

Dette udvidetresumé er publiceret i det elektroniske tidsskrift **Artikler fra Trafikdage på Aalborg**

Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv

Passagerforsinkelser: Model og casestudie

Mads Paulsen, madsp@dtu.dk

Thomas Kjær Rasmussen, tkra@dtu.dk

Otto Anker Nielsen, oani@dtu.dk

Transportdivisionen, Institut for Teknologi, Ledelse og Økonomi, Danmarks Tekniske Universitet

Abstrakt

Når passagerer rejser med kollektiv transport, vil langt størstedelen opleve, at en eller flere af deres forbindelser afviger fra den publicerede køreplan. Selvom det langt fra er ligetil at afgøre hvordan køretøjsforsinkelser influerer passagerenes endelige ankomster, er det åbenlyst, at der er en sammenhæng mellem de to. I dette studie skaber vi denne sammenhæng ved at præsentere en adaptiv rutevalgsmodel, der tillader passagerer at reagere på forsinkelser og realtidsinformation, således at de løbende optimerer deres rutevalg for at ankomme på den mest hensigtsmæssige måde. Flere scenarier for realtidsinformation er testet i et storskala casestudie for Hovedstadsområdet, hvor passagerforsinkelser modelleres for 65 dage, fra hvilke realiserede køretøjsforsinkelser for bus og tog er anvendt. Modellen er storskalaanvendelig med beregningstider under realtid. Resultaterne viser som ventet at passagerforsinkelserne har langt større variation end køretøjsforsinkelser, og at passagerforsinkelserne reduceres ved øget realtidsinformation.

Introduktion

Den kollektive transport eksisterer for at give passagerer muligheden for at bringe sig fra et geografisk sted til et andet – gerne inden for en pålidelig tidsramme. Rejsetiden for de enkelte passagerer påvirkes af de køretøjer, som passageren havde tænkt sig at benytte, men kan også påvirkes af køretøjer, som passageren slet ikke havde overvejet på forhånd. Det kan være en tidligere forbindelse, som bliver mulig, fordi ankommer forsinket til det stop, hvor passageren venter (i så fald har passageren mulighed for at spare tid), men det kan også være fordi passageren er tvunget til at gentænke sin rute, fordi denne er blevet forsinket på et tidligere stadie af sin tur. For at kunne beregne hvor meget en passager bliver forsinket, er vi således nødt til at have information om forsinkelserne på en langt række køretøjer, og ydermere nødt til at have et godt bud på hvordan passageren reagerer på sådanne forsinkelser. Det gør beregning af passagerforsinkelser til en vanskelig opgave.

Formentligt fordi passagerforsinkelser er så vanskelige at have med at gøre, er det heller ikke noget, der fylder meget i medier eller i kontrakter for selskaberne. Her er det nemmere at forstå og håndhæve krav om punktlighed og regularitet for køretøjerne. Ikke desto mindre ville det være hensigtsmæssigt, hvis man havde værktøjer eller data til rådighed, som kunne beregne passagerforsinkelser, da det alt andet lige er passagerene, som systemet er sat i verden for. Eksisterende studier om passagerforsinkelser såsom Nielsen et al. (2008) og Cats et al. (2011), har imidlertid ikke været anvendt på stor skala med alle linjer i det kollektive

transportsystem. Dette studie præsenterer en sådan storskalamodel, der baseret på køretidsforsinkelser, kan beregne de dertilhørende passagerforsinkelser for samtlige passagerer i Hovedstadsområdet.

