

Dette udvidet resumé er udgivet i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

<https://journals.aau.dk/index.php/td>

Kortlægning og kvantificering af cyklistforsinkelser

Mads Paulsen, madsp@dtu.dk

Institut for Teknologi, Ledelse og Økonomi ved Danmarks Tekniske Universitet

Abstrakt

Fremkommelighed er en vigtig parameter for cyklister, men de videnskabelige metoder til at belyse cyklistfremkommelighed står ikke til mål med denne vigtighed. I dette studie præsenteres en metode til kortlægning og kvantificering af cyklistforsinkelser, der tager hensyn til interpersonelle hastighedspræferencer for cyklister for at opnå en mere nøjagtig og valid modellering af forsinkelser. Metoden er udpræget datadreven, og baserer sig udelukkende på gps-data. Metoden tillader nem udpegning af de værste unikke lokationer mht. relative hastigheder, hvori yderligere detaljerede analyser foreslås. Foreløbige resultater indikerer at størstedelen af forsinkelser indtræffer i lyskryds, og at forsinkelser udgør et betydeligt samfundsøkonomisk tab.

Introduktion

En større markedsandel af cykelture giver en bedre udnyttelse af byrummet, mindre trængsel, øget folkesundhed samt reduceret lokalforurening og CO₂-udledning (Assunção-Denis & Tomalty, 2019; Haustein et al., 2019). Derfor investerer byer i stor stil i cykelinfrastruktur - i Danmark så vel som i udlandet (Buehler & Pucher, 2021).

I 2022-cykelregnskabet fra Københavns Kommune svarer 50% af de adspurgte cyklister, at de vælger cyklen, fordi det er hurtigst. Der er derfor behov for ruter gennem byen, hvor cyklister kan tilbagelægge betydelige distancer uden store forsinkelser. I større byer med mange cyklister og mange stier og veje, kan det imidlertid være vanskeligt at danne sig det fulde overblik over, om cyklisternes fremkommelighed er tilfredsstillende alle steder i byen, samt at prioritere hvilke lokalområder, der trænger til det største cykelfremkommelighedsløft.

Cykelpuljeprojektet *DataKrykke* (Datadrevet kortlægning og kvantificering af cyklistforsinkelser), sætter fokus på netop denne problemstilling. Baseret på gps-data fra cyklister, udvikles et analyseværktøj, der kan kvantificere og skabe et overblik over cyklistforsinkelser i et givent geografisk område. Formålet med værktøjet er tofoldigt: (i) Som indledende screeningværktøj ("Hvor er problemerne?"), men også til at kvantificere forsinkelserne på -- evt. allerede kendte -- problematiske lokationer ("Hvor store er problemerne?"). Det er håbet, at dette kan bidrage til at facilitere en prioritering af cykelindsatserne i konkrete områder.

Dette indlæg beskriver hvordan et gps-datasæt med uden øvrig baggrundsinformation end et bruger-ID, kan bruges til at kortlægge reduktioner i hastighed, samt detaljeret at udregne forsinkelser på steder med

reduceret hastigheder. Begge dele mens der systematisk og databaseret tages højde for observerede interpersonelle forskelle i ønskede hastigheder, hvilket differentierer studiet fra tidligere studier om cyklistforsinkelser.

Baggrund

Moderne teknologier har i de senere år muliggjort dataindsamling blandt mange rejsende over store geografiske områder i hidtil uset detaljeringsgrad, fx gps-data. Sådanne data indeholder gps-kordinater med tilhørende tidsstempler, typisk med en logningsfrekvens på 2-3 sekunder, der muliggør beregning af hastigheder rimelig præcision. Dækningen afhænger af dataindsamlingsmetoden, men giver ofte virkelig mange observationer – i dette studies tilfælde flere hundredetusinde cykelture fra tusindvis af individer.

