

## GPS baseret tracking af mobile objekter

*Christian S. Jensen, Aalborg Universitet og & Kristian Torp, Aalborg Universitet*

Denne artikel beskriver hvorledes man med eksisterende teknologi, herunder Global Position System og General Packet Radio Service, effektivt kan tracke mobile objekter som f.eks. køretøjer med en garanteret nøjagtighed. Først beskrives den teknologiske platform. Herefter beskrives tre forskellige teknikker til at tracke mobile objekter. Teknikkerne bliver gradvis mere avancerede. De tre teknikker evalueres, og omkostningen for at tracke et mobilt objekt med en nøjagtighed på cirka 150 meter estimeres til mindre end 1 kr. pr. døgn baseret på priser fra et forsøg udført i 2004.

### Introduktion

I dag anvendes Global Position System (GPS) bredt i både professionel og privat sammenhæng, ofte til navigation. Der sælges GPS enheder og navigationsanlæg som aldrig før. Denne udvikling skyldes i høj grad, at GPS løser et konkret problem og at GPS enhederne nu har nået et prisniveau, hvor "alle" kan være med. GPS modtagere og navigationsanlæg ses nu som tilbudsvare i Bilka og Brugsen.

En anden teknologi, der også er meget udbredt, er det såkaldte mobile Internet. Her anvendes ofte General Packet Radio Service (GPRS) teknologien, hvor man med en såkaldt 2,5 generations GSM

mobiletelefon (eller modem indbygget i en anden enhed) kan sende og modtage emails eller browse på Internettet via mobiletelefon.

Kombination af den vide udbredelse af GPS og GPRS giver mange muligheder for nye services, der retter sig mod mobile brugere. En del af disse services betjener sig af det, der kaldes tracking. Her holder en central server i realtid styr på, hvor en population af mobile objekter, f.eks. biler, aktuelt befinder sig. Her bliver GPS brugt til positionering af de mobile objekter, og GPRS bruges til at indrapportere positionerne til serveren. Dette giver f.eks. mulighed for at forudsige trafikløb og at fortælle bilisterne om de køer, der er relevante for dem. En anden anvendelse er at følge medarbejdere hos sikkerhedsfirmaer så som Falck eller Securitas eller medarbejdere ved politiet fra centralt hold, således at medarbejderne oplever en større tryghed.

Hvis de indrapporterede positioner gemmes på serveren, giver dette mulighed for nærmere at analysere, hvordan de enkelte mobile objekter bevæger sig. Ved sådanne analyser har det vist sig, at op mod 80 procent af alle ture foretaget med bil har en destination som f.eks. arbejde, skolen eller hjemmet (vi er altså "vanedyr",

når vi kører). Med sådanne informationer om det enkelte køretøj bliver mere avancerede og personlige services også mulige. Man kan forestille sig, at når en person sætter sig i sin bil mandag morgen 7.30, så beregner systemet, at den typiske rute og destination for dette køretøj er arbejdspladsen. Hvis systemet samtidig ved, at der er sket et færselsuheld på ruten, så der er problemer med fremkommeligheden, kan systemet melde dette tilbage til føreren og samtidig forslå alternative ruter.

Et antal tekniske udfordringer skal løses før de avancerede services kan stilles til rådighed for et bredt publikum. To af disse udfordringer er (1) hvordan køretøjer kan trackes med en garanteret nøjagtighed, dvs. at et køretøjs faktiske position f.eks. er maksimalt 200 meter fra den position, som serveren antager, at der gælder for køretøjet og (2) hvordan omkostningerne for kommunikationen mellem køretøjer og server samt opdateringerne på serveren kan holdes nede. Vi vil i denne artikel se nærmere på disse to udfordringer. Specielt vil vi undersøge, hvorledes de kan løses vha. GPS og GPRS, der som sagt allerede er vidt udbredte. Artiklen bygger på de referencer, der er angivet til sidst i artiklen.

## Arkitektur

I dette afsnit vil de grundlæggende antagelser for et system til tracking af køretøjer blive diskuteret. Herudover vil den bagvedliggende arkitektur at et sådant system blive beskrevet sammen med den tekniske udfordring ved at udføre tracking.

