

Högskoleverkets kvalitetsutvärderingar 2011 – 2014

Självvärdering

Lärosäte: Lunds Universitet	Utvärderingsärende reg.nr 643- 01844-12
Huvudområde: Trådlös Kommunikation	Masterexamen

Organisation och ledning

Masterutbildningen i Trådlös kommunikation (engelska: Wireless Communications) ges av Lund Tekniska Högskola (LTH) som utgör den tekniska fakulteten inom Lunds universitet.

Utbildningsprogrammet är inrättat av Universitetsstyrelsen, men LTH har det fulla ansvaret för utbildningens genomförande. Internt inom LTH är ansvaret för planering, beslut om utbildnings- och kursplaner samt individärenden fördelat mellan fakultetsnivån och LTH:s fem utbildningsnämnder. Varje utbildningsnämnd ansvarar i sin tur för ett antal utbildningsprogram inom närliggande teknikområden. Varje program har programledning med programledare som utses av LTH:s dekanus. Programledningarna har huvudsakligen beredande och uppföljande uppgifter, men fattar även vissa beslut på delegation, exempelvis individbeslut. Kurserna genomförs av institutionerna som har fullt ansvar för examinationen utifrån de kursplaner som fastställts av ansvarig utbildningsnämnd. LTH har således en tämligen renodlad matrisorganisation.

Utbildningsplanen finns på:

http://www.student.lth.se/fileadmin/lth/utbildning/studiehandboken/12_13/MWIR_Uplan_12-13.pdf

Läro- och timplaner för programmet som helhet finns på:

http://kurser.lth.se/lot/?lasar=12_13&val=program&prog=W

Enskilda kursplaner, med sexställiga kurskoder XXXXXX, finns på:

<http://kurser.lth.se/kursplaner/arets/XXXXXX.html>

Utbildningens syfte

Den internationellt inriktade masterutbildningen syftar till att utveckla studenternas kunskaper, färdigheter och värderingar inom trådlös kommunikation. Telekommunikation är ett teknikområde av allt större betydelse och utvecklingen inom trådlös kommunikation har varit enorm under de senare åren. Systemen har blivit allt mer komplexa och det ställer stora krav på aktuella kunskaper för personer som arbetar inom området. Det finns och kommer att finnas ett stort behov av kompetent personal inom området som kan hantera både system och tillämpningar.

Masterutbildningen i trådlös kommunikation syftar till att möta behovet av kompetent personal som

- kan tillämpa teknologier för trådlös kommunikation för att utveckla nya trådlösa system,
- kan tillgodogöra sig och bidra till forskningsarbete inom området och,
- kan använda ett systemtänkande där teori och tillämpningar bildar en helhet.

Programmet präglas av LTH:s forskning inom trådlös kommunikation och närheten till regionens forskningsintensiva telekomindustri.

Utbildningens huvudsakliga utformning

Programmet är på två år, dvs 120 högskolepoäng. I utbildningen ingår ett obligatoriskt basblock om 67,5 högskolepoäng (hp) som ska ge en orientering i olika aspekter av moderna trådlösa kommunikationssystem.

Basblocket inleds med grundläggande kurser i digital kommunikation resp. radiokommunikation och fortsätter därefter med både systemorienterade kurser inom trådlös kommunikation (radiosystem, avancerad telekommunikation, projekt i trådlös kommunikation) och mer specifika kurser inom ett antal delområden (digital kommunikation fortsättningskurs, kanalmodellering för trådlös kommunikation, antennteknik). Genom detta erhålls både ett tillräckligt djup en erforderlig bredd för att förstå hur de olika delsystemen interagerar med varandra.

I programmet ingår valfria kurser om (minst) 22,5 högskolepoäng, som en ytterligare specialisering efter intresse. Studenterna tillåts även att delta i doktorandkurser som passar i masterutbildningen, samt välja 7,5 högskolepoängskurser som ges vid Lunds Universitet men som inte överlappar med programmets kurser.

Programmet avslutas med ett examensarbete omfattande 30 högskolepoäng.

Progression

Samtliga kurser på LTH är nivåindelade. Kurserna på grundnivå delas in i två undernivåer, grundnivå (G1) och grundnivå fördjupad (G2). G2-nivån är en progression i förhållande till G1-nivå. Eftersom LTH har valt att definiera examensordningens krav på fördjupning i termer av kurser på avancerad nivå (A) ställs höga krav för att en kurs ska kunna klassas som A. Kurser på A-nivå förutsätter normalt minst motsvarande 150 hp tidigare studier inom utbildningsprogrammet, och examinationen ska innehålla element av konceptualisering och problemlösning utöver vad som direkt behandlas i undervisningen.

Totalt innefattar de obligatoriska delarna av programmet 82.5 högskolepoäng på avancerad nivå (A), examensarbetet inräknat. Flertalet valfria kurser är på A nivå.

Kvalitetssäkring – CEQ-systemet

LTH har sedan 2003 ett enhetligt kursutvärderingssystem som omfattar alla obligatoriska kurser och en stor del av de valfria kurserna. Systemet baserar sig på enkäten Course Experience Questionnaire, CEQ och kallas CEQ-systemet.

Mer information, inklusive genomförda kursutvärderingar, finns på: <http://www.ceq.lth.se/>

Generellt sett, har samtliga kurser i masterprogrammet i trådlös kommunikation höga betyg i CEQ utvärderingar. Dock har LTH inte gjort en övergripande sammanställning av all CEQ data för masterprogrammen. Enbart en sammanställning över de obligatoriska kurserna för civilingenjörsprogrammen är gjord, alltså inte masterprogrammen. I stället tar vi upp ett exempel på en kurs med god CEQ-utvärdering, *projekt i trådlös kommunikation* (EITN20). Denna kurs gavs under hösten 2011 – mer detaljerad information om kursinnehållet ges senare i detta dokument.

Totalt fick 32 studenter godkänt betyg på kursen, och svarsfrekvensen var 22%, dvs 7 studenter valde att besvara kursutvärderingen. Det kan dock påpekas att missnöjda studenter är oftast de flitigaste med att besvara CEQ-kursutvärderingarna. En sammanställning av inkomna svar är bifogad. Det är tydligt att studenterna är mycket nöjda med denna kurs samt att de anser den relevant och tydlig. Maxpoäng för varje fråga är 100, och minsta poäng är -100. De fritextsvar, totalt fem stycken, som lämnades in är också bifogade nedan. Studenterna är överlag mycket nöjda med kursen.

Skalor & enskilda frågor

Skala	Poäng	StdAvv
God undervisning	+71	21
Tydliga mål	+70	31
Förståelseinriktad examination	+54	44
Lämplig arbetsbelastning	+33	43
Allmänna färdigheter	+58	12
Enskilda frågor		
Kursen känns angelägen för min utbildning	+93	19
Överlag är jag nöjd med den här kursen	+100	0

Fritextsvar

Sharpen my skills on programming and give me a comprehend understanding to the entire radio system from baseband design to antenna theory.

I like this course since it is interesting and the time is flexible. The most important thing is that it can make me understand knowledge much more deeply. The teacher is a nice guy and he gave a good teaching way to let me catch more knowledge. And another teacher always gave me useful information to lead me to consider questions.

Learning new things in a group and also it is challenging. All though There is no formal class for this course but we were able to get suggesations and ideas from the lecturer/supervisor who is extremely helpful and knowledgeable person. I found him as one of the best teachers in LTH.

To interest students for employing more techniques in their own system, giving them a general idea for several main topics may help to achieve this goal.

Good enough, I love this course

Sammanfattande schematisk bild över utbildning

En schematisk bild över utbildningen finns nedan. Kurser markerade med mörkblå färg är obligatoriska och utgör 67.5 högskolepoäng. Den valfria delen är uppdelad i delspår, enligt färgkod given till höger i figuren. För att nå upp till sammanlagt 90 högskolepoäng kurser skall tre valfria kurser tas.

	Period	Wireless Program Study Plan for students starting HT 2012				
First Year	1 HT	Digital Communications	Basic Radio Tech. or Stoch. Process			<div>Compulsory</div> <div>Signal processing</div> <div>Radio track</div> <div>Comm. theory</div> <div>Comm. oriented</div> <div>General</div>
	2 HT	Advanced Digital Communications	Antenna Technology	HF Amplifiers		
	1 VT	Advanced Telecommunication	Wireless Channel Modelling	Intellectual Property Right		
	2 VT	Radio Systems		Information Theory	OFDM for Broadband	Radio Project
Second Year	1 HT	Multiple Ant. Systems	Project Wireless Communications	Error Control Coding	LTE and LTE-Advanced	Optimum signal process.
	2 HT			Internet Protocol	Cryptography	Adaptive signal process.
	1 VT	Master Thesis				Algs. in signal proces. project
	2 VT			Design of Experiments	Embedded systems	

The two elective radio courses require the Basic Radio Technology course.

Det finns i huvudsak tre spår att följa efter det obligatoriska blocket: 1) Ett radiospår (röd färg), 2) Kommunikationsteoretiskt spår (orange), och 3) signalbehandling (grön). Det stora flertalet väljer det kommunikationsteoretiska spåret.

Del 1

Inledning

Namnet ”trådlös kommunikation” är mycket generellt, och olika lärosäten med ett masterprogram i trådlös kommunikation kan fokusera på vitt skilda områden.

En vanlig abstraktionsmodell för kommunikation är den så kallade *OSI-modellen*. I denna modell delas kommunikationen mellan två (dator)enheter in i 7 olika lager, där varje lager tillhandahåller en specifik tjänst som är oberoende av de tekniker som används i lagret ovanför eller nedanför. Principiellt kan en utbildning i ”trådlös kommunikation” fokusera mot ett godtyckligt lager av OSI-modellen, och fortfarande beskrivas väl av ”trådlös kommunikation”. För att kunna förstå vilken typ av utbildning inom wireless som erbjuds vid LTH måste vi alltså specificera vilka lager av OSI-modellen utbildningen vid LTH fokuserar på.

