

Køretider, belastningsgrader og forsinkelser i kryds beregnet ud fra Floating Car Data

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

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

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 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 beregning af køretider i vejnettet og dermed også for beregning af belastningsgrader og forsinkelser (3) (4) (5) (6) (7) (8). FCD en betegnelse for data, der tracker en bil i bevægelse, data til trackningen kommer ofte fra en GPS modtager i bilen, der 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 (8) (9). Med traditionelle tællinger og målinger har vi meget detaljerede målinger af f.eks. antal og hastighed i enkeltpunkter i vejnettet, til gengæld har vi reelt ingen viden så snart 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 vejen. Så hvor udfordringen ved de traditionelle punktmålinger 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 registreringerne af enkelt bilers adfærd. (3) (4) (5) (6) (7) (8).

I denne artikel vil vi præsentere en metode, hvor nøjagtige køretider i et signalreguleret kryds kan beregnes ved hjælp af FCD. I artiklen præsenteres to konkrete eksempler på svingtider i lyskryds. Herudover estimeres det, hvor meget GPS data, det er nødvendigt at have for at få et retvisende billede af køretider og med hvilken frekvens disse GPS data skal være registreret.

GPS data er ofte brugt til brugt beregne køretider og trængsels (3) (4) (5) (6) (7) (8). GPS data er ligeledes brugt til at studere rejsenes opførsel under turen (14) (18) (19). GPS data er også anvendt til at validere andre måder at beregne køretider (8) (9). Når der er større GPS data mængder kan GPS data anvendes til at lave mere detaljerede kort (14). Til forskel fra andet relateret arbejde fokuserer denne artikel udelukkende på signalregulerede kryds og ikke på større indfaldsveje eller motorveje som det er typisk i

andre studier (5) (7) (14) (8). I denne artikel opstilles en ny metode, der bruger, at GPS data er modtaget med en høj frekvens (hvert sekund som i f.eks. (14)).

Metode

I dette afsnit beskrives først hovedideen i beregningen af køretider i et lysreguleret kryd. Herefter beskrives data grundlaget, der er nødvendigt. Til slut beskrives i detaljer hvorledes de forskellige metrikker er beregnet.

Hovedideen

Metoden til at beregne køretider i et lyskryds 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. Billede er fra Google Earth.

Hovedideen i at beregne køretider er simpel: Det er at finde tidspunktet, hvornår et køretøj passerer et indpunkt og senere passerer et udpunkt. Tidsrummet fra passeringen af indpunkt til passeringen af udpunktet er køretiden for én enkelt tur. Dette gøres for alle ture igennem det samme kryds og data aggregeres for at finde generelle køretider for de enkelte rutesegmenter igennem krydset. Opdeles køretiderne efter tidspunkt kan forsinkelse og belastningsgrader findes. Antages det f.eks., at ture udført efter kl. 19.00 om aftenen og før kl. 06.00 om morgenen ikke at være forsinket af anden trafik kan en såkaldt "free flow time" beregnes. Denne tid kan herefter sættes i forhold til køretiden i f.eks. morgenspidstimen, hvorved belastningsgraden i denne time kendes. Kendes trafikallene for krydset kan også den samlede trængselsbetingede forsinkelse beregnes.

I et kryds med fire ben er der total 12 køretider, som vist i Tabel 1. Her viser f.eks. at køretiden fra øst indpunktet til syd udpunktet er 33 sekunder.

Til/fra	Nord	Syd	Øst	Vest
Nord	-	25	29	12
Syd	36	-	49	52
Øst	21	33	-	28
Vest	32	45	34	-

Tabel 1: Opsummering af resultat for et enkelt kryds alle tal er i sekunder.

