

Dette 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>

Compass – Model for kollektivt rutevalg

Rasmus Dyhr Frederiksen, rdf@rapidis.com
Rapidis ApS

Abstrakt

I Compass ønskes, at rutevalgsaktiviteter modelleres detaljeret og tidsafhængigt for at passe ind i den samlede aktivitetsbaserede modelstruktur. Der er derfor udviklet en dis-aggregeret kollektiv rutevalgsmodel, hvor hvert stop i hovedstadsområdet beskrives. Hvis alle kollektive linjer beskrives med detaljerede køreplaner, bliver det en udfordring at opstille fremtidsscenarier, hvor køreplanen hænger sammen med hensyn til korrespondancer. Hvis de kollektive linjer derimod alene beskrives ud fra gennemsnitlige frekvenser, bliver detaljeringsgrad og præcision reduceret. Rutevalgsmodellen er derfor udviklet som en blanding af detaljerede køreplansbeskrivelser og simple frekvensbeskrivelser i et tidsafhængigt kollektiv transportnetværk, hvilket er unikt i forhold til andre store trafikmodeller. I Compass bruges dette til at beskrive bus- og metrobetjening på basis af frekvens, mens S-tog samt regional- og fjern tog beskrives med køreplaner. Desuden er modellen udvidet med forskellige specifikke elementer f.eks. metro-kronen og modellering af trængsel. I oplægget beskrives modellen, tilpasning til Compass og arbejdet med data. Endelig vises beregningsnøjagtighed i forhold til tællinger.

Baggrund og formål

I forbindelse med Compass-modellens aktivitetsbaserede efterspørgselsmodel er det nødvendigt med en detaljeret og dis-aggregeret model for kollektivt rutevalg. Men dette giver en grundlæggende udfordring i forhold til opstilling af fremtidsscenarier – det er svært og arbejdskrævende at opstille fremtidskøreplaner uden at introducere korrespondance problemer – eller i det mindste at matche nutidskøreplanerne, som er produceret af trafikselskabernes køreplanlæggere.

I forbindelse med IPTOP-forskningsprojektet, som fokuserede på bedre planlægning af kollektiv trafik, blev der udført et arbejde med at udvikle en ny rutevalgsmodel som gav mere fleksible muligheder for at modellere både køreplans- og frekvensbaserede linjer i én, detaljeret og dynamisk rutevalgsmodel. Formålet var at give nye muligheder for både at kunne modellere reelt frekvensbaserede linjer (såsom metro og højfrekvente bybusser) bedre, men også give mere fleksible muligheder for at opstille fremtidsscenarier, ved at mindske datakravene og mindske korrespondance udfordringer- f.eks. ved at modellere feeder-lines som frekvenslinjer.

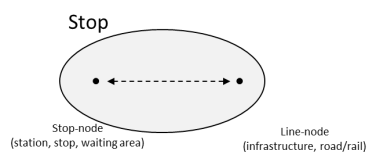
Rapidis har operationaliseret rutevalgsmodellen til stor-skala beregninger og gennemført omfattende test. Der er til brug for Compass tilføjet en række specifikke features.

Metode

Kollektive rejsendes præferencer for ruter beskrives med en mikro-økonomisk tilgang ved sæt af rutevalgsparemetre. Disse angiver en omkostning for hver tidskomponent for ruten – så som ventetid, rejsetid i de forskellige typer af kollektive transportmidler, skjulte ventetid, skiftetid, skift, etc. Rutevalgsparemetre i Compass er baseret på Landstrafikmodellen (LTM) estimeret på basis af TU-data. Modellen er dynamisk og ikke statisk – det vil sige at alle beregnede ruter (og outputs) er detaljerede og tidsafhængige – ikke statiske gennemsnitsværdier.

