

Metode til beregning af køretider, trængsel og forsinkelser i kryds vha. GPS Data

Kristian Torp
torp@cs.aau.dk
Institut for Datalogi
Aalborg Universitet

Harry Lahrmann
lahrmann@plan.aau.dk
Trafikforskningsgruppen
Aalborg Universitet

Abstrakt

Kortlægning af trafikafviklingen på vejnettet har traditionelt været baseret på snittællinger og krydstællinger – udført ved både manuelle og automatiske tællinger. Metodemæssigt har det givet en meget detaljeret viden om trafikken i enkeltpunkter i vejnettet, men ingen præcis viden få meter væk fra målepunktet. Med logdata fra GPS modtagere i biler er situationen omvendt: En detaljeret viden om enkelte bilers adfærd på hele vejnettet, men til gengæld kun data fra en lille stikprøve af bilerne. I denne artikel præsenteres en metode til beregning af køretider, trængsels og forsinkelse på baggrund af GPS data fra biler – de såkaldte floating car data. Metoden er implementeret og afprøves på to signalregulerede kryds i Aalborg. Hovedkonklusionen er, at den afprøvede metode kan give en god indikation for hvor og hvornår, der er trængsel i et kryds.

Introduktion

Kortlægning af belastningsgrader og forsinkelser i vejnettet er traditionelt blevet beregnet vha. enten empiriske formler, analytiske formler eller mikrosimulering. Ved alle metoder er input snit- og/eller krydstællinger. I Danmark anvendes traditionelt enten programmet Dankap (1) eller mikrosimuleringsprogrammet VISSIM (2) til beregning af belastningsgrader og forsinkelser. Dankap er opbygget vha. såvel empiriske som analytiske formler.

I de senere år har Floating Car Data (FCD) imidlertid givet nye muligheder for beregning af køretider i vejnettet og dermed også for beregning af belastningsgrader og forsinkelser (3)(4)(5)(6)(7)(8). FCD er en betegnelse for data, der tracker en bil i bevægelse. Data til trackningen kommer ofte fra en GPS modtager i bilen, der f.eks. hvert sekund beregner og logger bilens position, kurs og hastighed.

Brugen af FCD i trafikteknikken giver mange nye muligheder, men også en lang række problemer (9)(10). Med traditionelle metoder har vi meget detaljerede målinger af f.eks. antal og hastighed i enkeltpunkter i vejnettet. Til gengæld har vi reelt ingen viden så snart, at vi er få meter væk fra målepunktet. Med FCD er situationen omvendt, vi har detaljeret viden om enkelt bilers adfærd på hele vejnettet, men til gengæld har vi kun viden om en lille stikprøve af de biler, der færdes på vejene. Så hvor udfordringen ved de traditionelle metoder har været ud fra målinger i enkeltpunkter at vurdere, hvordan trafikken opfører sig udenfor punkterne, er udfordringen ved FCD at finde metoder til at generalisere ud fra enkelt bilers adfærd. (11)(12)(13)(14)(15)(16).

I denne artikel vil vi præsentere en metode, hvor nøjagtige køretider i et firbenet signalreguleret kryds kan beregnes vha. FCD. Det vil blive illustreret, hvorledes sådanne køretider kan danne grundlaget for vurderingen af trængselsgraden og den tilhørende forsinkelse i signalregulerede kryds.

Efter at have udregnet køretiderne for alle de loggede passager i de 12 retninger i et firbenet kryds står vi med to hovedudfordringer:

1. Hvor mange observationer skal man have f.eks. i et spidskvarter for en given retning for at få et validt estimat for den gennemsnitlige køretid?
2. Hvordan omsættes variationer i køretider til forsinkelse og trængsel?

I artiklen præsenteres to konkrete eksempler på køretider igennem signalregulerede kryds.

GPS data er ofte brugt til at beregne køretider og trængselsgrader(3)(4)(5)(6)(7)(8) (23). I et dansk sammenhæng blev GPS data første gang brugt til at kortlægge trængsel i "Projekt Trængsel" (17). GPS data er ligeledes brugt til at studere trafikanters adfærd under turen (18)(19)(20). GPS data er også anvendt til at validere andre måder at beregne køretider på (9)(10)(21). Når der er større GPS data mængder, er der eksempler på at data anvendes til at lave mere detaljerede kort (22). Til forskel fra andet relateret arbejde fokuserer denne artikel udelukkende på køretider igennem signalregulerede kryds. I artiklen opstilles en ny metode, der udnytter, at GPS data er modtaget med en høj frekvens (hvert sekund som i f.eks. (18)).

Metode

I dette afsnit beskrives først hovedideen i beregningen af køretider i et signalreguleret kryds. Herefter beskrives det nødvendige datagrundlag, og til slut beskrives i detaljer, hvorledes de forskellige metrikker er beregnet.

Hovedideen

Metoden til at beregne køretider i et signalreguleret kryds er vist nedenfor i Figur 1. Som det kan ses, er der for et firbenet kryds defineret fire indpunkter (grønne stedmarkører) og fire udpunkter (røde stedmarkører).



Figur 1: Ideen i svingtidsberegninger. Billedet er fra Google Earth.

