

Formidling af sportsbegivenheder i byrummet

Tejs Scharling, Alexandra Institutet

Abstract

Byrummet benyttes i stigende grad til afvikling af sportsevents. Byens geografiske struktur giver spændende muligheder, men også formidlingsmæssige udfordringer. Begrænset udsyn nødvendiggør digital formidling – præcist og i realtid. Løberne bevæger sig frit rundt mellem poster, kun afgrænset af byens geografi; huse, mure, hegn. GPS-målinger forstyrres af bygninger, og hvis de formidles ubehandlet, kan det give et misvisende indtryk af løberens faktiske rute; hen over bygninger og igennem mure. Ved at kombinere geodata om byen med rutens forløb i et partikelfilter forbedres kvaliteten signifikant i realtid. Løberen holder sig til oplagte ruter og mulige områder. Partikelfilteret er en fleksibel statistisk *machine learning*-teknik, der også kan benyttes til fx droner og selvkørende robotter i byrummet.

Keywords: Bymodeller, formidling af GNSS-målinger, navigation og styring, realtids GIS-analyser og machine learning.

1. Baggrund

De fleste har prøvet at følge med i en etape af cykelløbet Tour de France. Tv-transmissionen kombinerer live billeder med løbsstatus, hvor fx tiden mellem en udbrydergruppe og forfølgerne vises. Vinder udbryderne tid, eller bliver de indhentet? Den digitale løbsstatus giver et overblik, som tv-billeder sjældent giver, men samtidig skal der være overensstemmelse. Det nytter ikke, at billederne viser udbryderne blive indhentet, mens løbsstatus viser 20 sekunders forspring. I formidlingen af Tour'en er man hjulpet af en simpel geografi – en lang linje, typisk i åbne landskaber og samlede grupper af deltagere. Dertil kommer massive manuelle ressourcer og mobile kameraer.

Når TracTrac skal bidrage med digital løbsstatus til tv-transmission af orienteringsløb i byer, er forholdene langt fra så gunstige. Løberne sendes afsted enkeltvis, passerer hinanden og sig selv på kryds og tværs – og løber forkert. Geografien er kompleks og udgøres af byrummets begrænsninger. Kameraerne er placeret på enkelte faste punkter i løbet. Den digitale løbsstatus skal derfor – ud over mellemtider ved kontrolposter i løbet – formidle den enkelte løbers bevægelser i byrummet som fx hvilken rute, løberen valgte mellem post 7 og 8. Dette skal gøres på baggrund af upræcise GPS-målinger, forstyrret af bygninger. I praksis ses udsving på 30-40 m i enkelte sektioner af et løb, hvilket er nok til at placere løberen i en forkert gade, i en flod eller midt i en bygning.

For at omsætte løbernes fejlbehæftede GPS-positioner til en mere korrekt gengivelse har Alexandra Institutet sammen med TracTrac udviklet en statistisk model, der kombinerer geodata om byens geografi, GIS-analyseværktøjer, ruteberegninger og GPS-målinger.

2. Formidling af orienteringsløb i byer med rå GPS-målinger

2.1. Orienteringskort - banens geometri og topologi

Et orienteringsløb i en by er afgrænset af byens naturlige geografi og underlagt regler for, hvordan løberne må bevæge sig. Det er fx ikke tilladt at passere private haver, eller forcere mure og hække. Dertil kommer, at løbsarrangøren kan afspærre udvalgte veje, passager og opløbsstrækninger, samt opsætte publikumsfaciliteter. Rutens afgrænsning beskrives geografisk på et

orienteringskort, som løberen får udleveret. Kortet kan fx bygges i OCAD, som trækker på eksisterende geografiske kort og bymodeller. På Figur 1 ses et eksempel på et orienteringskort.



Figur 1: Udsnit af orienteringskort fra et by-orienteringsløb

Selvom løberen kan løbe frit inden for rutens afgrænsning, giver rutens geometri naturligt anledning til en topologi af oplagte ruter, som de fleste erfarne løbere vil vælge. Mellem to poster vil der nogle gange være blot en enkelt oplagt rute. Andre gange kan der være 2-4 forgreninger på ruten og 2-4 genforeninger. På Figur 2 ses et eksempel på en komplet geografisk afgrænsning, også kaldet *out-of-bounds*, og det fulde rutenetværk mellem poster. At omsætte et orienteringskort til en geometrisk korrekt og størrelsesmæssigt brugbar *out-of-bounds-model* kræver, at unøjagtigheder fjernes (fx små sprækker mellem bygninger/geometrier), og at detaljegraden reduceres. Dette kan gøres ved at tilføje buffers, anvende *Douglas–Peucker* og forene geometrier.