På LTH är vi främst inriktade mot lager 1, det så kallade *fysiska lagret*. Detta är det mest elementära skiktet i OSI-modellen och tillhandahåller den fysiska signalering som krävs för att implementera de övre lagren. Ett fel i det fysiska lagret är oreparerbart. Mycket enkelt uttryckt tar lager 1 emot ett informationsmeddelande och utför nödvändiga operationer för att överföra detta meddelande till önskad mottagare. Var meddelandet kom ifrån, eller när, hur och varför det skall skickas är en fråga för övre lagren, ej för lager 1.

På LTH är vårt masterprogram i trådlös kommunikation med andra ord fokuserat mot de tekniker som krävs för säker, snabb, och tillförlitlig överföring av informationsbärande signaler över trådlösa kanaler. Datorprotokoll, schemaläggning av trafik, adressering och paketering är inte primärt i programmet.

En informationsbärande signal (till exempel tal, musik, bild, eller video) kan alltid representeras med hjälp av digitala symboler (vanligen ”0” eller ”1”) med godtyckligt hög precision. Utifrån dessa digitala signaler skapas en analog signal, lämplig för transmission över ett kommunikationsmedium. Beroende på egenskaperna hos kommunikationskanalen, (några exempel är luft, optiska länkar, undervattensmiljöer, kopparledningar etc) måste den analoga signalen skapas utifrån den givna informationsbärande signalen på olika sätt. En anpassning mot kanalen krävs. Den mottagande enheten observerar en analog mottagen signal (en signal som kan vara kraftigt störd av brus) och har till uppgift att återskapa den ursprungliga informationsbärande signalen (tal, musik, bild etc). Beroende på kommunikationskanalen kommer denna uppgift att bli mer eller mindre komplex, och i vissa fall lyckas man ej att återskapa den ursprungliga signalen perfekt. Ibland tvingas vi acceptera att ett den återskapade signalen kan bli ”brusig” (tänk på kvaliteten på ett mobilsamtal, den är inte alltid perfekt).

Den ovan beskrivna kedjan: **informationsbärande signal -> sänd signal -> kommunikationskanal -> mottagen signal -> återskapad signal** utgör ramverket för hela utbildningen, och det är mot denna bakgrund som måluppfyllelse av de olika examensmålen skall ses.

Programmet är mycket framgångsrikt. Fram till och med höstterminen 2010 fanns ungefär 2 000 sökande till 35 studieplatser. Då studieavgifterna infördes hösten 2011, föll detta till ungefär 250 sökande. Både hösten 2011 och 2012 antogs 20 studenter. Historiskt har ungefär en tredjedel av de utexaminerade studenterna fortsatt med doktorandstudier. Institutionen för elektro- och informationsteknik vid LTH ser programmet som den främsta rekryteringsbasen till forskarutbildningen.

Examensmål 1

För masterexamen ska studenten visa kunskap och förståelse inom huvudområdet för utbildningen, inbegripet såväl brett kunnande inom området som väsentligt fördjupade kunskaper inom vissa delar av området samt fördjupad insikt i aktuellt forsknings- och utvecklingsarbete

För att uppnå examensmål 1 uppnår studenterna följande delmål:

- Examensmål 1A: *visa brett kunnande inom området*
- Examensmål 1B: *visa väsentligt fördjupade kunskaper inom vissa delar av området*
- Examensmål 1C: *visa fördjupad insikt i aktuellt forsknings- och utvecklingsarbete*
- Examensmål 1D: *visa fördjupad metodkunskap inom huvudområdet för utbildningen*

För att uppnå mål 1, måste studenten uppvisa en förståelse för de metoder och principer som ligger till grund för en implementering av ett modernt trådlöst kommunikationssystem, i princip för vilket scenario som helst. Vidare innefattar komplett måluppfyllelse av Examensmål 1 att studenten kan analysera prestandan hos kommunikationslänken och beräkna kvaliteten för den återskapade signalen. Vi illustrerar detta med ett enkelt exempel.

Exempel. Givet följande:

- En sändare önskar överföra en musiksingal med bandbredd 20 kHz.
- Sändaren har en strömkälla (tex ett batteri) med effekt 1 mW
- Mottagaren befinner sig 10 km bort.
- Man kan förvänta sig en ekoeffekt hos mottagaren pga. av bergig terräng, en reflekterad signal som når mottagaren kommer fram 0.1 ms fördröjd, och med halv styrka.
- Det finns brus hos mottagaren med en effekt N_0 mW/Hz

För att *visa brett kunnande inom området* kräver vi av studenten att han/hon kan ge förslag på lämplig kommunikationsmetod för att möta de ställda kraven i exemplet – vi kommer att ge exempel på kurser där studenterna tränas i detta nedan. Det krävs också att studenten kan beräkna ett mått på prestandan genom att analysera skillnaden hos den sända musiksingalen och den musiksingalen som mottagaren kommer att lyssna på. Kommunikationsmetoden måste vara *flexibel* i den meningen att om högre/lägre prestanda krävs, skall metoden kunna tillhandahålla detta.

De flesta moderna system är i dag baserade på nätverkskoncept. Två mobiltelefoner kommunicerar inte direkt med varandra utan en mobiltelefon överför information till närmaste basstation, som skickar informationen vidare till den basstation som är närmast den mottagande telefonen. Detta kräver avancerade mekanismer och protokoll för trafiken i nätverket. För att *visa brett kunnande inom området* kräver vi också en insikt i mobila nätverk från systemperspektiv.

Utbildningen är inriktad mot *trådlös kommunikation*, vilket ställer väsentligt annorlunda krav jämfört med trådbunden kommunikation, och därför måste studenten uppvisa *väsentligt fördjupade kunskaper* inom detta område. Inom området trådlös kommunikation är vi främst inriktade mot *radiokommunikation*. Notera att det enda som skiljer sig mellan trådbunden och trådlös radiokommunikation är kommunikationskanalen. Målet *väsentlig fördjupning inom vissa delar* tolkar vi som en djup kunskap inom området radiokommunikation. Vi anser att detta kan säkerställas genom att studenterna lär sig att analysera radiokanalen i detalj, samt genom studier av specifika, för radiokanalen lämpliga metoder för sändare och mottagare.

Kursansvariga lärare arbetar kontinuerligt med att modernisera sina kurser och att utveckla kurserna i linje med områdets huvudsakliga forskningstrender. Dock måste en övervägande del av kurserna bestå av tidsbeständiga delar på grund av den nyckfulla naturen hos all forskning. Att *visa fördjupad insikt i aktuellt forsknings- och utvecklingsarbete* tolkar vi så som att studenterna skall ha tränats i att tillgodogöra sig information från relevanta vetenskapliga forskningsartiklar, ha en insikt i de mest moderna och relevanta system och teknologier som finns inom området, samt ha arbetat i ett eller flera projekt av forskningskaraktär (inbegripet presentation och dokumentation).

Examensmål 1A: visa brett kunnande inom området

Det finns ett antal kurser som är mer väsentliga för breda kunskaper än andra. Nedan behandlas dessa en och en

1. Digital Kommunikation AK (ETT051) och FK (ETTN01). Kunskaps och förståelsemålen för dessa två kurser är bland annat

- kunna modellera en kommunikationslänk av låg komplexitet med hjälp av uppdelningen sändare – kommunikationskanal – mottagare
- kunna analysera och beskriva okodade digitala kommunikationssystem av låg och medelhög komplexitet
- visa en väsentligt breddad och fördjupad kunskap inom området digital kommunikation
- kritiskt kunna analysera och beskriva avancerade digitala kommunikationssystem ur ett helhetsperspektiv

Dessa fyra kursmål sammanfaller mycket väl med måluppfyllelse av delmål 1A, *visa brett kunnande inom området*. Kurserna tar ett helhetsgrepp av ett generellt kommunikationsfall,

och kräver att studenten kan analysera och beskriva sändare, kanal och mottagare. Kurserna har till syfte (enligt kursprogrammet)

*En kommunikationslänk består alltid av blocken: Sändarenhet -> Överföringsmedia -> Mottagarenhet. Vi kommer att [...] förstå hur och när man säkert kan överföra höga bithastigheter över denna kommunikationslänk. Ett flertal vanliga metoder för digital kommunikation studeras, och jämförs med varandra. Kursen ger en god inblick i vilka de tekniska utmaningarna är, och många praktiskt viktiga frågeställningar tas upp såsom exempelvis; **"Hur gör man för att överföra höga bithastigheter, och när kan man göra det?"**. Konsekvenser av olika överföringsmedia (såsom elektriska ledningar, luft, optisk fiber, vatten, mm) ingår som en naturlig del i kursen.*

2. Grundläggande Radio (ETIF05). Denna kurs behandlar egenskaper hos den grundläggande radiosändaren i detalj. Kursmål är (bland annat)

- vara väl förtrogen med radiomottagare och -sändare på blockschemanivå
- kunna beskriva och analysera en modulerad signal i tids-, frekvens- och fasdomänen
- för ett givet radiosystem kunna upprätta och tillämpa en länkbudget
- kunna tolka datablad för att med färdiga byggblock konstruera ett radiosystem som uppfyller en given specifikation

Denna kurs ger studenten kunskaper om radiosändaren, kunskaper som är nödvändiga för en implementation av ett system och inte bara för teoretiska studier. Genom två 4-timmars laborationer tränas studenterna att utföra enklare mätningar med spektrum- och nätverksanalysatorer. Vidare ger kursen kunskaper om transformplanet, och i länkbudgetberäkningar – basala kunskaper för en kommunikationsingenjör.