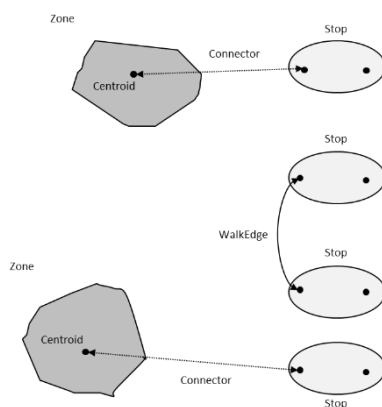
Modellering af det kollektive transportnet

De grundlæggende elementer i modellering af det kollektive net er stop og terminaler. Et stop er internt modelleret som dels et stop hvor rejsende venter, samt et sted hvor der stiges af og på (figur 1).



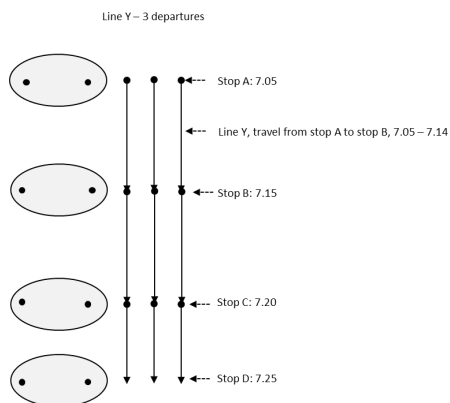
Figur 1 Et kollektivt stop

Rejser starter og slutter i zoner/terminaler. Og hvor muligt kan der gås mellem stops som vist i figur 2.



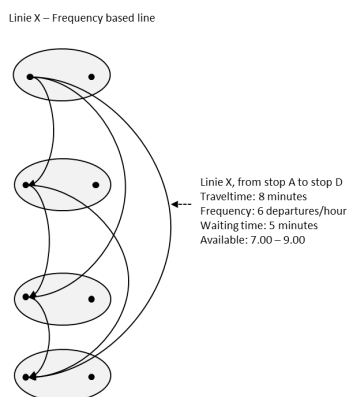
Figur 2 Grundlæggende elementer i det kollektive netværk

På basis af stops modelleres de to linje-typer: de køreplansbaserede linjer og de frekvensbaserede linjer. De køreplansbaserede linjer beskriver rejsemuligheder fra stop til stop på bestemte tidspunkter (figur 3).



Figur 3 Modellering af køreplanslinjer

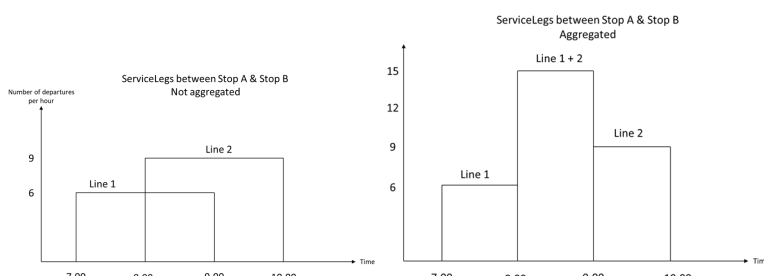
Frekvenslinjer modelleres i modsætning hertil som direkte rejsemuligheder fra stander til stander. Det vil sige en service, som er tilgængelig i et vist tidsinterval (figur 4). Ventetiden for at benytte servicen bestemmes af den gennemsnitlige frekvens for linjen i det pågældende tidsinterval.



Figur 4 Frekvenslinje udfoldet som direkte forbindelser

Konceptuelt kan man beskrive denne tilgang som en rejsende der venter et stykke tid (f.eks. 5 minutter) på et stop, og herefter træder op på et rullebånd og kører til sin destination.

Grunden til at denne modellering er valgt, skyldes at det er nødvendigt at kunne aggregere frekvenslinjer mellem stop-par for at undgå det såkaldte rød/grøn bus problem og sikre, at den reelle service modelleres korrekt. Denne frekvensaggregering udføres dynamisk, altså tidsafhængigt. Figur 5 viser et eksempel.