Hovedideen til beregning af køretider er simpel: At finde tidspunkterne for hvornår et køretøj passerer et indpunkt og senere passerer et udpunkt. Tidsrummet fra passage af indpunktet til passage af udpunktet er køretiden for én enkelt tur. Dette gøres for alle ture igennem det samme kryds og data aggregeres for at finde gennemsnitlige køretider for de enkelte ruter igennem krydset.

I et kryds med fire ben er der totalt 12 køretider, som vist i Tabel 1. Her er f.eks. den gennemsnitlige køretid fra syd indpunktet til øst udpunktet 39 sekunder og dette er baseret på 358 ture gennem krydset.

Til (↓) \ fra (→)	Nord	Syd	Øst	Vest
Nord	-	37/867	23/360	49/4
Syd	17/686	-	31/200	33/52
Øst	33/235	39/358	-	37/816
Vest	21/27	52/56	23/701	-

Tabel 1: Eksempel på gennemsnitlige køretider og antal observationer¹ i et firbenet kryds (tallene er i henholdsvis sekunder og antal ture).

Datagrundlag

Det er et krav for at kunne beregne køretiderne at følgende data er tilgængelig for hver GPS måling:

- Længde og breddegrader
- Tidspunkt
- Køretøjs ID
- Kompasretning

Længde og breddegrader anvendes til mapmatching (her er brugt en egen udviklet mapmatching metode). Tidspunktet bruges til at etablere forløbet af en tur. Det specielle krav er, at køretøjs ID skal være tilgængeligt. Dette er nødvendigt for at kunne identificere en tur. Det er ligeledes et krav, at GPS målingerne foretages med en høj frekvens for hele turen. Kompasretningen anvendes til at eliminere eventuelle fejlkilder. Dette uddybes i et senere afsnit.

Udover GPS data er det nødvendigt at have et digitalt kort, der anvendes til mapmatching af GPS data.

I denne artikel er der anvendt data fra projektet *Spar På Farten* (23) (24). Her er kravene til GPS målingerne opfyldt. Disse målinger er foretaget med en frekvens på et sekund. I *Spar På Farten* projektet kørte 153 bilister i gennemsnit med GPS udstyr i 1,5 år og genererede totalt cirka 380 millioner GPS målinger på cirka 225 års kørsler. Det digitale kort brugt i *Spar På Farten* projektet er genbrugt i denne artikel.

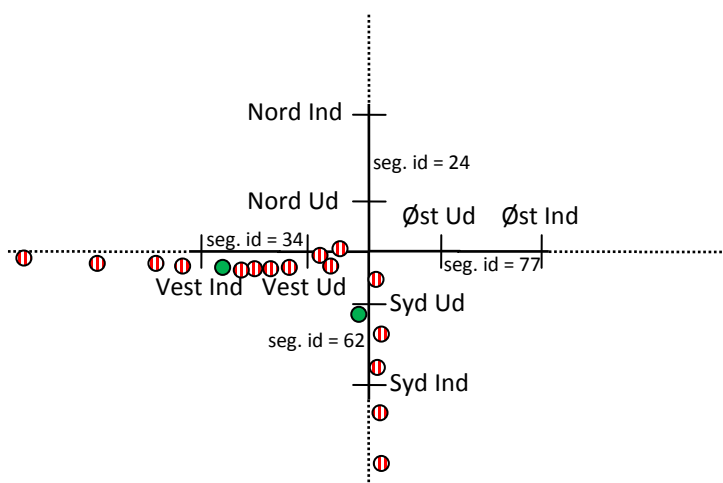
GPS målinger fra andre kilder kan umiddelbart integreres og anvendes i beregningerne, der foretages i denne artikel, hvis kravene listet ovenover er opfyldte. Andre data kilder, hvor køretøjs ID mangler, kan også integreres og anvendes, hvis et køretøj ID kan etableres f.eks. vha. et filnavn, en IP adresse, eller et GPS apparat ID. GPS målinger fra forskellige køretøjstyper så som lastbil og bus kan ikke

¹ Hvis antallet af observationer er > 30 kan det aritmetiske gennemsnit forventes at give et rimeligt estimat for den samme middelværdi (27)

umiddelbart blandes sammen og anvendes. Beregningsmetoden kan anvendes i alle områder, hvor der er et digitalt kort tilgængeligt (og GPS målinger fra det samme område).

Beregningen af køretider

Der er følgende konceptuelle trin i at finde turene f.eks. fra vest mod syd i Figur 2 herunder. I figuren er vist et firbenet kryds med fire indpunkter og fire udpunkter. De fuldt optrukne linjer viser segment ID'erne fra det digitale kort hvor ud- og indpunkterne ligger. De stiplede linjer viser andre segment ID'er. Cirklerne illustrerer GPS målingerne for en tur, hvor der foretages et højresving fra vest mod syd.



Figur 2 Illustration af data grundlag for beregning af køretider i et firbenet kryds.

Metoden til at finde turene, der skal bruges til beregning af køretider, er konceptuelt beskrevet herunder. Med konceptuel menes, at nogle af trinene i metoden af beregningsmæssige årsager er slået sammen i selve programmet. Det antages, at data er mapmatched og at det digitale kort, der er anvendt til mapmatchingen, er til rådighed.