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

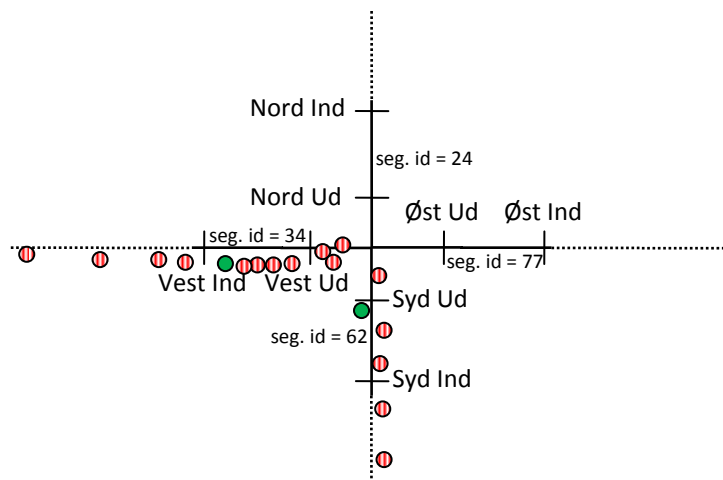
Længde og breddegrader anvendes til map-matching. Tidspunktet til at etablere forløbet af en tur. Det specielle her er, at køretøjs ID skal være tilgængeligt. Dette er nødvendigt for at kunne identificere en tur. Det er ligeledes et krav at GPS målingerne foretages med en høj frekvens (dette uddybes i resultat afsnittet) for hele turen. Kompasretningen anvendes til at eliminere eventuelle fejlkilder. Dette uddybes i næste afsnit.

Udover GPS data er det nødvendigt at have et digital kort, der anvendes til map-matching af GPS dataen.

I denne artikel er anvendt data fra projekt *Spar På Farten* (9) (10). Her er kravene til GPS målingerne opfyldt, der er i alt 18 værdier for hver GPS måling. Disse målinger er foretaget med en frekvens på en måling per sekund. I *Spar På Farten* projektet 160 bilister i gennemsnit kørt med GPS udstyr i 1,5 år totalt cirka 180 millioner GPS målinger. Det digitale kort brugt i *Spar På Farten* projekter er genbrugt i denne artikel.

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 fire indpunkter og fire udpunkter. De fuldt optrykte 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 firebenet kryds.

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

1. Der udvælges GPS data fra et passende areal omkring krydset
2. GPS dataen 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 for et køretøjs id. Tildel hver tur et 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 ind-punktet og ud-punktet 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 ikke må 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 map-matchingen og førere, som ikke opfører sig som forventet.

- d. Ind-GPS målingen skal den 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'en, køretøjs ID samt retning af svinget f.eks. vest-syd i eksemplet i Figur 2.
6. For hver af de 12 retninger i svinget beregn 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 det enkelte ben 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-flowhastigheden, hvor free-flowhastigheden defineres som hastigheden i en trafikstrøm, der ikke er påvirket af forsinkelser fra andre trafikstrømme¹. 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:

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

hvor v_{ff} er hastigheden i free-flow situationen og v_a er hastigheden i den aktuelle spidstime.

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.

Forsinkelsen for et køretøj i en given retning i f.eks. spidstimen kan opgøres som den aktuelle gennemsnitlige køretid i spidstimen for retningen fratrukket køretiden for 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.

¹ Free-flow hastigheden kan f.eks. defineres som gennemsnitshastigheden i perioden 20:00 – 06:00 (23)

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 er i beregningsmetoden brugt et antal konstanter f.eks., at der maksimum må være fem minutter mellem de to GPS målinger for ind-punktet og ud-punktet. Disse konstanter kan tilpasse hvert enkelt kryds. Dette kan f.eks. være nødvendigt, hvis beregningsmetoden skal anvendes i kryds med meget lidt eller meget stor trængsel. For at resultaterne i denne artikel er der startet med meget store værdier for disse konstanter, og når der er fundet ture, der ikke burde være med, er konstanterne forminsket. I denne iterative proces er den validering, der beskrives i næste sektion, anvendt.

Validering

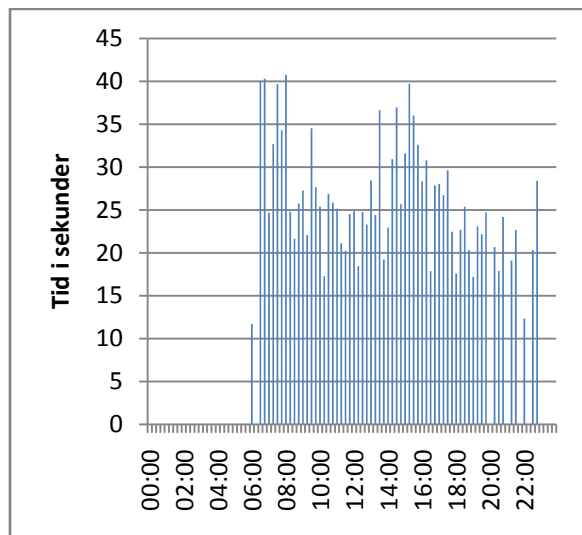
Valideringen af resultaterne er sket ved simpel, sikker og hurtig manuel inspektion af turene vist på et kort (bemærk at al data er automatisk beregnet). Ideen med den manuelle inspektion er vist nedenfor. De grønne dele af figuren er den del af turen, der er beregningsgrundlaget for syd-nord gennemkørselen 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 en af turene, der er forkert (den kører mod øst istedet for mod nord). Denne tur er så fjernet fra beregningerne. I det konkrete tilfælde med den forkerte tur kan den fjernes automatisk ved at check med kompasretningen eller ved at checke, at der ikke er GPS målinger på alternative segmenter (trin 5c i beregningsmetoden fra forrige afsnit).