Disse datatyper har i tidligere studier været kombineret med ”map matching” og ofte efterfølgende brugt til at modellere hastigheder på netværkskanter (Argyros et al., 2024; Flügel et al., 2017; Strauss & Miranda-Moreno, 2017), mens andre studier har fokuseret specifikt på forsinkelser i lyskryds (Gillis et al., 2020; Poliziani et al., 2022). I modsætning til tidligere studier, kræver dette studie ingen ”map matching” eller netværksattributter, men baserer sig i stedet alene på gps-data.

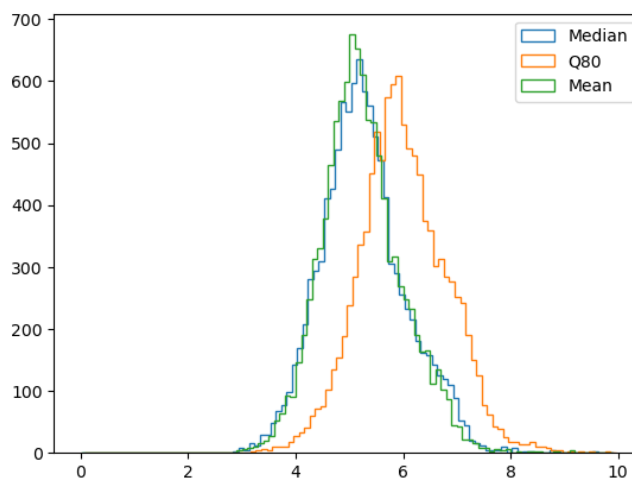
I de senere år, har der også været interesse i at identificere cyklisters individuelle foretrukne basishastigheder (Berjisian & Bigazzi, 2025; Bigazzi & Lindsey, 2019), men ingen af disse studier har sammenholdt basishastigheder med faktiske observerede hastigheder for derved at beregne cyklistforsinkelser. Dette hul lukkes i dette studie, som er det første til at benytte individuelle datadrevne basishastigheder.

Metode

Præprocessering af gps-data

Det anvendte gps-data består af mere end 100 millioner gps-punkter. I det studiets metoder er stærkt datadrevne, er det nødvendigt at kvalitetssikre det indsamlede gps-data. Datasættet er filtreret ud fra følgende principper: *i)* Ture er blevet opdelt, hvor der findes huller i datasættet (mere end 120s eller mere end 200m), *ii)* Punkter med et ”jounce” (fjerdeordensafledte af position) overstigende $\pm 1 \text{ m/s}^4$ er blevet fjernet. Herefter er gps-punkterne for hver tur blevet udglattet vha. et éndimensionelt Kalman filter. Dette modarbejder pludselige ændringer i hastigheder som følge af usikkerheder i gps-lokation eller tidsstemplet.

Personspecifikke basishastigheder



Figur 1 – Fordeling af basishastigheder [m/s] ved brug af hhv. median, 80%-percentilen og middelværdier

For at finde personspecifikke basishastigheder, er GPS-ture fra samme bruger blevet filtreret baseret på fremgangsmåden udpenslet i Ma & Luo, 2016. Med denne tilgang frasorteres hhv. accelererende og

decelererende segmenter, og en yderligere tilføjelse til metoden fjerner også efterfølgende stabile segmenter med gennemsnitshastigheder under 3 m/s. Herefter fastsættes de personspecifikke hastigheder som medianen af gps-punkterne i de tilbageværende segmenter for hver bruger. Et plot af fordelingen af basishastigheder kan ses i Figur 1.