1. Der udvælges GPS data fra et passende areal omkring krydset.
2. GPS data deles op i ture (sortering på køretøjs id og tidspunkt). En ny tur starter, hvis der er mere end 60 sekunder mellem to GPS målinger fra et køretøj. Hver tur tildeles en unikt tur ID.
3. Find segment ID'erne for ind-segmentet og for ud-segmentet hhv. segment ID'erne 34 og 62 i eksemplet i Figur 2. Find også segment ID'erne for de andre veje i krydset hhv. segment ID'erne 24 og 77 i Figur 2. Disse alternative segmenter ID'er bruges senere i metoden til at sikre mod visse typer af fejl.
4. Find alle turene der benytter både ind-segmentet og ud-segmentet.
5. For hver funden tur: Find de to GPS målinger på den samme tur, der er tættest på indpunktet og udpunktet hhv. Det skal gælde følgende for de to valgte GPS målinger:
 - a. Ind-GPS målingen skal være den måling, der er tidligst efter det valgte indpunkt (den grønne cirkel længst til venstre i Figur 2). Tilsvarende skal ud-GPS målingen være den

seneste, der er umiddelbart efter udpunktet (den grønne cirkel længst til højre i Figur 2).

- b. Tidsrummet mellem de to valgte GPS målinger må ikke være større end fem minutter. Dette er for at sikre, at de to GPS målinger ikke er for to forskellige gennemkørsler af det samme kryds.
 - c. Der må ikke eksistere en anden GPS måling mellem de to valgte GPS målinger, der er på et af de alternative segmenter for krydset (dvs. i nordlig eller østlig retning for eksemplet i Figur 2). Dette er for at eliminere usikkerheder i mapmatchingen og bilister, som ikke opfører sig som forventet.
 - d. Ind-GPS målingen skal have retning mod krydsets centrum. Tilsvarende skal ud-GPS målingen have retning ud af krydset (skal passe med en vinkel på 120 grader). Dette er for at sikre, at ind-GPS målingen faktisk er på vej ind i krydset og ud-GPS målingen er på vej ud af krydset. Dette eliminerer den fejlkilde, at den valgte ud-GPS måling faktisk kunne være en ind-GPS måling i stedet.
 - e. Gem ind-GPS målingen, ud-GPS målingen, tur ID, køretøjs ID samt retning af svinget f.eks. vest-syd i eksemplet i Figur 2.
6. For hver af de 12 retninger i svinget beregnes køretiden for en tur som tidspunktet for ud-GPS målingen minus tidspunktet for ind-GPS målingen.

Herefter kan køretiden bruges til at beregne trængselsgrad og forsinkelse for de enkelte retninger i krydset. Dette beskrives i det næste afsnit.

Trængselsgrad og forsinkelse

Trængselsgraden for en trafikstrøm på et givet tidspunkt udtrykker hastighedsnedsættelsen i forhold til free-flow hastigheden, hvor free-flow hastigheden defineres som hastigheden i en trafikstrøm, der ikke er påvirket af forsinkelser fra andre trafikstrømme². En trængselsgrad på 0 vil således udtrykke en free-flow situation, mens en trængselsgrad på 1 er udtryk for trafikalt sammenbrud (23).

Trængselsgraden kan skrives som:

$$\text{Trængselsgrad} = \frac{v_{ff} - v_a}{v_{ff}}$$

² Free-flow hastigheden er her defineret som gennemsnitshastigheden i perioden 21:00 – 05:59. Det skal i den sammenhæng understreges, at den her præsenterede måde at definere free-flow hastigheden er en tilnærmelse. Ideelt set burde free-flow hastigheden beregnes ud fra en normeret hastighed for den aktuelle bevægelse fratrukket en forsinkelse stammende fra den aktuelle signalsætning ved belastningsgrad 0. Det skal samtidig understreges, at i denne idealsituation vil trængselsgraden vise, hvor der er store forsinkelser som følge af trafikens størrelse, men ikke hvor der er forsinkelser som følge af en dårlig signalsætning.

hvor v_{ff} er hastigheden i free-flow situationen og v_a er hastigheden i den aktuelle spidstime. Det antages, at $v_{ff} \geq v_a$, $v_{ff} > 0$, og $v_a \geq 0$ altså at free-flow hastigheden altid er større end eller lig den aktuelle hastighed, at free-flow hastighed er positiv, og at den aktuelle hastighed er nul eller derover.

Anvendes køretider kan trængselsgraden skrives som:

$$\text{Trængselsgrad} = 1 - \frac{t_{ff}}{t_a}$$

hvor t_{ff} er køretiden i free-flow situationen og t_a er køretiden i den aktuelle spidstime. Det antages, at $t_{ff} \leq t_a$, $t_{ff} > 0$, og $t_a > 0$ altså free-flow køretiden er mindre end eller lig den aktuelle køretid og at begge køretider er positive.

Forsinkelsen for et køretøj i en given retning i f.eks. spidstimen kan opgøres som den aktuelle gennemsnitlige køretid i spidstimen for retningen fratrukket den gennemsnitlige køretid for den samme retning i free-flow situationen, altså:

$$\text{Forsinkelse} = t_a - t_{ff}$$

Kendes trafikmængderne for det aktuelle kryds kan den samlede forsinkelse herefter opgøres.