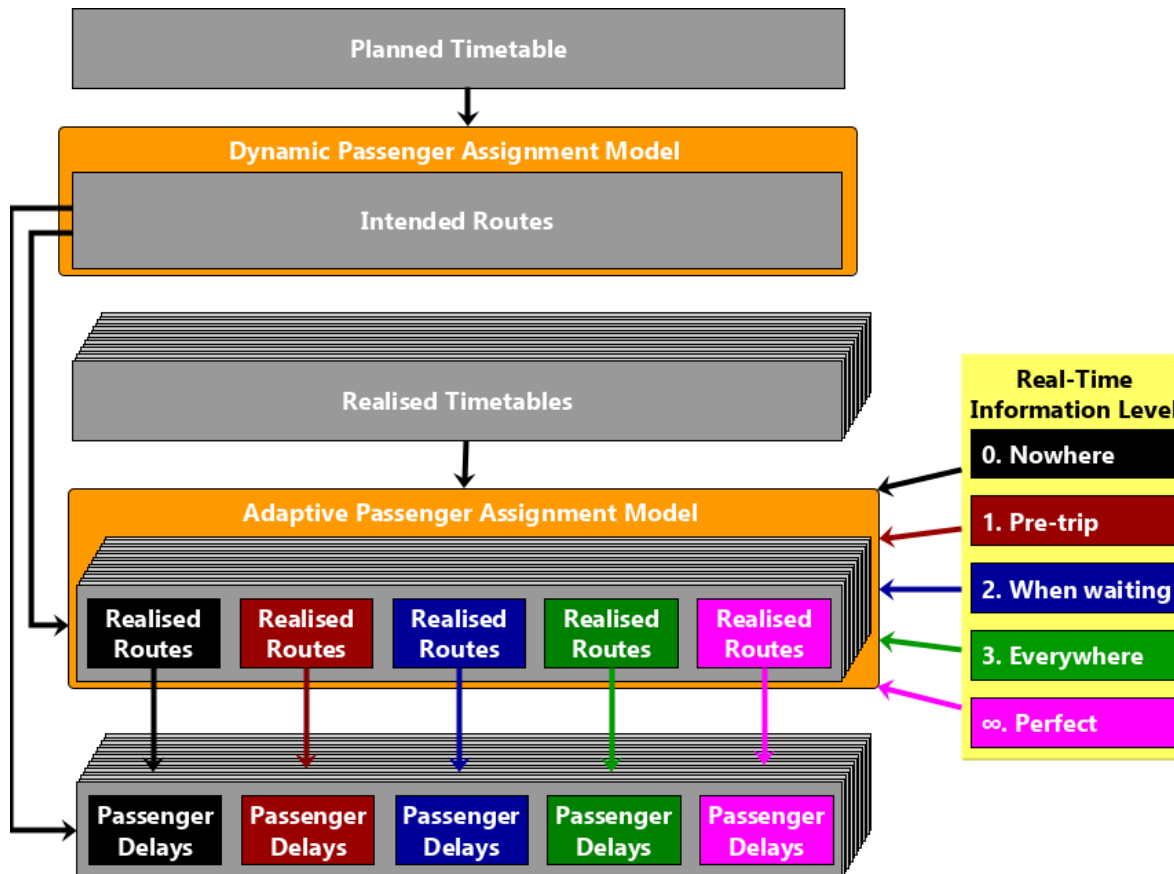
For at kunne gøre det, er det som sagt nødvendigt at kunne beregne passagerenes respons på pludseligt opstået forsinkelser. Dette respons er igen påvirket af den information, passagerene får stillet til rådighed. I dette studie tester vi fem forskellige scenarier for tilgængelighed af reeltidsinformation (se Figur 1):

0. *Ingen steder*. Passagerer følger slavisk de stoppesteder, de oprindeligt havde tiltænkt.
1. *Præ-tur*. Passagerer opdaterer deres rute umiddelbart inden de starter deres tur.
2. *Ventende*. Passagerer opdaterer derudover deres rute, mens de venter.
3. *Alle steder*. Passagerer opdaterer deres ruter hvert 150. sekund, uanset hvad de laver.
- ∞ . *Perfekt information*. Passager har perfekt viden om alle tidligere, nuværende og fremtidige forsinkelser, og vælger fra start af deres rute baseret på den viden.

