



Six-port modulation

En möjlighet att förena trådlösa och optiska nätverk

Flaskhalsen i den digitalisering vi står inför är den begränsade datahastigheten i de trådlösa länkar som kopplar upp användarna till Internets fiberbaserade stamnät. Till exempel använder vi fortfarande wifi med cirka 60 Mbit/s medan fiberterminalen/anslutningspunkten klarar 1 Gbit/s och mer. Även om den kommande generationens mobiltelefoner (5G) siktar på en datahastighet uppemot 10 Gbit/s är det fortfarande 100 gånger lägre än de terabit per sekund som optiska fiberlänkar enkelt kan hantera redan idag.

SEDAN ÅR 2004 har forskargruppen Kommunikationselektronik vid Linköpings universitet (LiU) forskat på en unik radioarkitektur, den så kallade Six-port radioarkitekturen, för trådlös dataöverföring med höga hastigheter. Vi har nyligen skrivit en översiktsartikel [1] i ämnet.

Våra tidigare forskningsresultat har visat på potentialen i en banbrytande lösning som bättre matchar prestanda mellan fiberoptik och trådlösa nätverk genom att minimera förlusten i datahastighet i själva omvandlingen mellan basband och trådlös data. På så sätt är det möjligt för trådlös kommunikation att verkligen hänga med den optiska kommunikationen.

ANALYS. Design av elektroniska kretsar med elementmodeller är baserat på Kirchhoffs ström- (KCL) och spänningsslag (KVL). Men faktum är att de inte är något annat än förenklingar av Maxwells ekvationer under tidsinvarianta elektro- och magnetfältstillstånd [1]. Detta är likströmstillstånd (dc) i kretsteorin, ej växelströmstillstånd (ac). För ac-signaler är KCL och KVL endast giltiga när tiden för signalfördröjningen inte beaktas. Vid relativt låga frekvenser, under 1 GHz, är fasförskjutningen på grund av en begränsad fashastighet i praktiken fortfarande försumbar.

För att få kvantitativa siffror gör vi en beräkning för relationen mellan frekvens, våglängd i luften och förhållandet mellan utbredningsfördröjningen per centimeter och periodtiden [1]. Vid 0,1 GHz är våglängden 300 cm; förhållandet mellan utbredningsfördröjningen per centimeter och



Av Shaofang Gong och Magnus Karlsson, Institutionen för teknik och naturvetenskap, Linköpings universitet

Shaofang Gong är professor i kommunikationselektronik vid Linköpings universitet. Han forskar primärt om trådlös dataöverföring med höga hastigheter och trådlösa sensornätverk för sakernas internet.



Magnus Karlsson är universitetslektor i kommunikationselektronik vid Linköpings universitet. Hans forskning innefattar antennteknik, radio front-end design och trådlös kommunikation.

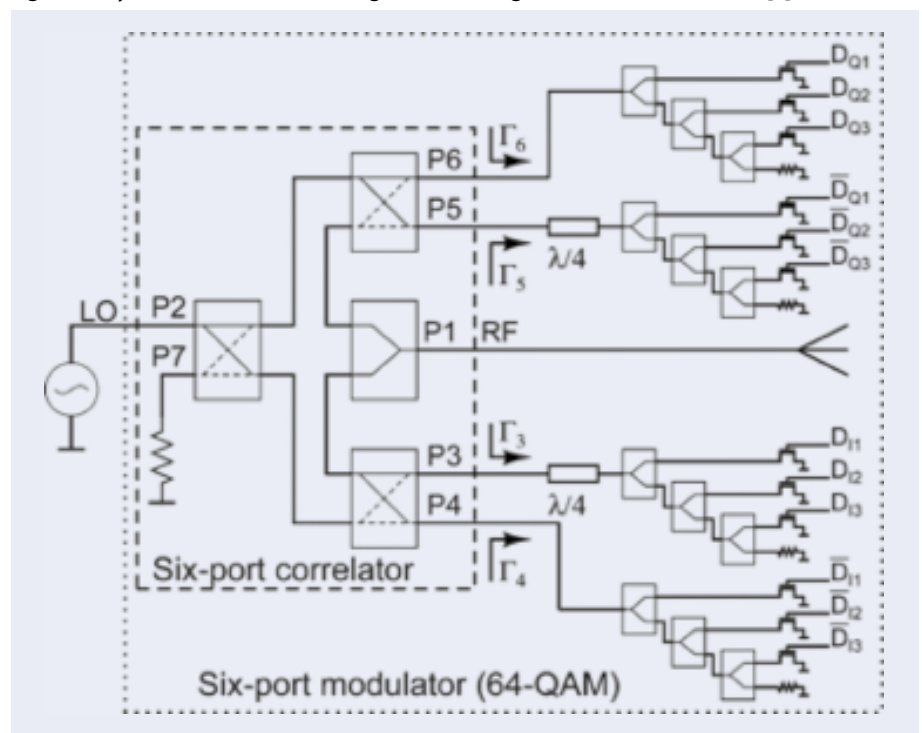
periodtiden är 0,0033, dvs. 0,33 procent. Således kan KCL och KVL användas utan väsentliga fel för ac-kretsar vid 100 MHz. Men vid 1 GHz, är förhållandet 0,033, dvs. 3,3 procent, medan det vid 3 GHz är 10 procent och vid 10 GHz är det 33 procent!