Det antages, at alle køretøjerne bevæger sig rundt i et vejnetværk og at hvert køretøj er udstyret med en GPS modtager samt et GPRS modem (eventuelt i form af en moderne mobiltelefon), der muliggør datakommunikation med en central server.

En hovedkomponent i trackingarkitekturen er en bagvedliggende server, der regelmæssigt modtager beskeder fra køretøjerne om, hvor de befinder sig lige nu. Serveren gemmer disse beskeder og bruger dem til at forudsige, hvor køretøjerne vil være i den nærmeste fremtid. Disse beregnede, fremtidige positioner er naturligvis kvalificerede gæt, baseret på køretøjernes nuværende og

tidligere positioner. De fremtidige positioner kan beregnes på forskellige måder – dette uddybes senere.

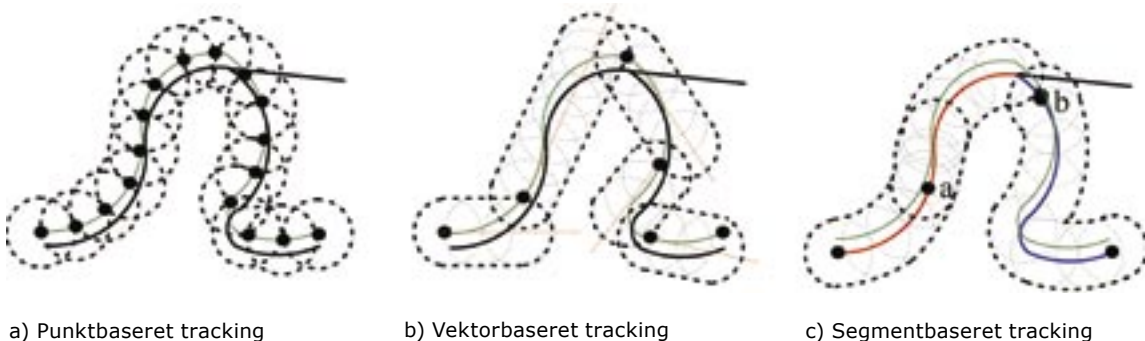
For at muliggøre tracking med en forudbestemt nøjagtighed er det nødvendigt, at hvert køretøj kender den position som serveren aktuelt tror, at køretøjet har. Hvert køretøj modtager med jævne mellemrum, typisk hvert sekund, sin nuværende position via GPS modtageren. Når dette sker, sammenlignes denne faktiske position med den position som serveren antager, at køretøjet har (og som køretøjet kender). Hvis forskellen mellem disse to positioner er inden for den forud aftalte nøjagtighed, så sker der intet. Er afvigelsen derimod større, sendes en opdatering fra køretøjet til serveren med køretøjets faktiske position.

Når serveren modtager en opdatering af et køretøjs position gemmes denne, og serveren laver en ny forudsigelse af, hvor køretøjet vil befinde sig i den nærmeste fremtid. Denne forudsigelse, som

generelt er en funktion, der tager et tidspunkt som argument og returnerer en position, sendes tilbage til køretøjet. Der ligger den væsentlige tekniske udfordring i at lave gode forudsigelser af de fremtidige positioner for et køretøj. Kvaliteten af disse forudsigelser samt den nøjagtighed, hvormed et køretøjs position skal kendes på serveren, er afgørende for hvor ofte, der må kommunikeres mellem køretøj og server.

## Tracking teknikker

Forskellige teknikker kan anvendes til forudsigelse af et køretøjs fremtidige positioner. Den ideelle teknik er både nøjagtig i sine forudsigelser samt hurtig at foretage. Det skal gerne være hurtigt at udregne forudsigelserne, for ellers vil løsningen ikke skalere til mange køretøjer. Metoden skal være nøjagtig for at minimere kommunikationsomkostningerne. I dette afsnit beskrives tre forskellige teknikker til beregning af et køretøjs fremtidige positioner, som er kendetegnet ved forskellig hurtighed og nøjag-



Figur 1: Tre teknikker til forudsigelse af et køretøjs fremtidige positioner.

tighed. De tre teknikker er illustreret i figur 1.