Kortlægning af relative hastigheder

Med de personspecifikke basishastigheder fastsat, omdannes alle gps-punkter til relative hastigheder ved at dividere hastighederne med den personspecifikke basishastighed. De relative hastigheder kortlægges herefter ved at anvende Inverse Squared Distance Weighting (ISDW) (CITER), hvor man for et vilkårligt koordinat kan beregne den forventede relative hastighed som et gennemsnit over alle punkter indenfor en prædefineret ydre radius vægtes med den kvadrerede afstand til hver af disse punkter. På grund af usikkerheder i gps-punkternes placering og for at undgå uendelige store vægte, fastsættes en øvre grænse svarende til vægten fra $r^{min} = 5m$, hvilket medfører at alle punkter indenfor 5m opnår samme vægt. Formlen er angivet herunder for lokation p_0 med v_p^{rel} værende den relative hastighed observeret i punkt p :

$$\bar{v}_{p_0}^{rel} = \frac{\sum_{p \in P_0} w_{p,p_0} \cdot v_p^{rel}}{\sum_{p \in P_0} w_{p,p_0}}$$

med vægten w_{p,p_0} værende vægten for punkt p i mængden P_0 , der repræsenterer alle punkter inden for en given radius r^{max} fra p_0 . Vægten defineres således:

$$w_{p,p_0} = \begin{cases} \frac{1}{(r^{min})^2} & , \quad d(p, p_0) \leq r^{min} \\ \frac{1}{d(p, p_0)^2} & , \quad d(p, p_0) > r^{min} \end{cases}$$

med $d(p, p_0)$ betegnende den Euklidiske afstand mellem p og p_0 .

Metoden kan herefter benyttes til at generere et detaljeret rasterlag med ønsket granularitet, hvor hver celledes værdi beregnes efter formelen. Rasterlaget filtreres på forhånd, så der kun udregnes værdi i celler hvor der allerede er et minimum af gps-punkter (overstigende $N^{min} = 100$), samt alle naboceller til sådanne celler.

Hensyntagen til personfølsomhed

Af hensyn til personfølsomhed filtreres datasættet dog forinden, således at alle punkter inden første cruising event, samt de efterfølgende N^{privat} punkter fjernes. Tilsvarende gøres med punkter tæt på turens slutpunkt. Figur 1 viser konsekvensen af en sådan filtrering for en ikke-personfølsom lokation (Roskilde St). Her ses det tydeligt at et $N^{privat} = 20$ er for lidt til at opretholde personfølsomhed, mens $N^{privat} = 50$ er effektivt (men fjerner værdifuld information i det tilstødende område).



Figur 1 – eksempel ved hhv. 20 (tv) og 50 (th) datapunkter fra første cruising event fjernet.

Identifikation af K værste unikke lokationer

Det resulterende rasterlag muliggør at identificere de K fx 50 værste unikke lokationer nemt, idet værdierne er at finde i et twodimensionelt array. Heri kan den mindste værdi nemt findes, og flages til ikke at denne og alle andre celler inden for en given afstand (fx 30m) ikke bliver genbesøgt. Man fortsætter med denne procedure indtil K lokationer er fundet, under hensynstagen til at en lokation kun medtages, såfremt den har en lavere relativ hastighed end alle celler inden for en given afstand (igen fx 30 meter). Figur 3 viser de 50 unikke lokationer med lavest relativ hastighed i København og Frederiksberg kommuner. Det er værd at bemærke, at disse lokationer identificeres uden hensynstagen til antallet af cyklister – dette element inddrages først i metodens næste skridt

