



LUND UNIVERSITY

Minimal Problems and Applications in TOA and TDOA Localization

Burgess, Simon

2016

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Burgess, S. (2016). *Minimal Problems and Applications in TOA and TDOA Localization*. [Doctoral Thesis (compilation), Centre for Mathematical Sciences]. Lund University (Media-Tryck).

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Populärvetenskaplig sammanfattning

Hur kan man med endast hjälp av inspelningar från ett fåtal snabbt utplacerade mikrofoner och bakgrundsljud, lokalisera var intressanta ljud och vart mikrofonerna är positionerade? Den här avhandlingen hjälper till att besvara delar i den frågan; hur många mikrofoner behövs, för vilka positioner av mikrofonerna och ljud är det ens teoretiskt möjligt att beräkna positionerna, och hur beräknar man positionerna när väl specifika ljud har matchats mellan olika inspelningar är delar av vad som besvaras.

Mycket av den tidigare forskningen på detta område behandlar hur man lokaliserar en källa när en dator redan vet positionerna på mottagarna. Källan kan här vara en ljud- eller radiosändare, och mottagarna kan vara respektive mikrofoner eller antenner. Nyttan med att kunna beräkna både källornas och mottagarnas positioner samtidigt är att man dels kan kalibrera sina mottagares positioner för att kunna dra nytta av all den tidigare forskning som gjorts där mottagarpositionerna måste vara kända, utan att noggrant behöva mäta upp hur de förhåller sig eller bygga en fast rigg av mottagare. Det öppnar också upp för applikationer där man vill lokalisera ljud- eller radiokällor utan att ha en förkalibrerad rigg av mottagare.

Lokalisering med hjälp av ljud då man har kända mätpositioner har gjorts i teorin redan 1739 av Jonas Meldercreutz. Det hypotiserades då att det kunde användas till att lokalisera fienders kanoner. Men det var först under 1900-talet som beräknad ljudlokalisering börjades användas i praktiken. Under första världskriget användes förutbestämda positioner med mikrofoner för att beräkna vart fiendernas artilleri sköt ifrån. Idag är det många applikationer med ljud- och radiolokalisering, t.ex. undervattenssonar, att spåra en ljudkälla, att förstärka signalen från en viss källa när man väl lokaliserat den, eller interaktioner mellan robot och människa. Positionering med hjälp av GPS är en förlängning av samma teori, men med radiosignaler från satelliter med kända positioner. Inomhus, där GPS-signaler ofta inte fungerar, används WiFi-signaler för att göra lokalisering av antennerna i t.ex. mobiltelefoner.

I den här avhandlingen fokuserar vi på att beräkna både sändares och mottagares positioner, vare sig det handlar om radio eller ljud, under vissa förutsättningar: Vi vet hur snabbt signalerna sprider sig i mediet det färdas i, samt att en mottagare kan urskilja vilken källa ljudet kommer ifrån. Under de förutsättningarna kan man, om man vet när signalen sändes, mäta avstånd mellan mottagare och sändare. Detta kallas Time Of Arrival (TOA). Eller, om man inte vet när signalen sändes, kan man mäta skillnaden i avstånd från en källa till två olika mottagare. Detta kallas Time Difference Of Arrival (TDOA). En del av avhandlingen handlar om att beräkna sändares och mottagares positioner från TOA-mätningar, en del handlar om att beräkna sändares och mottagares positioner från TDOA-mätningar och mätningar när mottagarna inte har synkroniserade klockor. Då kan man inte mäta avståndsskillnader från en källa till två olika mottagare, utan måste samtidigt beräkna klocksynkroniseringen. Detta öppnar upp för intressanta applikationer, där man har antenner eller mikrofoner som inte behöver vara kopplade till samma dator. Den sista artikeln handlar om inomhuslokalisering med hjälp av mobiltelefoner, där GPS sällan fungerar eller fungerar dåligt, och vi utnyttjar det ofta extensiva WiFi-nätverk man ofta hittar inomhus i moderna byggnader. Även här beräknar vi samtidigt mottagares, här telefoners position i mätögonblicket, och sändares, dvs. WiFi-stationer, positioner samtidigt, med hjälp av endast signalstyrka. Man slipper då att i förväg

mäta upp radiomiljön, och beskriva för datorn vart alla WiFi-stationer sitter. Nackdelen blir en försämrad precision mot tidigare forskning, där man uppmätt meterprecision, medan jämfört med våra metoder har sett precision runt 10-20 meter.

