

Undervattenskommunikation

Innehållsförteckning

1. Bakgrund	3
2. Nätverk	3
3. Modulering	4
4. Accessmetoder	5
5. Felrättande koder	6
6. Routing	6
6.1 Proaktiva routingmetoder	6
6.2 Reaktiva routingmetoder	7
6.3 Geografiska routingmetoder	7
6.4 Centralstyrd routing	7
7. Flödeskontroll	8
8. Problem	8
8.1 Eko	8
8.2 Skugga	8
8.3 Absorption	8
8.4 Skiktningar	8
8.5 Störningar	9
8.6 Bandbredd & Räckvidd	9
8.7 Tidsaspekter	9
8.8 Energiförsörjning	9
9. Slutsatser	10
Referenser	11

1. Bakgrund

Det finns ett stort behov av att kunna kommunicera effektivt under vatten för att kunna utnyttja avlägsna sensorer och obemannade undervattensfarkoster på ett mer effektivt sätt. Eftersom elektromagnetiska vågor inte fungerar bra i vatten så har akustiska vågor en viktig roll i undervattenskommunikation.

Undervattenskommunikation kan ske på flera sätt, ibland räcker det med kommunikation nod till nod och ibland behöver man använda sig av nätverk. Har man bara två noder som ska kommunicera med varandra räcker det att komma överens om en bra modulation. För nätverk blir situationen mer komplicerad. För att lösa detta kan man skapa ortogonala kanaler så att de olika signalerna inte stör varandra. Ett annat alternativ är slumpmässig delad tillgänglighet som visat sig fungera bra för trådlös kommunikation.

Under de senaste decennierna har flera nätverksprotokoll tagits fram för användning i både WLAN och LAN. På grund av de stora skillnaderna mellan akustiska och elektromagnetiska kanalerna så måste dessa protokoll modifieras för att på ett bra sätt kunna appliceras på undervattensnätverk.

2. Nätverk

Nätverk under vatten har många varierade användningsområden såsom miljöövervakning och utforskning av havet, samt militära applikationer där man bl.a. använder det till minröjning och kustförsvar.[1]

Ett nätverk kan se ut på flera sätt, det kan t.ex. bestå av både fasta och rörliga noder. Rörliga noder i undervattensnätverk är t.ex. AUV¹ och fasta kan vara sensorer för datainsamling. En del noder kan även agera även routrar. Ofta förbinder man sitt undervattensnätverk med minst en gateway-nod som bl.a. består av ett akustiskt modem. Denna skickar vidare information via andra medium, t.ex. kabel, till den som station som vill kommunicera med gällande UAN².

Det är mycket svåra förhållande vid UAN. Det är framför allt vattnets egenskaper som kommunikationsmedium som är problemet. Dock är även otillgänglighet ytterligare en svårhet man ställs inför. De tre viktigaste faktorer som påverkar överföringskapaciteten i ett UAN är: [2]

1. signalstyrka – Man måste kompromissa mellan signalstyrka och batteri livslängd. Man vill kunna nå så många noder som möjligt, samtidigt som man vill att de ska vara aktiva. Bra signalstyrka är även viktigt för att få en bra SNR³.
2. bandbredd – Vi har en begränsat frekvensområde som är användbart för att skicka data. Låga frekvenser har problem med att man inte kan skicka så mycket data och höga frekvenser problemet med att vattnet absorberar dessa så de inte går fram.
3. Fördröjningar – Vatten är ett långsamt medium. Detta ger att det tar mycket längre tid att skicka data mellan noder i ett UAN än det tar i ett vanligt LAN eller WLAN.

För att man inte ska behöva skicka onödigt starka signaler så använder man sig av andra noder för att nå sin destination. Detta ger att flera noder gör av med lite energi i stället för att en nod gör sig av med mycket, vilket medför att det blir en jämnare livslängd på noderna. Det

¹ Autonomous Underwater Vehicle Sv. Obemannade undervattensfordon

² Underwater Acoustic Network Sv. Akustiskt undervattensnätverk

³ Signal Noise Ratio, Sv. Signalen i förhållande till störningar. SNR = Signal/Störning

är viktigt att inte skicka samma paket flera gånger eftersom det man vill minimera energiförbrukningen i proportion till antalet korrekt skickade och mottagna bitar. [2]