3. Avancerad Telekommunikation (ETSN01). Denna kurs är den enda inom det obligatoriska blocket som ger studenterna verkliga systemkunskaper. Vi anser det ytterst viktigt för att uppfylla delmålet om *breda kunskaper* att studenter får kunskap om hur hela telekommunikationssystem är uppbyggda, inte enbart gällande radio-interface i det fysiska lagret, utan från ett systemperspektiv. Kursen går igenom moderna nätverksarkitekturer från centraliserade cellulära nätverk till fullt distribuerade arkitekturer såsom ad-hoc nätverk och belyser därmed vikten av att välja rätt strategi i funktionsrealisering för att möta prestanda och funktionskrav. Det rör allt från radionätverket till switchingnoderna och gatewaynoderna i backbone-wireless-nätverk. Vidare är det ytterst viktigt att studenter får en ordentlig insikt i protokollstacken. Detta rör protokollen på nivå 1, 2 samt 3, mellan mobilterminalerna, samt mellan switcharna/grindarna inom backbone-nätverk. En annan ytterst central fråga rör signaleringen i dessa nät. Detta belyses i hög grad i kursen. Specifika kursmål som leder till måluppfyllelse (bland annat)

- kunna redogöra för uppbyggnad av mobila telesystem samt dessas funktion
- kunna visa förståelse för varför systemen är uppbyggda som de är
- visa förmåga att tillgodogöra sig en djupgående teknisk/vetenskaplig information inom ämnesområdet och kunna redovisa denna på ett förståeligt och tillfredställande sätt

4. Projekt i trådlös kommunikation (EITN20). Detta är en projektbaserad kurs där studenterna skall använda sina teoretiska kunskaper till att designa och implementera ett trådlöst system. För att påvisa hur måluppfyllelse uppnås genom denna kurs beskrivs (kortfattat) delar av kraven för att bli godkänd på 2012 års kurs.

Ett trådlöst system mellan 2 datorer skall implementeras. Sändaren skall rita en bild på datorskärmen, och sedan överföra denna bild till en annan dator, i andra änden av rummet, via högtalare och mikrofon. Högtalaren är sändaren, och mikrofonen är mottagaren. Mottagaren skall återskapa bilden och rita den på skärmen. Mottagaren skall kunna avgöra om bilden har blivit korrekt återskapad, och skall meddela detta till sändaren. Är den fel, skall bilden sändas igen, tills det att bilden är korrekt återskapad. Kommunikationsmetod är valfri, och en analys av den högsta transmissionshastigheten skall göras, samt en prestandaanalys av hur många återsändningar som blir nödvändiga.

En bred förståelse av teknikområdet krävs för att klara denna uppgift. Studenten måste analysera kommunikationslänken för att förstå begränsningar och möjligheter. Utifrån denna analys skall en metod väljas och implementeras.

- 5. Antennteknik (ETEN10).** Denna kurs breddar studenternas kunskaper ytterligare. Kursen syftar till att ge studenterna grundläggande kunskaper inom antennteknik. Efter genomgången kurs erhålls god förmåga att analysera och dimensionera antenner, god kännedom om olika antennparametrar såsom direktivitet och strålningsdiagram samt kunskap om numeriska metoder för antennproblem, t.ex. momentmetoden. Några specifika kursmål är
- kunna beskriva fjärrfältets egenskaper,
 - känna till sambandet mellan direktivitet och effektiv antennyta
 - kunna förklara Friis transmissionsformel och radarekvationen
 - känna till teorin för gruppantenn
 - kunna tolka antennproblem som integralekvationer och känna till grunderna för numerisk lösning av dessa
 - kunna beräkna, simulera och mäta upp en patchantenn

Examensmål 1B: visa väsentligt fördjupade kunskaper inom vissa delar av området

En del kurser är direkt inriktade mot radiokommunikation och ger mycket djupa kunskaper inom detta område. Vi går igenom 4 av dessa i detalj nedan. Ett godkänt resultat i dessa kurser leder till mycket god måluppfyllelse av 1B.

- 1. Kanalmodellering (ETIN10).** På LTH bedrivs spjutspetsforskning inom området kanalmodellering, främst genom univ. lektor Fredrik Tufvessons forskningsgrupp. Tufvesson har designat en unik kurs inom detta område där studenterna lär sig analysera radiokanalen i detalj och får väsentligt fördjupade kunskaper i de begränsningar och möjligheter denna kanal ställer på radiokommunikation. Mål för kursen är bland annat att:
- ha fått förståelse för den trådlösa radiokanalens egenskaper och dess samverkan med systemet.
 - vara väl förtrogen med fysiska utbredningsmekanismer och därmed vara kapabel att själv skapa sig en uppfattning om utbredningen av radiovågor i specifika situationer.
 - kunna analysera och beskriva radiokanalens egenskaper och inverkan på systemet, och utifrån detta välja lämpliga systemparametrar.
 - kunna föreslå och utvärdera metoder för att utnyttja radiokanalen på bästa sätt.

Kursen examineras med en skriftlig del samt en muntlig tentamen där studentens förståelse för radiokanalens begränsningar för kommunikation examineras i detalj.

- 2. Multipelantennsystem (EITN10).** Moderna trådlösa system för radiokommunikation utnyttjar i ökad utsträckning multipla antenner, både på sändar- och på mottagarsidan, så kallad MIMO (multiple-input multiple-output) teknologi. Denna teknologi är central i en del samtida och flertalet framtida system för att uppnå högre bithastigheter. Kursen är teoretisk där studenternas teoretiska förmåga att analysera ett MIMO system examineras. Detta görs genom en skriftlig tentamen samt 5 stycken datorbaserade inlämningsuppgifter.

- 3. Radiosystem (ETIN15).** Kunskaps- och förståelsemålen för kursen är

- ha kunskaper om den grundläggande uppbyggnaden av ett helt radiosystem på blockschemanivå, såväl i det allmänna fallet som i fallet med existerande system
- ha förståelse för funktionen hos olika byggblock och deras påverkan av ett radiosystems prestanda
- kunna genomföra grundläggande dimensionering av ett radiosystem
- kunna analysera tillförlitligheten hos uppnådda resultat för ett sådant radiosystem

Målen sammanfaller väl med delmålet *visa väsentligt fördjupade kunskaper inom vissa delar av området*. Delar av innehållet i kursen är (taget från kursplanen)

Kursen behandlar moderna radiosystem, deras principiella uppbyggnad, prestandaanalys och övergripande dimensionering av såväl hela system som viktiga delsystem. [...] diskuteras radiokommunikationens möjligheter och begränsningar. Genomgång av fundamentala byggblock som krävs för att kunna uppfylla olika krav på egenskaper [...]. Kravbegrepp inkluderar datahastighet, bitfelshalt, tillförlitlighet, kostnad, komplexitet, m.m.

- 4. Moderna trådlösa system - LTE och dess efterföljare (ETTN15).** Detta är en valfri kurs som gavs för första gången hösten 2012. Den ersätter den valfria kursen *bandspridningsteknik*. Bandspridningsteknik är den grundläggande tekniken bakom 3G telefonsystemet. Dock kommer 4G systemet inom snar framtid ta över och vara standard för mobil teletrafik under överskådlig framtid. Denna teknikförändring resulterade i den nya kursen *Moderna trådlösa system - LTE och dess efterföljare*. Kursen blev väldigt populär, och samtliga studenter på utbildningen utom 2 valde att följa kursen. Kursen behandlar den senaste teknikutvecklingen inom trådlös kommunikation, LTE och LTE Advanced (vilket populärt kallas för 4G). Dessa system är högpresterande och representerar i flera avseenden "state-of-the-art". I kursen ingår även trender för framtida systemlösningar. Kursens syfte är att ge goda kunskaper om principer, begrepp, funktion, prestanda och begränsningar för sådana system för mobil kommunikation. Kursmål är (bland annat)

- visa en väsentligt fördjupad kunskap inom moderna system för mobil kommunikation
- kritiskt analysera och ur ett helhetsperspektiv beskriva moderna system för mobil kommunikation
- kunna identifiera, formulera och hantera komplexa frågeställningar beträffande moderna system för mobil kommunikation
- ange förslag på tekniska lösningar baserade på LTE konceptet som uppfyller givna prestandakrav

Efter genomgången kurs får studenten ett mycket stort djup inom området trådlös kommunikation.

Examensmål 1C: visa fördjupad insikt i aktuellt forsknings- och utvecklingsarbete

Kursansvariga lärare arbetar kontinuerligt med att modernisera sina kurser och att utveckla kurserna i linje med områdets huvudsakliga forskningstrender. Dock måste en övervägande del av kurserna bestå av tidsbeständiga delar på grund av den nyckfulla naturen hos all forskning. För att uppfylla detta delmål, är projektstudier av vetenskapliga artiklar inlagda som delmoment i ett flertal kurser. De vetenskapliga artiklar som studeras är välciterade relevanta artiklar där nya forskningsrön inom området diskuteras.

Vidare är examensarbetet utan tvekan den viktigaste delen under utbildningen för måluppfyllelse. De examensarbeten som bedrivs vid institutionen är alltid nära kopplade till institutionens forskning. Den vetenskapliga grunden för samtliga examensarbeten är mycket stark och mycket god måluppfyllelse uppnås via institutionsförlagda examensarbeten. Industriförlagda examensarbete är vanligen av mer praktisk natur än de institutionsförlagda. En granskning av alla förslag till externa examensarbeten granskas alltid och godkänns endast om de bedöms som relevanta och att studenten får träning i utvecklingsarbete. Vår erfarenhet är att våra studenter är mycket eftertraktade av lokal industri vilket leder till att de erbjuds mycket intressanta och relevanta examensarbete.