Figur 2: Christiansfeld: Luftfoto, geografisk "out-of-bounds"-afgrænsning og rutenetværk

2.2. Formidling af ubehandlede GPS-positioner

Hver løber er under løbet udstyret med en springsenhed, der med 1-2 sekunders forsinkelse melder løberens GPS-position ind til en formidlingsplatform. Nøjagtigheden på positionerne er ofte ret god, men dog stærkt varierende – både på tværs af løberne og på tværs af løbet. Der kan således være segmenter af et løb, hvor den målte GPS-position højst afviger 2-3 meter fra løberens reelle position, hvilket er rigeligt fint til formidling. Andre gange afviger GPS-positionen med 15-20 meter og endda helt op til 40 meter. Problemet er, at denne indsigt er svær at opnå, før løbet er overstået. Figur 3 viser et eksempel på rå GPS-målinger, der ikke følger den forventede rute, men tværtimod krydser ind over bygninger.



Figur 3: Rutenetværk frem mod post 6 og rå GPS-positioner med en unøjagtighed på mindst 20 m

Behandles GPS-målingerne ikke, formidles de unøjagtige positioner direkte videre til tilskuerne, der følger med på tv eller på Internet. Løbernes ruter bliver tegnet ind oven på bygninger og andre forhindringer på banen.

Et eksempel på formidling af de rå GPS-positioner for mændenes finale under *Euromeeeting 2018 i Christiansfeld* kan ses her: https://tractrac.com/event-page/event_20180920_Euromeetin/1430

Selv om de rå GPS-positioner kan være unøjagtige (den målte position matcher ikke den faktiske), er de typisk meget præcise (to på hinanden følgende målinger afviger fra den faktiske position på samme måde). Da løberne stort set holder en stabil fart gennem hele løbet og sjældent zigzagger over korte afstande (10-20 meter), betyder det, at løbernes GPS-spor næsten altid ser 'pæne ud'. Der er ikke store spring mellem positionerne, der tilsyneladende beskriver et kontinuert, stabilt forløb. Som vi skal se i næste afsnit, kan denne egenskab være en udfordring at opnå, når man prøver at korrigerer GPS-målingerne i forhold til banens geografi og topologi.

Målsætningen er, at de korrigerede positioner 1) ikke krydser out-of-bound-områderne, 2) matcher løberens stabile kontinuerlige forløb og 3) ligger så tæt på løberens faktiske rute som muligt.

3. Formidling af korrigerede GPS-målinger

3.1. Korrigeret til nærmeste lovlige position

Som det ses af Figur 3, krydser de rå GPS-positioner ofte ind over de lilla out-of-bounds-geometrier. En måde at undgå dette er at flytte alle positioner ud til nærmeste kant af out-of-bounds-området. Hermed opnås, at ingen positioner er ulovligt placeret. Som det ses af Figur 4, bliver resultatet desværre ofte et usammenhængende forløb, der springer mellem to sider af en out-of-bounds geometri, hvilket ikke er muligt i praksis.



Figur 4: Rå GPS-positioner korrigeret til nærmeste lovlige position

3.2. Korrigeret med simulerede løbere

For at overkomme de unaturlige spring i løberens estimerede positioner er det oplagt at kombinere viden om rutens geometri med viden om løberens naturlige bevægelsesmønster. Det sker i en procesmodel, der kombineret med nye GPS-målinger flytter løberen fremad. Man kan sige, at vi skal simulere løberen og lade hende løbe i retning af GPS-målingerne med naturlig løbehastighed uden at løbe ind i noget. Sender vi kun en enkelt simuleret løber afsted, risikerer vi dog, at hun farer vild på den forkerte side af en mur eller drejer om et forkert hjørne pga. unøjagtige målinger. Hun risikerer at blive fanget i en blindgyde uden mulighed for at følge med GPS-målingerne. Vi må altså sende flere simulerede løbere afsted og lade dem løbe lidt tilfældigt, så vi får løbere på begge sider af muren og begge veje omkring et hjørne.

