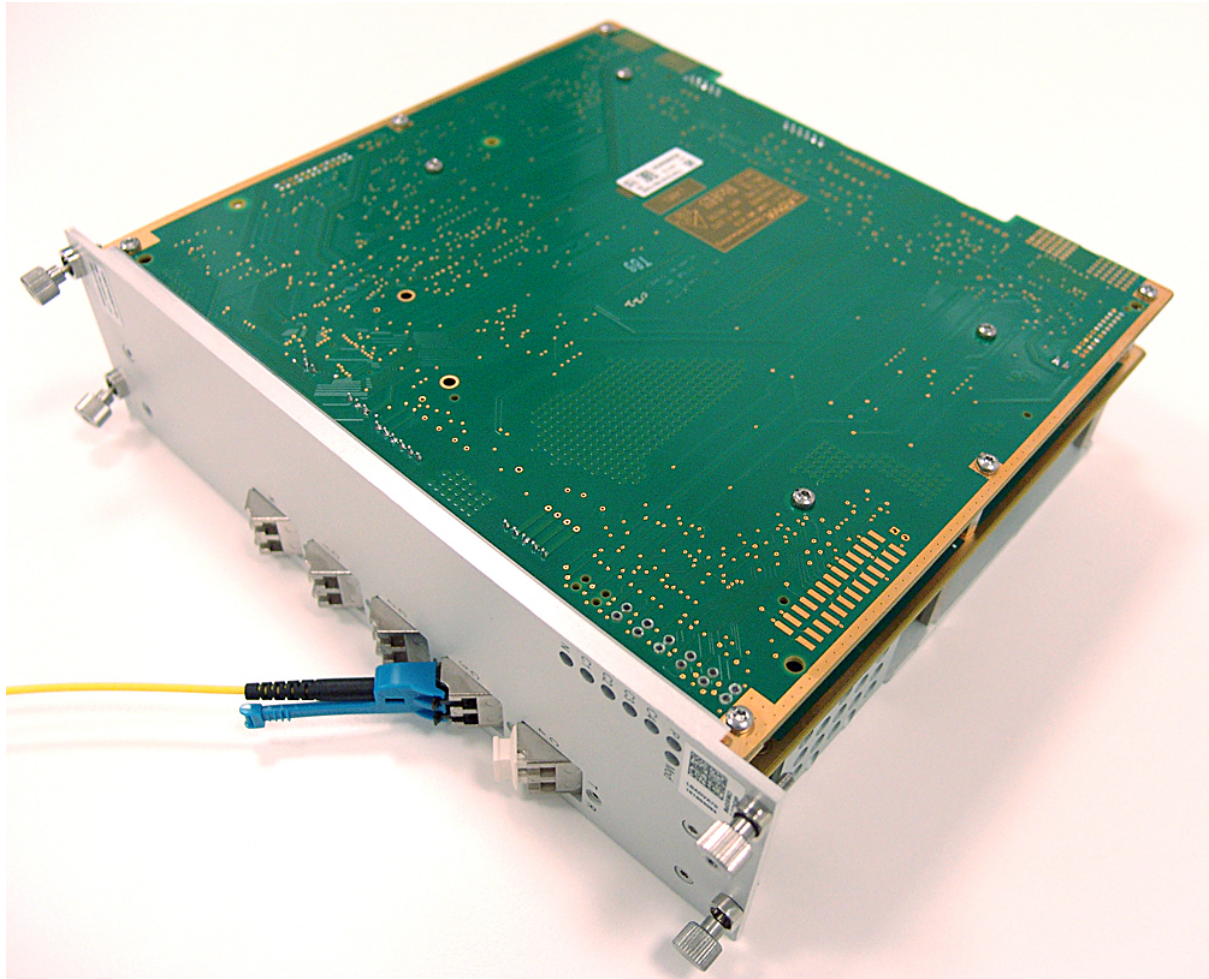
En **dubbelriktad** (directionless) ROADM har ingen fiber förutbestämd som ut- eller ingång. Därför kan våglängder riktas om fritt utan att någon fiber ska behöva flyttas fysiskt, helt och hållet styrt av programvara.

I en ROADM med **flexibel våglängdsdelning** kan den bandbredd som allokerats till en kanal ändras flexibelt, vilket ger plats för superkanaler bestående av flera bärvågor, eller en enda bärvåg som är bredare än dagens standardiserade delning på 50 GHz.

Alla dessa begrepp har uppkommit som svar på problem med ett antal äldre tekniker, i form av växlar som inte kunde kopplas om dynamiskt, bara tolererade vissa våglängder på vissa in- eller utgångar, eller bara hade fast kanaldelning. En programvarustyrd ROADM är lösningen på en hel mängd äldre nätverksproblem i ett enda svep.

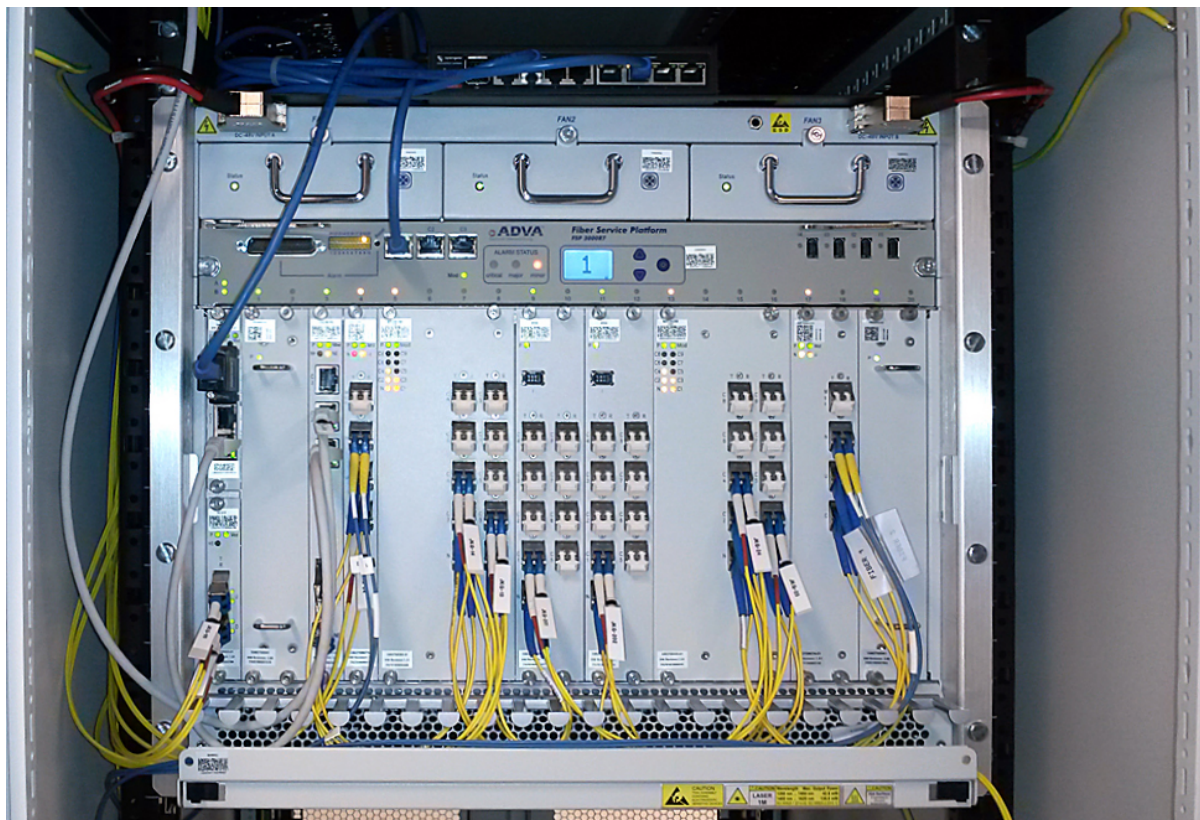
Sunet-C är enbart uppbyggt med CDCG ROADM.