Ved at teste alle scenarier på samme dage, kan vi isolere effekten af at hoppe fra et trin til et andet, og fx give svar på, hvilken effekt det ville have at have en app, der automatisk opdaterer ruten for én (3.) i stedet for kun manuelt at gøre det, når man står og venter (2.).

Passagerforsinkelsesmodellen

Den samlede model (se Figur 1) starter med at beregne de tiltænkte ruter for hver passager baseret på den publicerede køreplan, samt de generaliserede omkostninger for disse ruter. For hver af vores scenariedage baseret på virkeligt AVL-data benyttes disse tiltænkte ruter i samspil med de realiserede køreplaner og tilgængelighed af reeltidsinformation til at opnå realiserede ruter for hvert scenarie og hvert niveau af tilgængelig reeltidsinformation. De enkelte passagerforsinkelser findes dernæst ved at beregne differensen i generaliserede omkostninger mellem de tiltænkte ruter i basis-scenariet og de realiserede ruter for de realiserede dage.



Figur 1 – Diagram over den samlede model (Adapteret fra Paulsen et al., 2018).

Den adaptive rutevalgsmode

Det store bispænd for at kunne beregne passagerforsinkelserne er at modellere passageres respons på forsinkelser og informationsniveau. Til dette kræves en adaptiv rutevalgsmode.

Vores model har to lag: Det faktisk realiserede lag, og et foreløbigt planlægningslag. Det faktisk realiserede lag indeholder information om ankomster og afgang for samtlige stop for samtlige køretøjer i det kollektive transportsystem. Det foreløbige planlægningslag kender til hvad der er sket op til tiden t , men ved ikke hvad der sker derefter. Hvis et køretøj er forsinket med d minutter ved tiden t , vil planlægningslaget ekstrapolere denne viden og regne med at køretøjet ligeledes vil være d minutter forsinket for ethvert tidspunkt efter t .

Passagerer på- og afstiger køretøjer i henhold til det faktisk realiserede lag, men kan altid kun planlægge deres valg i henhold til det foreløbige planlægningslag. Forskellen mellem vores fem realtidsinformationstilgængelighedsscenarioer består i, hvornår passagerer kan benytte planlægningslaget og agere på baggrund af denne information. Indtil passageren planlægger noget nyt, vil denne fortsætte af den rute, som den sidst har planlagt.

Normalt vil en sådan adaptiv model være beregningsmæssig meget tung. Dette problem begrænses i denne model ved at sætte restriktioner på, hvornår passagerer kan søge efter nye ruter. I stedet for at tillade det på ethvert tænkeligt tidspunkt, kan det maksimalt gøres hvert 150. sekund ($2\frac{1}{2}$ minut), og kun for tidspunkter delelige med $2\frac{1}{2}$ minut (07:52:30, 07:55:30, 07:57:30, osv). Derudover gælder begrænsninger for hvert af realtidsinformationstilgængelighedsscenarioerne, hvorfor det i mange af scenarierne kun vil være få passagerer, der reelt får lov til at søge efter en ny rute for mange af tidspunkterne.

Den anvendte korteste vej-søgning baserer sig på RAPTOR-algoritmen (Delling et al., 2015), men er modificeret til at inkludere forskellige nyttevægte for ventetid, gangtid og køretid i forskellige køretøjer (bus, metro, s-tog, lokaltog, fjernog). Derudover modificeret – baseret på dør-til-dør-implementeringen i Rieser et al. (2018) – så algoritmen fungerer uden prædefineret start- og slutstop.

Casestudie: Hovedstadsområdet

Data

Vi har testet vores model for 65 realiserede dage – alle hverdage i efteråret 2014. Køretøjsforsinkelser for fjernog og S-tog er stillet til rådighed af BaneDanmark, mens data for forsinkelser af busser stammer fra Movia. Hvorimod data er ganske fint dækkende for tog, er forsinkelsesdata kun tilgængeligt for udvalgte busser for hver dag, med en dækning på omkring 50%. Vi har i vores model antaget at busser uden tilgængelig forsinkelsesdata kørte i henhold til køreplanen.