Man kan dela upp kanaler för akustiska nätverk i två varianter, ortogonala och icke-ortogonala. Med ortogonala kanaler menas att man tilldelar specifika kanaler till varje mottagare. Detta medför att bandbredden delas upp mellan de olika mottagarna/sändarna och kan ses som ett deterministisk FDMA⁴-system där bandbredden är uppdelad mellan de olika noderna. Då det är icke-ortogonalt så delar alla deltagare samma kanal. Förutom att man kan dela upp nätverk i ortogonala och icke- ortogonala så används olika accessmetoder och modulationer för att bättre utnyttja den dåliga bandbredden (ca 10kHz). Dessa har olika för- resp. nackdelar. [3]

3. Modulering

Ett akustiskt modem består av en sändar- och en mottagarmodul. Sändarmodulen skall koda bitströmmen och sedan skicka den. Mottagarmodulen ska upptäcka en synkroniseringssignal, ta emot signalen och sampla den till ettor och nollor så att nästa lager får informationen.

För tio år sedan använde undervattenmodem MFSK⁵ eftersom det inte krävde att man höll reda på faser. MFSK fungerar i stället så att det ändrar frekvenser för att överföra data. Med tiden har chipen blivit mer komplexa och detta har gjort det möjligt att skicka data snabbare på andra sätt. Idag används knappt MFSK men för långa avstånd kan det fortfarande vara det bästa alternativet. Det som istället kan användas är MPSK⁶, DPSK⁷, QAM⁸ och OFDM⁹. [1]

MPSK fungerar så att faserna är olika beroende på vilket tecken man vill skicka. Detta ger en högre bithastighet för MPSK än för MFSK vid låg bandbredd vilket är fallet under vatten. MPSK blir känslig för fasskiftningar vilket gör att man i stället kan använda DPSK. Skillnaden mellan DPSK och PSK är att DPSK inte bryr sig om fasen från signalens början utan bara från den senaste biten. Detta gör att DPSK inte behöver lagra så mycket information om fasen. DPSK har dock en högre BER¹⁰[1] och kräver DPSK en högre SNR än MPSK.[4]

QAM är en annan modulering man kan använda sig av. Den är en kombination av MASK¹¹ och MPSK. Den kräver mindre SNR än MPSK[4] och är vanligare vid höga hastigheter.[5] Dock kräver den att man inte bara läser av fasen utan också har en noggrann avläsning av amplituden på signalen.

Till sist har vi OFDM. Detta är speciellt bra då det finns störningar på stora delar av bandbredden.[1] OFDM skickar på flera frekvenser samtidigt och de av dessa frekvenser som har en hög BER får mindre att göra än de som har liten BER.

⁴ Frequency Division Multiple Access

⁵ Multiple Frequency Shift Keying

⁶ Multiple Phase Shift Keying

⁷ Differential Phase Shift Keying

⁸ Quadrature Amplitude Modulation

⁹ Orthogonal Frequency Division Multiplexing

¹⁰ Bit Error Rate, Sv. bitfelssannolikhet

¹¹ Multiple Amplitude Shift Keying

4. Accessmetoder

Det finns många olika accessmetoder som kan användas beroende på vad man vill ha för egenskaper på sin kommunikation.

TDMA¹² delar upp en frekvens i olika tidsluckor. Varje nod får sen en tidslucka som den kan sända på. Denna metod har stora nackdelar under vatten. Långa fördröjningar gör att man måste ha väldigt stora tidsluckor för att inte olika noder ska sända samtidigt. En annan svårighet med TDMA är att man måste ha synkroniserad tid vilket är svårt då fördröjningen i vatten kan variera. [1]

FDMA¹³ sänder på en eller flera specifika frekvenser. Tyvärr har man inte så många frekvenser att välja på att FDMA är ett konkurrenskraftigt alternativ under vatten. [1]

CSMA¹⁴ lyssnar på mediet man skickar i och skickar inte om någon annan gör det. Det finns flera varianter av detta t ex CSMA/CA¹⁵ som används i IEEE 802.11. Det finns två viktiga orsaker till att detta är dåligt under vatten. [1]

1. CSMA/CA lyssnar efter att ingen sänder, fördröjningarna påverkar så att man kan tro att det är ledigt att skicka då det kan vara att signalen bara inte kommit fram än.
2. Det är stora fördröjningar och jitter i RTS/CTS¹⁶ vilket ger låg genomströmningshastighet.