ETT HELT SYSTEM PÅ ETT KORT: SOFTWARE DEFINED OPTICS



En ROADM ser inte mycket ut för världen om man bara ser den på utsidan. Magin uppstår på insidan. Bilden visar ROADM-blocket Adva 4ROADM-E/C96.

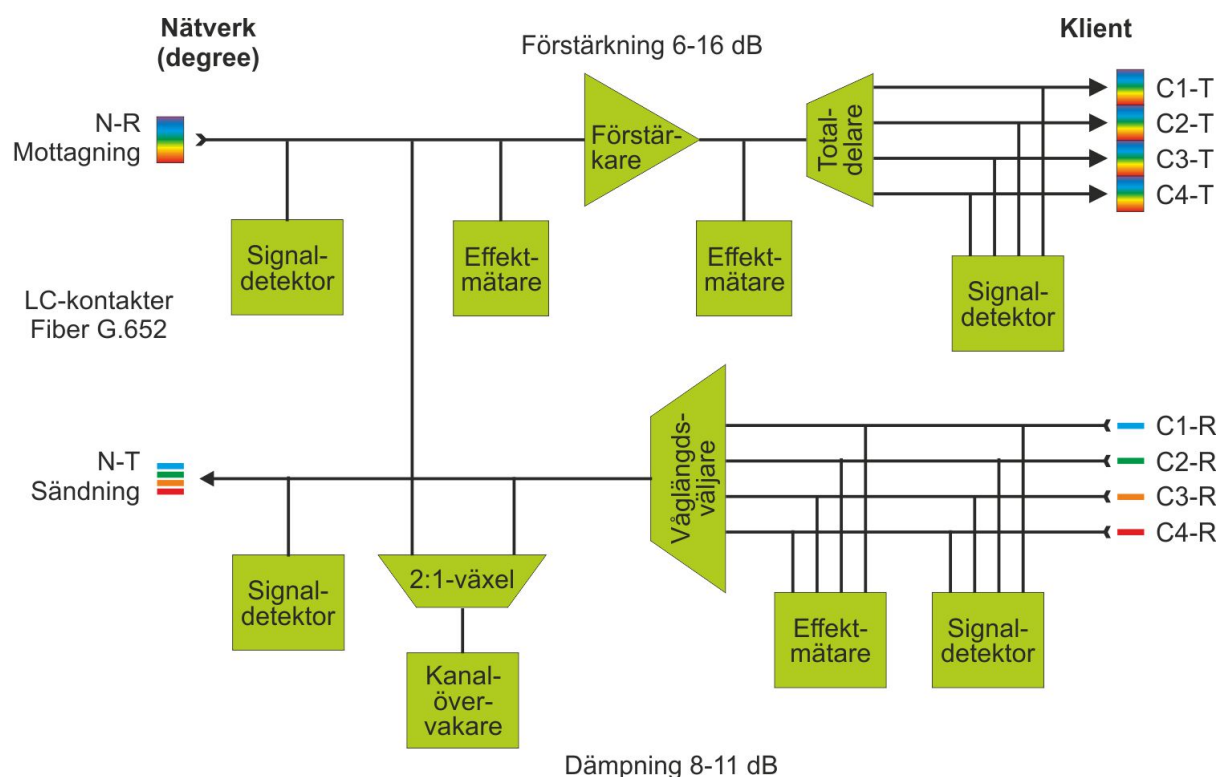
ROADM är en apparat som består av åtminstone tre typer av systemkomponenter, förlagda på ett instickskort: en våglängdsväljare, en förstärkare, en delare (splitter) och olika kanalövervakare. Blocket sätts in i en större racklåda. I samma racklåda kan man sätta in flera likadana block, ytterligare optiska förstärkare mm. Racklådan förser också alla insticksenheter med kraftmatning.



Advas racklåda i bilden ovan har bestyckats med två ROADM-block, två yttre förstärkare (en Raman och en EDFA), två splitter/combiners och en styrenhet.

De optiska komponenterna som våglängdsväljare, dämpare och förstärkare styrs alla med elektriska signaler, som i sin tur kommer från en mikroprocessor. Därför kallar man hela teknikfältet för Software Defined Optics.

Inuti Advas ROADM-block sitter en EDFA-förstärkare som förstärker inkommande signal från stamnätet, men inte särskilt mycket, bara 6-16 dB. Den är till för att kompensera för förlusten i själva delaren som följer efter. Innan signalen sänds ut på transmissionsnätet passerar den en fristående EDFA som ger den mer effekt, så den orkar kommande 80 kilometer. Normal linjenivå brukar vara en milliwatt eller 0 dBm per kanal i C-bandet.



Låt oss titta närmare på en ROADM som Sunet använder, en Adva 4ROADM-E-C96. Modulen har en mottagande nätanslutning (degree) och fyra utgående klientportar, samt fyra inkommande klientportar och en sändande nätanslutning (degree). En ROADM går inte att använda för sig själv utan man behöver minst två, eller som i Sunets fall tre, eller om man befinner sig i ett ringhorn, fyra stycken. Sunet använder sig av niokanalers ROADM också, men funktionen är snarlik den med fyra kanaler.

Mottagning. På nätverksingången N-R kan det komma ett helt spektrum av våglängder, allt som ryms på hela C-bandet. Hela spektrumet förstärks likformigt av förstärkaren så mycket att det kompenserar för förlusterna i den efterföljande delaren som delar ljuset i fyra exakt likadana strålar, och matar ut det på fyra klientportar C1-T – C4-T. Därifrån kan det ledas vidare till fyra andra ROADM eller lokala optiska transceivrar (se nedan).

Sändning. Ljus som kommer in på klientportarna C1-R – C4-R kan antingen komma från andra ROADM eller från optiska transceivrar. Det kan bestå av enskilda våglängder eller hela eller delar av ett kontinuerligt spektrum. Ljuset leds in i våglängdsväxeln där alla våglängder, eller delar av spektrum växlas över till den utgående fibern. Alternativt kan hela eller delar av spektrum, eller vissa våglängder släckas ut genom att man struntar i dem. De utvalda våglängderna blandas i fibern och kommer ut på nätverksutgången N-T.

SIGNALÖVERVAKNING

I varje punkt i ROADM och i den övriga utrustningen är det viktigt att man vet exakt vilka effektnivåer ljuset håller. Om nivån är för låg kanske mottagarna inte fungerar korrekt, och är nivån för hög kan man riskera att bränna sönder någon optisk komponent eller orsaka distorsion. Transmissionen i fibern är inte lika för alla våglängder, vilket man kan behöva kompensera för, så att alla våglängder håller samma amplitud när de kommer fram i nästa nod efter 80 kilometer.

Signaldektorn har flera funktioner. Den undersöker om det över huvud taget finns bärvåg på fibern. Om inte, kanske en fiberkontakt har halkat ur, fibern blivit avgrävd eller något är trasigt. Detta ger upphov till ett larm.

Effektmatoren mäter totaleffekten på fibern för att säkerställa att den inte blir för hög, så att någon optisk komponent kan brännas sönder.

Det är viktigt att alla utgående kanaler i spektrum håller samma amplitud. Skulle någon kanal exempelvis vara för svag kan den drunkna i bruset på väg till nästa stamnödsnod. Genom att undersöka utsignalen med en **kanalövervakare** och återkoppla resultatet till dämpfunktionen i WSS kan man vidmakthålla precis den amplitud man önskar för varje våglängd.

