

# Miniprojektuppgift i TSRT04: Mobiltelefonäckning

2022-03-10

## 1 Uppgift

Enligt undersökningen "Svenskarna och internet 2019" (Stiftelsen för Internetinfrastruktur) har 99% av alla svenskar över 12 år en mobiltelefon och 92% har en smartmobiltelefon. Ju mer vi använder våra mobiltelefoner, desto högre blir våra förväntningar på att ständigt vara uppkopplade på nätet. Det börjar bli ett krav att ha en smarttelefon och mobiltäckning för att kunna sköta dagliga ärenden, såsom att betala för parkering.

Mobiltelefoni bygger på att det finns så kallade basstationer utplacerade på hustak i städer och höga master i glesbygden. Varje mobil kommunikerar trådlöst med den närmaste basstationen. Detta innebär att det skickas radiovågor (dvs. ljus med en våglängd som våra ögonen inte kan se) fram och tillbaka mellan mobilen och basstationen. Fysiken kring vågutbredning säger att energin sprider sig mer och mer ju längre radiovågorna färdas – det är som att blåsa upp en ballong som först är liten och tät för att sedan bli stor och tunn. Med andra ord blir signalerna svagare och svagare ju längre det är mellan mobilen och basstationen. När signalerna blir alltför svaga så går det inte längre att kommunicera, vilket kallas för att inte ha mobiltäckning.

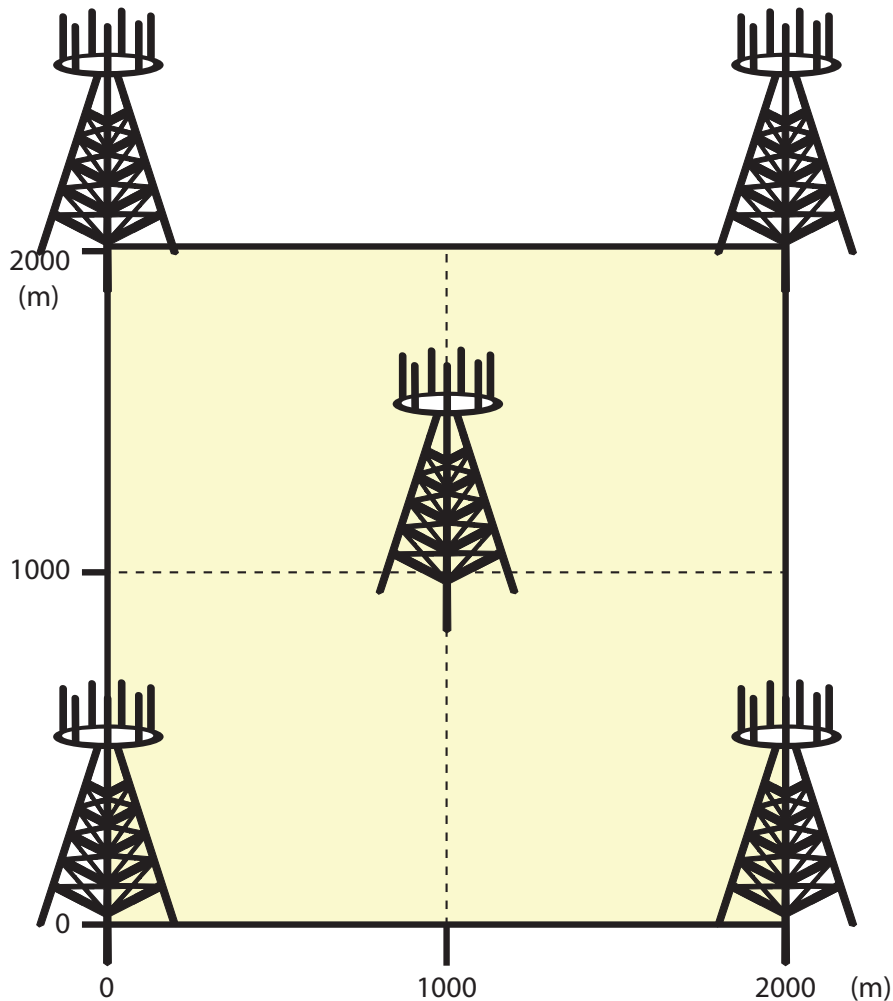
I det här miniprojektet ska vi studera hur mobiltäckning fungerar. Målet är att skriva en funktion som givet ett visst område och positioner för flera basstationer kan illustrera hur mobiltäckningen är på olika platser i området. Ni kommer att få rita tredimensionella grafer över datataktur som uppnås på olika platser och beräkna histogram över hur täckningen för en slumpvis användarposition ser ut. Ett typiskt simuleringsscenario är illustrerat i Figur 1.