Självklart kan KCL och KVL inte användas för kretskonstruktion vid frekvenser över 3 GHz. Detta är ett dilemma. Å ena sidan vill utvecklarna utnyttja frekvenser över 3 GHz för att kunna konstruera bredbandiga system. Å andra sidan kan kretsteori och designmetodik som används tidigare i princip inte användas.

PARADIGMSKIFTE. För att möta de tekniska utmaningar som vi står inför behöver vi en enhetlig vågbaserad metodik för att designa kretsar för digital modulation och överföring. Notera att den så kallade radiofrekvenselektroniken (RF-elektroniken) är en hybridlösning mellan kretsteori baserad på Kirchhoffs elektriska ström- och spänningsslag och den elektromagnetiska vågteorin som är baserad på Maxwells ekvationer.

SIX-PORT MODULATOR. Vår forskning på en Six-port radioarkitektur [2] har visat att bi-

Figur 1. Six-port-modulator för direkt digital modulering med binära basbandsdata [2].



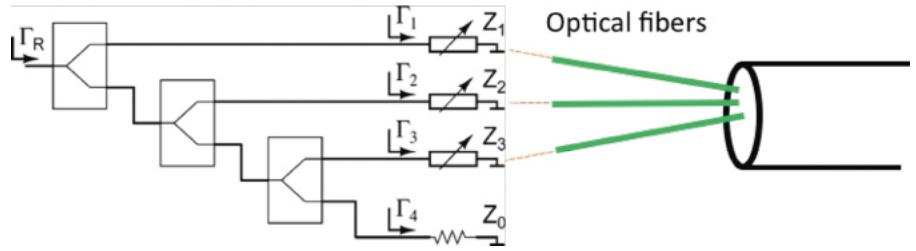
nära basbandsdata, både elektriska och optiska, kan användas direkt för att modulera sinusvågen från lokaloscillatorn och därmed generera en bredbandig RF-signal. Detta sker endast med en Six-port-modulator utan någon digital-till-analog (D/A) omvandlare. Detta innebär också att den optiska-till-elektriska (O/E) omvandlingskretsen kan utelämnas vilket möjliggör direkt omvandling mellan optiska och trådlösa data. Omvandlingen åstadkoms genom våginterferometri av elektromagnetiska vågor i en Six-port-korrelator och implementeras med mikrostripleddningar. Grundläggande kretsar och principen för en Six-port-modulator visas i figur 1 och kan beskrivas med följande ekvationer:

$$b_{RF} = a_{LO}(\Gamma_1 + j\Gamma_0)/4 = A_{LO} \cos\omega t (\Gamma_1 + j\Gamma_0)/4$$

$$\Gamma_1 = (\Gamma_3 + \Gamma_4), \Gamma_0 = (\Gamma_5 + \Gamma_6)$$

där b_{RF} är den modulerade och utgående vågen från RF-porten till antennen, a_{LO} är ingående sinusvåg från LO, och Γ_3 till Γ_6 är reflektionskoefficienterna från impedanslasterna. Moduleringen uppstår i Six-port-korrelatorn när LO-signalen, dvs. $A_{LO} \cos\omega t$ i (1), reflekteras från de dynamiska impedanslasterna, vilka kan styras direkt med binära basbandsdata.

TILL SKILLNAD FRÅN en konventionell homodyn modulator så utför denna Six-port-modulator som visas i figur 1 digital modulering med elektromagnetisk våginterferometri direkt i själva Six-port-korrelatorn utan blandare. Den ingående LO-vågen och de reflekterade vågorna från



Figur 2. Ljus i optiska fibrer modulerar impedanslasterna Z_1 till Z_3 i Six-port-modulatorn i figur 1.

impedanslasterna propagerar i TEM (transverse electromagnetic)- eller kvasi-TEM-mode i mikrostripleddningar, eller i andra typer av vågledare. Detta är en unik egenskap!