Det bemærkes, at den beskrevne metode alene medtager bilernes forsinkelse indenfor ind- og udpunkterne. Er der køer, der strækker sig ud over ind- og udpunkterne, vil disse forsinkelser blive talt med, når trængselsgrad/forsinkelse på de tilstødende segmenter beregnes.

Resultater

I dette afsnit diskuteres først beregningsmetoden, herefter hvorledes udvælgelsen af turene, der danner grundlaget for resultaterne, er validerede og endelig vises resultaterne.

Kommentarer på beregningsmetode

Der anvendes i behandlingen af GPS målingerne en eget udviklet mapmatching metode. Dette er fordi der ikke er open-source eller andre mapmatching metoder offentligt tilgængeligt. At udvikle en solid mapmatching metode er et meget stort stykke arbejde. Det skyldes de mange fejlkilder, der er på GPS-målinger f.eks. det såkaldte *urban-canyon* fænomen i byer pga. høje bygninger. De to kryds, der undersøges i artiklen, ligger ikke i områder med højt byggeri. Herudover er selve beregningsmetoden meget selektiv i de ture, der udvælges (se trin 5c). Beregningsmetoden udvælger kun ture, hvor der er sikkerhed om, hvor bilen har kørt. Hvis figur 2 bruges som eksempel, så udvælger beregningsmetoden kun de gennemkørsler af krydset, der udelukkende har GPS-målinger på segment ID 34 og 62 (vest mod syd). Hvis der for en gennemkørsel af krydset blot er en GPS-måling, der er matchet til segment ID 24 eller 77 (nord og øst vejene) medtages gennemkørslen ikke. På denne måde er beregningsmetoden afkoblet fra kvaliteten af mapmatching metoden. Det vurderes, at der ikke burde være nogen væsentlig skævvridning af det samlede resultat pga. den selektive mapmatching metode, da en visuel inspektion af de frasorterede ture viser, at disse ture ikke har nogen åbenlyse fællestræk f.eks. udelukkende ture, hvor bilisten er standset for rødt. Det er naturligvis fordelagtigt at have en god mapmatching metode, fordi så vil flere ture fra det samme sæt af GPS-målinger blev medtaget af beregningsmetoden end hvis mapmatching metoden er dårlig.

Der er i beregningsmetoden brugt et antal konstanter f.eks., at der maksimum må være fem minutter mellem de to GPS målinger for indpunktet og udpunktet. Der kommenteres på disse konstanter i dette efterfølgende.

For at få resultaterne, der præsenteres i denne artikel, er der startet med en høj værdi for tiden mellem to gennemløb af det samme kryds. Når der er fundet ture, der ikke burde være med, er den konstant formindsket. I denne iterative proces er valideringen, der beskrives i den næste sektion, anvendt. For de to kryds, der er undersøgt i denne artikel, har det vist sig, at den samme værdi på fem minutter har kunnet bruges. Konstanten kan i beregningsmetoden tilpasses hvert enkelt kryds. Dette kan f.eks. være nødvendigt, hvis beregningsmetoden skal anvendes i kryds med meget lidt eller meget stor trængsel. At fastlægge denne konstant for et bestemt kryds kræver, at en person med trafik-forståelse validerer resultaterne første gang beregningsmetoden anvendes på det enkelte kryds.

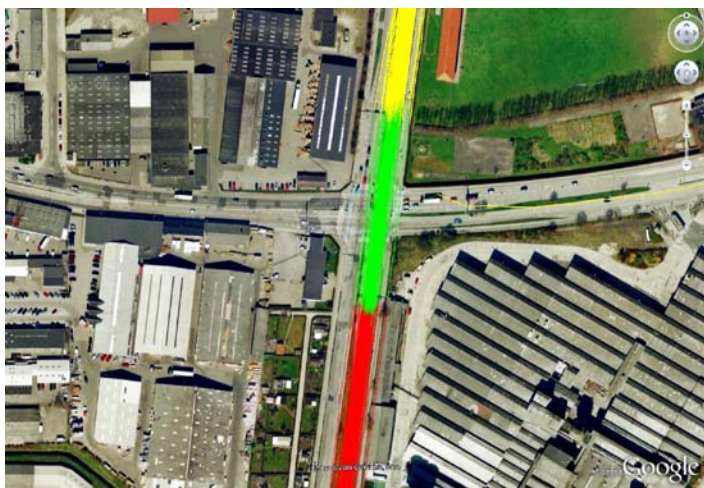
Der anvendes i beregningsmetoden en vinkel på 120 grader, som bruges til at eliminere f.eks. u-vending. Denne konstant er ligeledes fundet i en iterativ proces ved at køre beregningsmetoden og anvende den visuelle validering beskrevet i næste sektion. De 120 grader vil med stor sandsynlighed være en konstant for alle firbenede kryds med cirka 90 graders vinkel mellem hvert ben (som de to kryds, der undersøges i denne artikel). For kryds, der har et anderledes udformning, skal denne vinkel fastlægges for hvert ben af en person med trafik-forståelse første gang beregningsmetoden anvendes.