Figur 5 viser en gruppe simulerede løbere, der bevæger sig frem mod et hjørne. GPS-målingen alene antyder, at løberen befinder sig 'rundt om hjørnet', men at de simulerede løbere ikke er helt enige. Som man kan se af Figur 3, skyldes det, at de simulerede løbere har taget hensyn til de forudgående målinger (der løbes fra venstre mod højre), som viser, at løberens faktiske position nok er ude på vejen og ikke rundt om hjørnet. De simulerede løbere kalder vi også for partikler og gruppen for en partikelsky. Figur 6 viser de simulerede løbere / partikelskyen og de deraf afledte estimater over de kommende seks sekunder. Det ses, at nogle løbere bevæger sig rundt om hjørnet, men de fleste bliver ude på vejen. Den estimerede gule position bevæger sig forbi hjørnet og den sydgående vej/indgang til p-pladsen.



Figur 5: Simulerede løbere (hvid), estimeret position (gul) og målt position (grøn)



Figur 6: Estimering af position over seks sekunder; hvid=partikelsky, grøn=målt, gul=estimeret

Hver gang, der modtages en ny GPS-position, fremskrives de simulerede løberes position. Hver løbers retning og hastighed varierer tilfældigt en smule i forhold til sidst. Nogle løbere ligger nu så langt fra den nye måling, at de er for usandsynlige og kasseres. De mere sandsynlige løbere bliver duplikeret. På den måde afspejler de simulerede løbere sandsynligheden for løberens faktiske position. Estimeringen ved hjælp af de simulerede løbere er grundprincippet i et partikelfilter.

3.3. Korrigeret med partikelfilter

Det foregående afsnit forklarer intuitivt, hvordan et partikelfilter virker. Mere formelt modellerer et partikelfilter en sandsynlighedsfordeling (*posterior*) over en ukendt/skjult tilstand (løberens faktiske position) ud fra observerbare variable (GPS-målinger). Partikelfilteret bygger på *bayesiansk statistik*, hvor observationer løbende opdaterer sandsynlighedsfordelingen. En god introduktion til partikelfiltre med udgangspunkt i relaterede problemstillinger kan findes i Elfring et al, 2021.

Som eksemplificeret med løberne i forrige afsnit virker partikelfilteret ved, at en mængde partikler beskriver sandsynlighedsfordelingen over den ukendte position. Partiklerne fremskrives med en procesmodel og evalueres med en *likelihood-model* hver gang, der modtages nye GPS-målinger.

- “Prior” procesmodellen beskriver, hvordan den skjulte tilstand forventes at udvikle sig. I vores tilfælde fremskrives partiklens position, hvor retning og hastighed fra foregående fremskrivning justeres tilfældigt og underlagt begrænsningerne i out-of-bounds-geometrien.
- “Likelihood”-modellen angiver, hvor sandsynlig den sidste observation er givet den estimerede tilstand. I vores tilfælde angiver modellen hvor sandsynlig, den sidst målte GPS-position er givet en partikels position.

De to kombineres for at finde hvor sandsynlig, en partikels fremskrevne position er set i forhold til den sidst målte GPS-position. Usandsynlige partikler smides væk, mens sandsynlige duplikeres løbende af praktiske grunde for at holde antallet af nødvendige partikler så lavt som muligt.

Begreberne *prior* og *likelihood* kendes fra Bayes' læresætning $P(A|B) = P(B|A) * P(A) / P(B)$ og bayesiansk statistik, hvor: $\text{posterior} = \text{likelihood} * \text{prior} / \text{marginal likelihood}$, se evt. Wikipedia.

På Figur 7 vises estimerterne fra et partikelfilter med 500 partikler pr. løber.