De (ens) fuldt optrukne kurver i figur 1a, 1b og 1c angiver vejnetværket, et køretøj bevæger sig på (cirka et omvendt U med vandret afstikker til venstre øverst). De sorte prikker er forskellige positioner, som et køretøj har indrapporteret til serveren. I dette tilfælde har køretøjet bevæget sig fra venstre mod højre. De stiplede cirkler og "pølseformer" angiver nøjagtigheden hvormed serveren skal kende køretøjets position.

### **Punktbaseret tracking**

Punktbaseret tracking er illustreret i figur 1a. Med denne teknik er serverens beregning af et køretøjs fremtidige positioner meget simpel og hurtig: De fremtidige positioner er den nyeste position, der er indrapporteret af køretøjet. Hvis den ønskede nøjagtighed er 200 meter vil køretøjet derfor sende en opdatering til serveren for cirka hver 200 meter køretøjet tilbagelægger, hvis køretøjets bevægelse er retningsbestemt. Hvis køretøjet holder stille, sker der ingen opdateringer. Denne teknik er meget hurtig, og kommunikation fra serveren til køretøjet efter en opdatering af køretøjets position kan undgås, fordi køretøjet allerede kender de "beregne" fremtidige positioner.

### **Vektorbaseret tracking**

Vektorbaseret tracking er illustreret i figur 1b. De fremtidige positioner for et køretøj er beregnet ud fra den sene-

ste indrapporterede position samt en vektor, der angiver retning og fart for køretøjet. Retningen er specificeret som en kompasretning, f.eks. 90 grader, og hastigheden er i meter per sekund (m/s), f.eks. 16 m/s. Begge disse værdier fås fra de seneste GPS data, der er modtaget af køretøjet. Bemærk at punktbaseret tracking kan ses som et specialtilfælde af vektorbaseret tracking, hvor nulvektoren bruges. Som det er indikeret i figur 1a og 1b, vil vektorbaseret tracking oftest give færre opdateringer end punktbaseret tracking. Generelt vil opdateringerne foregå, når køretøjet skifter retning f.eks. fordi vejen drejer (som vist i figur 1 b) eller når køretøjet et stykke tid har kørt med en fart, der enten er væsentligt mindre eller større end den antagede hastighed. Det kan ske f.eks. ved deceleration og acceleration før og efter et lyskryds. Vektorbaseret tracking er næsten ligeså hurtig at beregne som punktbaseret tracking, og kommunikationen fra server til køretøj efter en opdatering kan igen undgås.

### **Segmentbaseret tracking**

Segmentbaseret tracking er illustreret i figur 1c. Ideen er her at anvende viden om det vejnetværk, køretøjerne bevæger sig i. Vi antager således, at vi har en digital repræsentation af vejnetværket til rådighed. Hver vej er i en sådan repræsentation delt op i en række mindre segmenter, som hvert er repræsenteret som en såkaldt poly-

linie, der igen er en række af sammenhængende liniestykker. Disse segmenter modellerer centerlinierne for vejene. Det digitale vejnetværk er gemt på serveren, og når den modtager en opdatering fra et køretøj, så afbildes køretøjets position først til et punkt på et segment. Serveren beregner de fremtidige positioner for køretøjet ved at antage, at køretøjet fortsætter på det samme segment med konstant fart. Den fart, der bruges er, som for den vektorbaserede måde, den fart der er modtaget med den seneste GPS position. Som vist på figur 1c behøver det, at vejen drejer ikke at medføre, at køretøjet sender en opdatering, som det typisk er tilfældet for vektorbaseret tracking. Desuden indikerer figur 1b og 1c, at de vektorbaserede og segmentbaserede teknikker cirka kræver opdatering lige ofte, med en lille forbedring for den segmentbaserede.

Segmentbaseret tracking er den mest beregningstunge, fordi køretøjets GPS position skal relateres til et segment. Yderligere er det nødvendigt at sende de beregnede, fremtidige positioner tilbage til køretøjet, der har opdateret serveren. Det kan gøres ved at sende køretøjets segment og dets aktuelle position på segmentet tilbage til køretøjet. Hvis køretøjet i forvejen har det digitale vejnet, behøver serveren ikke sende segmentet.