### 1.1 Redovisning

Detta är ett av miniprojekten i kursen TSRT04. För att bli godkänd på kursen måste ni lösa ett av miniprojekten enligt anvisningarna och redovisa det för en lärare på något av examinations-tillfällena. Redovisningen sker på engelska så skriv er kod och era kodkommentarer på engelska (det är en bra övningen för framtiden då engelsk kodning är standard på företag). Uppgiften ska lösas i grupper om två, eller individuellt. Eftersom det rör sig om ett examinationsmoment är det inte tillåtet att dela eller visa MATLAB-kod/anteckningar för andra studenter. Det är däremot okej att diskutera uppgiften muntligen med andra grupper, exempelvis för att dela med sig av goda råd!

- Skriv en MATLAB-funktion `cellcoverage` som beräknar datatakturerna för ett rutnät av användarposition, för givna positioner för basstationerna. Ni ska rita tredimensionella grafer över datatakturerna i området och illustrera spridningen i datataktur för en slumpvis användarposition. Funktionen `cellcoverage` ska anropa andra funktioner som löser vissa delproblem.
- Lösningen ska demonstreras och koden ska visas upp för lärarna på laboration 3 eller 5. Vi kommer att kontrollera att ni följt anvisningarna, att det finns en rimlig mängd kommentarer i koden, att plottarna är lättförståeliga och att ni kan förklara vad olika delar av koden gör. Det finns en stilguide på kurshemsidan som berättar mer om hur en bra lösningen ska se ut. Se till att läsa den och följa rekommendationerna!

- När lärarna sagt att ni blivit godkända på projektet så ska koden laddas upp i kursrummet under Submissions. Examinatorn kommer sedan att skicka koden till Urkund för plagiatskontroll. Koden bifogas i ett text-dokument som ska vara döpt till kurskod\_år\_studentid1\_studentid2.txt (t.ex. TSRT04\_2022\_helan11\_halvan22.txt). Detta dokument ska innehålla alla funktioner och skript som examinerats, inklusive ett kort exempel på hur man kan anropa dessa funktioner för att lösa projektet.



Figur 1: Exempel på utplacering av fem basstationer.

## 2 Förslag på arbetsgång

Börja med att läsa hela dokumentet för att sätta dig in i problemställningen och vårt förslag till hur man kan dela upp den i delproblem.

Nedan har vi gett ett förslag på hur den stora programmeringsdelen av uppgiften kan lösas bit för bit. Vi har delat upp problemet så att det finns möjlighet att kontrollera att varje bit fungerar innan man tar sig an nästa bit. Utnyttja dessa möjligheter! Trots att arbetsgången föreslår att ni ska skriva små funktioner som löser delproblem innebär detta inte att det nödvändigtvis är bra/effektivt/snyggt att använda sig av (anropa) alla de små funktionerna när man går över till att lösa större delproblem. Vissa (alla?) funktioner löser helt enkelt så små bitar att det kan vara bättre att kopiera programkoden från den lilla funktionen till den större, istället för att låta den större funktionen anropa den mindre.

Observera att den föreslagna arbetsgången är anpassad för studenter med ingen eller liten tidigare programmeringserfarenhet. En erfaren programmerare skulle troligen dela upp problemet på ett annat sätt baserat på tidigare erfarenheter. Om du känner dig erfaren och har ett förslag till en bättre lösning så är det inget som hindrar dig att använda den istället, men om du behöver hjälp så har assistenterna mer erfarenhet av den av oss föreslagna lösningsgången. Ifall ni frångår den föreslagna arbetsgången så måste ni se till att lösningen ger åtminstone samma funktionalitet.

## 2.1 Teori: Mobiltäckning

För att beräkna mobiltäckningen på olika platser måste vi först definiera vad täckning innebär. Detta kommer vi göra i termer av *datatakt*, vilket är antalet informationsbitar (ettor och nollor) som kan överföras per sekund. Ifall datatakten är högre än noll så har man täckning. För enkelhetens skull antar vi en tvådimensionell värld, dvs. vi tar inte hänsyn till att basstationer och mobiler kan befinna sig på olika höjd. Precis som på en karta kan vi då beskriva en position med två koordinater:  $(x, y)$ .