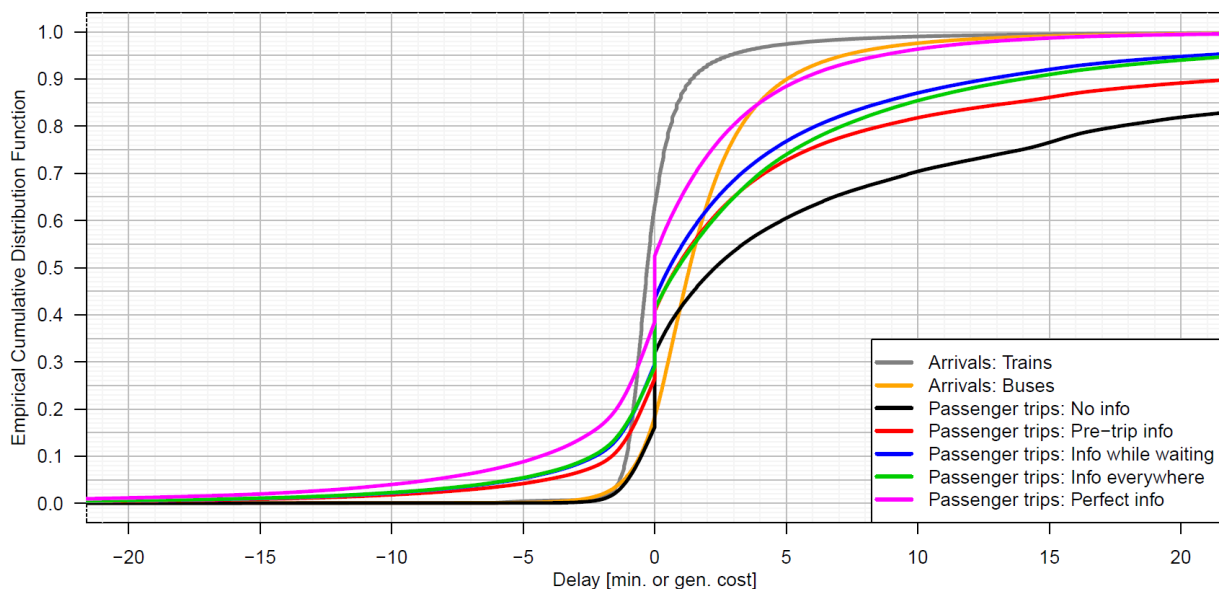
For hver af disse dage – og for hvert scenarie af realtidsinformation – beregnes passagerforsinkelser for 787,531 ture. Disse ture er baseret efterspørgselsmodellen fra COMPAS (Prato et al., 2013).

Resultater

Beregningstiderne for de forskellige realtidsinformationstilgængelighedsscenarioer kan ses i Tabel 1. Med beregningstider under et halvt døgn, kører modellen hurtigere end realtid, og er derfor anvendelig i storskala. Dog ses en betydelig stigning i rejsetid, når mængden af tilgængelig realtidsinformation – og dermed også antallet af korteste vej-søgninger – øges.

Tabel 1 – Gennemsnitlig beregningstid per realiseret dag for hver af realtidsinformationstilgængelighedsscenarioerne samt for basis-scenariet [tt:mm].