VÅGLÄNGDSVÄLJAREN, WAVELENGTH SELECTIVE SWITCH



Bilden visar själva WSS-modulen, som Adva köper från Finisar och skruvar in i ett ROADM-block. Just denna modul har 20 klientingångar. Tyvärr får man inte titta inuti den.

Våglängdsväljaren kan bara växla våglängder från en fiber till en annan, inte förstärka dem, men väl försvaga dem eller släcka ut den genom att spegla bort dem mot en svart absorptor eller på annat sätt.

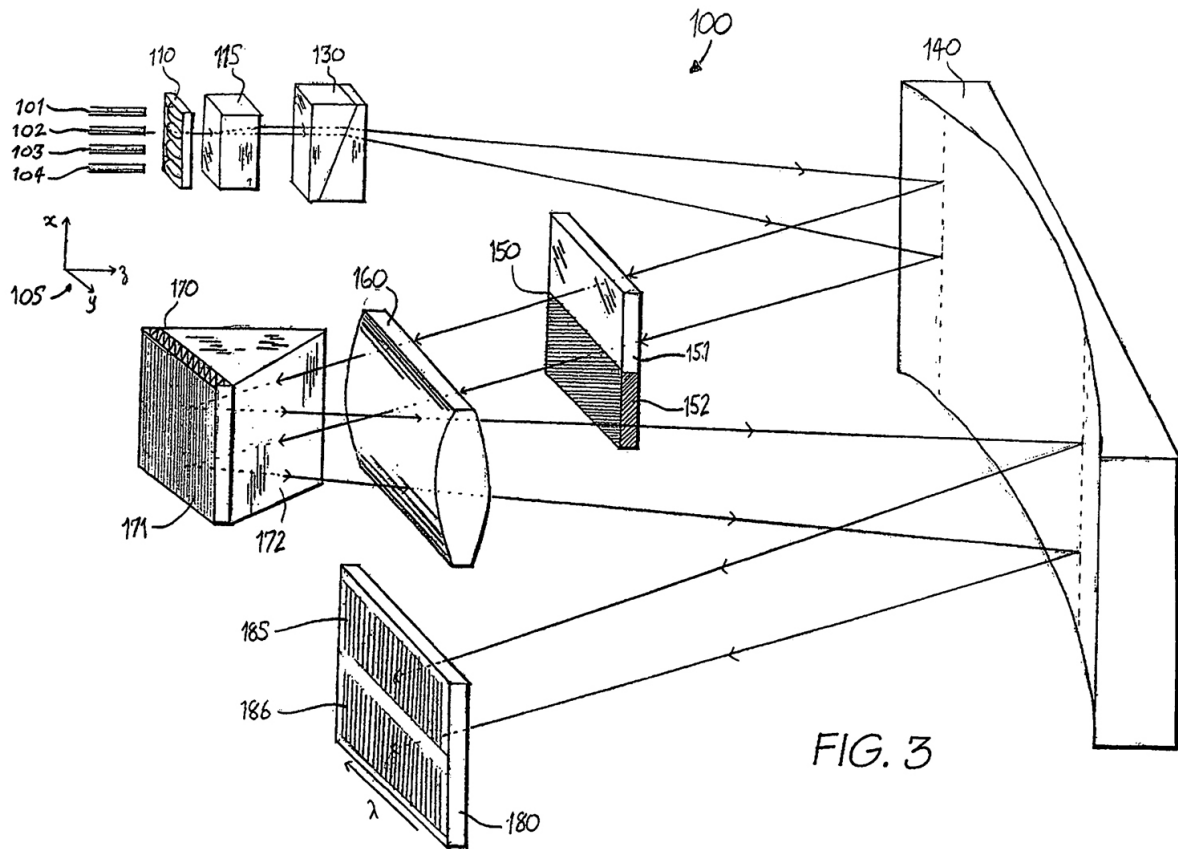


FIG. 3

Principen visas bäst i patentskissen som lämnades in av uppfinnaren Steven James Frisken till amerikanska patentverket år 2004. Allt som visas i ritningen blir ett par centimeter stort i verkligheten. X-, Y- och Z-axlarna i figuren anges i 105.

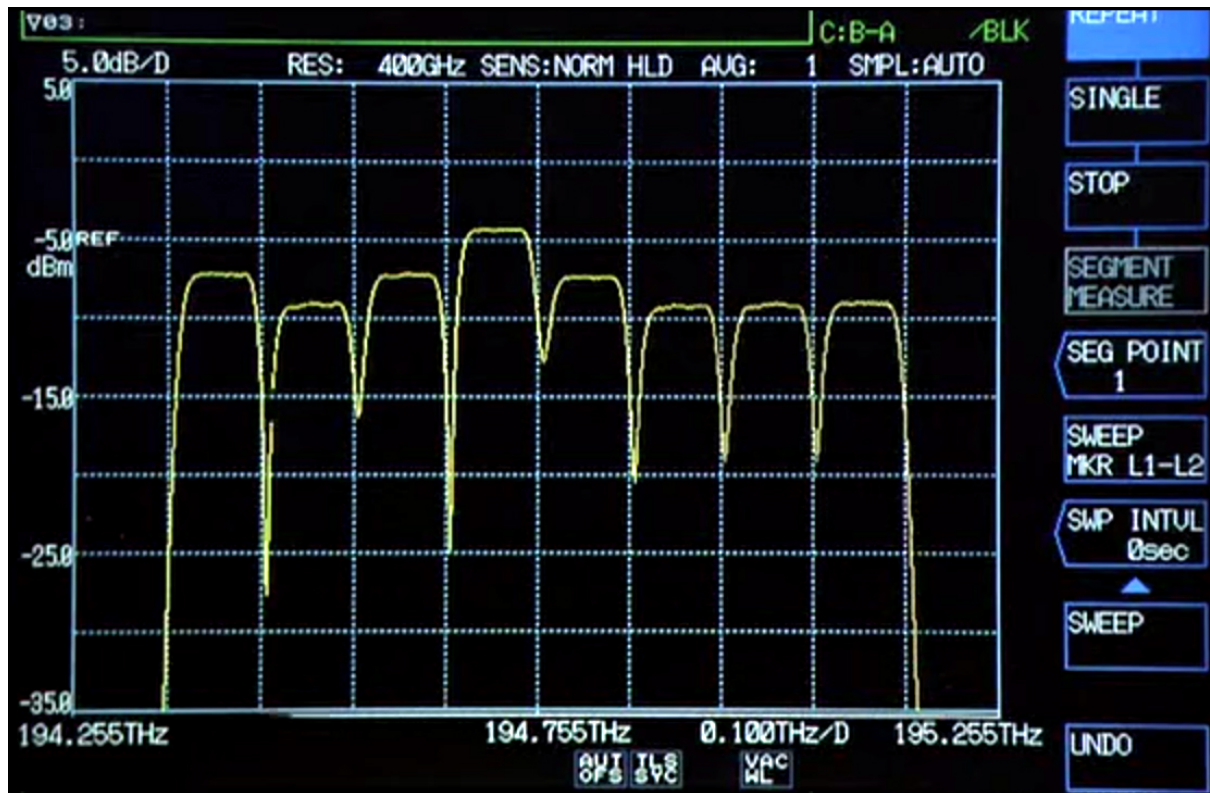
Ljuset, vars våglängder ska väljas ut kommer in på en eller flera **fibrer** (101-104) De kommer direkt från klientportarna. Varje polarisation (X och Y) måste hanteras för sig. Polarisationerna delas i en **dubbelbrytande kristall** (115) men kommer då att färdas olika långt i våglängder räknat. Skillnaden i färdväg kompenseras av den **dubbelbrytande kilen** (130). De båda polarisationerna färdas nu som två separata ljusstrålar. Ljusstrålarna träffar **polarisationsvridaren** 150 där endast den övre halvan är polarisationsvridande, vilken vrider den övre strålens polarisation 90 grader. De båda ljusstrålarna har nu samma polarisation, vilket ökar verkningsgraden i följande steg.