CDMA¹⁷ Sänder över hela frekvensbandet och särskiljs av kods signaler istället för tidsluckor eller frekvensindelning. CDMA utnyttjar bandspridning (SS¹⁸) och uppkom under WW2 av tyskarna för att inte hela meddelandet skulle fångas av fienden. Det fungerar så att man utnyttjar FH¹⁹ eller DS²⁰ efter en viss nyckel som endast mottagaren känner till. Detta har många fördelar och utnyttjar bandbredden på ett effektivt sätt, en stor nackdel är att det blir mer komplicerat att koda och avkoda meddelanden. [4]

FH-SS är en frekvenshopptechnik. Med detta menas att bärvågsfrekvensen ändras med jämna mellanrum, för att kunna ta emot hela bärvågen så måste mottagaren byta frekvens i samma takt som sändaren. Detta gör att det är tåligt mot störningar samt svåravlyssnat. Man kan försöka störa över hela frekvensområdet men då är risken att störningen inte blir tillräckligt stark. Nästa alternativ är då att störa en viss frekvens för att åstadkomma bitfel. För att motverka detta så implementeras bandspridningssystemen med felrättande koder. [4]

För fleranvändarsystem, FH-CDMA så har varje sändare-mottagare-par ett eget hoppmönster som de följer. Detta medför att desto fler användare som är aktiva samtidigt gör att risken för kollisioner ökar.[4]

DS-SS är en direktsekvensteknik. Med detta menas att man har sin smalbandiga informationssignal och multiplicerar sedan denna med bredbandig spridningsfunktion. Detta

¹² Time Division Multiple Access

¹³ Frequency Division Multiple Access

¹⁴ Carrier Sense Multiple Access

¹⁵ Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance

¹⁶ Request To Send / Clear To Send

¹⁷ Code Division Multiple Access

¹⁸ Spread-Spectrum-systems

¹⁹ Frequency Hopping

²⁰ Direct Sequence

ger oss en följd av binära tal. För att mottagaren skall kunna ta emot signalen så krävs det att han har en kopia av spridningsfunktionen, både i tid och form. Mottagaren skickar sedan den mottagna signalen genom ett lågpasfilter för att återskapa det ursprungliga frekvensområdet. Denna princip gör att endast en liten del av störsignalen når mottagaren, men kräver givetvis att spridningsfunktionen hålls hemlig. Även här är det bästa sättet att störa att attackera en smal bandbredd.[4]

I fleranvändarsystem DS-CDMA så kommunicerar de olika sändar-mottagar-paren på samma frekvensområde. För att detta skall vara möjligt måste koderna för spridningsfunktionerna vara ortogonala/okorrelerade vilket gör att de inte stör varandra. Detta används också av tredje generationens mobilradiosystem och GPS.[5]

5. Felrättande koder

För att upptäcka eller rätta de fel som uppstår vid sändning så används någon form av felkontrollerande- eller felrättande koder. Den enklaste varianten av felkontrollerande koder är att använda sig av en paritetsbit. Denna läggs sist och avgör om det är ett jämnt eller ojämnt antal ettor i kodordet. Man kan bara upptäcka om det blir fel på 1 eller 3 bitar, om det blir fel på 2 eller 4 så tror paritetsbiten att kodordet levererats utan fel.

Den första felrättande koden som uppfanns var av Richard Hamming 1950 vilket var enkelfelrättande, d.v.s. att det kunde rätta om en bit inverterats och detektera om en eller två bitar inverterats. För att kunna rätta en inverterad bit så måste minsta Hammingavståndet vara 3. Då ändras bara det mottagna kodordet till det närmaste korrekta kodordet. Om hammingavståndet är 3 så kan man ha 2^4 olika kodord. Detta medför att istället för att skicka 4 bitar för de 16 olika kodorden så blir varje kodord 7 bitar långt. Det går även att ha koder som rättar flera inverterade bitar men då krävs det att kodordet blir ännu längre. Men om man skickar över kanaler med mycket störning så tjänar på att använda felrättande koder.