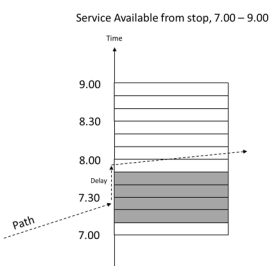


Figur 5 Forbindelse mellem stop A og B – service fra 2 linjer før og efter aggregering

Modellering af trængsel

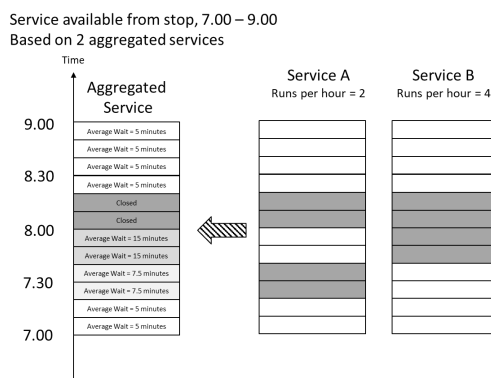
Rutevalgsmodellen håndterer også modellering af trængsel. For køreplansbaserede ruter er dette simpelt – der tillades kun ruter med påstigning hvor det er muligt – hvis den konkrete afgang har flere passagerer end der er kapacitet, er der lukket for påstigning.

For de frekvensbaserede linjer modelleres trængsel i tidsintervaller, f.eks. 10 minutter. Det undersøges ved påstigning, om der er ledig plads, ellers udskydes påstigningen til et tidsinterval, som er åbent for påstigning (figur 6). Manglende kapacitet kan altså give ekstra ventetid eller helt lukke for påstigning.



Figur 6 Frekvenslinje - check for mulig påstigning

Dette er noget mere kompliceret i forbindelse med aggregering af frekvenslinjer. Her udføres trængselsmodellering på basis af de underliggende linjer. Hvis en af disse er fyldt, vil den ikke være en del af den aggregerede service i de pågældende tidsintervaller, og ventetiden vil stige. Hvis alle de aggregerede linjer er fyldte, er de pågældende tidsintervaller helt lukkede.



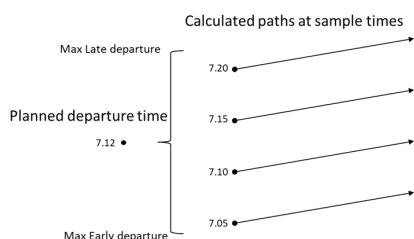
Figur 7 Håndtering af trængsel for aggregerede frekvenslinjer

Beregning af ruter og trafik

Modellen benytter en iterativ beregningsmetode, hvor trafik baseret på trængsel omfordes indtil der opnås en rimelig ligevægtstilstand.

Et vigtigt element i beregningen er håndtering af tidlig/sen afgang, når der beregnes ruter i forbindelse med start af rejse fra en terminal:

- Først beregnes et valgsæt af ruter fordelt på forskellige tidspunkter.
- Baseret på ønsket afrejsetidspunkt vælges herefter den bedste af ruterne i valgsættet, under hensyntagen til det opfattede besvær ved evt. tidlig eller sen afgang.



Figur 8 Ønsket rejsetidspunkt og valgsæt af ruter

Fremgangsmåden skitseret i figur 8 sikrer dels en fornuftig modellering af muligheden for at skyde afrejsetidspunktet for at benytte en bedre rute lidt tidligere eller senere. Det er samtidigt en forudsætning for at kunne blande køreplans- og frekvensruter i en og samme model.

Selve beregningen af ruter i det blandede kollektive net sker vha. en algoritme som er en blanding af klassiske korteste vej algoritmer. Den kan beskrives som en blanding af label-setting shortest path på stops og label-correcting shortest path på køreplans-elementer. For at opnå den nødvendig performance bruges en *Event Dominance* tilgang, som beskrevet af Florian og Spiess (1999). Dette sikrer at ineffektive ruter hurtigt luges ud undervejs i beregningen.

Der er til brug for Compass tilføjet modellering af kvalitetstillæg for brug af metro og modellering af cykelmedtagning i tog.

Rutevalgsmodul er implementeret således, at det kan udnytte mange CPU-kerner og detaljeret beskrevet i Frederiksen og Bagger (2020).