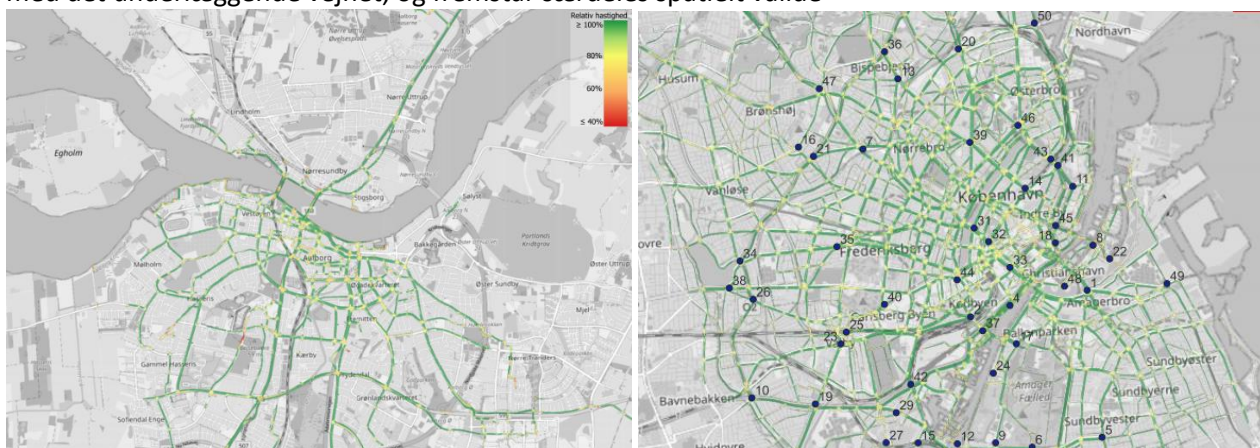
Stedspecifikke gennemsnitsforsinkelser

Identifikationen af de unikke lokationer, muliggør at fokusere detaljerede analyser på de steder, hvor forsinkelserne forventes at være størst. En måde at lave en mere præcis beregning af forsinkelse, er ved at definere en buffer rundt om hver af disse lokationer, og måle hvor lang tid hver krydsende tur har brugt på at passere denne buffer. Fratrækkes den tilsvarende rejsetid, der ville have været brugt med denne cyklists individuelle basishastighed, opnås en konkret øget/reduceret rejsetid for den pågældende cyklist. Summes dette tal over alle passager og divideres med antallet af passager, opnås den gennemsnitlige forsinkelse gennem denne lokation.

Denne kan efterfølgende opskaleres med trafiktællinger eller modelflows for at opnå et estimat for den årlige totale forsinkelse på den givne lokation. En sådan opskalering gør også at antallet af cyklister inddrages, hvilket ikke som udgangspunkt er tilfældet i modellens tidligere skridt. Ganger man yderligere med enhedsprisen for forsinkelse, kan det tilsvarende samfundsøkonomiske tab beregnes.

Resultater

Figur 3 viser den resulterende analyse for Aalborg (tv) og København (th). Den primære tendens er, at de største relative hastighedsnedsættelser primært findes i større kryds, mens forsinkelser mellem kryds synes nærmest ubetydelige i det store hele. For København/Frederiksberg er de 50 unikke lokationer med laveste relative hastigheder identificeret, med Christmas Møllers Plads på det nordligste Amager som lokationen med lavest relativ hastighed. Det er værd at bemærke, at selvom metoden ikke benytter nogen former for netværksinformation (det underliggende OSM-lag er rent visuelt), flugter metodens analyser upåklageligt med det underlæggende vejnet, og fremstår særdeles spatielt valide



Figur 3 – Gennemsnitlige relative hastigheder for Aalborg (tv) og med de 50 langsomste lokationer for København (th)

For Christmas Møllers Plads er ligeledes lavet en detaljeret beregning af den gennemsnitlige forlængede rejsetid for passager. Her konkluderes det, at den gennemsnitlige øgede rejsetid er cirka 50 sekunder, svarende på et samfundsøkonomisk tab på omkring 1.25 kroner per passage. Den primære færdselsretning er nord-syd/syd-nord, og i denne er der omkring 9 millioner cyklister om året jf. tællinger fra Københavns Kommune. Et konservativt skøn er derfor, at det samfundsøkonomiske tab beløber sig til omkring 11 mio. kr. om året.