Man bör även använda sig av interleaving, dvs sprida ut varje kodord över ett större tidsintervall eftersom kanalen oftast drabbas av lokala störningsskuror. Om spridningen är tillräckligt bra så kan det rätta kodordet återskapas istället för att skickas om.

Idag finns det mer avancerade sätt att koda och avkoda som är mer effektiva men som också kräver mer arbete att utföra. Ett av de modernaste och effektivaste som används idag är turbokoder. Dessa använder sig av en kombination av kodningsteorier samt interleaving.

6. Routing

Det finns flera olika sorters sätt att sköta routing i nätverk. Man kan använda samma metoder under vatten som ovan. Här följer några olika metoder och deras egenskaper under vatten.

6.1 Proaktiva routingmetoder

Detta är när varje router har uppdaterad information om hur den ska routa till noder.[1] Detta kräver att mycket informationsutbyte för att hålla alla routingtabeller aktuella. Med den mycket begränsade bandbredden är därför detta ett större problem än vid vanliga nätverk.

6.2 Reaktiva routingmetoder

Routrar ber om vägen när de behöver den. Detta kräver mycket meddelanden när det väl är dags att skicka meddelanden och gör att det tar ett tag innan routern kan skicka meddelandet. Denna fördröjning tillsammans med redan stora fördröjningen p.g.a. vattnet gör att dessa routingmetoder inte är rekommenderade under vatten.[1]

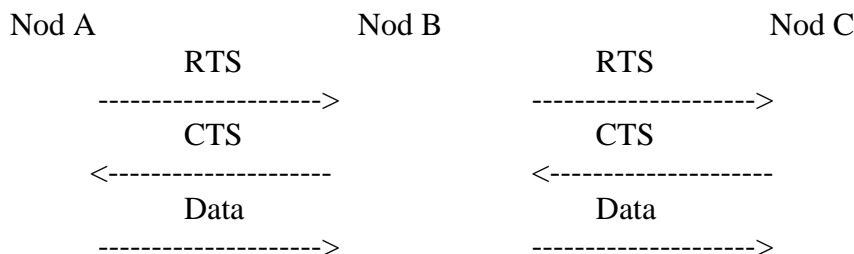
6.3 Geografiska routingmetoder

Tekniker där man bestämmer hur man ska vart man ska skicka genom att jämföra sin egen position, intilliggande noders positioner och destinationnodens position. Dock finns det ett stort problem att positionsbestämna saker under vatten då GPS inte kan användas. Detta är teknik som är under utveckling och vi kanske ser i framtiden.[1]

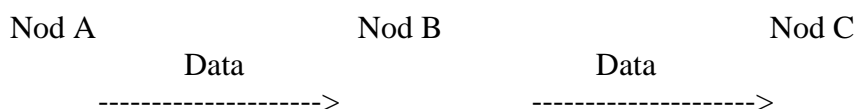
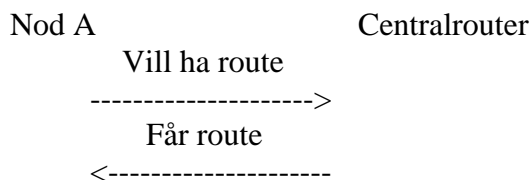
6.4 Centralstyrd routing

En central router bestämmer över alla router i nätverket är ett förslag som har föreslagits. [2] För att få skicka ett meddelande måste noder och routrar först få routen av centralroutern. Den enda routen de har är just routen till centralroutern. Detta ger centralroutern chansen att ballansera trafiken på nätverket och på så sätt båda öka prestanda och minimera energiåtgång. Centralstyrd routing gör även att man slipper fördröjningar p.g.a. handskakning. Dessa fördröjningar uppstår med protokoll som använder RTS/CTS för att skicka meddelanden. Sker detta flera gånger blir det p.g.a. vattnets långsamma signalöverföring väldigt tidsödande. Ett exempel på RTS/CTS:

Nod A ska skicka data till nod C via Nod B. Först skickar nod A en RTS som B tar emot och skickar en RTS till C. C svarar med en CTS till nod B som vidarebefordrar CTS till A. Därefter skickar Nod A data till B som vidarebefordrar den till C.