Nedan beskrivs de viktigaste kurskomponenterna (examensarbetena exkluderade) där studenter får ytterligare insikt i aktuellt forsknings- och utvecklingsarbete

Digital kommunikation FK (ETTN01). I denna kurs ingår ett obligatoriskt projekt där studenten får ett teknikområde att specialstudera. I samråd med kursansvarig lärare görs en artikelsökning i IEEEExplores databas efter relevanta artiklar. Projektarbetet redovisas muntligt samt skriftligt genom en teknisk rapport om området. Varje student måste också vara opponent på ett annat projekt. Notera att det inte finns någon vanlig kurslitteratur att tillgå, utan studenterna måste inhämta information via forskningsartiklar. Två exempel på 2011 års projekt är

- *Adaptive coding and modulation: In this project systems that use adaptive coding and modulation is investigated and explained, and also the gains obtained (xDSL, WLAN, EDGE, 3G,...). An interesting sub-problem should also be studied.*
- *Wimax: In this project the technique used in Wimax systems, and possible applications, are investigated and explained. An interesting sub-problem should also be studied.*

Radiosystem (ETIN15). Ett liknande koncept finns också i denna kurs. Studenterna skall parvis välja, i samråd med kursansvarig lärare, en artikel publicerad i *IEEE Communications Magazine* under det senaste året och sätta sig in i denna artikel. Projektet redovisas genom en 10 minuters presentation, där samtliga grupper måste närvara. I redovisningen måste följande delar ingå:

- What is the aim of the paper?
- Which problem is addressed?

- How is the problem addressed?
- What are the important results?
- Which conclusions are drawn?

Dessa frågeställningar är väsentligen de samma som aktiva forskare ställs inför i deras dagliga arbete.

Avancerad Telekommunikation (ETSN01). Ett projektarbete finns även in denna kurs, studenterna skall parvis genomföra en djupstudie i ett modernt delområde. Varje par får en handledare som är den på institutionen som bedöms mest lämplig – inte alltid kursansvarig lärare. Djupstudien skall sedan redovisas muntligt. Några exempel på djupstudieområden från 2011 är *Wireless Sensor Networks*, *ZigBee*, *Femtocell*, *Cognitive Radio m.m.*

Examensmål 1D: *visa fördjupad metodkunskap inom huvudområdet för utbildningen*

Vi tolkar *metodkunskap* som de verktyg och strukturella lösningsprinciper för problemlösning studenter får med sig efter genomgången utbildning. *Metodkunskap* tolkas *inte* som att lära ut ett antal teknologier som är frekvent använda inom området.

Den utan tvekan viktigaste metodiken inom området är: *teoretisk analys -> simulering via datorimplementation -> fysisk implementation -> verifiering*. Viktigt att påpeka är att i *teoretisk analys* ingår aktivt sökande efter information, tex i vetenskapliga artiklar. Utbildningen ger mycket god träning i teoretisk analys och ett flertal kurser ger träning i sökning efter relevant litteratur samt träning i att tillgodogöra sig innehållet. Det är av yttersta vikt att studenterna lär sig att simulera större system på dator för att bekräfta den teoretiska analysen, eller för att fylla de luckor i analysen som inte är genomförbara med papper och penna. Under utbildningen finns därför en mängd större och mindre projektarbeten där träning i datorimplementation sker, vanligen i MATLAB, men även Java och C/C++ förekommer. Efter genomgången utbildning är samtliga studenter bekväma med att implementera och simulera även ett omfattande kommunikationssystem i MATLAB dessutom förstår de vikten av mellansteget *simulering via datorimplementation*.

Som ett belysande exempel tar vi upp kursen *antenn teknik* (ETEN10). I denna kurs ingår ett projektarbete där en antenn skall designas efter givna specifikationer. I projektbeskrivningen står att läsa: *Teknologen ska genomföra och dokumentera ett projekt där en antenn beräknas, simuleras, tillverkas och slutligen mäts upp*. Mycket god träning i metodiskt tillvägagångssätt nås genom detta projekt.

Examensmål 2

För masterexamen ska studenten visa förmåga att kritiskt och systematiskt integrera kunskap och att analysera, bedöma och hantera komplexa företeelser, frågeställningar och situationer även med begränsad information

För att uppnå examensmål 2 uppnår studenterna följande delmål:

- Examensmål 2A: *att kritiskt och systematiskt integrera kunskap*
- Examensmål 2B: *analysera, bedöma och hantera komplexa företeelser, frågeställningar och situationer*

Examensmål 2A och 2B

Vi väljer att behandla mål 2A och 2B tillsammans.

Under kursdelen av utbildningen, dvs. under de tre första terminerna, finns en tydlig progression i komplexitet och abstraktionsnivå av de ingående kurserna. Senare delen av kursdelen använder i hög utsträckning kunskaper inhämtade i de tidigare. Studenterna måste därigenom integrera sin kunskap från tidigare kurser för att besvara nya frågeställningar. Under alla obligatoriska kurser utom de första 2 (*digital kommunikation* (ETT051) och *grundläggande radio* (ETIF05)), finns obligatoriska projekt där studenterna tränas i analys av komplexa frågeställningar.

Återigen är examensarbetet av största vikt för måluppfyllelse. I examensarbetet ställs studenterna inför en problemställning som är mycket omfattande och komplex. Vanligen är examensarbetet kopplat till en eller flera av de kurser som studenterna tagit tidigare, och de måste därigenom integrera tidigare inhämtad kunskap. Vid ett institutionsförlagt examensarbete får handledaren 40 timmar att spendera på examensarbetet, vilket motsvarar 2 timmar per vecka. Genom regelbundna möten med handledaren tränas studenterna i att utvärdera sitt eget arbete och att analysera nyupptäckta problem och frågeställningar. Vi bedömer att de examensarbeten som studenterna gör är mycket omfattande, av hög komplexitet och hög abstraktionsnivå vilket leder till god måluppfyllelse av examensmål 2. Det är mycket vanligt att studenter går vidare från examensarbete till doktorandstudier för samma handledare och inom samma område.

Det finns även gott om exempel på kursmoment som leder till måluppfyllelse av mål 2. Vi belyser detta med de två främsta exemplen.

Radiosystem (ETIN15): Denna kurs ligger sist i årskurs 1. Två komponenter av kursens syfte är:

- Knyta ihop olika delteknologier inom teletransmissionsområdet till ett radiosystem optimerat till en realistisk, komplicerad transmissionskanal.
- Belysa olika system- och dimensionsmässiga kompromisser, såsom avvägningen mellan spektrumeffektivitet, systemprestanda och systemkostnad samt kopplingen till det praktiska utförandet.

Från kursens syfte följer det att studenter måste integrera tidigare kunskaper till ett slutgiltigt system (syfte 1), samt att de måste bedöma och analysera komplexa företeelser och frågeställningar relaterat till de nödvändiga kompromisser som systemingenjörer kan ställas inför.

Fyra relevanta kursmål för examensmål 2 är:

- ha kunskaper om den grundläggande uppbyggnaden av ett helt radiosystem på blockschemanivå, såväl i det allmänna fallet som i fallet med existerande system
- ha förståelse för funktionen hos olika byggblock och deras påverkan av ett radiosystems prestanda
- kunna genomföra grundläggande dimensionering av ett radiosystem
- kunna tillgodogöra sig nya resultat i området och i viss mån värdera deras tillämplighet i en given situation

De första 2 målen kräver att studenterna utnyttjar sina kunskaper från tidigare kurser, dessa kunskaper fungerar som ”byggblocken” i de två målen. I denna kurs länkas nu de olika byggblocken samman till ett fungerande system. Studenterna måste därigenom kritiskt integrera kunskaper från tidigare kurser. De två sista kursmålen leder till måluppfyllelse genom att studenter tvingas att analysera och bedöma en given kravspecifikation, och utifrån analysen avgöra vilken teknik/metod som bör användas, samt hur alla delkomponenter skall designas och länkas samman. Den direkta information som ges till studenten är alltså mycket snål, i det att studenten själv måste ge förslag på teknik som skall användas.

Ett exempel på examinationsuppgift finns nedan. Detta är en typisk tentauppgift för denna kurs och kräver att kunskaper integreras från flera olika kurser. Till exempel krävs kunskaper om OFDM (från *digital kommunikation FK* (ETTN01) samt valfri kurs som kan läsas parallellt (EIT140)) och om radiokanaler (*kanalmodellering* (ETIN10)). Uppgift 3(d) kräver att studenterna bedömer och analyserar en situation där ingen information ges om vad skillnaderna kan vara.

3. When designing an OFDM system, there are several things to consider. Two important design issues are (i) to have a cyclic prefix (CP) long enough to absorb the time dispersion in the channel and (ii) to have few enough sub-carriers so that the frequency dispersion in the channel does not cause too much inter-carrier interference (ICI). In this problem we will perform a simple system design, based on a few assumptions:

- Our system is going to operate at a carrier frequency of $f_c = 2.4$ GHz, with a bandwidth of $B = 20$ MHz. The bandwidth implies that we select a system sampling frequency of $f_s = 20$ MHz.
- The system is intended for short-range communication and therefore we assume that the worst case time dispersion is caused by a $\Delta d = 200$ m difference in traveled distance between the earliest and latest arriving (significant) multipath components.
- The worst case frequency dispersion is caused by a maximum terminal speed of $v_{max} = 10$ m/s.

Using the above:

- (a) Ignoring any extra time-dispersion caused by transmitter/receiver filters, how many samples L do we need in our CP?
- (b) Based on calculations not shown here, we have found that we need a sub-carrier spacing of at least 20 times the maximal Doppler bandwidth not to violate our requirements on a low ICI. What is the largest possible FFT size (*i.e.*, number of sub-channels) N_{max} we can use in our system? (*An integer power of 2 is needed for efficient implementation.*)
- (c) Using a large FFT size leads to large amplitude variations in the transmitted signal, a situation which we know to be detrimental to battery life-time because of the power inefficient linear amplifiers required. We would therefore like to make the FFT size N as small as possible. Smaller FFTs, however, lead to larger SNR losses due to the discarded CP samples in the receiver. Each transmitted OFDM symbol contains $N + L$ samples, but in the receiver we only use N when detecting data.
 - i. Derive an expression for the SNR loss measured in dB.
 - ii. With the number of samples in the CP from (a), which FFT size N should we use if we want it to be as small as possible, but not lead to more than 1 dB SNR loss. (*Again, an integer power of 2 is needed for efficient implementation.*)
- (d) Compare the obtained CP length L and FFT size N with the parameters used in the 54 Mb/s Wi-Fi systems for the 2.4 GHz band (IEEE 802.11g). Comment on any similarities/differences.