Grismat: De båda strålarna träffar nu en våglängdsuppdelande kombination (170) av ett gitter och ett prisma (grisma) där våglängderna sprids i Y-led och ger upphov till figurens λ -axel.

Reflektorn: Det våglängdsuppdelade ljuset träffar spegelmodulen (180) (spatial modulator) någonstans utefter λ -axeln, beroende på våglängd. X-polarisationen hanteras av den övre spegelhalvan (185) medan Y-polarisationen hanteras av den nedre (186). Spegeln är utförd som en flytande kristalldisplay vars reflektionsriktning i X-led styrs med en pålagd spänning.

Nu uppstår själva växlingen! Ljusstrålen reflekteras, men i en annan vinkel i X-led (höjded) än där det kom ifrån. Då finns tre val. Antingen reflekteras ljusstrålen hel och hållen tillbaka genom hela optiken till en av fiberna 101-104. Man väljer lämpligen en annan fiber än just den som strålen kom ifrån, genom att välja lämplig vinkel i höjded.

Dämpning: Man kan också välja att bara reflektera tillbaka en del av strålen och låta en del gå förlorad genom att den reflekteras åt ett helt annat håll. Då uppstår en dämpning av ljuset, vilket används för att korrigera skillnader i amplituder mellan de olika kanalerna. Eftersom de båda polarisationerna hanteras var för sig kan man amplitudkompensera, eller åsätta polarisationsberoende dämpning i varje våglängd för sig. Slutligen kan man spegla bort allt ljus. Just den våglängden släcks då helt.



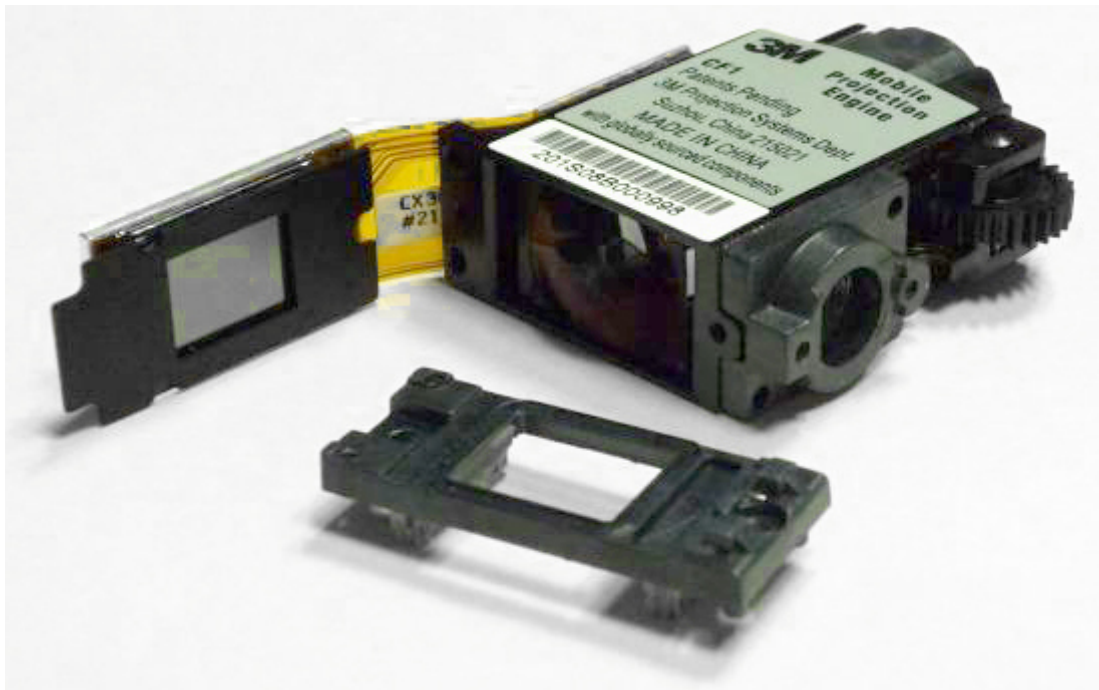
Spektrogrammet ovan visar en överföring med flera våglängder med olika amplitud. Det är mindre lyckat och måste kompenseras i WSS genom att vissa av kanalerna dämpas lagom mycket. Efteråt förstärks alla kanaler, innan de skickas ut på transmissionsfibern.

Våglängderna tar precis samma väg tillbaka genom optiken, om än med olika vinklar i höjdlid, genom 170, den ena polarisationen vrids tillbaka i 150 och ljuset träffar lämplig fiberände 101-104. I och med att upplösningen i λ -led i reflektorn 180 är mycket finare än en 50 GHz-kanal kan man i princip styra fritt hur stor del av C-bandet som ska reflekteras till valfri fiber, utan hänsyn till kanalbredder. Detta är flexgrid, eller vad som i CDCG-definitionen ovan kallades för **flexibel våglängdsdelning**.