I centralstyrd routing behövs handskakningar inte eftersom alla noder måste fråga centralroutern innan de sänder. Då blir det i stället:



7. Flödeskontroll

Flödeskontroll är ett väldigt utforskat område inom undervattenskommunikation, därför kommer här bara att beskrivas några svagheter som vanlig flödeskontroll har under vatten.

För att kontrollera flödet i datakommunikation är det vanligt att man använder sig av ett fönster som är baserat på en uppskattning av RTT²¹. De flesta TCP implementationer använder sig av detta.[1] Under vatten blir RTT väldigt varierande.[1] Detta gör att det blir svårt att anpassa sitt fönster så att man får en bra uppskattning på hur lång tid man ska vänta innan man skickar om packeter igen.

Ett annat problem med flödeskontroll visar sig när paket inte kommer fram. Orsakerna till att ett paket tappas varierar. Paket kan tappas i routrar p.g.a. för lite minne i routern eller kan de tappas hos mottagaren eftersom det har blivit fel på paketet under tiden det skickats. I vanliga fall så behandlas alla tappade paket som att de blivit tappade på vägen och sändhastigheten minskas. Detta är bra i vanliga nätverk när inte kanalerna är dåliga. Under vatten så kan kanalerna vara dåliga vilket ger stor paketförlust p.g.a. bitfel. När detta händer minskar sändaren sändhastigheten trots att detta inte behövs. Det kan vara ett alternativ att använda sig av felrättande koder, vilket vi tidigare tagit upp, för att minska antalet bitfel.

8. Problem

Kommunikation under vatten är i grund och botten trådlös kommunikation. Dock gör vattnet att man måste behandla det annorlunda än trådlös kommunikation i luft. En del löses generellt för undervattenskommunikation, medan andra kräver speciallösningar beroende på användningsområde. De olika problem man ställs inför är:

8.1 Eko

När man skickar ljud genom vatten reflekteras ljudvågorna på olika ytor, t ex vattenytan och botten. Detta leder till att signalen som sänds kommer fram flera gånger med olika styrka och tidsintervall. [6] Detta kan vara en orsak till att det blir bitfel. Man kan numrera paketen för att inte ta emot samma data mer än en gång och använda felrättande koder för att reparera de bitfel som kan uppstå p.g.a. störningar från ekon.

8.2 Skugga

Precis som i luftburna trådlösa nätverk kan man drabbas av områden i "skugga" där signalerna inte når fram. Då detta även händer i "vanliga" trådlösa nätverk och är inte specifikt för undervattenskommunikation.

8.3 Absorption

Ljudvågor i vatten förlorar en del av sin energi som värme till vattnet det färdas genom. Detta har störst effekt vid stora salthalter och kalla temperaturer. Dock påverkar detta inte absorptionen så mycket jämfört med frekvensen som är den viktigaste faktorn. Högre frekvens ger större absorption. Alltså måste man skicka saker med låg frekvens i vatten.

8.4 Skiktningar

Östersjön ska ses som ett skiktat hav. Med det menas att strömmar och skillnad i salthalt ger olika temperaturskikt. Ljudvågor drar sig mot de kallare (lägre) skikten vilket gör att signaler

²¹ Round Trip Time, Tiden för ett paket att färdas till en avlägsen nod och tillbaka igen.

som skickas ut nära ytan dras mot de kallare skikten. Detta i sin tur leder till att räckvidden försämras i skiktade hav. [4]

8.5 Störningar

När man använder ljud för att skicka data blir även annat ljud i vattnet störningar. Båtar, fabriker eller djurliv är exempel på ljudkällor som kan störa kommunikationen.[1] Man kan skicka starkare signaler för att öka SNR och använda sig av felrättande koder för att minska störningarnas inverknings.

8.6 Bandbredd & Räckvidd

Radiovågor har t ex väldigt dålig räckvidd i vatten vilket gör att man måste använda ljud för att kommunicera. Ska man använda radio under vatten måste man använda låga frekvenser (30-300Hz) vilket kräver mycket energi och stora antenner.