Ture identificeres i beregningsmetoden på en simpel måde ved at starte en ny tur hver gang, der er 60 sekunders pause mellem to GPS målinger fra et køretøj. De 60 sekunder er valgt ud fra, at et simpelt motorstop ved f.eks. at slippe koblingen for hurtigt og derefter starte motoren igen ikke må give anledningen til en ny tur. Denne simple tur identifikation er fuldt ud tilstrækkeligt for anvendelsen i denne artikel, da artiklen kun ser på korte dele af ture igennem kryds. I disse kryds er der ikke er mulighed for f.eks. at parkere, standse for at fylde benzin på bilen eller andre hændelser, der kan påvirke en tur identifikation. En mulig fejlkilde er, at en bilist standser bilen, når at lave et ærinde og kommer tilbage og starter bilen i løbet af 60 sekunder. Det vurderes, at denne fejlkilde er meget lille for de kryds, der undersøges i denne artikel. I det generelle tilfælde vurderes denne fejlkilde også at være ubetydelig.

Validering

Valideringen af resultaterne er sket ved en simpel, sikker og hurtig visuel inspektion af turene på et kort (bemærk at al data er automatisk beregnet). Ideen med inspektionen er vist nedenfor. De grønne dele af figuren er den del af turen, der er beregningsgrundlaget for syd-nord gennemkørselen i dette tilfælde. Til denne del af turen er der tilføjet, hvad der skete 60 sekunder før (markeret med rødt) og 60 sekunder efter (markeret med gult). For de godt 200 ture vist på figuren er det klart, at der er én af turene, der er forkert (den kører mod øst i stedet for mod nord). Denne tur er så fjernet fra beregningerne. I det konkrete tilfælde er den forkerte tur fjernet automatisk ved at tjekke med kompasretningen eller ved at tjekke, at der ikke er GPS målinger på alternative segmenter (trin 5c i beregningsmetoden fra forrige afsnit).

Bemærk at dette er en manuel validering. Al data for at gennemføre valideringen er skabt automatisk. En validering af et kryds er hurtigt og tager typisk under 5 minutter. Det er ligeledes meget hurtigt at oplære en person til at foretag valideringen.



Figur 3 Visualisering til validering af beregningsmetode. Billedet er fra Google Earth.

Køretider

Tabel 1 viste de gennemsnitlige køretider for et kryds over døgnet for hverdage. I Figur 4 er vist variationen over døgnet (igen for hverdage) i køretiden. Figur 4 er udregnet på følgende måde: Indledningsvis er de observerede køretider fordelt på følgende perioder af døgnet:

00.00 – 06.59 Nat

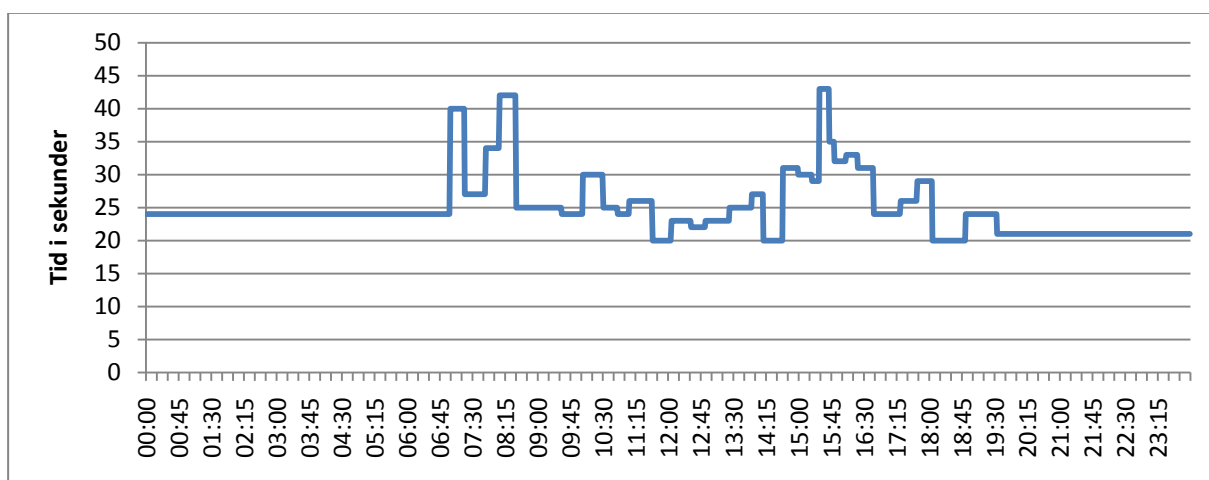
07.00 – 08.59 Morgenspidstimer

09.00 – 14.59 Dag

15.00 – 16.59 Eftermiddagsspidstimer

17.00 – 23.59 Aften

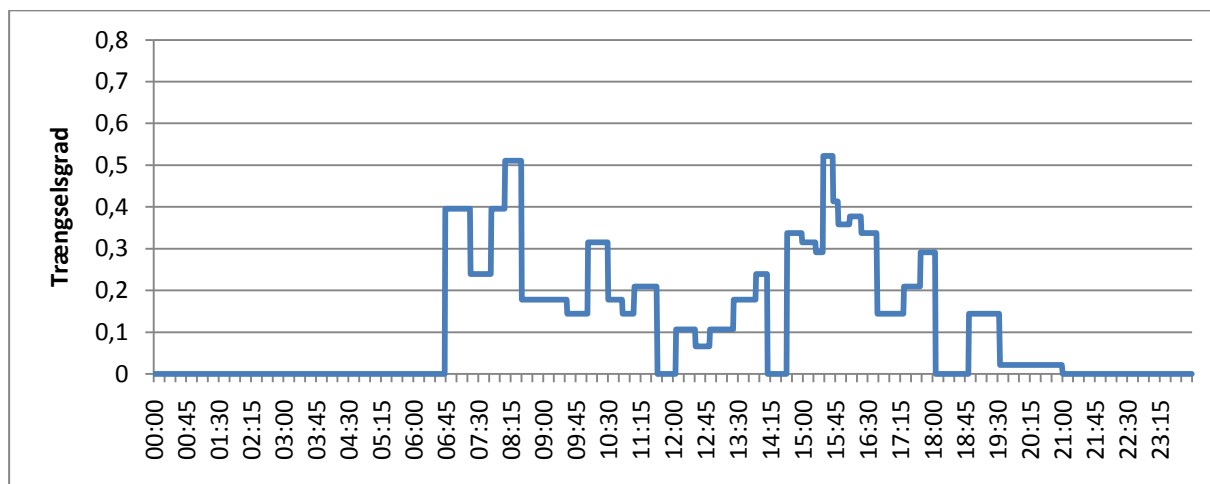
Efterfølgende er hver af disse perioder underinddelt i et antal perioder således, at der er minimum 30 observationer i hver periode, hvorefter den gennemsnitlige køretid for hver af disse perioder er udregnet. Denne opdeling sikrer, at det fundne gennemsnit er et rimeligt estimat for den sande middelværdi (25). I alt er der observeret knap 1100 køretider for denne retning.



Figur 4 Gennemsnitlige køretider (15 minutters interval) fra øst mod vest.

I Figur 4 er de gennemsnitlige køretider opgjort på denne måde. Bemærk hvordan metoden giver store variationer i periodelængden, som er lang aften og nat men kort i spidstimerne. På denne måde uddrages maksimal information af data. I morgen og eftermiddags spidstimen ligger køretiden for denne retning på omkring 40 sekunder og udenfor myldretiden på ca. 25 sekunder. Læg mærke til, at der om morgenen optræder to spidser – en for mødetid kl. 7 og en for mødetid kl. 8. Læg også mærke til, at eftermiddagsspidstimen som forventet strækker sig over længere periode end morgenspidstimen.

Hvis der i stedet ses på trængselsgraden, som defineret i afsnit *Trængselsgrad og forsinkelse*, så er denne vist i Figur 5 for retningen øst til vest i krydset Sønderbro-Østre Allé.

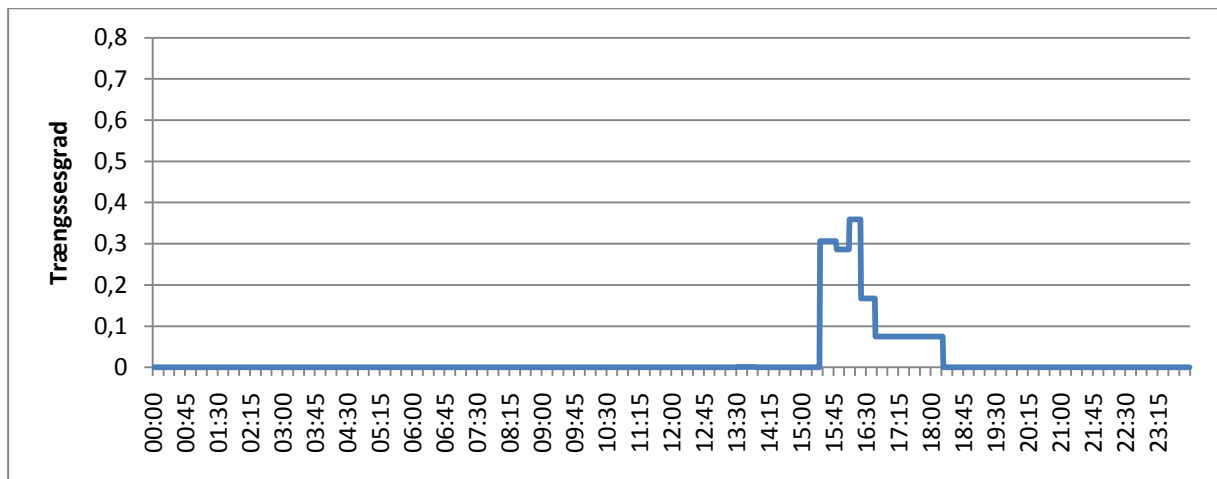


Figur 5 Trængselsgrad i krydset Sønderbro-Østre Allé fra øst til vest (ligeud).