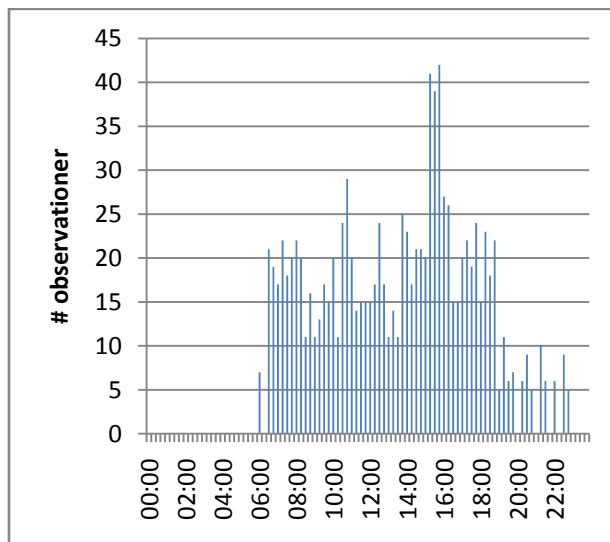
Figur 3 Visualisering til validering af beregningsmetode. Billede fra Google Earth.

Køretider

Tabel 1 ovenfor giver de gennemsnitlige køretider for et kryds over et døgn. I Figur 4 er vist variationen over døgnet på kvartersintervaller i køretiden igennem krydset for en enkelt af tabel 1's 12 retninger, nemlig retningen fra øst mod vest, idet der kun er medtaget intervaller, hvor der er observeret mindst 5 køretider. I alt er der observeret knap 1100 køretider for denne retning. Figur 5 viser antallet af observationer i det enkelte kvarter og giver dermed en indikation af hvor sikkert køretiden er bestemt.



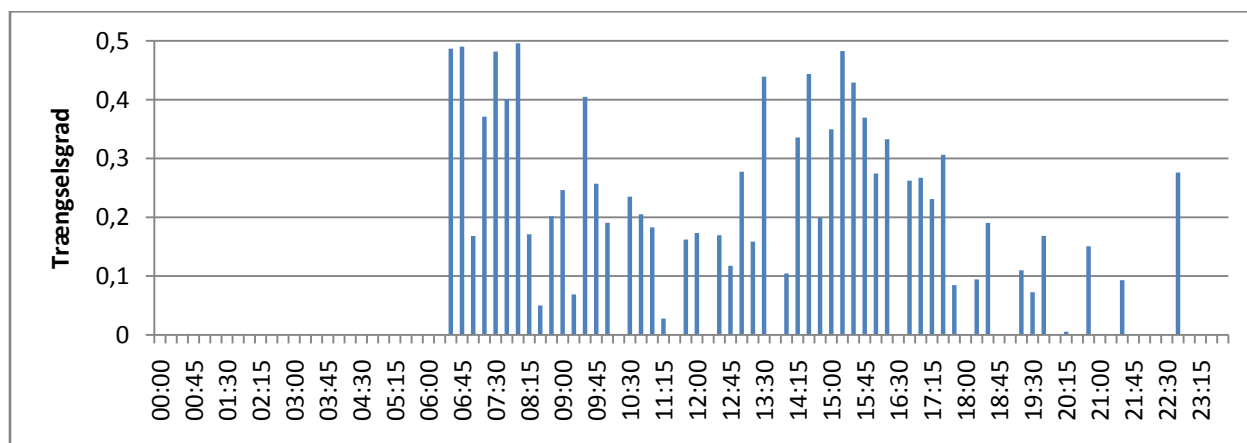
Figur 4 Svingtider fra øst mod vest.



Figur 5: Antal observationer fra øst mod vest.

Figur 4 viser, at i morgen og eftermiddags spidstimen ligger svingtiden omkring 40 sekunder og udenfor myldretiden på ca. 25 sekunder. Figur 5 viser at der er flest observationer om eftermiddagen og under fem observationer per kvarter i perioden 0:00 til 5:45.