Bandbredd och räckvidd påverkar varandra. Ju längre räckvidd man har på ett system, desto lägre bandbredd får man. Se tabell 1.[1]

Räckvidd/Bandbredd

Räckvidd[km]	Bandbredd[kHz]
1000	<1
10-100	2-5
1-10	~10
0.1-1	20-50
<0.1	>100

Tabell 1

För att få en bättre uppfattning om vilken hastighet i bitar/s som kan uppnås under har vi gjort en tabell med några av den störste undervattenmodemtillverkarens modem. Här kan man se att det inte bara är räckvidden som spelar roll för hastigheten, utan även vilka förhållanden modemerna är gjorda för. Se tabell 2.[7]

Räckvidd[km]	Hastighet[bitar/sek]	Bandbredd[kHz]
10	2500-5000	5
6 (Svåra förhållanden)	80-320	5
5	2500-5000	5
4	4800-9600	8.5
1	19200-38400	35.7

Tabell 2

8.7 Tidsaspekter

Ljudet i vatten färdas i ca 1500m/s. [5] Detta är mycket långsamt om man jämför med andra signalöverföringar. Det är t ex 130 000 ggr långsammare än en signal i en kabel och 200 000 ggr långsammare än en signal i luften. [2]

Detta ger att man hela tiden får stora fördröjningar när man skickar signaler under vatten och därför måste man designa protokoll som tar hänsyn till detta.

8.8 Energiförsörjning

Om man bortser från stora u-båtar har undervattensfarkoster väldigt begränsat med ström. Vissa undervattensfarkoster kan gå upp till ytan och ladda sig med solceller, men detta gäller

bara AUVs och långt ifrån alla dessa. Därför vill man inte i onödan skicka starka signaler eller signaler flera gånger.

9. Slutsatser

Efter att ha utforskat området undervattenskommunikation har vi kunnat konstatera att det finns många hinder för att bygga effektiva nätverk och i övriga kommunicera under vatten. Forskningen har inte kommit tillräckligt långt för att några standarder på bra lösningar på nätverk och protokoll har bestämts. Det har i stället designats nya protokoll för varje användningsområde. Undervattenskommunikation är område som det forskas mycket på idag och inom en snar framtid kommer det förhoppningsvis att finna mycket mer kompletta och effektiva lösningar. Det finns områden som t.ex. flödeskontroll som idag är nästan helt outforskade. Även i de områden där det har genomförts forskning finns det osäkerheter. Beroende på vilka egenskaper man prioriterar på nätverket väljer man olika modulerings-, access- och routingmetoder. För snabba dataöverföringar använder man t ex QAM som moduleringsmetod och för säkra kommunikationer finns CDMA som accessmetod. Dock är det några problem som man måste ta itu med oberoende av typen av undervattenskommunikation. Ett av dessa problem är att spara batteri-livslängden eftersom man skall kunna placera noderna på ställen som är svårtillgängliga. Detta görs genom att man undviker att skicka saker med för stark signal eller flera gånger. Problemet med stark signal kan minskas genom att man routrar via andra noder för att nå fram. En metod för inte behöva sända om paket är felrättande koder. Felrättande koder är dock bra oavsett vilket syfte som nätverket har eftersom man aldrig kommer att bli av med alla störningar undervatten. Det viktigaste inom området tycker vi är att utnyttja den bandbredd som finns tillgänglig på ett så effektivt sätt som möjligt. Detta tillsammans med fördröjningar är de största begränsningarna för hur mycket data som kan sändas. Genom att testa och förbättra de idag existerande protokollen kan man närma sig den maxkapacitet som finns att utnyttja. Dock är det svårt att kunna ge ett specifikt exempel på några bra protokoll då det inte finns några standarder och inte alla implementeringar kan sättas in i OSI-modellen.

Referenser

- [1] I.F. Akyildiz, D Pompili, T Medodia, Ad Hoc Networks 3 (2005) 257–279
- [2] G Xie, J Gibson, A Networking Protocol for Underwater Acoustic Networks.
- [3] S Shahabudeen, M Chitre , Design of networking protocols for shallow water peer-to-peer acoustic networks, 2005
- [4] H Nilsson, Hydroakustisk kommunikation, nya förmågor i Marinen? (2002)
- [5] www.wikipedia.org
- [6] M Chitre, J Potter, O.S Heng, Underwater acoustic channel characterisation for medium-range shallow water communications. Oceans'04 (MTS/IEEE), Kobe, Japan, 9-12 Nov 2004
- [7] www.link-quest.com