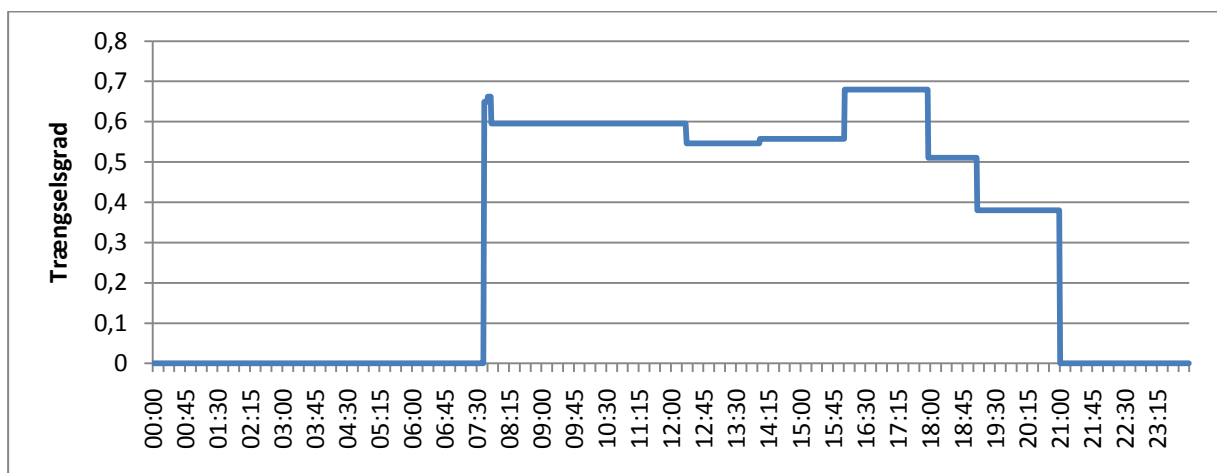
Retningen øst-vest er i dette kryds domineret af bolig-arbejdssted trafik om morgenen, og har en maksimal trængselsgrad på cirka knap 0.5 mellem kl. 7.00 og kl. 8.30 og igen om eftermiddagen omkring kl. 16.00. Krydset ligger på "Ring II" i Aalborg og en uformel "validering" af resultatet er, at trængselsgraden svarer til det forventede på en sådan vejtype i Aalborg.

For at få et absolut tal i stedet for et relative tal som trængselsgraden, kan forsinkelsen beregnes som defineret i afsnittet *Trængselsgrad og forsinkelse*.

Figur 6 og Figur 7 viser trængselsgraden for andre svingretninger i det samme kryds. Det bemærkes, at trængselsgraderne varierer meget for de forskellige trafikstrømme, både hvor store trængselsgraderne er, og hvornår de forekommer. Højresvinget i figur 6 har kun en smule trængsel i eftermiddagsspidstimen, mens venstresvinget i figur 7 har trængsel hele dagen. Studeres venstresvinget i detaljer bemærkes det, at perioderne á 30 venstresvingende er korte i morgenspidstimen. Dermed er der mange venstresvingende, så her er det forventeligt, at der er et højt trængselsniveau, men i løbet af dagen er perioderne lange - indikerende få venstresvingende - og alligevel er trængselsniveauet højt. Dette tyder på, at signalsætningen i krydset ikke er optimal. Eksemplet viser, at metoden kan give viden om, hvor nærmere undersøgelser af signalsætningen bør foretages.



Figur 6: Trængselsesgrad i krydset Sønderbro-Østre Allé fra øst til nord (højre sving)



Figur 7 Trængselsesgrad i krydset Sønderbro-Østre Allé fra øst til syd (venstre sving).

Konklusion og videre arbejde

I denne artikel har vi præsenteret en metode, der anvender Floating Car Data (FCD)/ GPS data til at beregne de tre metrikker køretider, trængselsesgrader og forsinkelser for signalbaserede kryds. Metoden er blevet beskrevet i detaljer samt styrker og svagheder ved metoden er blevet diskuteret.

Metoden er implementeret i ny softwarepakke og er blevet afprøvet på to større firbenet kryds i Aalborg. I denne afprøvning er GPS data fra et tidligere forsøg i Aalborg området blevet anvendt.

På trods af at datamængden har været begrænset, giver resultaterne en indikation af hvor og hvornår, der er trængsel i de to analyserede kryds. Der er således meget, der tyder på, at får man GPS data fra et stort antal biler og over en længere periode, kan man med den præsenterede beregningsmetode få en viden om trængselssituationen på vejnettet på et detaljeringsniveau, der i dag kun kan opnås igennem kostbare manuelle tællinger.

Der er en række interessante retninger for videre arbejde. En åbenlys retning for videre arbejde er at sammenligne de metrikker, der er beregnet ud fra GPS data i denne artikel med de samme metrikker udregnet ud fra eksisterende metoder. Disse eksisterende metrikker har desværre ikke været til rådighed i dette projekt. Herudover vil det være interessant at se nærmere på de usikkerheder, der

er på de beregnede køretider. En anden retning på videre arbejde er at generalisere metoden til beregning køretider på rutesegmenter, der dækker et sammenhængende vejnet. For den udviklede software er en interessant retning for det videre arbejde at finde en (semi-) automatisk måde at fastlægge de anvendte konstanter, så en visuel (og manuel) inspektion kan undgås.