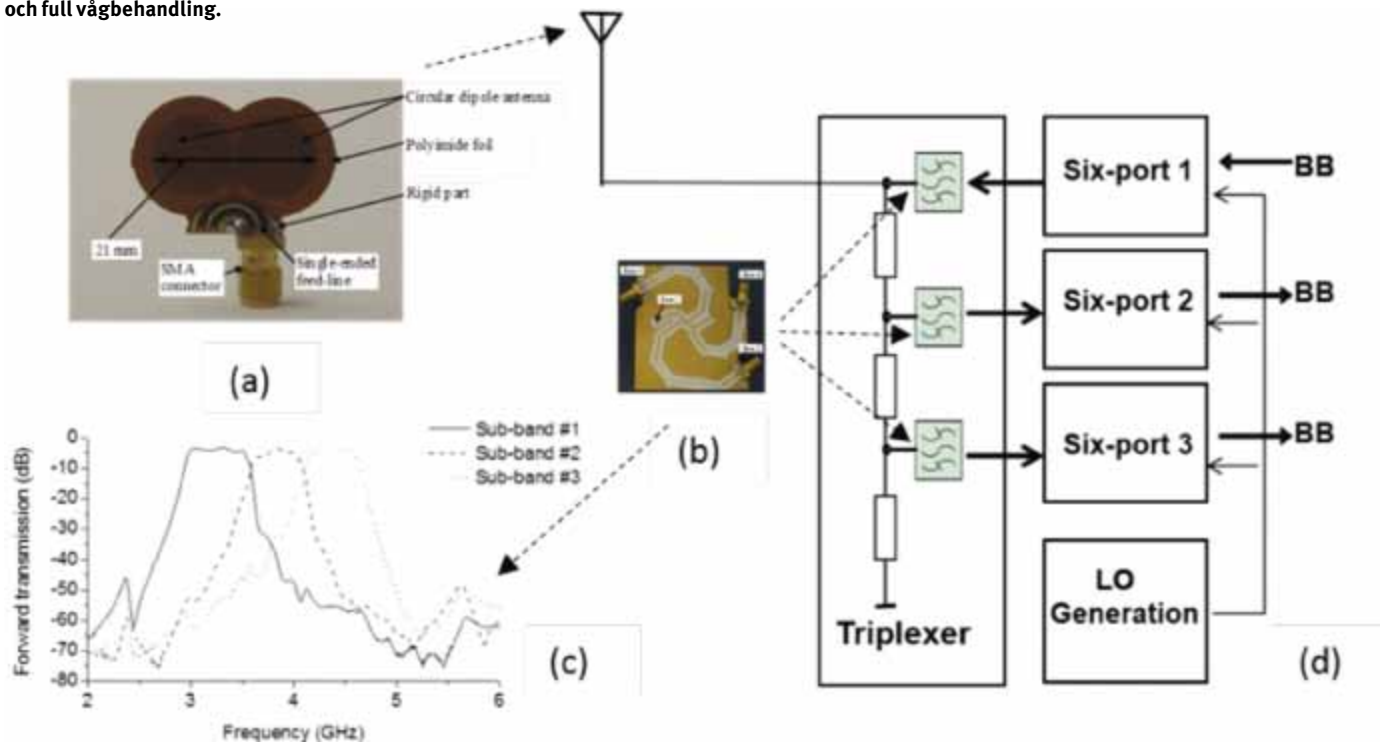
Om vi driver datahastigheten nära gränsen för vad de fysikaliska lagarna tillåter måste vi utnyttja egenskaper av elektromagnetiska vågor enligt Maxwells ekvationer. Detta innebär att Six-port radioarkitekturen till sin natur bör kunna ge en högre datahastighet jämfört med konventionella radiotekniker baserade på RF-signalbehandling med komponenter som är integrerade i kisel- eller III-V-halvledare. Dessutom undviks helt kraven på D/A-omvandling och digital signalbehandling vid höga dataakter. I konventionella digitala modulatorer används ofta basbandsfilter såsom "raised-cosine"-filter för att minska intersymbolstörningar i blandare. Med Six-port-modulatorn som visas i figur 1 så behövs heller ingen sådan basbandsfiltrering för binära basbandsdata. Detta på grund av att digital modulering inte sker i en blandare. Istället görs det genom reflektion av

TEM-vågor från impedanslast och TEM-våg-interferometri i Six-port-korrelatorn. Skarpa binära pulser i basbandet resulterar i minst intersymbolstörning eftersom de ändrar lastimpedanserna direkt från låg till hög och vice versa, vilket i sin tur ger de nödvändiga reflektionskoefficienterna Γ_3 till Γ_6 .