Läs hela patentet: <https://www.google.com/patents/US7397980>

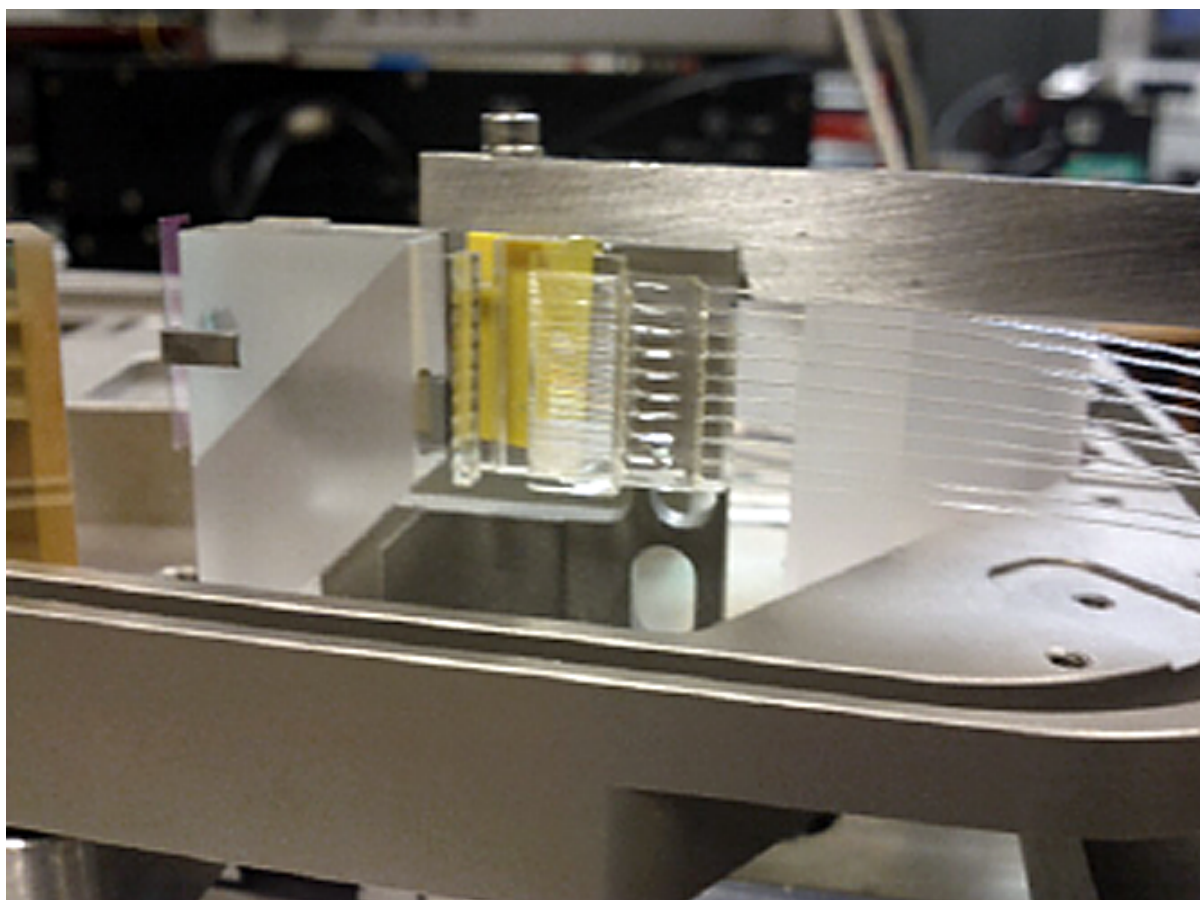
PRAKTISKT UTFÖRANDE

Eftersom ingen tillverkare vill avslöja exakt hur deras WSS ser ut i praktiken inuti, får innanmätet istället illustreras med en isärplockad liten videoprojektor, baserad på samma princip som en WSS. Skulle man kunna plocka sönder en WSS-enhet skulle den se ungefär likadan ut.



Den styrbara spegeln som är WSSens hjärta, LCoS-displayen har lossats och sticker ut till vänster. All övrig optik döljs inuti den svarta modulen.

Inkommande fiber

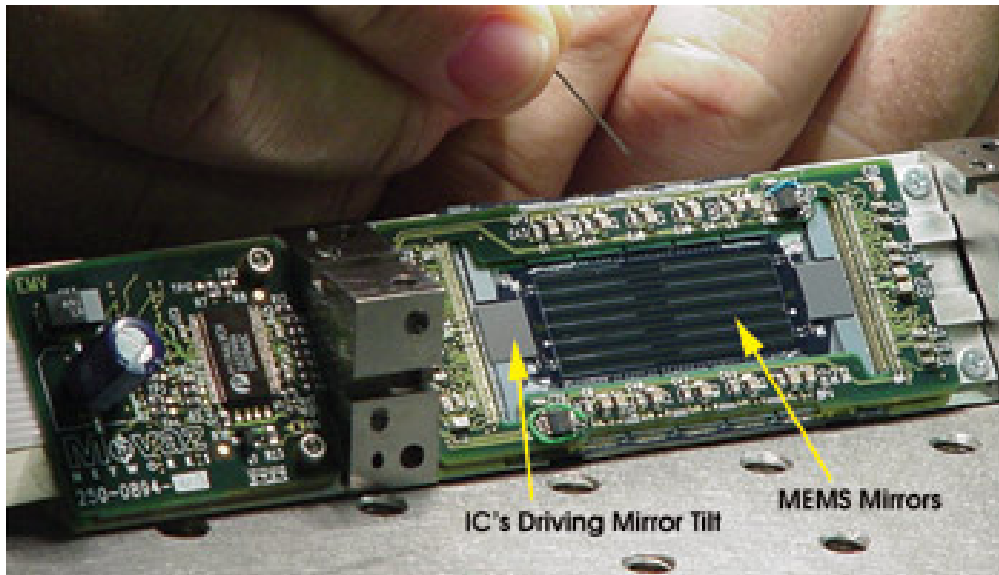


De inkommande och utgående fibrerna (101-104 i patentritningen) monteras i praktiken så här. Avstånden mellan fibrerna är i storleksordningen 250 mikrometer. Glaspinnen framför den gula ytan är en matris av mikrolinser (110 i ritningen) som bryter ihop ljuset som kommer ur fibern, medan glasblocket till vänster (115, 130 i ritningen) är den dubbelbrytande kristall som delar

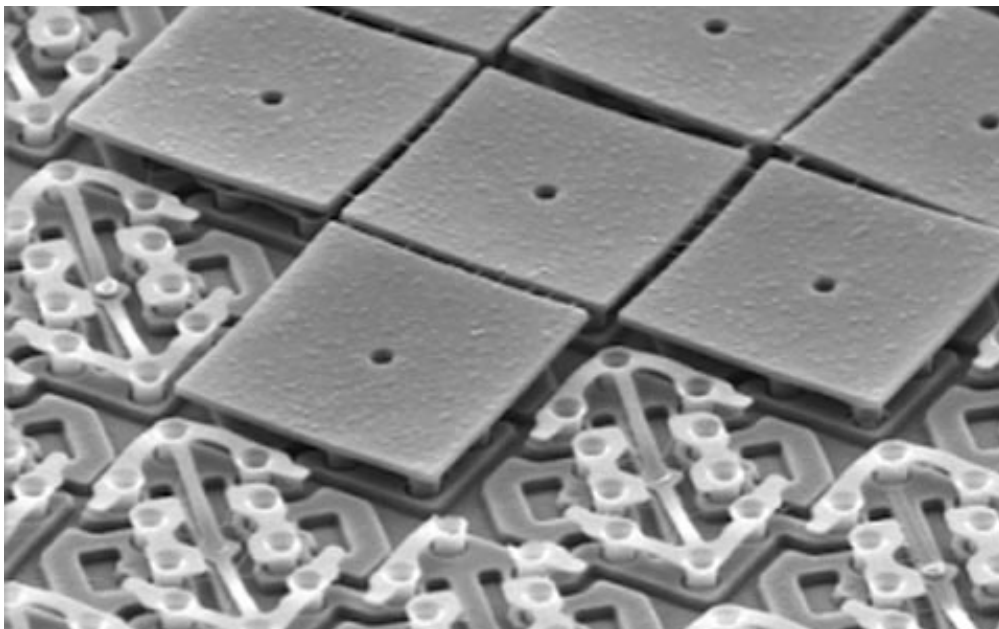
Ljuset i X- och Y-polarisation och ser till att de båda strålarna får samma väglängd fram till spegelenheten, genom optiken och tillbaka igen. Detta ger båda polarisationerna samma fokus på utgångsfibrerna.

Styrbar reflektor – MEMS

Den ursprungliga metoden att koppla om ljustrålar dynamiskt var den enklaste. Man använde sig av små, fysiskt styrbara speglar utförda med mikroelektromekanisk teknik (MEMS). Tekniken har sitt ursprung i videoprojektorer av DLP-typ (Digital Light Processing). Spegelarna är i storleksordningen 13 x 13 mikrometer stycket. De små speglarna kan typiskt vicka ± 12 grader i 10 kHz.



Så här ser en MEMS-krets på 12 x 40 millimeter ut. Det är bara den svarta ytan som består av mikrospeglar. Resten är drivkretsar och annan elektronik.



Så här ser speglarna ut i elektronmikroskop. Mekaniken är uppbyggd på samma sätt som en halvledarkrets, etsad i kisel. Spegelarna kan vicka i alla ledder, både för att rikta ljuset mot rätt fiberände och för att rikta det åt ett annat håll om ljuset ska dämpas eller släckas helt. Allra närmast i bild har man sprättat bort speglarna så att stödstrukturen och elektroderna undertill ska synas. Notera att speglarna inte är helt plana (se nedan).

Styrbar reflektor – LCoS

I moderna WSS-er är det reflekterande elementet baserat på flytande kristaller, främst för att sådana reflektorer redan finns masstillverkade i stor mängd, avsedda för videoprojektorer. De flytande kristallerna ligger på ett lager av kisel och hela

anordningen kallas LCoS, Liquid Crystal on Silicon. Metoden utvecklades av det australiensiska företaget Engana, som köptes av australiensiska Finisar, som i sin tur säljer WSS-produkter till Adva, som Sunet köper.



Displaykretsen i bilden är bara några centimeter på längden.