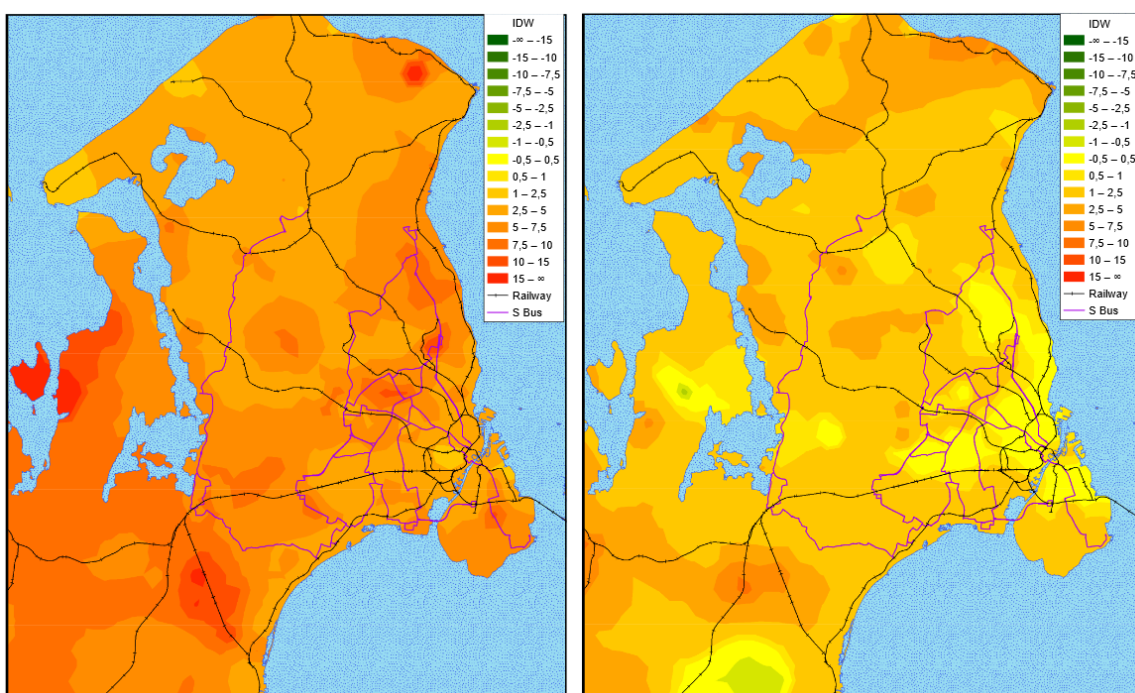
| Scenarie | Basis | 0. Ingen steder | 1. Præ-tur | 2. Ventende | 3. Alle steder | ∞ . Perfekt information |
|---------------|-------|-----------------|------------|-------------|----------------|--------------------------------|
| Beregningstid | 00:56 | 01:01 | 01:23 | 02:44 | 07:23 | 01:03 |



Figur 2 – Empirisk fordelingsfunktion for køretøjsankomstforsinkelser samt passagerforsinkelser for forskellige scenarier for realtidstidsinformationstilgængelighed.

Figur 2 viser fordelingen af passagerforsinkelser for de forskellige scenarier for tilgængelig realtidstidsinformation. Det ses at togforsinkelserne er ret stabile og generelt ligger tæt på nul. Busforsinkelserne har en relativ lang hale mod højre (forsinkelser), men er ligeledes mere stabil end alle passagerforsinkelserne.

Det ses direkte af figuren, at den tilgængelig realtidstidsinformation har stor betydning for passagerforsinkelserne. Jo mere information, jo længere opad rykkes grafen – svarende til en generel sænkning af forsinkelsen, som endda ofte bliver til sparet tid. Selv med ingen realtidstidsinformation ses det, at over 15 procent af alle ture får en bedre tur, end de havde regnet med. Dette tal stiger til omkring 40%, når realtidstidsinformation er tilgængeligt overalt. Ligeledes minimeres de positive forsinkelser (sene ankomster), når mængden af realtidstidsinformation øges. Generelt ses det dog, at søgning efter en ny rute ved turstart har en stor effekt, hvorimod de øvrige opgraderinger i realtidstidsinformation har mindre effekt.