För att beräkna både mottagares och sändares positioner utifrån TOA- och TDOA-mätningar, använder vi verktyg från den matematiska grenen linjär algebra, samt ekvationssystem av polynom med flera okända variabler. Flera intressanta matematiska resultat nås, t.ex. att det behövs minst fyra mikrofoner och sex ljud som hörs av alla mikrofonerna för att beräkna positionerna av mikrofonerna och ljuden i tre dimensioner, samt en matematiskt recept för hur man ska beräkna positionerna för de sex ljuden och fyra mikrofonerna snabbt och precist.

Att beräkna positionerna med så få ljud och mikrofoner som möjligt är användbart när man har TOA- eller TDOA-mätningar där några av dem har blivit ordentligt felaktiga. Om man har många mätningar där några av dem är mycket felaktiga, finns det metoder där man genom att upprepade gånger beräkna positioner för ljud och mikrofoner, med så få mätningar som möjligt, se vilka mätningar som blivit felaktiga och sedan utesluta dessa. Avhandlingen bidrar med flera matematiska beräkningar för hur man ska göra detta i praktiken, samt simulerade resultat för att visa hur bra dessa metoder är på att samtidigt positionera källor och mottagare och upptäcka och förkasta felaktiga mätningar. Att en del av mätningarna blir mycket felaktiga är en vanligt förekommande situation då man mäter både ljud och radio. För ljud görs t.ex. TDOA-mätningar genom att man matchar liknande ljudmönster mellan de upptagna ljudsignalerna från mikrofonerna. Liknande ljudmönster mellan olika mikrofoners signaler gör att man kan mäta tidsskillnaden mellan då ljuden upptagits på mikrofonerna, och på så vis få en TDOA-mätning. När en sådan matchning blir fel, får man ofta ordentligt felaktiga TDOA-mätningar.

Många resultat som kan visualiseras geometriskt nås och presenteras i avhandlingen, som att när ljuden kommer långt bortifrån i förhållande till hur nära mikrofonerna står varandra, kommer vägskillnaderna mellan ljudet till mikrofonerna, och ljudet och en referensmikrofon ligga på en utdragen sfär, eller så kallad ellipsoid. Centrumet för ellipsoiden ger också hur synkroniseringen för mikrofonernas klockor ska göras, om de inte är kopplade till samma dator när ljudet tas upp.

För att beräkna både telefon och WiFi-stationers position använder vi en så kallad parametrisk modell över hur signalstyrkan avtar. Parametrisk betyder här att den matematiska modellen över hur stark signalen är på ett visst avstånd bestäms av ett par parametrar, eller okända tal. Dessa, tillsammans med positionerna för telefonerna och WiFi-stationerna, beräknas med hjälp av olinjär optimering, som är ett samlingsnamn på metoder där man först designar en matematisk formel så att när talet som kommer ut ur den blir litet, är de talen man stoppar in formeln bra. Här stoppar vi in positionerna, parametrarna för WiFi-signalstyrkan, och de uppmätta signalstyrkorna, samt ett par få GPS-låsningar man ofta får vid ingångarna av byggnaderna. Under optimeringen ändrar vi på positionerna samt parametrarna till funktionen får ett litet värde, och dessa positioner och parametrar är de sedan de slutligen beräknade. Olinjär optimering är ett brett fält, och bidraget här är hur man sätter upp funktionen och använder mätvärdena, de data vi bidrar med från de uppmätta byggnaderna, samt resultaten.