Projekt i trådlös kommunikation (EITN20): Denna kurs löper över den sista terminen av kursblocket och kräver att studenterna använder sina kunskaper från tidigare kurser för att lösa ett större projektarbete. I kursen finns ingen formell kurslitteratur att tillgå, eftersom idén med kursen är att den skall länkas till tidigare kurser. Kursen inleds med en serie föreläsningar där projektet beskrivs i detalj och särskilt viktiga tekniker repeteras (eller föreläses för första gången), tex OFDM, kodning, MIMO, ARQ etc. Studenterna arbetar parvis och kursen består av ett större projekt i två delar. Den första delen är identisk för alla par, och kräver att kunskap från många tidigare kurser integreras samman. Projektbeskrivningen beskriver endast hur slutsystemet skall fungera och vilka minimikrav som ställs på systemet. Sedan är val av kommunikationslösning upp till studenterna att bestämma. Situationen är mycket komplex, se avsnitt 1.2.1 för 2012 års projektbeskrivning. De val som studenterna ställs inför inkluderar (bland annat)

- Synkronisering: Hur skall sändare infoga pilotsymboler för att mottagaren skall kunna synkroniseras med sändaren? Hur skall synkronisering ske? Behövs frekvenssynkronisering?
- Vilken modulation skall användas, BPSK, QPSK, M-QAM, etc ?
- Single-carrier eller multicarrier (OFDM)? Alla studenter väljer i princip OFDM, vilket leder till följdfrågan. Hur skall OFDM parametrarna väljas?
- Kanalestimering: Hur mycket pilot overhead krävs för att uppnå ett tillräckligt bra kanalestimat? Är kanalen tidsinvariant, eller behöver den estimeras kontinuerligt under transmissionen?
- ARQ: Hur skall handskakningen implementeras? Hur stora paket skall användas, hur skall CRC designas.

Projektet inleds med en MATLAB del, där studenternas systemlösning skall implementeras på dator. När denna del är godkänd av handledare, går studenterna vidare till verklig implementation.

Det finns även en årligt återkommande tävling där de studenter som kan sända den högsta bithastigheten med en given bitfelshalt vinner en kursbok. Vinnande hastighet brukar vara ca 30-40 kbit/s. Bandbredden på högtalare och mikrofon är ungefär 3-4 kHz, vilket svarar mot en spektraleffektivitet på ca 10 bit/Hz/s. Avståndet mellan högtalare och mikrofon är 5 meter, i normal labbmiljö.

Den andra delen av projektet är valfri och bestäms i samråd med varje studentgrupp. Det finns en stor spridning vilka projekt som studenterna väljer. Särskilt duktiga studenter har ofta något projekt som de arbetat med vid sidan av sina studier, och de kan då välja att fortsätta med dessa projekt i samarbete med den handledare som de tidigare arbetat med. Två exempel på detta är kanalmätningar på "very large MIMO systems" med en array av 128 sändarantennor, Monte-Carlo beräkningar på BER-simulationer i samarbete med RenesasMobile i Köpenhamn. Fyra exempel på andra projekt är:

- Intrusion alarm. Med hjälp av kontinuerlig kanalestimering kan man avgöra om någon brutit sig in i ett rum.
- MIMO kommunikation. Datorerna använder sig av multipla mikrofoner och högtalare för att uppnå högre bithastigheter.
- Jämförelse av avancerade felrättande koder. Studenterna implementerar LDPC och turbokoder och jämför dessas prestanda, i verkliga fall (högtalare-mikrofon) samt i ideal miljö (dator).
- Fleranvändarkommunikation. En "basstation" utrustas med två högtalare och två mikrofoner, och två "användare" med en högtalare och en mikrofon antas. Sedan implementeras ett fleranvändarsystem. I några fall har spatiell multiplexing, via zero-forcing precoding, använts av studenter.

Sammanfattningsvis kan det sägas att i kursen ges en mycket vag beskrivning av ett väldigt komplext system med flera olika delkomponenter som kräver kunskap från flera tidigare kurser. Denna kurs bidrar i mycket hög utsträckning till måluppfyllelse av examensmål 2.

En skriftlig teknisk rapport samt en muntlig examinering (för varje del) inför kursansvarig lärare och övningsledare examinerar kursen.

Examensmål 3

För masterexamen ska studenten visa förmåga att kritiskt, självständigt och kreativt identifiera och formulera frågeställningar, att planera och med adekvata metoder genomföra kvalificerade uppgifter inom givna tidsramar och därigenom bidra till kunskapsutvecklingen samt att utvärdera detta arbete

För att uppnå examensmål 3 uppnår studenterna följande delmål:

- Examensmål 3A: *visa förmåga att bidra till kunskapsutvecklingen genom att kritiskt, självständigt och kreativt identifiera och formulera frågeställningar*
- Examensmål 3B: *visa förmåga att bidra till kunskapsutvecklingen genom att planera och med adekvata metoder genomföra kvalificerade uppgifter*
- Examensmål 3C: *visa förmåga att genomföra detta inom givna tidsramar*
- Examensmål 3D: *visa förmåga att utvärdera sitt arbete*

I utbildningen ingår en mängd mindre samt större projekt i kurserna. Dessa projekt ligger till grund för måluppfyllelse av examensmål 3, 4 och 5. Nedan går vi igenom de projekt som finns inom obligatoriet, för att senare kunna referera till dessa projekt.

Digital Kommunikation FK (ETTN01). Några relevanta kursmål för examensmål 3-5 är:

1. kunna identifiera, formulera och hantera komplexa frågeställningar inom området digital kommunikation
2. visa förmåga att självständigt och kreativt arbeta med kvalificerade projekt, samt muntligt och skriftligt klart redogöra, motivera och diskutera sina slutsatser
3. visa förmåga att göra bedömningar med hänsyn till relevanta vetenskapliga, samhälleliga och etiska aspekter

Dessa tre kursmål uppfylls i huvudsak via ett projekt. Studenterna delas in i par, och får i samråd med kursansvarig lärare välja ut ett område att specialstudera. I samråd med kursansvarig lärare identifieras och formuleras särskilt viktiga frågeställningar för det område som studenterna väljer. Studenterna måste sedan leta relevant information och litteratur i IEEEExplores databas. Studenterna blir muntligt examinerade av kursansvarig lärare samt måste skriva en teknisk rapport.

Varje par måste också opponera på ett annat projektarbete. Notera att det inte finns någon normal kurslitteratur att tillgå för projektet, utan studenterna måste inhämta all information via vetenskapliga artiklar. De muntliga presentationerna är ca 15 minuter långa och sker inför 5 andra par (samt kursansvarig lärare och övningsledare). Under projektets gång trycker lärare särskilt hårt på plagiat- och copyrightfrågor.

Två exempel på 2011 års projekt är

1. Adaptive coding and modulation: In this project systems that use adaptive coding and modulation is investigated and explained, and also the gains obtained (xDSL, WLAN, EDGE, 3G,...).

2. Wimax: In this project the technique used in Wimax systems, and possible applications, are investigated and explained.

Antennteknik (ETEN10). I denna kurs ingår ett projekt där studenterna skall designa, konstruera och verifiera en antenn. Utifrån en kravspecifikation på antennen, tex i vilken miljö antennen skall användas, gör studenterna först en antenndesign som testas med hjälp av CST (ett datorverktyg för elektromagnetiska beräkningar). När antennen uppfyller de krav som ställts, konstrueras antennen. Sedan följer ett verifikationssteg där studenterna gör mätningar och verifierar att antennen uppfyller den givna kravspecifikationen. En 2-3 sidors skriftlig rapport, som skall följa IEEE standard, avslutar projektet.

Avancerad Telekommunikation (ETSN01). I denna kurs ingår ett projektarbete som syftar till att träna studenter i att analysera större kommunikationsnätverk via datorsimuleringar. Moderna nätverk är idag alltför komplexa för att kunna analyseras enbart med hjälp av papper och penna genom slutna uttryck. En beskrivning av ett större nätverk delas ut, och sedan skall studenterna i par implementera nätverket på dator i programspråket JAVA.

Utifrån implementation skall nätverket sedan analyseras. Ett antal laborationer och övningspass finns schemalagda som stöd, den första laborationen syftar till exempel på att ge kunskap i hur en *discrete event simulator* skall implementeras. Projektet redovisas muntligt inför andra grupper samt genom skriftlig teknisk rapport.

Kanalmodellering (ETIN10). I denna kurs skall fundamentala egenskaper hos radiokanalen undersökas genom en serie av tre mindre projekt. Under laborationspass får studenterna använda avancerad utrustning för kanalmätning samt positioneringsmätningar. Data från dessa laborationer skall sedan analyseras, och alla tre problem skall lösas.

Radiosystem (ETIN15). Se examensmål 1C.

Projekt i trådlös kommunikation (EITN20). Se examensmål 2.

Multipelantennsystem (EITN10). Fem stycken obligatoriska inlämningsuppgifter ingår i denna kurs. Varje inlämningsuppgift består av ett eller flera relativt omfattande problem som kräver datoranalys. Till varje inlämningsuppgift skall en skriftlig teknisk rapport lämnas in. Ett exempel på sådan inlämningsuppgift ges på nästa sida.

Exempel på inlämningsuppgift i multipelantennsystem

1 Purpose

The purpose of this assignment is to understand the Alamouti scheme and the dominant eigenmode transmission scheme, which are used to achieve diversity in MIMO systems when the channel is unknown and known to the transmitter (Lecture 6). The influence of spatial correlation on diversity performance will also be studied.