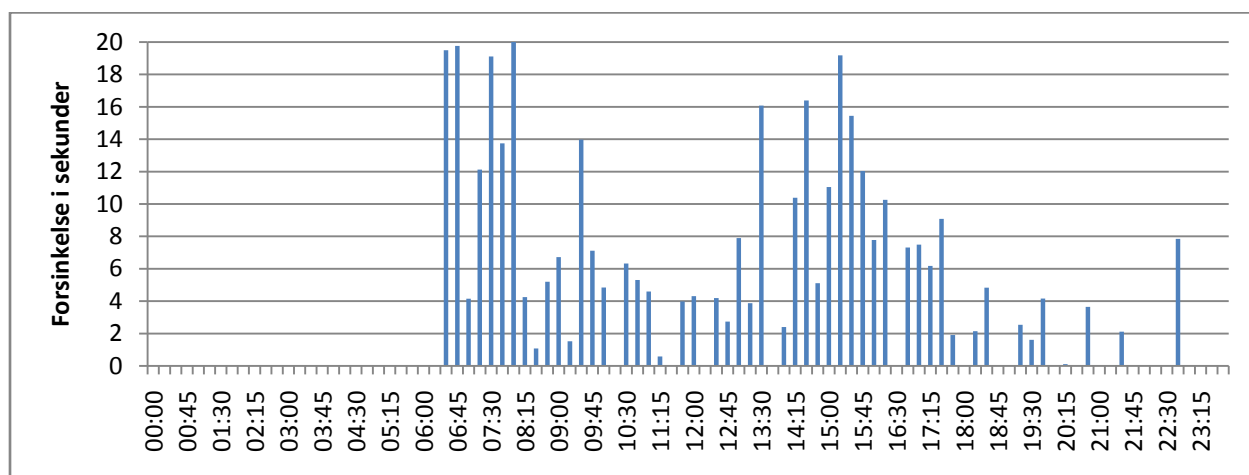
Hvis der i stedet ses på trængselsgraden som defineret i afsnit *Trængselsgrad og forsinkelse* så er denne vist i Figur 6 også her er der sat et minimum på 5 observationer før trængselsgraden beregnes.



Figur 6 Trængselsgrad i krydset Sønderbro-Øster Allé fra øst til vest (ligeud).

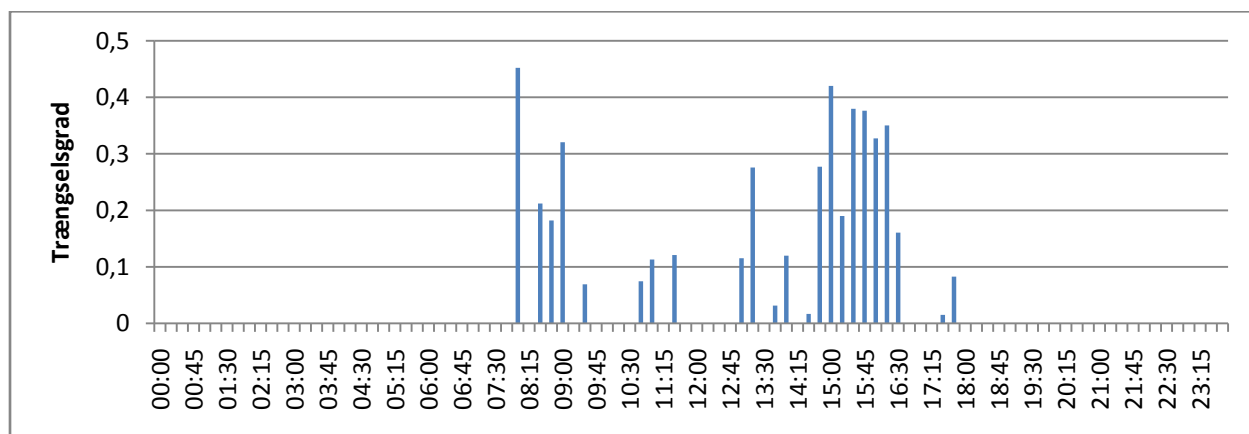
Som det kan ses er maksimum trængslesgraden cirka knap 0.5 fra cirka 6:15 til 8:00 og igen om eftermiddagen om 15:15. Retningen øst-vest er i dette kryds domineret af bolig-arbejdssted trafik om morgenen, derfor optræder de høje trængselsgrader over en længere periode om morgenen end om eftermiddagen.