Den spatiala upplösningen i en 4K-display (4096 eller 3840 linjer) räcker bra för att växla exempelvis C-bandets 96 kanaler. Inte nog med det, displayen har upplösning nog att växla delar av kanaler, vilket kommer till nytta när man övergår till flexgrid och den fasta indelningen på 0,8 nm eller 50 GHz inte längre gäller utan gränserna mellan kanalerna blir variabla.

En modern videoprojektor kan växla bild uppåt 100 gånger i sekunden. Översatt i optiktermer betyder det att en WSS utrustad med en sådan display kan koppla om ljuset med samma frekvens. Det är naturligtvis inte mycket, jämfört med datakapaciteten som uppgår till hundra miljarder bitar per sekund.

Det är inte heller särskilt mycket jämfört med MEMS-teknikens 10 kHz, men LCoS har andra fördelar som högre upplösning och bättre styrmöjligheter, samt bättre faslinjäritet än de buktiga MEMS-speglarna. MEMS-kretsen måste redan vid tillverkningen monteras så att en optisk kanal (våglängd) svarar mot en enda spegel, eftersom spegelraden utgör λ -axeln. Av den anledningen är det omöjligt att göra flexgrid med MEMS. Gapen mellan speglarna blir av samma anledning till gap i λ -axeln, det överförbara spektrumet, och det fungerar inte alls om man tänker sig använda exempelvis bredare kanaler.

MEMS-kretsen ger en fast upplösning på 50 GHz, medan LCoS ger ett flytande spektrum som kan förskjutas med en upplösning på cirka 1 GHz.

Fördelen med att kunna ändra kanalernas centerfrekvenser och kunna skapa valfri bandbredd, väger upp problemen med den långsamma växlingsfrekvensen. Av den anledningen gör man inte optiska omkopplingar på paketbasis utan betydligt mera sällan.

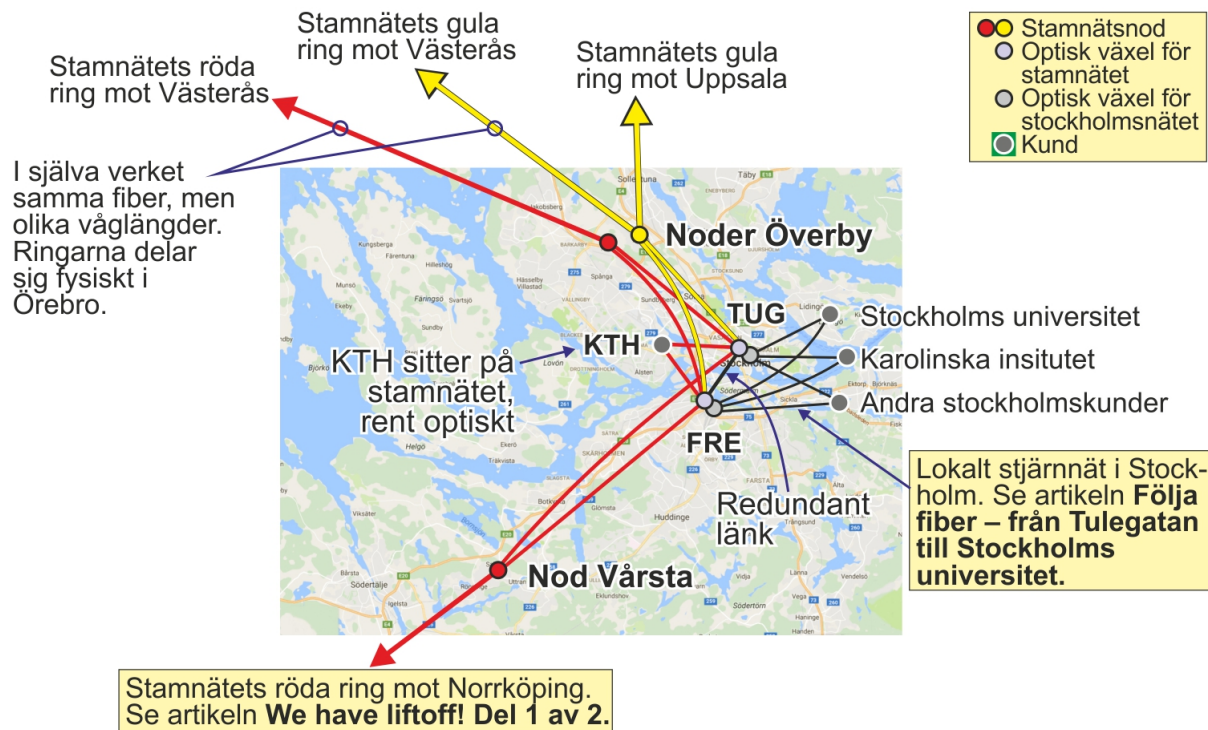
ETT PRAKTISKT EXEMPEL – TULEGATAN

För att få full förståelse för hur ett optiskt nät kopplas, förutsätts du ha läst och förstått artikelns tidigare delar, inklusive amöbakartorna och terminologin. Dessa artikeldelar beskriver hur Sunet-C kopplas ute i landets olika noder.

Turen är nu kommen till en av nätets centrala punkter, nämligen datorhallen på Tulegatan. Denna hall (TUG) motsvaras av en likadan i ett bergum i Fredhäll (FRE) i södra Stockholm. I dessa hallar finns det gott om ROADM.

Översiktskarta

Följande karta är en inzoomning och ett förtydligande av tidigare artiklar och visar stamnätet och de noder som utgör dess begynnelsepunkter närmast Stockholm.