Bemærk at kvaliteten og dækningen af den digitale re-

præsentation af vejnettet er væsentlige for segmentbaseret tracking. Kan serveren ikke afbilde et køretøjs GPS position til en position på et segment, kan denne tracking teknik ikke anvendes. I det tilfælde anvendes vektorbaseret tracking. Når det samme køretøj igen sender en opdatering til serveren, vil denne så igen først forsøge at relatere den nye GPS position til et segment.

### **Forbedringer af segmentbaseret tracking**

Segmentbaseret tracking er den bedste af de tre teknikker til at beregne et køretøjs fremtidig positioner. Det skyldes, at den bruger et større datagrundlag (det digitale vejnetværk) end de to andre teknikker. Vi vil derfor inden vi begynder at lave samlinger af de tre teknikker introducere tre forskellige typer af forbedringer af segmentbaseret tracking, som er mulige, fordi denne anvender et digitalt vejnet.

Den første type af forbedring er at modificere det digitale vejnet således, at det bliver mere velegnet til tracking. En første modifikation er at sætte korte segmenter, der beskriver dele af vejnettet med det samme vejnavn, sammen til færre og længere segmenter. Længden af segmenterne har en væsentlig indflydelse på, hvor ofte et køretøj sender en opdatering til serveren. Når segmenter bliver længere vil et køretøj ikke så ofte nå enden på et segment (når det sker, så

forbliver den forudsagte position ved enden, og det resulterer så hurtigt i en opdatering). Denne modifikation kan forbedres ved at man omhyggeligt vælger de segmenter, der sættes sammen. Når man har flere muligheder for at forlænge et segment bør man vælge at forlænge med et segment, der efterfølgende kan forlænges. Dette er en forbedring, fordi navngivne veje kan indeholde sideveje (eksempelvis i villakvarterer). En anden forbedring er at vælge at forlænge med segmenter, der har samme retning. Det er en forbedring, fordi vi kan forvente, at køretøjer vil forsøge at køre så direkte som muligt til deres destinationer.

Den næste type af forbedring er at etablere og anvende såkaldte ruter i stedet for segmenter. En rute er en samling af segmenter, der ofte bliver kørt på af et køretøj i forlængelse af hinanden. Man kan tænke på ruter som en slags supersegmenter – formelt er de blot meget lange polylinier. Ruterne findes ved at spørge på alle de positioner, som alle køretøjer tidligere har indrapporteret til serveren og se hvilke positioner, der tidsmæssigt hører sammen for hvert enkelt køretøj. Når de oftest anvendte segmenter sættes sammen, dannes en profil for, hvilke trafikårer både det enkelte køretøj og alle køretøjerne samlet set anvender mest. For et bestemt køretøj kan der f.eks. danne sig en rute fra ejerens bopæl til ejerens arbejds-

plads og omvendt. Tilsvarende kan der for alle køretøjer danne sig en rute fra Aalborg midtby til Aalborg Lufthavn, fordi mange taxier kører denne tur hver dag.

Den sidste type af forbedring er at beregne såkaldte accelerationsprofiler for de enkelte ruter. Ideen er, at hvis en person kører fra sin bopæl til sit arbejde på cirka samme tidspunkt hver dag, vil det tage omtrent samme tid. Som et eksempel kan det være at et køretøj efter 35 sekunder passerer Brugsen, efter 143 sekunder passerer biblioteket, efter 342 sekunder passerer skøjtehallen og så ankommer til arbejdspladsen efter 512 sekunder. Accelerationsprofiler er mere nøjagtige end at antage, at et køretøj bevæger sig med konstant fart.

### **Evaluering af tracking teknikkerne**

Vi har indtil videre blot beskrevet forskellige tracking teknikker samt fortalt lidt om vores forventninger til, hvor gode de forskellige teknikker faktisk er. Nu ser vi nærmere på, hvor mange opdateringer de forskellige teknikker giver anledning til, når vi bruger dem til tracking af biler med forskellige nøjagtigheder. Desuden estimerer vi de faktiske omkostninger i kroner ved tracking ved brug af GPRS.