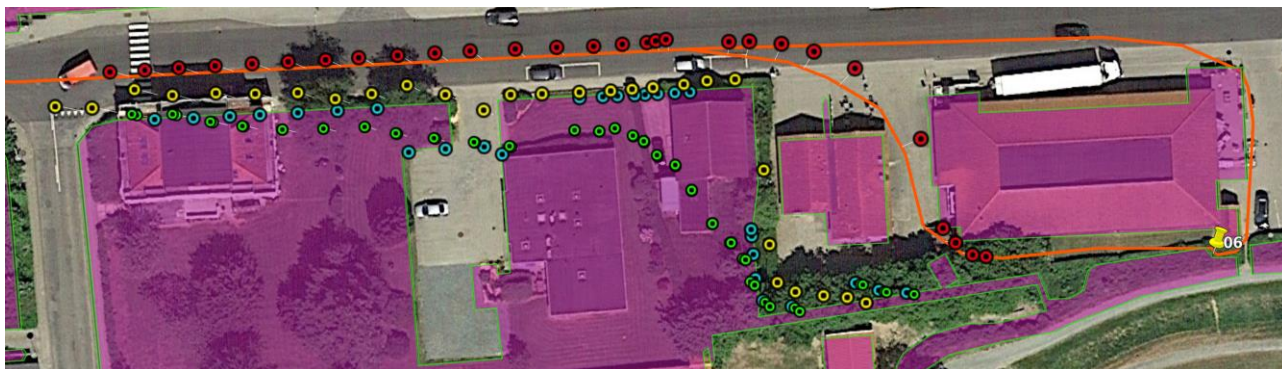


Figur 7: Rå positioner (grøn) og positioner estimeret med partikelfilter (gul)

3.4. Korrigeret med partikelfilter og ruter

Partikelfilteret kan forbedres yderligere ved at inddrage de mest oplagte ruter mellem løbets kontrolposter. Der tildeles større sandsynlighed, når partiklerne følger disse ruter. Partiklerne / løberne kan dog stadig bevæge sig ud i 'frit rum'. Det sker dog først i praksis, når de målte GPS-positioner i en længere periode (5-10 sekunder) har ligget langt fra en rute. Denne tilføjelse kræver, at vi ved hvilken post, løberen er på vej imod. Dette modelleres også med en sandsynlighedsfordeling baseret på afstanden mellem posterne. På

Figur 8 ses estimerterne fra et partikelfilter med rute.



Figur 8: Grøn=rå, blå=nærmeste lovlige position, gule=partikelfilter, rød=partikelfilter med rute

4. Perspektivering

For at opnå en bedre formidling af orienteringsløb i byer benyttes en statistisk model, der kombinerer geodata om byens geografi, GIS-analyseværtøjer, ruteberegninger og GPS-målinger. Modellen er baseret på et partikelfilter, som er en fleksibel måde at beskrive et system, der består af sammensatte regler, begrænsninger og sandsynlighedsfunktioner. Først behandles geodata i forhold til unøjagtigheder og detaljegrad. Ruteberegninger mellem kontrolposter i den åbne bygeografi benyttes til estimater af varigheden af løbets etaper. Herefter evalueres hver løbers GPS-målinger i forhold til en statistisk model, hvor bevægelser i byrummet begrænses af bygninger og andre geografiske elementer samtidig med, at viden om løbets tidsmæssige forløb udnyttes.

Partikelfilteret er her beskrevet meget overordnet. Der er udeladt en del detaljer, men oplevelsen er, at når det grundlæggende filter først er på plads, er det nemt at udvide med nye regler og data. Det kunne være løberens bevægelsesmuligheder, områdets højdekurver eller kendskab til højden på bygningerne. Man kan også nemt tilføje andre sensor-input end GPS. Det kunne være en *IMU* (inertimåleenhed), der måler bevægelser lokal, fx skridt og retning.

GNSS-positioner i byområder er ofte unøjagtige - ikke mindst målt på mindre GPS-enheder båret af mennesker. Denne artikel anskueliggør, at viden om den kontekst, som målingerne tages i, kan udnyttes til at korrigere positionerne og opnå en mere hensigtsmæssig formidling til tilskueren.

Et partikelfilter kunne oplagt også benyttes til andre mindre objekter i bevægelse som fx droner eller selvkørende robotter.

5. Referencer

Elfring, J., Torta, E. and van de Molengraft, R. (2021). *Particle Filters: A Hands-On Tutorial*. *Sensors* 2021, 21, 438.

TracTrac (www.tractrac.com) er specialiseret i GPS-baseret live-tracking af sportsbegivenheder i sportsgrene, hvor det er svært for tilskueren at følge med, fordi deltagerne bevæger sig uden for tilskuerens synsvidde (fx sejlsport, cykling, langrend eller orienteringsløb). Alexandra Institutet hjælper virksomheder med at finde og implementere den rigtige løsning baseret på forskningsbaseret viden og nyeste teknologi.