Om en mobil befinner sig på positionen  $(x_0, y_0)$  och en basstationen befinner sig på positionen  $(x_1, y_1)$  så beräknar vi avståndet med hjälp av den klassiska avståndsformeln

$$d = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}, \quad (1)$$

som följer av Pythagoras sats. Vi låter  $x_0, x_1, y_0, y_1$  vara angivna i meter och då blir också avståndet  $d$  i meter.

Anta att mobilen eller basstationen skickar iväg signaler med effekten  $P$  (i Watt). Signalerna kommer försvagas med avståndet  $d$ . En enkel modell för detta är att effekten avtar som  $P/(1+d)^\kappa$ . Med andra ord är effekten  $P$  för  $d = 0$  (inget avstånd) och den avtar som  $P/d^\kappa$  när avståndet  $d$  är mycket större än en meter. Exponenten  $\kappa$  är lika med 2 ifall det *inte* finns några störande objekt (t.ex. byggnader eller asfalt) i närområdet, medan mätningar av  $\kappa$  i stadsmiljöer ger värden i spannet 3-6.

Problemet med att signaleffekten minskar med avståndet är att den mottagna signaleffekten ska jämföras med bruseffekten på mottagaren. Låt  $\sigma^2$  beteckna bruseffekten (i Watt). Då är signal-brus-förhållandet definierat som

$$\frac{P}{(1+d)^\kappa \sigma^2} \quad (2)$$

i vår modell. Detta uttryck ska helst ska vara mycket större än 1, eftersom den mottagna signaleffekten  $P/(1+d)^\kappa$  då är mycket starkare än bruseffekten  $\sigma^2$ .

Utifrån signal-brus-förhållandet kan man beräkna datatakten som

$$R = \begin{cases} 0, & \frac{P}{(1+d)^\kappa \sigma^2} < 0.3 \\ B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{(1+d)^\kappa \sigma^2} \right), & 0.3 \leq \frac{P}{(1+d)^\kappa \sigma^2} \leq 63 \\ B \log_2 (1 + 63), & \frac{P}{(1+d)^\kappa \sigma^2} > 63 \end{cases} \quad [\text{bit/s}] \quad (3)$$

där  $B$  är bandbredden (i Hertz) och logaritmen av "ett plus signal-brus-förhållandet" ger antalet bitar av information som man kan överföra per sekund per Hertz av bandbredd. Vi förväntar oss inte att ni ska förstå var denna formel kommer ifrån (detta kan ni lära dig i senare kurser), utan bara applicera den i detta projekt. Som synes från (3) så är datatakten noll ifall signal-brus-förhållandet är lägre än 0.3. Detta nummer kommer från en 4G-standard för mobiltelefoni och säger att den mottagna signaleffekten inte får bli för liten. Detta är vår definition av att inte ha täckning: datataken är noll. Den mittersta formeln i (3) ger ett större värde ju högre signal-brus-förhållandet är, men när det passerar 63 så kan datatakten inte bli högre. Detta är en sorts hårdvarubegränsning som kommer från verkliga system.

För att få praktiskt rimliga resultat så kan ni använda parametervärdena  $P = 1$  Watt,  $B = 10$  MHz, exponenten  $\kappa = 4$  och bruseffekten  $\sigma^2 = 10^{-11.2}$  Watt.

## 2.2 Beräkna avstånd mellan en basstation och en mobil

Börja med att skriva en funktion som beräknar avståndet mellan en mobil och en basstation. Förslagsvis finns det fyra inargument: två parametrar för mobilens position ( $x_0$  och  $y_0$ ) och två parametrar för basstationens position ( $x_1$  och  $y_1$ ). Beräkna avståndet med hjälp av formeln i (1) och returnera avståndet från funktionen.

Testa din funktion med några enkla positioner. Om mobilen har position  $(x_0, y_0) = (50, 15)$  och basstationen har position  $(x_1, y_1) = (10, -15)$ , då ska avståndet bli 50 meter.

## 2.3 Beräkna avstånd mellan en basstation och flera mobiler

Modifiera din funktion så att den kan beräkna avståndet mellan en basstation och flera mobiler på olika positioner. Använd lika många inargument som tidigare, men låt  $x_0$  och  $y_0$  vara *matriser* där varje uppsättning element (som har samma index) beskriver positionen för en mobil.

Testa din funktion med några enkla positioner för mobilerna.