2 Tasks

1. Assume that BPSK is used as the modulation format, *i.e.*, a sequence with $\{-1, +1\}$ is to be transmitted. In a 2×2 MIMO channel, we use the first 2 transmit and first 2 receive elements from the MIMO measurement "LOS_8.8.mat". Additive White Gaussian Noise (AWGN) is assumed at the receiver. Simulate the bit error rate (BER) for different SNRs (*e.g.*, 0 - 12 dB), assuming that the channel is unknown at the transmitter but known at the receiver so that the Alamouti scheme is utilized. Compare the BER results to that of the SISO case which uses only the first antenna pair.
2. Assume the channel is known at the transmitter so that the dominant eigenmode transmission scheme can be used. Simulate and compare its performance with the results from the 1st task. Comment on the diversity performance from the BER curve.
 - Tips: Normalize the channel using the different frequencies as different channel realizations and the normalization method described in Project 2. Simulate a large number of transmitted symbols (*e.g.*, at least 1000 or more) for each channel realization to get better statistics.
3. Study the influence of spatial correlation on the diversity performance. Repeat the above simulation using only the Alamouti scheme, but with the Kronecker channel model instead of the measured channel, so that

$$\mathbf{H} = \mathbf{R}_R^{1/2} \mathbf{H}_w \mathbf{R}_T^{1/2},$$

in which \mathbf{H}_w is the i.i.d. Rayleigh channel, and

$$\mathbf{R}_R = \mathbf{R}_T = \begin{bmatrix} 1 & r \\ r & 1 \end{bmatrix},$$

are the receive and transmit correlation matrix respectively. Study the BER performance for different correlation coefficient r , and $r = [0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1]$. Compare the performance to the case of purely i.i.d. channel, *i.e.*, $\mathbf{H} = \mathbf{H}_w$. Comment on the influence of spatial correlation to the diversity performance. Is the array gain still available when the channel is correlated? If so, why? Give an intuitive explanation.

3 Report

Write a short report. In order to pass, you should (1) describe the methods you apply to solve the problem, (2) present the results, *e.g.*, in readable figures, and (3) comment on the results (important!). Computer code can be included as an attachment.

Examensmål 3A: visa förmåga att bidra till kunskapsutvecklingen genom att kritiskt, självständigt och kreativt identifiera och formulera frågeställningar

I sju av nio kurser inom obligatoriet finns obligatoriska projekt där studenterna i mycket hög utsträckning tvingas till att självständigt identifiera och formulera komplexa frågeställningar. Genom dessa kurser samt examensarbetet, anser vi att god måluppfyllelse är uppnådd.

Examensmål 3B: visa förmåga att bidra till kunskapsutvecklingen genom att planera och med adekvata metoder genomföra kvalificerade uppgifter

Det krävs att de planerar sitt arbete väl för att slutföra samtliga projekt inom utsatt tid. Ett flertal olika metoder krävs för att genomföra projekten, och studenten måste själv avgöra vilken

lösningsmetod som är lämplig för det identifierade problemet. Detta är särskilt tydligt i examensarbetet samt i *kursen projekt i trådlös kommunikation* (EITN20).

Examensmål 3C: visa förmåga att genomföra detta inom givna tidsramar

Samtliga projekt, eller delprojekt har hårda deadlines. Om dessa deadlines ej hålls får studenten göra om projektet nästa år. Vår uppfattning är att studenterna väldigt snabbt lär sig denna regel, och att de planerar sitt arbete väl för att möta deadlines.

Examensmål 3D: visa förmåga att utvärdera sitt arbete

Genom opposition på andra gruppers arbete tränas studenterna i utvärdering av eget och andras arbete. Lärarledd handledning under projekttidens gång bidrar ytterligare till måluppfyllelse. Särskilt tydligt är detta under examensarbetet där regelbundna möten med handledare typiskt sker 1-2 timmar per vecka.

Examensmål 4

För masterexamen ska studenten visa förmåga att i såväl nationella som internationella sammanhang muntligt och skriftligt klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa i dialog med olika grupper

För att uppnå examensmål 4 uppnår studenterna följande delmål:

- Examensmål 4A: *visa förmåga att i såväl nationella som internationella sammanhang **muntligt** klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa*
- Examensmål 4B: *visa förmåga att i såväl nationella som internationella sammanhang **skriftligt** klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa*
- Examensmål 4C: *visa förmåga till dialog med olika grupper*

Vi anser att måluppfyllelse nås genom att studenterna tränas i muntliga presentationer och skriftligt rapportskrivande. För måluppfyllelse är det mycket viktigt att studenterna får feedback på rapporter och presentationer. De skriftliga rapporterna granskas därför alltid av kursansvarig lärare eller övningsassistenter, och om rapporten anses undermålig, måste den förbättras tills det

att den är acceptabel. Feedback på muntliga presentationer sker genom att opposition är obligatoriskt på flera av de muntliga presentationerna (bland annat på examensarbetet).

Examensmål 4A: *visa förmåga att i såväl nationella som internationella sammanhang **muntligt** klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa*

Då vi har muntliga presentationer på sju av de nio obligatoriska kurserna, samt på examensarbetet anser vi att god måluppfyllelse är säkrad. Dessa presentationer sker uteslutande på engelska inför in internationell åhörarskara.

Examensmål 4B: *visa förmåga att i såväl nationella som internationella sammanhang **skriftligt** klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa*

Då vi har skriftlig rapportskrivning på sju av de nio obligatoriska kurserna, samt på examensarbetet anser vi att god måluppfyllelse är säkrad. Dessa rapporter sker uteslutande på engelska.

Examensmål 4C: *visa förmåga till dialog med olika grupper*

Vi bedömer vidare att studenterna tränas i presentation inför olika grupper av fyra skäl: 1) Studentgruppen inom wirelessprogrammet är inte homogen, utan består vanligen av 8-12 olika nationaliteter. Dessa studenter har vitt skilda bakgrunder, en del har lång erfarenhet av arbete inom industrin, andra har just avslutat sin grundexamen. Ålderskillnaden är därför stor. 2) I en del av kurserna som studenterna läser finns det svenska civilingenjörss studenter. Presentationer inför, och opposition på de svenska studenterna ser vi som dialoger med en annan grupp. 3) Populärvetenskaplig beskrivning av examensarbetet. I denna obligatoriska del krävs det att studenten kan redogöra för sitt examensarbete för någon som saknar teknisk bakgrund. 4) Presentationer inför doktorander. En del av de kurser som studenterna läser är på avancerad nivå och ingår som kurser på institutionens forskarutbildning. Det är därför vanligt med ca 2-5 doktorander på dessa avancerade kurser. Att presentera inför en studentgrupp med större erfarenhet än sig själv, kan anses vara dialog med en annan grupp.

Examensmål 5

För masterexamen ska studenten visa förmåga att inom huvudområdet för utbildningen göra bedömningar med hänsyn till relevanta vetenskapliga, samhälleliga och etiska aspekter samt visa medvetenhet om etiska aspekter på forsknings- och utvecklingsarbete

För att uppnå examensmål 5 uppnår studenterna följande delmål:

- Examensmål 5A: *visa förmåga att göra bedömningar med hänsyn till relevanta vetenskapliga aspekter*
- Examensmål 5B: *visa förmåga att göra bedömningar med hänsyn till relevanta samhälleliga och etiska aspekter*
- Examensmål 5C: *visa medvetenhet om etiska aspekter på forsknings- och utvecklingsarbete*

Vi tolkar delmål 5A och 5B av målbeskrivningen så som att studenten skall kunna bedöma huruvida en teknisk lösning är rimlig eller ej. Studenten skall få en fingertoppskänsla för hur realistisk en teknisk lösning är. De tre olika perspektiven tolkar vi som 1) ett vetenskapligt perspektiv – bryter lösningen mot fysiska lagar och begränsningar? 2) ett samhälleligt perspektiv – kommer lösningen kunna accepteras av samhället? 3) ett etiskt perspektiv – ligger lösningen inom ramarna för det som kan anses vara hållbar utveckling?

Det tredje delmålet, 5C, tolkar vi främst så som att studenterna måste visa medvetenhet för vad som anses vara plagiat inom vetenskapligt arbete. Även kunskap kring copyright måste undervisas.

Examensmål 5A: visa förmåga att göra bedömningar med hänsyn till relevanta vetenskapliga aspekter

Då utbildningen både är bred och djup anser vi att mycket god måluppfyllelse nås med hänsyn till 5A. Då tyngdpunkten under utbildningen är fundamentala begränsningar och principer för digital kommunikation, såsom Shannons lagar, antennbegränsningar, begränsningar från radiokanalen, begränsningar för nätverkslösningar, är vår bedömning att god måluppfyllelse är nådd. En mängd verkliga system kommer naturligt in i utbildningen och studenterna får lära sig varför dessa system är uppbyggda som de är utifrån ett vetenskapligt perspektiv. Studenterna tränas även i teknikval beroende på om utrustningen är batteridrivna eller har extern strömförsörjning. Sammanfattningsvis bedömer vi att studenterna efter genomgången utbildning får en god förmåga att göra vetenskapliga bedömningar inom huvudområdet.

Ett exempel på tentamensuppgift från kursen *multipelantennsystem* (EITN10) finns nedan. Denna uppgift kräver i mycket hög grad att studenterna skall genomföra en vetenskaplig bedömning. Kortfattat är uppgiften som följer: En person går i en stad enligt den markerade rutten och har

samtidigt radiokommunikation med en basstation (BS). Bedöm hur tre fundamentala storheter för kommunikation kommer att uppföra sig under ruttens gång.

Exempel på tentamensuppgift i kursen multipelantennsystem

MIMO technology is a standard feature in the new Long Term Evolution (LTE) systems that are current being deployed all over the world. A typical coverage scenario is depicted in Figure 3, where a two-antenna base station (BS) on top of a building is serving one two-antenna mobile station (MS) within its coverage area. The user who is holding the MS moves slowly (at a steady speed) along the indicated walking path (dashed line) from the *start* point to the *finish* point. There are also a number of scattering objects (i.e., different buildings and trees) in the environment, as shown in Figure 3. The center frequency is 2.65 GHz.