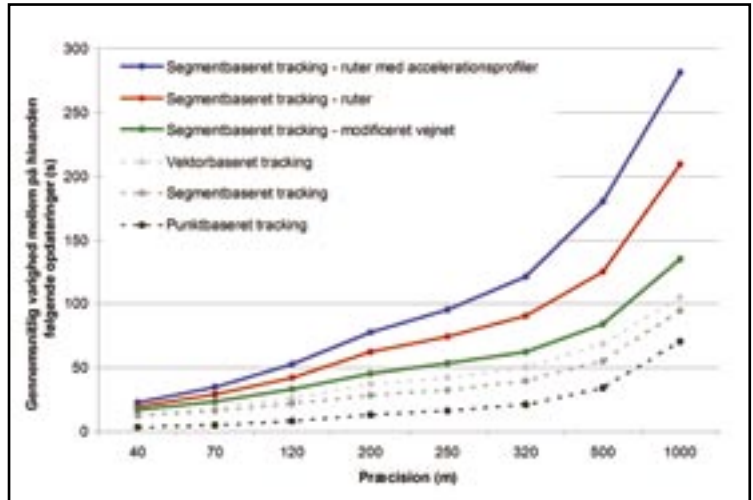
De seks forskellige teknikker er alle implementeret i database management systemet Oracle. Datagrundlaget for un-

dersøgelsen af antal opdateringer er baseret på 458.000 GPS målinger fra fem køretøjer, der i knap to måneder i år 2001 har kørt rundt i Aalborg-området. Der er anvendt et digitalt vejnet for at muliggøre segmentbaseret tracking. En nærmere beskrivelse af disse data og vejnetværket findes i (Jensen et al., 2004). Mere detaljerede sammenligninger af tracking teknikkerne findes i (Civilis et al., 2005, Jensen et al., 2005). For at estimere omkostninger i kroner ved at bruge de forskellige teknikker anvendes data fra Remote projektet (Lahrmann & Torp 2004, Torp & Lahrmann 2004). I dette projekt fik ti taxier installeret specialudstyr, der muliggjorde online overvågning af taxierne samt indrapportering af trafikker i Aalborg-området. De ti taxier blev udstyret med GPS enheder og GPRS modemer. Opsætningen i Remote projektet er derfor meget overensstemmende med den opsætning, der skal til for at kunne lave tracking.

Figur 2 viser en sammenligning af antal opdateringer for de seks tracking teknikker. På x-aksen er angivet den nøjagtighed (varierende fra 40 meter til 1000 meter), hvorved tracking skal foretages. På y-aksen finder vi det gennemsnitlige tidsrum, målt i sekunder, mellem to på hinanden følgende opdateringer sendt fra et køretøj til serveren. Med punktbaseret tracking skal der sendes en opdatering fra hvert køretøj til serveren cirka hvert femte

sekund, hvis køretøjerne skal trackes med en nøjagtighed på 40 meter. Det modificerede vejnet er et vejnet, hvor alle de tre modifikationer beskrevet tidligere er udført. En tracking teknik er bedre desto sjældnere, der behøves

effektiviteten af segmentbaseret tracking forbedres væsentligt med de forbedringsmuligheder, der er beskrevet her i artiklen. Hvis det underliggende vejnetværk ændres ved at forlænge segmenterne (se (Civilis



Figur 2 Sammenligning af varighed mellem opdateringer for forskellige nøjagtigheder.

at blive sendt opdateringer. Som det fremgår af de tre nederste stiplede linier i figuren er punktbaseret tracking den dårligste. Herefter følger segmentbaseret og vektorbaseret tracking. Det er forventet, at den punktbaserede teknik ville være den mindst effektive, da denne blot gemmer den nyeste opdatering. Det er en overraskelse, at den vektorbaserede teknik er bedre end den segmentbaserede. Dette skyldes, at segmenterne i det digitale vejnet, der er anvendt, er meget korte.

Hvis der ses på de tre øverste linjer i figuren ses det, at

et al., 2005) for detaljer) bliver segmentbaseret tracking bedre end den vektorbaserede. Den segmentbaserede teknik kan yderligere forbedres ved at anvende ruter samt ruter med tilhørende accelerationsprofiler. I det sidste tilfælde behøves der kun at sendes en opdatering fra hvert køretøj for hver 270 sekunder, hvis disse skal følges med en nøjagtighed på 1000 meter.