Diskussion og videre arbejde

Studiet har åbenlyst højererækkende potentiale, der kan udfoldes ved yderligere analyser. Trafiktællinger eller modelbaserede estimater kan bruges til at opskalere gennemsnitlige forsinkelser til årligt samlet forlænget cyklistrejsetid på den pågældende lokation. Vha. enhedspriserne for forlænget rejsetid, kan det samfundsøkonomiske tab let regnes for hver af disse lokationer, og samlet set i et givent geografisk område (kommune, Hovedstadsområdet, etc). Det tilsvarende tal for biltrafik er tidligere blevet anvendt som et "call for action" i eksempelvis Trængselskommissionen (The Danish Commission on Congestion, 2013), hvorfor det må vurderes at være af høj interesse.

Videre arbejde inkluderer naturligvis også at beregne detaljerede forsinkelser for flere lokationer, samt at opskalere dem mere præcist vha. estimerede flows fra transportmodeller. I Storkøbenhavn med flows fra COMPASS, og for øvrige steder vha. en nyligt estimeret efterspørgselsmodel (Argyros et al., 2026) kombineret med en simpel udlægningsmodel, fx som tidligere anvendt i Hallberg et al., 2021

Referencer

- Argyros, D., Fjendbo Jensen, A., & Rich, J. (2026). Welfare-optimal public transport fares in Denmark. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 204, 104790. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104790>
- Argyros, D., Fjendbo Jensen, A., Rich, J., & Dalyot, S. (2024). Riding smooth: A cost-benefit assessment of surface quality on Copenhagen's bicycle network. *Sustainable Cities and Society*, 108, 105473. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105473>
- Assunção-Denis, M. È., & Tomalty, R. (2019). Increasing cycling for transportation in Canadian communities: Understanding what works. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 123, 288–304. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.010>
- Berjisian, E., & Bigazzi, A. (2025). Identification and investigation of cruising speeds from cycling GPS data. *Transportation*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/S11116-025-10595-9/TABLES/8>
- Bigazzi, A., & Lindsey, R. (2019). A utility-based bicycle speed choice model with time and energy factors. *Transportation*, 46(3), 995–1009. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9907-2>
- Buehler, R., & Pucher, J. (Red.). (2021). *Cycling for Sustainable Cities*. MIT Press.
- Flügel, S., Hulleberg, N., Fyhri, A., Weber, C., & Ævarsson, G. (2017). Empirical speed models for cycling in the Oslo road network. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9841-8>
- Gillis, D., Gautama, S., Van Gheluwe, C., Semanjski, I., Lopez, A. J., & Lauwers, D. (2020). Measuring Delays for Bicycles at Signalized Intersections Using Smartphone GPS Tracking Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3), 174. <https://doi.org/10.3390/ijgi9030174>
- Hallberg, M., Rasmussen, T. K., & Rich, J. (2021). Modelling the impact of cycle superhighways and electric bicycles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 149, 397–418. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.015>
- Haustein, S., Jensen, A. F., & Nielsen, T. A. S. (2019). Active transport modes. I *DTU International Energy Report 2019: Transforming Urban Mobility* (s. 38–48). Technical University of Denmark.
- Ma, X., & Luo, D. (2016). Modeling cyclist acceleration process for bicycle traffic simulation using naturalistic data. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 40, 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.04.009>
- Poliziani, C., Rupi, F., Schweizer, J., Saracco, M., & Capuano, D. (2022). Cyclist's waiting time estimation at intersections, a case study with GPS traces from Bologna. *Transportation Research Procedia*, 62(Ewgt 2021), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.041>
- Strauss, J., & Miranda-Moreno, L. F. (2017). Speed, travel time and delay for intersections and road segments in the Montreal network using cyclist Smartphone GPS data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, 155–171. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.001>
- The Danish Commission on Congestion. (2013). *Mobilitet og fremkommelighed i hovedstaden*. <https://www.trm.dk/media/2593/betaenkning-1539-mobilitet-og-fremkommelighed-i-hovedstaden-hovedrapport-netversion.pdf>