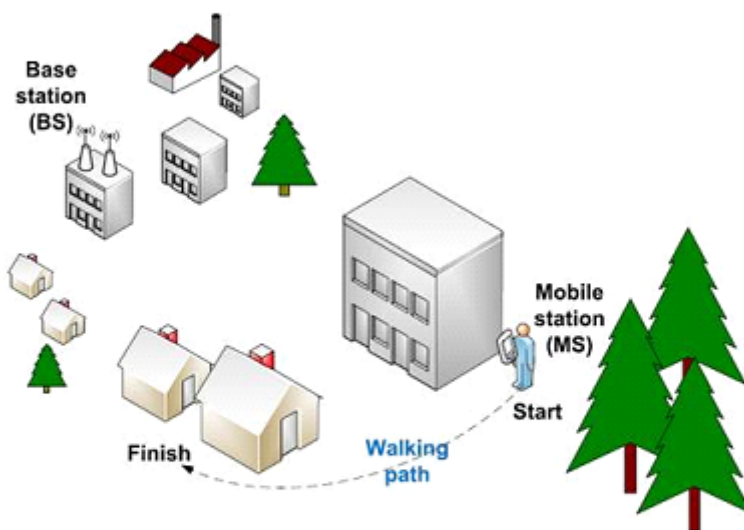


Figure 3

(i) Suppose the MS is able to record the 2×2 channel matrix \mathbf{H} along the walking path, and assuming that the two MS antennas are identical and well separated (by 1 wavelength). Plot the expected received signal power at *each* of the two MS antenna along the route in the space provided below. Explain the main features of the signal power plot in terms of different fading mechanisms experienced along the route. In order to express the signal powers in decibel (dB), the \mathbf{H} matrix over the route is normalized by a constant, which is the average power of the channel matrix (per channel element) over the first 10 wavelengths of the walking route.



(ii) Plot also the expected correlation coefficient of the receive signals along the path. Explain the trend seen in the correlation as a result of the propagation condition.



(iii) Finally, plot the first and second eigenvalues of the channel \mathbf{H} along the walking path. Briefly explain the main characteristics of the eigenvalues along the route. (Hint: The relative strengths of the two eigenvalues depend on signal correlation.)



Examensmål 5B: visa förmåga att göra bedömningar med hänsyn till relevanta samhällliga och etiska aspekter

Tre mycket viktiga samhällliga aspekter att beakta vid design och konstruktion av kommunikationslösningar är hårdvaru-, energi- och spektrumförbrukning.

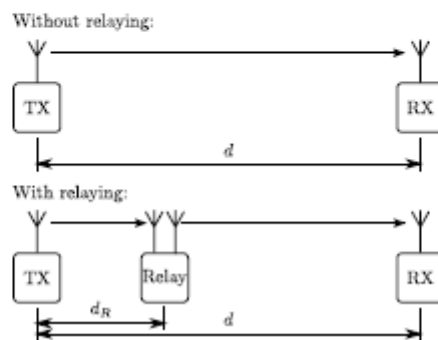
Alla dessa tre translaterar direkt till en ekonomisk kostnad för slutanvändaren, och de första två är dessutom direkt råvarukrävande. En mycket enkel lösning vore att kraftigt öka energiåtgången i alla sändande enheter som är externt strömförsörjda. Detta är dock inte önskvärt eftersom det inte är en i längden hållbar utveckling. En operativ ingenjör måste därför ha förmåga att bedöma graden av resursförbrukning hos en metod, samt att minimera denna. Det sitter mycket djupt rotat i ingenjörsyrket, och självklart också i utbildningen, att optimera varje lösning med hänsyn till dessa tre aspekter (hårdvaruförbrukning minimeras via minimering av algoritmkomplexitet). Vidare, en mängd historiska och moderna system kommer naturligt in i utbildningen. Till exempel läser de flesta studenter en valfri kurs (ETTN15) om 4G mobiltelefonsystemet LTE/LTE-advanced. I dessa system lär sig studenterna basala grundfakta om redan implementerade system och kan därigenom bättre bedöma hur rimlig en föreslagen metod är från samhällliga aspekter.

Vidare är spektrum idag en mycket dyrbar resurs, och måste användas med stor sparsamhet - vanligen är en kommunikationsmetod begränsad till en given *spektrummask*. Hur kommunikationsmetoder skall designas för att begränsa sig till denna spektrummask är en väsentlig komponent i kursen *digital kommunikation AK* (ETT051). Denna spektrummask säkerställer att kommunikationsmetoden ej stör eller fullständigt slår ut annan radiotrafik, tex kommunikation till flygplan från kontrolltorn.

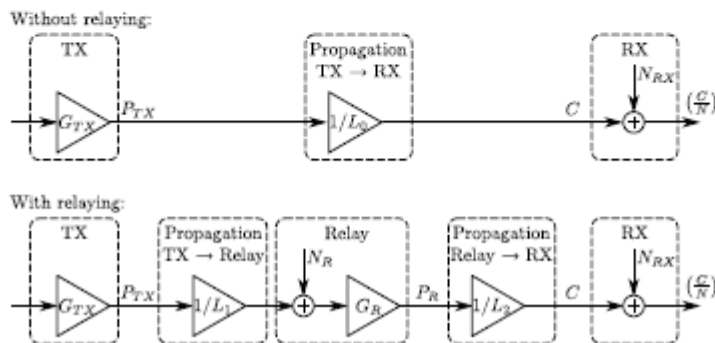
En tentamensuppgift från *radiosystem* (ETIN15) är visat nedan. I denna uppgift skall studenten undersöka förbättringen i energieffektivitet genom introduktion av en relästation. Läget för relästationen skall optimeras så att totalt resursförbrukande skall minimeras.

Exempel på tentamensuppgift i kursen radiosystem

One of the trends in wireless communications today is using relays to improve the performance. In this problem we will study a simplified case, and draw some conclusions about the properties of communication over wireless channels with and without relays. The general situation is shown below, where the distance between transmitter (TX) and receiver (RX) is d m. In the case where we use a relay, the relay is placed at a distance d_R m from the TX.



The TX antenna is placed at a height of $h_{TX} = 30$ m, the relay antenna at $h_R = 10$ m, and the RX antenna at $h_{RX} = 2$ m. All antennas have antenna gains equal to 3 dBi, except for the relay receive antenna which is more directive and has a gain of 13 dBi. We assume that the theoretical “propagation over a ground plane” model is applicable for all links, within the normal limits of validity (approximation error if distances are too short). The propagation models are further assumed to give the average received powers. This allows us to perform calculations based entirely on average powers (average over the fading). The TX transmits a signal with power P_{TX} , which is received by the relay. The relay amplifies the signal (and some noise) by a factor G_R and re-transmits this signal on a nearby frequency to which the RX is tuned. As shown in the block diagram below, both the relay and the RX introduce noise with powers N_R and N_{RX} at their respective receive antenna outputs.



- (c) Assume that the power consumption of the transmitter and the relay are 200% of their respective transmit powers (50% efficiency) plus power consumption due to other functions given by the constants K_{TX} W and K_R W, respectively. This implies that the total power consumption of the TX is $2P_{TX} + K_{TX}$ W and the total power consumption of the relay is $2P_R + K_R$ W. (The power consumption in the relay due to amplification and transmission of the noise N_R is included in K_R .) The RX, which does not transmit anything, has a constant power consumption of K_{RX} W.

Given that the relay amplifies the signal by $G_R = 50$ dB before re-transmitting, both noise powers are $N_R = N_{RX} = -134$ dB[W], the required reception quality is $(C/N)_{req} = 10$ dB, the communication (for both links) is taking place at carrier frequencies of about 500 MHz and that the distance between TX and RX is $d = 10$ km:

- What is the optimal distance d_R between TX and relay, to minimize total power consumption of the two transmitters? *Hint: A rough numerical solution of the minimum is accepted and it is wise to search for the optimum where the relay is not very far from the RX.*
- How much lower is the total transmitted power (from TX and relay), when we compare with the case without relaying?

Vi bedömer att studenterna får mycket god träning i att minimera hårdvaru-, energi-, och spektrumförbrukning, samt att förstå konsekvenserna för samhället av att göra så, vilket leder till mycket god måluppfyllelse av examensmål 5B.

Examensmål 5C: visa medvetenhet om etiska aspekter på forsknings- och utvecklingsarbete

Det har tyvärr förekommit några fall av plagiat som lett till att studenter suspenderats. Detta är inte en unik problematik för wirelessprogrammet utan ett problem som berör samtliga

masterutbildningar på LTH. För att förhindra detta har LTH arbetat för att de anländande studenterna ska förstå att svensk kultur inte alltid är den samma som i många hemländer. De informeras redan när de registrerar sig genom obligatoriska föreläsningar i akademisk hederlighet centralt via LTH. De får sedan underteckna ett kontrakt där de lovar att följa de regler vi har i frågan. Vid samtliga projektarbeten ges information om vad som anses acceptabelt och vad som inte är akademiskt hederligt. I kursen *kanalmodellering* (ETIN10) och *projekt i trådlös kommunikation* (EITN20) tenteras studenterna muntligt, och mycket utförligt, just för att undvika alla former av fusk. Det informeras också om hur copyrightregler rörande hur bilder, texter, och citat, från vetenskapliga artiklar kan återanvändas. Det finns även en valfri kurs i *immaterialrätt* (ETI280) som ca 15% av studenterna väljer att följa.

Del 2

Lärarkompetens och lärarkapacitet

Nedanstående analys baserar sig på situationen vid utgången av läsåret 2011/2012.

Kursansvariga lärare har generellt en mycket hög kompetens. Samtliga är disputerade, och har i de flesta fall också docentkompetens. Göran Jönsson har även blivit tilldelad ETP (Excellent Teaching Practitioner)– en utmärkelse från LTH för särskilt goda pedagogiska insatser. En sammanställning över lärarkompetens finns i Bilaga 1.