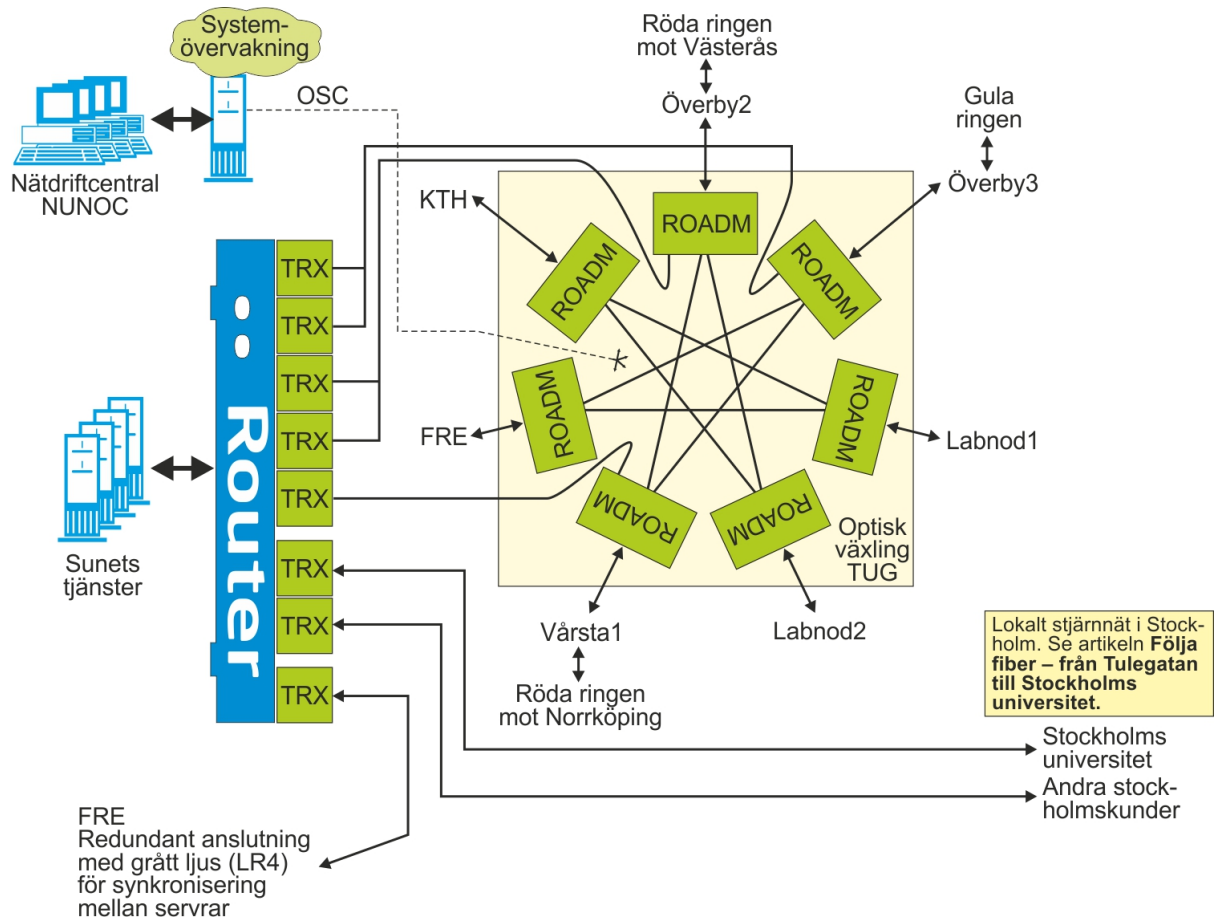


De röda och gula ledningarna refererar till de röda och gula ringarna som visas i artikelns del 1 (<https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-1-av-2/>). Som du ser sitter inte stockholmsskunderna (utom KTH) på det stora landsomfattande nätet utan är inkopplade på ett redundant stjärn nät med TUG och FRE som centra. De lokala punkt-till-punkt-kopplingarna i Storstockholm avhandlades i artikeln <https://www.sunet.se/blogg/langlasning-folja-fiber-fran-tulegatan-till-stockholms-universitet/> Huruvida stockholmsskunderna faktiskt är med på Sunet-C är emellertid en filosofisk fråga.

De båda hallarna avspeglar varandra fullständigt och alla servrar som tillhandahåller tjänster på Tulegatan, finns duplicerade i Fredhäll. TUG och FRE synkroniseras ständigt via en 100 Gbps fiberförbindelse.

Optisk-elektrisk koppling med routrar och servrar

Den optiska kopplingen i FRE är en sorts stjärna där alla utgående stamnätsfibrer (degree) är likvärdiga och kan skicka data in i varandra, om inställningarna i ROADM tillåter det.



Alla heldragna grova linjer i bilden är optiska förbindelser avsedda för transmission av lärosätenas data. Den tunna streckade linjen är elektriska förbindelser för övervakningskanalen OSC. Den exakta optiska kopplingen kommer i nästa bild.

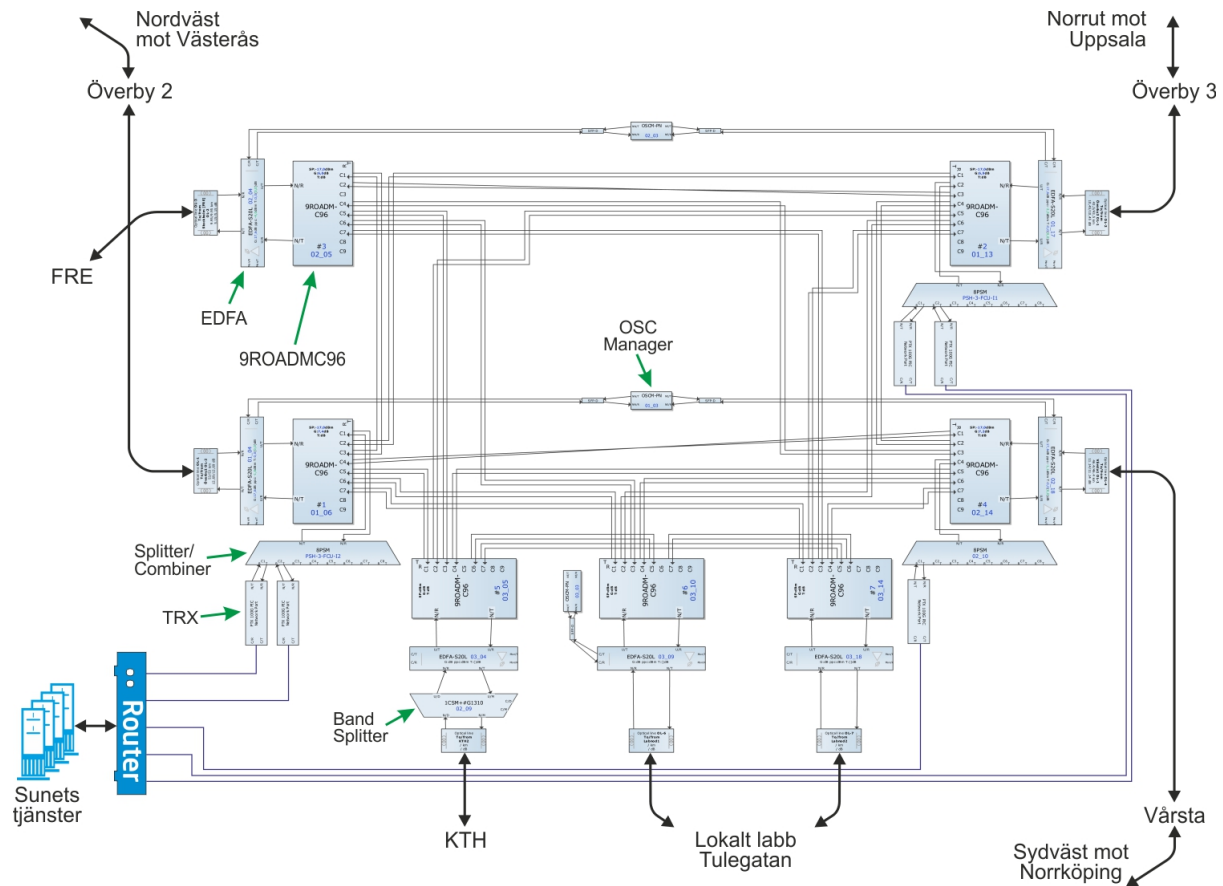
Som synes passerar den röda ringen bara tvärs igenom TUG (och FRE) medan den gula ringen har ett hörn i Överby-noden. Servrarna i hallarna i Stockholm kan mata ut sina tjänster på de gula och röda ringarna och väl där kan tjänsterna matas vidare ut i landet genom hopp mellan flera ringar. Överby är två olika hus med en förstärkare i varje, där en går mot Västerås och en mot Uppsala.

Den redundanta länken till FRE genom vilken servrarna med tjänster synkroniseras mot varandra för att de båda hallarna alltid ska vara varandras spegelbilder, växlas inte genom ROADM eftersom den aldrig ska kopplas om. Avståndet mellan TUG och FRE är bara 10 kilometer varför man använder en dedicerad fiber med grått ljus, med gränssnitt av typen LR4, alltså 4x25 Gbps. Det blir billigare än att använda koherent förbindelse.

Labbnoderna 1 och 2 finns i testlabbet på TUG, där man testar saker innan de provas i produktionsnätet.

Optisk koppling

När man slutligen skalat bort all den elektroniska utrustningen återstår bara de optiska kopplingarna. Den optiska ritningen nedan skildrar den gula rutan kallad "Optisk växling TUG" i bilden ovan, men visar de allra finaste detaljerna. Här visas alla optiska, dubbelriktade förbindelser dessutom som två ledningar, eftersom varje fiber i verkligheten är enkelriktad.