Acknowledgement

Dette arbejde er delvis støttet af ARCHIMEDES projektet, CIVITAS Plus initiativet, Aalborg Kommune.

Referencer

1. **Vejdirektoratet.** *Kapacitet og serviceniveau.* 2008.
2. **VISSIM.** [Online] 2009. [Citeret: 10. 8 2009.] <http://en.wikipedia.org/wiki/VISSIM>.
3. *Detailed Speed and Travel Time Surveys using Low Cost GPS Equipment.* **Belliss, Graeme.** s.l. : IPENZ Transportation Group Technical Conference, 2004.
4. *Application of GPS in Traffic Management Systems.* **Faghri, Ardeshir og Hamad, Kahled.** 3, 2002, GPS Solutions, Årg. 5, s. 52-60.
5. *USING GPS DATA TO CALCULATE THE LENGTH AND VARIABILITY OF FREIGHT VEHICLE JOURNEY TIMES ON MOTORWAYS.* **Hudson, M. og Rhys-Tyler, G.** s.l. : TRL, 2004.
6. *Measuring and analyzing vehicle position and speed data at work zones using global positioning systems.* **Jiang, Yi og Shuo, Li.** 3, s.l. : ITE Journal, 2002, Årg. 72, s. 48-53.
7. *Performance Measures and Data Requirements for Congestion Management Systems.* **Quiroga, Cesar A.** 2000, Transportation Research, s. 287-306.
8. *Integration of the global positioning system and geographical information systems for traffic congestion studies.* **Taylor, Michael A.P., Woolley, Jeremy E. og Zito, Rocco.** 2000, Transportation Research Part C 8, s. 257-285.
9. *Assessing the accuracy of the Sydney Household Travel Survey with GPS.* **Stopher, Peter, FitzGerald, Camden og Xu, Min.** 2007, Transportatoin, Årg. 34, s. 723-741.
10. *PROCESSING GPS DATA FROM TRAVEL.* **Stopher, Peter R., Jiang, Qingjian og FitzGerald, Camden.** s.l. : International Colloquium on the Behavioural Foundations, 2005.
11. *Flådedata og fremkommelighed/trængsel.* **Skov, Michael K.** 2007. Trafikdage på Aalborg Universitet.
12. *GPS-pilotprojekt.* **Holmstrøm, Charlotte og Foller, Jens.** 2007. Trafikdage på Aalborg Universitet.
13. *GPS pilotprojekt.* **Holm, J. og Foller, Jens.** 2008. Trafikdage på Aalborg Universitet.
14. *Analyse af trængsel og hastigheder vha. GPS-data.* **Nielsen, Otto A.** 2003. Trafikdage på Aalborg Universitet.

15. *Updating trip matrices for Copenhagen using multiple data sources.* **Nielsen, Otto A. og Hansen, C. H.** 2007. Trafikdage på Aalborg Universitet.
16. *Dynamic Travel Time Maps - Enabling Efficient Navigation.* **Pfoser, Dieter, Tryfona, Nectaria og Voisard, Agnes.** 2006. SSDBM. s. 369-378.
17. **Marchal, F., Hackney, J. K. og Axhausen, K. W.** *Efficient map matching of large Global Positioning System data sets: Tests on speed-monitoring experiment in Zurich.* Zurich : ETH, 2004.
18. **COWI A/S.** *Projekt Trængsel.* 2004. ISBN: 87-91511-34-8.
19. *Exploring the potentials of automatically collected GPS data for travel behaviour analysis - a Swedish data source.* **Schoenfelder, Stefan, et al.** s.l. : GI-Technologien für Verkehr und Logistik, 2002, Årg. 13, s. 155-179.
20. *Learning Transportation Mode from Raw GPS Data for Geographic Applications on the Web.* **Zheng, Yu, et al.** s.l. : International conference on World Wide Web, 2008. s. 247-256 .
21. *Understanding Mobility Based on GPS Data.* **Zheng, Yu, et al.** s.l. : International conference on Ubiquitous computing, 2008. s. 312-321.
22. *GPS data som grundlag for en national rejsehastighedsdatabase.* **Holm, Jan.** s.l. : Trafikdage på Aalborg Universitet, 2009.
23. *Mining GPS Data to Argument Road Models.* **Rogers, Seth, Langley, Pat og Wilson, Christopher.** 1999. KDD-99. s. 104-113.
24. Spar På Farten. [Online] 30. 6 2009. [Citeret: 30. 06 2009.] <http://www.sarpaafarten.dk>.
25. *Spar på Farten-et forsøg med Intelligent Farttilpasning baseret på incitament (forsikringsrabat).* **Lahrmann, Harry, et al.** s.l. : Trafikdage på Aalborg Universitet, 2007.
26. **Andersen, Niels Thorup og Pedersen, Kristian Skoven.** *Metoder til trængselsopgørelse ved brug af GPS-data.* Aalborg : Afgangprojekt; Civilingeniøruddannelsen i Vej- og Trafikteknik, Aalborg Universitet, 2007.
27. **Beth Dawson and Robert G. Trapp,** Basic & Clinical Biostatistics, Third edition, Lange Medical Books, McGraw-Hill International Editions, Singapore, 2001-