Del 2

Antal helårsstudenter

Antal helårsstudenter i aktuell utbildning läsåret 2011/2012.

	Antal
Helårsstudenter	50

Del 2

Studenternas förutsättningar

De antagna studenterna har en grundexamen, *Bachelor degree*, motsvarande tre års universitetsstudier men oftast har de studerat fyra eller fem år i sitt hemland, för att få sin examen. Deras examen ska vara i områdena *electrical engineering*, *computer engineering* eller *information technology*. Som krav ställer vi också att de måste ha tagit kurser i sannolikhets teori, signalbehandling, telekommunikationsteori, elektromagnetisk fältteori och kretsteori till en sammanlagd volym om minst 6 månaders heltidsstudier. Vidare kräver vi att de studerat grundläggande matematik om minst 20 hp. Det görs inga undantag från dessa förkunskaper.

Även om de på pappret har goda förkunskaper, är det svårt att avgöra de reella förkunskaperna hos studenterna vid antagningen. Vi kan inte intervjua studenterna eftersom vi har hundratals ansökningar varje år. Enstaka studenter som kommer hit är svaga. Det märks genom att de tar lite längre tid på sig. Dock är en överväldigande majoritet mycket duktiga studenter. Masterprogrammet har blivit en bas för rekrytering till forskarutbildning inom trådlös kommunikation, inte bara i Lund, utan i hela Sverige, samt internationellt. Ungefär en tredjedel av studenterna fortsätter till forskarutbildning. Många studenter gör "internships" under sommarledigheten, både i industrin och vid universitetet. Programmet har även ett avtal om att varje år skicka 2 studenter till RenesasMobile i Köpenhamn under 3 månader för att utföra mindre forskningsprojekt under sommaren.

Från och med 2011 infördes ett system med betalande studenter. Studenter utanför EU/EES blir belagda med en studieavgift om 140 000 SEK per år. Antalet studenter på programmet gick som väntat ner år 2011. Vår bedömning är dock att nivån på studenterna är lika hög som tidigare år, men i skrivande stund har ännu ingen av de betalande studenterna avlagt examen, så det finns ingen statistik att tillgå.

Förutsättningarna för att studenterna ska lyckas är mycket höga.

Del 3

Andra förhållanden

Examensarbetenas mål, ingående moment och förläggning

Examensarbetet är klassat som en kurs på avancerad nivå. Syftet med examensarbetet är att studenten skall utveckla och visa sådan kunskap och förmåga som krävs för att självständigt arbeta som en *Master of Science*. De ska visa fördjupad kunskap inom teknikområdet *Wireless Communications*.

Examensarbetet är förlagt till universitet eller industri, i Sverige såväl som internationellt. Ett examensarbete förlagt utanför Lunds Universitet har alltid en examinator och en handledare från Lunds Universitet som garant för akademisk kvalitet. Fördelningen mellan industriförlagda och universitetsförlagda examensarbeten är jämn. Som krav ställs att samtliga examensarbete skall vara av "forskningskaraktär". Studenten arbetar självständigt eller i par med en annan student. Examensarbete med tre eller fler deltagare har aldrig förekommit. Oftast finns det ett färdigt område att undersöka eller ett problem att lösas, men i somliga fall är det också studenten som kommer med ett förslag på examensarbete. Examensarbetet omfattar minst 20 veckors heltidsstudier, men oftast mer om det är industriförlagt. Fyra komponenter krävs för godkänt resultat

- Skriftlig rapport. Denna rapport är oftast 50-100 sidor lång och har granskats av examinator och handledare.
- Muntlig presentation. En 20 minuters presentation. 5-20 personer från institutionen brukar närvara, samt studentens vänner och bekanta.
- Opposition på annan grupps examensarbete.
- Populärvetenskaplig beskrivning.

I studieplanen kan man läsa om målen

Kunskap och förståelse. För godkänd kurs skall studenten

- visa fördjupad kunskap inom det valda teknikområdet

Färdighet och förmåga. För godkänd kurs skall studenten

- visa förmåga att med helhetssyn kritiskt, självständigt och kreativt identifiera, formulera och hantera komplexa frågeställningar,
- visa förmåga att delta i forsknings- eller utvecklingsarbete och därigenom bidra till kunskapsutvecklingen
- visa förmåga att planera och med vetenskapliga och ingenjörsmässiga metoder genomföra kvalificerade uppgifter inom givna ramar,
- visa förmåga att kritiskt och systematiskt integrera kunskap förvärvad i centrala och kvalificerade kurser inom programmet, och
- visa förmåga att på nationell som internationell nivå för examen muntligt och skriftligt klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa
- självständigt identifiera relevanta informationskällor, utföra informationssökningar, värdera informationens relevans samt använda sig av korrekt referenshantering

Värderingsförmåga och förhållningssätt. För godkänd kurs skall studenten

- visa förmåga att bedöma eget och andras examensarbeten med hänsyn till relevanta vetenskapliga, samhällseliga och etiska aspekter.

Det övergripande målet för utbildningen – anställningsbarhet

Det övergripande målet med utbildning är att examinera skickliga studenter för en yrkesroll inom teknikområdet *Wireless Communications*. Det finns ett stort behov av personer med den bakgrunden. Utexaminerade studenter från programmet är mycket eftertraktade på arbetsmarknaden av industri och akademi i Sverige och övriga västvärlden. Många av dem anställs av den lokala industrin i Lund. Detta är av yttersta vikt för samhället då de inhemska studenterna i allt högre grad väljer bort detta teknikområde. Forskningsgruppen för kommunikationsteori vid Lunds Universitet har inte rekryterat en doktorand från civilingenjörsprogrammet på ca 4-5 år. På kurser inom kommunikationsteori är de inhemska studenterna ytterst få. Basen för rekrytering, både till akademi och industri, är alltså masterprogrammet.

Andra förhållanden som påverkar utbildningens kvalitet

Migrationsverket påverkar studenterna negativt, vilket är en stressfaktor för de som drabbas. Studenterna har ofta upp till fem månaders handläggningstid, för ett förlängt visa. Den drabbade studenten kan då inte resa och presentera sitt arbete eftersom han/hon inte blir insläppt i Sverige igen. Migrationsverket avvisar också studenter om de inte har någon anställning när de har tagit ut sin examen eller till och med om de tagit för få poäng under en kortare period. Det händer ibland när de har långa examensarbeten.

Bostadssituationen i Lund påverkar också negativt. Många studenter får bo en bit utanför Lund och måste pendla, vilket upplevs som besvärligt.

Bilaga 1 – Lärarkompetens och lärarkapacitet

<i>Obligaatorium</i>	<i>Kurskod</i>	<i>Kursnamn</i>	<i>Nivå</i>	<i>Kursansvarig</i>	<i>Tjänstetitel</i>	<i>Docent</i>	<i>ETP</i>
<i>År 1</i>	ETEN10	Antennteknik	A	Mats Gustafsson	<i>Professor</i>	<i>Ja</i>	
<i>År 1</i>	ETI031	Radio	G2	Göran Jönsson	<i>Univadj</i>		<i>Ja</i>
<i>År 1</i>	ETIN10	Kanalmodellering för trådlös kommunikation	A	Fredrik Tufvesson	<i>Univlekt</i>	<i>Ja</i>	
<i>År 1</i>	ETIN15	Radiosystem(ETIN15)	A	Ove Edfors	<i>Professor</i>	<i>Ja</i>	
<i>År 1</i>	ETSN01	Avancerad telekommunikation	A	Ulf Körner	<i>Professor</i>	<i>Ja</i>	
<i>År 1</i>	ETT051	Digital kommunikation	G2	Göran Lindell	<i>Univlekt</i>		
<i>År 1</i>	ETTN01	Digital kommunikation, fortsättningskurs	A	Göran Lindell	<i>Univlekt</i>		
<i>År 2</i>	EITN20	Projekt I trådlös kommunikation	A	Fredrik Rusek	<i>Univlekt</i>	<i>Ja</i>	
<i>År 2</i>	EITN10	Multipelantennsystem	A	Buon Kiong Lau	<i>Univlekt</i>	<i>Ja</i>	
Valfria kurser	EIT080	Informationsteori	G2	Stefan Höst	Univlekt		
	EIT140	OFDM för	A	Thomas Magesacher	Univlekt	<i>Ja</i>	

		bredbandskommunikation					
	ETI280	Immaterialrätt	G1	Peter Nilsson	Professor	<i>Ja</i>	
	ETT062	Moderna trådlösa system - LTE och dess efterföljare (ETTN15)	A	Goran Lindell	Univlekt		
	FMSF10	Stationära stokastiska processer	G2	Naveed Butt	Postdoktor		
	EDAN15	Konstruktion av inbyggda system	A	Krzysztof Kuchcinski	Professor	<i>Ja</i>	
	EDI042	Kodningsteknik	A	Mats Cedervall	Univlekt		
	EDI051	Kryptoteknik	G2	Thomas Johansson	Professor	<i>Ja</i>	
	EITN35	Projekt i elektro- och informationsteknik	A	Daniel Sjöberg	Professor	<i>Ja</i>	
	ETI032	Radioelektronik	A	Göran Jönsson	Univadj		<i>Ja</i>
	ETI041	Radioprojekt	A	Göran Jönsson	Univadj		<i>Ja</i>
	ETI121	Algoritmer i signalprocessorer – projektkurs	A	Nedelko Grbic	Univlekt		
	ETSF10	Internetprotokoll	G2	Kaan Bür	Forskare		

	ETT042	Adaptiv signalbehandling	A	Martin Stridh	Univlekt	<i>Ja</i>	
	ETT074	Optimal signalbehandling	A	Bengt Mandersson	Univlekt		
	FMS072	Försöksplanering	G2	Oskar Hagberg	Univlekt		