OPTISKA DATA TILL RF SIGNAL – direktkonvertering. Med Six-port arkitekturen som visas i figur 1 kan ljus i optiska fibrer utnyttjas för att direkt styra impedanslast i en Six-port-modulator. Detta illustreras i figur 2, där Z_1 till Z_3 är lastimpedanser i Six-port-modulatorn som visas i figur 1. Om Z_1 till Z_3 är fotokänsliga laster, kommer reflektionskoefficienten Γ_R att moduleras av ljuset i den optiska fibern. Detta innebär att binärdata i en optisk fiber direkt kan omvandlas till bredbandigt modulerade RF-signaler genom Six-port-modulatorn som visas i figur 1. Följande nycklegenskaper kan observeras från figur 2:

- Enkel konvertering från optiska data med hög dataakt till guidade TEM-vågor i de

Figur 3. Six-port radioarkitektur för parallell och full vågbehandling.





tre seriekopplade effektkombinerarna, var och en med en stor frekvensbandbredd.

- De enda brus-källorna är termiskt brus i effektkombinerarna och Shot-brus från lasterna Z_1 till Z_3 .
- Reflektionskoefficienten Γ används som Γ_3 , Γ_4 , Γ_5 eller Γ_6 i Six-port-modulatorens som visas i figur 1.
- Om de fotonkänsliga komponenterna Z_1 till Z_3 är tillräckligt snabba, kan data inbäddade i Γ nå en datahastighet typiskt den för optisk fiberkommunikation.

EN KABEL SOM ILLUSTRERAS i figur 2 kan ha många optiska fibrer som kan kopplas till många Six-port-modulatorer integrerade i ett flerlagers mönsterkort för parallell RF-signalbehandling i olika frekvensband. Till exempel, kan en mobil-fronthaul med massiv MIMO (multiple input multiple output) realiseras när flera Six-port-modulatorer används tillsammans med en gruppantenn.

PARALLELL VÅGBEHANDLING. En annan metod för att öka datahastigheten är att göra parallell vågbehandling med Six-port-modulatorer och -demodulatorer. Figur 3 visar re-

sultat av våra tidigare studier [1], nämligen att fullständigt parallell vågbehandling kan realiseras ända från en bredbandig antenn till Six-port-modulatorer och -demodulatorer, i det här fallet via en triplexer med tre bandpassfilter. Figur 3a visar ett foto på en cirkulär dipolantenn med en mönsterkortsintegrerad balun. Figur 3b är ett foto på en triplexer med tre bandpassfilter, och figur 3c är ett uppmätt resultat från triplexern som visar tre separerade delband. Figur 3d är ett blockschema av hela RF-front-end för parallell vågbehandling i kvasi-TEM-mode med tre Six-port-modulatorer och -demodulatorer. På detta sätt är en stor RF-bandbredd uppdelad i tre delband för parallell vågbehandling från den bredbandiga RF-signalen från antennen till digital basbandsdata, eller vice versa. Det finns flera fördelar med denna typ av parallell RF-vågbehandling. För det första, förutom sinussignal (LO) är alla andra block inklusive antenn, triplexer och Six-port-modulatorer/demodulatorer passiva kretsar vilket resulterar i en låg brusnivå och låg effektförbrukning.

För det andra så förbättras signalbrusförhållandet ytterligare när systemets to-

tala frekvensband styckas upp i mindre delband, detta på grund av att varje delband har mindre termiskt brus än systemets hela frekvensband.

FÖR DET TREDJE har varje delband bättre frekvenslinjäritet än vad hela frekvensbandet har, vilket tillåter en högre modulationsordning, t.ex. 256 QAM (quadrature amplitude modulation). Med arkitekturen som visas i figur 3 kan en hög datahastighet uppnås på grund av systemets stora effektiva frekvensbandbredd, höga möjliga modulationsordning och höga signalbrusförhållande. ■

REFERENSER:

- [1] S. Gong and M. Karlsson, "Pushing the Wireless Data Rate to the Internet Speed", IEEE Access, DOI 10.1109/ACCESS.2016.2631661, 2016.
- [2] J. Östh, M. Karlsson, A. Serban, and S. Gong, "M-QAM Six-Port Modulator Using Only Binary Baseband Data, Electrical or Optical", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 61, no. 6, pp. 2505–2513, 2013.