I Remote projektet modtog en central server en opdatering (inklusive en GPS position) fra ti taxier hvert femte sekund via GPRS. Til at sende

opdateringer anvendtes UDP protokollen, og hver opdatering fyldte 48 bytes. Hvis der ses på de faktiske priser for at overvåge ti taxier (i marts måned 2004) er disse (Torp & Lahrman, 2004):

- Et GSM abonnement på 56,00 kr per taxi pr. måned
- Et GPRS abonnement på 28,00 kr per taxi pr. måned
- En trafikafgift på i alt 434,92 kr

Der blev i Remote projektet kun indsendt opdateringer fra taxier, hvis der var tænding på bilen. Da det drejer sig om taxier, der kører meget (på to- eller treholds skift), vil vi antage, at alle taxierne i gennemsnit indsender opdateringer 6 timer i døgnet (denne oplysning kan desværre ikke udregnes ud fra data i Remote projektet og vi laver derfor dette estimat). Der modtages 720 opdateringer fra hver taxi pr. time (svarende til en opdatering hvert 5 sekund i 3.600 sekunder). Omkostningen for at modtage opdateringer fra en enkelt taxi pr. dag er derfor 434,92 kr / (30 dage \* 10 taxier) = 1,45 kr. Hvis dette opregnes til omkostningen per times kørsel er dette cirka 1,45 kr / 6 timer = 24 øre/time.

Vi antager, at prisen falder lineært med længden af varigheden mellem opdateringer. Det vil sige at hvis opdateringer hvert femte sekund koster 24 øre/time, så vil opdateringer hvert tiende sekund koste 12 øre/time. Med disse priser kan den bedste teknik udføre tracking af et køretøj med cirka 150 meters nøjagtighed for 72 øre pr. døgn hvis køretøjet kører i 24 timer i døgnet.

### Opsamling

Vi har i denne artikel givet en kort introduktion til hvorledes GPS og mobilkommunikation kan anvendes til at tracke køretøjer. Tracking åbner nye muligheder for services, specielt hvis det kombineres med, at de tidligere positioner for et køretøj gemmes og bruges til analyse. Vi har konkret i artiklen set på, hvorledes der kan udføres tracking med en garanteret nøjagtighed og på hvorledes kommunikationsomkostningerne kan holdes nede.

### Referencer

A. Civilis, C. S. Jensen, og S. Pakalnis, 2005. Techniques for Efficient Road-Network-Based Tracking of Moving Objects. IEEE Transactions on Knowledge and

Data Engineering, Vol. 17, No. 5, side 698-712, maj 2005.

H. Lahrman og K. Torp, 2004. Realtidsdetektering af bilkøer. Dansk Vejtidskift, <http://asp.vejtid.dk/Artikler/2004/09%5C4070.pdf>, side 61-64, september 2004.

C. S. Jensen, H. Lahrman, S. Pakalnis og J. Runge, 2004. The INFATI Data. TimeCenter Teknisk rapport TR-79, Institut for Datalogi, Aalborg Universitet, <http://www.cs.aau.dk/research/DP/tdb/TimeCenter/TimeCenterPublications/TR-79.pdf>, juli 2004.

C. S. Jensen, K. J. Lee, S. Pakalnis og S. Salenis, 2005. Advanced Tracking of Vehicles. Proceedings of the Fifth European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems, Hannover, Tyskland, juni 2005, ERTICO-ITS Europe.

K. Torp og H. Lahrman, 2004 (red.). Redskaber til monitoring af trafikken, REMOTE, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, ISP nr. 300, ISBN: 87-90893-77-8, Aalborg Universitet 2004.

### Om forfatterne

Christian S. Jensen, dr.techn, ph.d., professor, Institut for Datalogi, Aalborg Universitet, Fredrik Bajers Vej 7E 9220 Aalborg Øst, [csj@cs.aau.dk](mailto:csj@cs.aau.dk), <http://www.cs.aau.dk/~csj>.

Kristian Torp, ph.d., lektor, Institut for Datalogi, Aalborg Universitet, Fredrik Bajers Vej 7E 9220 Aalborg Øst, [torp@cs.aau.dk](mailto:torp@cs.aau.dk), <http://www.cs.aau.dk/~torp>.