For at få et absolut tal i stedet for et relative tal som trængselsgraden, kan forsinkelsen beregnes som defineret i afsnittet *Trængselsgrad og forsinkelse*. Dette er vist i Figur 7.

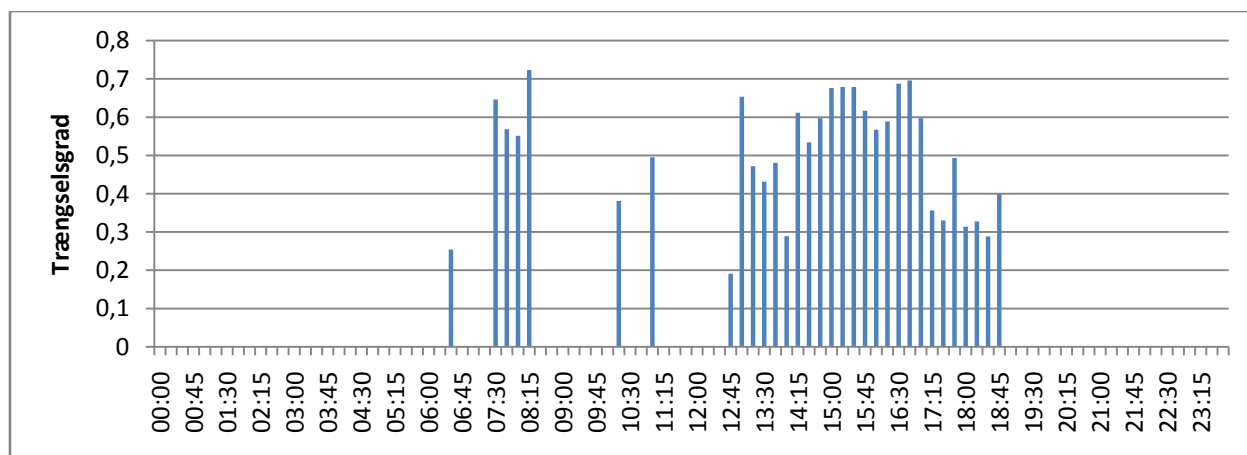


Figur 7: Forsinkelse i krydset Sønderbro-Øster Allé fra øst til vest.

Figur 8 og Figur 9 viser trængselsgraden fra 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.



Figur 8: Trængselsgrad i krydset Sønderbro-Øster Allé fra øst til nord (højre sving)



Figur 9 Trængselsgrad i krydset Sønderbro-Øster Allé fra øst til syd (venstre sving).

Konklusion og videre arbejde

I denne artikel har vi set på hvorledes Floating Car Data (FCD) kan anvendes til at beregne de tre metrikker køretider, trængselsgrader og forsinkelser for signalbaserede kryds.

På trods af at datamængden har været begrænset giver resultaterne en indikation af, hvor og hvornår der er trængsel i de pågældende 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 beregningsmetoder, som præsenteret i denne artikel, få en viden om trængselsituationen på vejnettet på et detaljeringsniveau, der i dag kun kan opnås igennem kostbare manuelle tællinger.

Der er en række interessante retninger for videre arbejde. For den eksisterende beregningsmetode er videre arbejde at finde en (semi-) automatisk måde at fastlægge de konstanter, der er anvendt i metoden. Herudover vil det være interessant at se på de usikkerheder der er på de beregnede køretiderne. Som en anden retning på videre arbejde er det ligefremt at forsøge at genbruge metoden fra signalbaserede kryds til rundkørsler. Yderligere kan ideen med ind- og udpunkter generaliseres til et helt vejnet.

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. *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.
18. *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 .
19. *Understanding Mobility Based on GPS Data*. **Zheng, Yu, et al.** s.l. : International conference on Ubiquitous computing, 2008. s. 312-321.

20. *Mining GPS Data to Argument Raod Models*. **Rogers, Seth, Langley, Pat og Wilson, Christopher**. 1999. KDD-99. s. 104-113.

21. Spar På Farten. [Online] 30. 6 2009. [Citeret: 30. 06 2009.] <http://www.sarpaafarten.dk>.

22. *Spar på Farten-et forsøg med Intelligent Farttilpasning baseret på incitament (forsikringsrabat)*. **Lahrmann, Harry, et al.** s.l. : Trafikdage på Aalborg Universitet, 2007.