Figur 3 – Estimering af middelværdien af passagerforsinkelser [minutter] for forskellige geografiske områder ved ingen realtidstidsinformation (tv) og realtidstidsinformation alle steder (th) for ture med afgangstidspunkt mellem 06:00 og 09:00.

Figur 3 viser hvordan forskellige afgangslokationer influerer middelværdien af passagerforsinkelser, og hvordan realtidsinformation påvirker denne. I første omgang ses det, at København samt dets forstæder forbundet med højklasset transport (S-tog og metro) generelt har en lav gennemsnitlig passagerforsinkelse, der mere eller mindre er 0, når mængden af realtidsinformation er tilstrækkelig. Når en sådan ikke er til stede, vil passagerer generelt opleve dårligere ture (længere tid, højere ventetid, mv.), end de havde tiltænkt.

Konklusion

Med dette studie har vi præsenteret en model for beregning af passagerforsinkelser, der baserer sig på køretøjsforsinkelser. Modellen understøtter forskellige niveauer for realtidsinformationstilgængelighed, og modellerer adaptivt passagerenes ageren gennem systemet i takt med at denne information bliver tilgængelig for dem. Modellen blev testet i storskala på Hovedstadsområdet for 65 dage med observerede køretøjsforsinkelser og mere end trekvart million passagerture.

Modellen viser ikke overraskende, at passagerforsinkelser varierer mere end køretøjsforsinkelser, og understreger at evaluering af køretøjsforsinkelser alene ikke giver et retvisende billede af, hvordan passagererne forsinkes. Ligeledes har effekten af realtidsinformationstilgængelig været undersøgt, med konklusionen at store besparelser kan hentes for passagerer ved at søge efter den bedste rute, når deres tur starter – men at turen kan forbedres yderligere ved at rette ind efter realtidsinformation henad vejen.

Modellen kan ligeledes bruges til at beregne ændringer i flow i netværket som følge af forsinkelser, og til at give et udførligt datagrundlag for grundige analyser af dør-til-dør-passagerforsinkelser, idet forsinkelser for alle individer af en syntetisk population beregnes for hver dag. Vi ser derfor modellen som et brugbart værktøj, der kan hjælpe med at kortlægge, hvordan driftsforstyrrelser i det kollektive transportsystem reelt påvirker systemets brugere.

Referencer

- Cats, O., Koutsopoulos, H. N., Burghout, W., & Toledo, T. (2011). *Effect of real-time transit information on dynamic path choice of passengers*. *Transportation Research Record*, 2217(2217), 46–54. <https://doi.org/10.3141/2217-06>
- Delling, D., Pajor, T., & Werneck, R. F. (2015). Round-based public transit routing. *Transportation Science*, 49(3), 591–604. <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0534>
- Nielsen, A., Otto, Landex, O., & Frederiksen, D., Rasmus. (2008). *Passenger delay models for rail networks*. *Schedule-Based Modeling of Transportation Networks*, 46, 1–23. https://doi.org/10.1007/978-0-387-84812-9_2, 10.1007/978-0-387-84812-9
- Paulsen, M., Rasmussen, T. K., & Nielsen, O. A. (2018). *Modelling Railway-Induced Passenger Delays in Multi-Modal Public Transport Networks: An Agent-Based Copenhagen Case Study Using Empirical Train Delay Data*. Præsenteret ved 14th Conference on Advanced Systems in Public Transport and TransitData 2018, Brisbane, Australien.
- Prato, C. G., Rasmussen, T. K., Nielsen, O. A., & Watling, D. P. (2013). *A disaggregate pseudo-dynamic assignment for the activity-based model of the Greater Copenhagen Area*. Præsenteret ved 13th World Conference on Transport Research (WCTR), Rio de Janeiro, Brasilien.
- Rieser, M., Métrailler, D., Lieberherr, J. (2018). *Adding Realism and Efficiency to Public Transportation in MATSim*. Præsenteret ved 18th Swiss Transport Research Congerence, Ascona, Schweiz.