## 2.4 Skapa ett täckningsområde och visualisera avstånden

Nu testar ni funktionen i fallet då basstation befinner sig i origo ( $x_1 = y_1 = 0$ ) och mobilen är någonstans i området  $0 \leq x_0 \leq 1000$  meter och  $0 \leq y_0 \leq 1000$  meter. Funktionen `meshgrid` kan användas för att skapa matriser som representerar olika mobilpositioner. Beräkna avståndet till basstationen för varje position med hjälp av funktionen från föregående avsnitt.

Plotta resultatet i en tre-dimensionell graf där två av dimensionerna är positioner och den tredje är avståndet från basstationen. Sätt ut namn på axlarna och verifiera att skalorna och siffrorna är korrekta. För en mobil i origo ska avståndet vara noll och för en mobil i positionen  $x_0 = y_0 = 1000$  ska avståndet vara cirka 1414 meter.

Tips: Om avståndet mellan varje mobilposition är alltför kort så kan grafen bli "tung" för MATLAB att rita upp och det blir svårt att rotera den. Testa med olika avstånd mellan mobilerna (t.ex. 1 meter, 10 meter och 50 meter) och se vad som händer!

## 2.5 Beräkna signal-brus-förhållanden och visualisera

Nu skapar ni en funktion som tar en matris med olika avstånd som inparameter (t.ex. en sådan som skapades i föregående avsnitt) samt även signaleffekten  $P$ , bruseffekten  $\sigma^2$  och exponenten  $\kappa$ . Funktionen ska beräkna signal-brus-förhållandet i (2) och returnera en matris som innehåller detta förhållande för varje avstånd i matrisen.

Plotta resultatet i en tre-dimensionell graf där två av dimensionerna är positioner och den tredje är signal-brus-förhållandet. Sätt ut namn på axlarna och verifiera att skalorna och siffrorna är korrekta genom att sätta in några olika siffror i formeln (2). Tips: Grafen kommer ha extremt höga värden nära basstationen. Kan man göra något åt detta?

## 2.6 Beräkna datatakt och visualisera täckningen

Nästa steg är att skapa en funktion som tar en matris med olika signal-brus-förhållanden som inparameter (t.ex. en sådan som skapades i föregående avsnitt) och returnerar datatakten för varje värde i enlighet med formeln i (3).

Tips: När man har en dubbel olikhet som  $0.3 \leq x \leq 63$  så kan denna inte implementeras genom att skriva `0.3 <= x <= 63`. Då kommer nämligen MATLAB först beräkna `0.3 <= x` och sedan kontrollera om resultat (1 för sant och 0 för falskt) är mindre än 63. Ni måste hitta ett annat sätt att implementera detta på!

Plotta resultatet i en tre-dimensionell graf där två av dimensionerna är positioner och den tredje är datatakten. Sätt ut namn på axlarna och verifiera att skalorna och siffrorna är rimliga (t.ex. att det maximala och minimala värdet är enligt (3)). Det kan vara värt att använda enheten Mbit/s för datatakten, istället för bit/s, och därmed dela alla datatakt med  $10^6$ .

## 2.7 Sätt ut flera basstationer

Modifiera era tidigare funktioner så att de kan hantera mer än en basstation. Håll exemplet i Figur 1 i åtanke, men se till så att din slutliga implementation kan hantera ett godtyckligt antal basstationer. Förslagsvis kan  $x_1$  och  $y_1$  nu vara vektorer där varje par av element motsvarar positionen av basstationen. Varje mobil ansluter till den basstation som ger den högsta signal-brus-förhållandet.

Ni ska se till så att ni har en slutlig funktion som löser hela problem genom att anropa andra funktioner som ni skrivit. Ni kan välja in- och utargument som ni vill och även döpa er slutliga funktion på valfritt sätt, så länge som det beskriver dess innehåll för en potentiell användare (den ska alltså inte heta `uppgift2.7.m` eller liknande). Ett förslag är att döpa och definiera funktionen på följande vis:

```
>> datarates = cellcoverage(X0,Y0,x1,y1,bandwidth,P,sigma2,kappa)
```

**Tips:** Högst signal-brus-förhållande är detsamma som kortast avstånd. Om ni först beräknar det kortaste avståndet från varje mobilposition till någon av basstationerna (vilket är olika basstationer för olika positioner) så kan ni sedan återanvända resten av koden utan att behöva ändra något.

Plotta datatakterna för exemplet i Figur 1 och verifiera att resultatet är symmetriskt och justera antalet positioner så att grafen ser snygg ut. Använd en liknande typ av tre-dimensionell graf som tidigare.