Datagrundlag og beregningsnøjagtighed

Datagrundlag

En detaljeret rutevalgsmodel er ikke nyttig uden et godt datagrundlag. De to væsentligste elementer er en modelbeskrivelse af det kollektive transportnetværk samt en OD-matrix. OD-matrix og trafikbetjening skal beskrive et hverdagsdøgn i 2017, som er basisåret for Compass.

Beskrivelsen af det kollektive transportnetværk blev baseret på køreplansdata importeret fra Rejseplanen.dk (september 2017). Herefter blev busser og metro omdannet fra en køreplansbeskrivelse til en mere gennemsnitlig frekvensbeskrivelse. Stop-strukturen med skiftemuligheder blev bibeholdt uden aggregering. Alle stops blev grupperet til ca. 3.000 kollektive terminaler – svarende til stationer og stop-grupper. Disse terminaler er basis for OD-matricen.

Der blev i opstilling af OD-matrix taget udgangspunkt i Movias Rejsekort analysesystem. Det system er opbygget af mange af de samme modelværktøjer, som anvendes i Compass. Systemet anvender forskellige datakilder (køreplaner fra Rejseplanen.dk, rejsekort-data, OD-data fra LTM og tællingsdata) til at opstille en OD-matrix (stop- til stopniveau opdelt i time-intervaller). OD-matrix blev afstemt i matrixjustering til tællinger. Udover Movia og Metro data, bidrog DSB også med tællinger og rejsekort data. Den opstillede OD-matrix blev herefter aggregeret til terminaler, tidsintervaller og turformål, som anvendes i Compass.

Sammenligning med tællinger

Outputtet består af trafik-flows, rejsetids-matricer, samt belastningsdata på linje-niveau. Input og output data er bundet op på GIS-data for at understøtte redigering af input, samt god visualisering af resultater.

Tabel 1 viser som eksempel sammenligning mellem talte og beregnede passagerer på Metro. Der er en samlet afvigelse på 0,6%. Beregningsnøjagtigheder er nærmere beskrevet i Hansen (2021).

Tabel 1 – Talt og beregnede passagerer på Metro på hverdagsdøgn i 2017

Station	Talt	Model	Abs. forskel	Rel. forskel
Vanløse	11,022	12,110	1,088	9.9%
Flintholm	9,407	8,483	-923	-9.8%
Lindevang	3,965	4,006	40	1.0%
Fasanvej	6,780	6,118	-662	-9.8%
Frederiksberg	12,787	12,184	-603	-4.7%
Forum	9,969	9,893	-77	-0.8%
Nørreport	48,353	46,743	-1,610	-3.3%
Kongens Nytorv	22,270	23,440	1,170	5.3%
Christianshavn	13,629	13,208	-420	-3.1%
Islands Brygge	7,727	8,183	457	5.9%
DR Byen	4,121	4,545	423	10.3%
Sundby	771	906	135	17.6%
Bella Center	3,199	3,068	-132	-4.1%
Ørestad	7,642	7,064	-578	-7.6%
Vestamager	2,774	2,583	-191	-6.9%
Amagerbro	9,840	11,263	1,423	14.5%
Lergravsparken	5,890	6,563	673	11.4%
Øresund	2,272	2,213	-58	-2.6%
Amager Strand	1,557	1,400	-158	-10.1%
Femøren	2,173	2,137	-36	-1.7%
Kastrup	2,004	1,917	-86	-4.3%
Lufthavn	11,646	12,884	1,237	10.6%
Total	199,798	200,910	1,112	0.6%

Referencer

Florian, M og Spiess, H. (1999). *Deterministic Time Table Transit Assignment*

Frederiksen, R.D. og Bagger, P. (2020). *Documentation of mixed transit route choice model for Compass*.
Version 1.8, Rapidis, 21 oktober 2020

Hansen, C. O. (2021). *Transit assignment accuracy (Probe 15B)*. Doc.No. 51024-021 rev. C, 12 March 2021