Skärskåda det optiska schemat och jämför med översiktsskissen ovan. I korthet kan man konstatera att alla ROADM kan växla trafik till alla andra. Alla utifrån kommande ledningar (degrees) kan skicka data till alla andra. Alltihop sitter ihop som en enda stjärna eller karusell. Denna metod är ett typiskt sätt att bygga upp ett nätcentrum och återfinns på i stort sett alla ritningar över större optiska nät. Det är tämligen rakt på sak och inget mystiskt.

På tre ställen, nämligen på de ROADM som vänder mot Överby-noderna och mot Vårsta-noden sitter transceivrar på 100 Gbps (PTX 100G, en juniperprodukt, som numera ersatts av Juniper MIC3-100G-DWDM) så att routern i TUG kan skicka data direkt på dessa ledningar. Anledningen till att båda Överby har dubbla transceivrar är att det finns två Överby, Överby-2 och Överby-3 som vardera hanterar två våglängder, och varje transceiver kan bara mata ut en våglängd. Överby-3 går mot Uppsala (site UPA) och där går våglängderna tug-r1 → upa-r1 (länk mellan core-routrar) samt tug-r1 → uu-r2 (länk mellan core och Uppsala Universitet). Motsvarande gäller för Överby-2. Den går mot Västerås (site FSN2), med våglängderna tug-r1 → fsn-r1 (mellan core-routrar) och tug-r1 → mdh-r2 (länk mellan core och Mälardalens Universitet).

Utrustningen som vänder mot FRE kan bara lyssna på alla övriga och kopiera trafiken, eller mata trafik dit, ifall routerna på TUG skulle råka gå sönder.

Utgången mot KTH kan sägas vara likvärdig med alla andra på stamnätet men är för närvarande inte inkopplad. Den användes när KTH testade nya servrar och nätverksutrustningar och behövde prova överföring över distans på 100 Gbps. En *band splitter* används för att man ska kunna mata in både våglängder i C-bandet och grått ljus på 1310 nm i samma fiber.

Den gula rutan i förra bilden visar inte EDFA-förstärkarna, som dock måste finnas med för att förstärka de utgående signalerna så att de klarar sig 80 kilometer till första stamnätsnoden. Den gula rutan visar inte heller de passiva splitters/combiners (8PSM) som måste till för att man ska kunna ansluta flera optiska transceivrar till ROADM och kombinera deras våglängder. Inte nog med att man i en framtid kan ansluta ytterligare transceivrar för att öka kapaciteten. När ett lärosäte behöver dedikerad kapacitet till valfri ort eller plats i Sverige via stamnätet så kan man ansluta ytterligare en transceiver och tända ytterligare en våglängd och injicera den via splitter/combinern som redan står på plats.

OSC – Optical Supervision Channel

OSC-kanalen är den styrkanal som används för att mata ut styrdata till alla optiska enheter i hela landet och hämta tillbaka driftsstatus, larm osv oberoende av datatransmissionen på stamnätet. All optisk omkoppling i hela nätet styrs alltså härifrån. OSC injiceras på utgående fibrer i den EDFA-förstärkare som sitter efter ROADM och vänder ut mot stamnätet. Inkommande OSC-kanal skalas av i samma EDFA och tas ut till nät driftcentralen. Alla optiska OSC-anslutningar hamnar i en OSCM-enhet

(optical supervision channel manager) som omvandlar dem till elektriska signaler, nämligen Ethernet för vidare hantering i övervakningsservern.

Schemat ovan visar bara optiska anslutningar för OSC. De lokala ROADM ansluts till övervakningsservern direkt med Ethernet.

Övervakningsservern kör ett övervakningsprogram som sänder och tar emot data till och från OSC-systemet. Servern kör också ett grafiskt gränssnitt som systemövervakarna använder, nämligen Advas övervakningsprogram FSP Network Manager.

Vissa EDFA i ritningen ovan har inte anslutning till OSC för att det bara finns en passiv spiltter/combiner i andra änden av ledningen, dvs ingen utrustning som kan förstå sig på OSC-data.

AVSLUTNING

När du nu har läst de fyra artikeldelarna förmodar jag att du själv är kapabel att konstruera ett landsomspännande optiskt nät!

LÄS MER

Artiklens del 1: <https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-1-av-2/>

Artiklens del 2: <https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-2-av-2/>

Artiklens del 3: <https://www.sunet.se/blogg/we-have-liftoff-del-3-av-2/>

Om superkanaler sammansatta av flera bärvågor: <http://www.idg.se/2.1085/1.590938/nar-fibern-blir-full-trycker-vi-in-lite-till>

Ännu mer om superkanaler och flexgrid: <https://www.sunet.se/blogg/spektrumanalysatorn-grundläggande-om/>

OptoSunets numera nedmonterade nätcentrum: <https://www.sunet.se/blogg/natets-centrum/>

Du nya, sköna värld. Optisk omkoppling med kvantprickar: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/8/9/208>

DATA OM ADVA ROADM

Sunet använder bland annat ROADM-modulen Adva 4ROADM-E/C96. Den växlar signaler med hjälp av ett LCoS-element och förstärker signalen internt med en EDFA-förstärkare.

Signalnivåer in från stamnät (totalt): -25 dBm ... 15 dBm (vid för höga ineffekter distorderas signalen av olinjäriteter i fibern)

Signalnivåer in från stamnät (per kanal): -25 dBm ... -6 dBm

Signalnivåer ut till stamnät (totalt): -24 dBm ... 11 dBm

Antal våglängder/kanaler som kan växlas: 96 (191,25 THz till 196,00 THz)

Kanaldelning: 50 och 100 GHz eller flexgrid beroende på programvara

Omkopplingshastighet: ~100 Hz

Fibertyp, kontaktdon: G.652 på LC-kontakter

Eftersom det finns få rörliga delar är apparatens estimerade livslängd enorm, drygt en miljon timmar.

KONSTIGA ORD

CDCG: Colorless, Directionless, Contentionless and Gridless, fyra egenskaper som en ROADM måste ha för att vara universell.

Degree: En anslutning till stamnätet

DLP: Digital Light Processing, ett fräsigt namn som SONY gav sina MEMS-kretsar med mikrospeglar som används i digitala projektorer, och i tidiga WSS.

EDFA: Erbium Doped Fibre Amplifier, en optisk förstärkare som används i optiska nät.

LAM/LAS: Lambda Acquisition Module/System, andra beteckningar på WSS.

LCoS: Liquid Crystal on Silicon, en modern typ av högupplöst spegelmodul som används i WSS.

MEMS: Micro ElectroMechanical System, mekaniska system som är så små att de etsas på kisel. Utöver spegelmoduler, finns det pumpar, ventiler, sensorer osv i MEMS-teknik. Användes tidigare i WSS.

OSC: Optical Supervision Channel, övervakningskanalen som följer med datakanalerna på det optiska nätet. All styrdata till förstärkare och ROADM överförs via OSC, inte via transmissionsnätet.

ROADM: Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer, enheten som egenhändigt möjliggjort växling i alla stora optiska nät till ett rimligt pris.

SDO: Software Defined Optics, metoden kan kunna styra och ställa med ljus enbart med hjälp av programvara, dvs utan att behöva flytta kontakter på fronten av någon apparat.

SLM: Spatial Light Modulator, spatiell ljusmodulator, en liten 'bildskärm' med en mängd diskreta pixlar som godtyckligt kan

ändra amplitud och fas på en ljusstråle. Används för själva spegelenheten i en WSS.

WSS: Wavelength Selective Switch, våglängdsselektiv växel.

Skriven av



JÖRGEN STÄDJE

Jag heter Jörgen Städje och har skrivit om teknik
och vetenskap sedan 1984. Friskt kopplat, hälften
brunnet!