## 2.8 Statistik kring datatakt och täckning

Avslutningsvis ska ni beräkna statistik över vilka datatakt som en användare kan förvänta sig. Eftersom användare är omedveten om var basstationerna finns så ska ni anta att användaren kan vara var som helst i ett täckningsområdet (t.ex. det gulfärgade i Figur 1) med samma sannolikhet.

Plotta datatakterna för olika mobilpositioner med hjälp av ett histogram med ett rimligt antal staplar. Beräkna sannolikheten för att inte ha täckning (dvs. vilken procent av mobilpositioner som ger noll i datatakt) och medelvärdet av datatakterna.

Ni kan fundera över vilken datatakt som man bör marknadsföra mobilnätet i Figur 1 med. Vad kan man garantera till en användare? Vad händer ifall man minskar/ökar avstånden mellan basstationerna? Vad händer ifall man minskar/ökar signaleffekten  $P$ ?

## 2.9 Förberedelse inför redovisning

Som en förberedelse inför att presentera projektet bör ni läsa igenom avsnittet "Redovisning" i början av detta dokument samt läsa examinations- och kodningsstil-guiden som ni hittar på kurshemsidan. På dessa ställen framgår saker som att ni måste ha minst två funktioner i er kod, funktioner och variabler måste ha beskrivande namn, det ska finnas en rimligt mängd kommentarer i koden, alla bilder ska vara självförklarande, etc. Om det är något av kraven i examinations- och kodningsstil-guiden som ni *inte* uppfyller så bör ni åtgärda detta *innan* ni redovisar projektet, annars kanske ni får vänta länge på att få en andra redovisningschans.

Slutligen: Glöm inte att skicka in koden till Urkund, när ni blivit godkända. Instruktionerna finns i avsnittet "Redovisning" i början av detta dokument.

### 3 Frivilliga extrauppgifter

I det här avsnittet beskrivs några frivilliga extrauppgifter. Ifall ni är vana programmerare och känner att projektet var för enkelt så rekommenderar vi att ni även gör några av dessa extrauppgifter, så att ni lär känna MATLAB ordentligt.

**Skuggfädning:** Modellen för att beräkna signal-brus-förhållandet i (2) är förenklad gentemot verkligheten. Beroende på om byggnader och träd "skuggar" vägen mellan användaren och basstationen eller inte så kan den mottagna signalstyrkan variera väsentligt. Detta fenomen kallas för skuggfädning. Ett vanligt sätt att modellera detta på är att ersätta uttrycket för signal-brus-förhållandet i (2) med

$$\frac{P}{z(1+d)^{\kappa}\sigma^2} \quad (4)$$

där  $z$  är en slumpvariabel som har en log-normalfördelning. Det innebär att  $z = 10^{\zeta}$  där  $\zeta$  är normalfördelad. Förändra era funktioner så att signal-brus-förhållandet beräknas i enlighet med (4) och anta att  $\zeta$  är olika på olika positioner. Låt  $\zeta$  ha medelvärdet 0 och gör variansen till en inparameter. Ett typiskt värde på variansen för  $\zeta$  är 0.6.

**Nedlänk och upplänk:** Signaler som skickas från en basstation till en mobil kallas för nedlänken, medan signaler från en mobil till en basstation kallas för upplänken. Ofta kan skillnaden i signaleffekt vara väsentlig mellan upplänken och nedlänken. En typisk batteridrivna mobil har en maximal signaleffekt på 0.2 Watt medan en basstation kan skicka ut 20 Watt. Detta är en väsentlig skillnad som gör att datatakten ofta är olika i nedlänken och upplänken. Jämför datatakterna och särskilt hur det påverkar täckningen.

Ett enkelt sätt att "förlänga" täckningen är att koncentrera signaleffekten över en del av bandbredden  $B$ . Om man minskar bandbredden med en faktor  $c$ , till  $B/c$ , så minskar också bruseffekten till  $\sigma^2/c$ . Utnyttja detta för att hantera de fall då täckningen i upplänken inte räcker till.

**Flera aktiva användare:** Ifall det finns flera aktiva mobiler så får dessa dela på den tillgängliga bandbredden. Slumpa ut ett visst antal användare (antalet är en inparameter) i området i Figur 1 och räkna ut hur många användare som ansluter till varje basstation. Anta att varje basstation delar bandbredden jämnt mellan sina användare (såsom det beskrivs i föregående uppgift) medan användare som ansluter till olika basstationer inte påverkar varandra. Plotta olika histogram för att visa hur medeldataakten för en användare beror på antalet aktiva användare.