

# Betydningen af skiftekarakteristika for passagerers rutevalg i kollektiv transport

Morten Eltved

Otto Anker Nielsen

Marie Karen Anderson

Med betydelige bidrag fra:

Mette Berner Dyrberg, Charlotte Baastrup Christensen & Carlo G. Prato

# Agenda

- Baggrund for studiet
- Udvælgelse af betydende variable for skifteoplevelsen
- Estimerede rutevalgsmodeller
- Hvordan anvender vi resultaterne?

# Skift og ventetid er træls!



Men hvad er mest træls. . .

# Hvor vil du helst skifte? I

Vente her?



... eller her?



# Hvor vil du helst skifte? II

Skifte her?



... eller her?



# Hvor vil du helst skifte? III

Skifte her?



... eller her?



# Hvordan beskriver vi skifteoplevelsen?

| Studier                       | Niveau-ændringer | Rulletrapper | Rampe-længde | Venteskure | Realtids-information | Wayfinding | Sikkerhed/tryghed | Shopping-muligheder | Stations-udtryk | Sæder ved perronen |
|-------------------------------|------------------|--------------|--------------|------------|----------------------|------------|-------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| Anderson (2013)               |                  |              |              |            |                      |            |                   | (x)                 |                 |                    |
| Chowdhury & Ceder (2013)      |                  |              |              |            | X                    | X          | X                 |                     |                 |                    |
| Chowdhury et al. (2014)       |                  |              |              | X          |                      | X          |                   |                     |                 | (x)                |
| Garcia-Martinez et al. (2018) | X                |              |              |            | X                    |            |                   |                     |                 |                    |
| Gou & Wilson (2011)           | X                | X            | X            |            |                      |            |                   |                     |                 |                    |
| Iseki & Taylor (2009)         | (x)              | (x)          |              | (x)        | (x)                  | (x)        | (x)               |                     | (x)             |                    |
| Navarrete & Ortúzar (2013)    |                  | X            |              |            |                      | X          |                   |                     |                 |                    |
| Raveau et al. (2011)          | X                | X            |              |            |                      |            |                   |                     |                 |                    |
| Raveau et al. (2014)          | X                | X            |              |            |                      |            |                   |                     |                 |                    |
| Schakenbos et al. (2016)      |                  |              |              |            |                      |            |                   | X                   |                 |                    |



# Udvælgelse af variable I

- Otte variable udvalgt til nærmere evaluering
- Evalueret på fire kriterier:
  - Validitet: hvor relevant er variabelen?
  - Pålidelighed: hvor objektiv er variabelen?
  - Målbarhed: hvor let er variabelen at måle?
  - Datatilgængelighed: hvor krævende er dataindsamlingen?

# Udvælgelse af variable II

**Stationsudtryk**

**Sæder ved perron**

**Sikkerhed/tryghed**

**Shoppingmuligheder**

**Niveauændringer**

**Venteskure**

**Wayfinding**

# Udvælgelse af variable III

|                           | Validitet | Pålidelighed | Målbarhed | Data   |
|---------------------------|-----------|--------------|-----------|--------|
| <b>Stationsudtryk</b>     | Lav       | Lav          | Lav       | Lav    |
| <b>Sæder ved perron</b>   | Medium    | Høj          | Høj       | Lav    |
| <b>Sikkerhed/tryghed</b>  | Medium    | Medium       | Medium    | Medium |
| <b>Shoppingmuligheder</b> | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Niveauændringer</b>    | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Venteskure</b>         | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Wayfinding</b>         | Høj       | Medium       | Medium    | Medium |

# Udvælgelse af variable III

|                           | Validitet | Pålidelighed | Målbarhed | Data   |
|---------------------------|-----------|--------------|-----------|--------|
| Stationsudtryk            | Lav       | Lav          | Lav       | Lav    |
| Sæder ved perron          | Medium    | Høj          | Høj       | Lav    |
| Sikkerhed/tryghed         | Medium    | Medium       | Medium    | Medium |
| <b>Shoppingmuligheder</b> | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Niveauændringer</b>    | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Venteskure</b>         | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Wayfinding</b>         | Høj       | Medium       | Medium    | Medium |

# Udvælgelse af variable III

|                           | Validitet | Pålidelighed | Målbarhed | Data   |
|---------------------------|-----------|--------------|-----------|--------|
| Stationsudtryk            | Lav       | Lav          | Lav       | Lav    |
| Sæder ved perron          | Medium    | Høj          | Høj       | Lav    |
| Sikkerhed/tryghed         | Medium    | Medium       | Medium    | Medium |
| <b>Shoppingmuligheder</b> | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Niveauændringer</b>    | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| Venteskure                | Høj       | Høj          | Høj       | Høj    |
| <b>Wayfinding</b>         | Høj       | Medium       | Medium    | Medium |

# Variabeldefinition: Shoppingmuligheder

Butik tilgængelig på mindst ét skift på turen



# Variabeldefinition: Niveauændringer

Rulletrappe tilgængelig på stationen

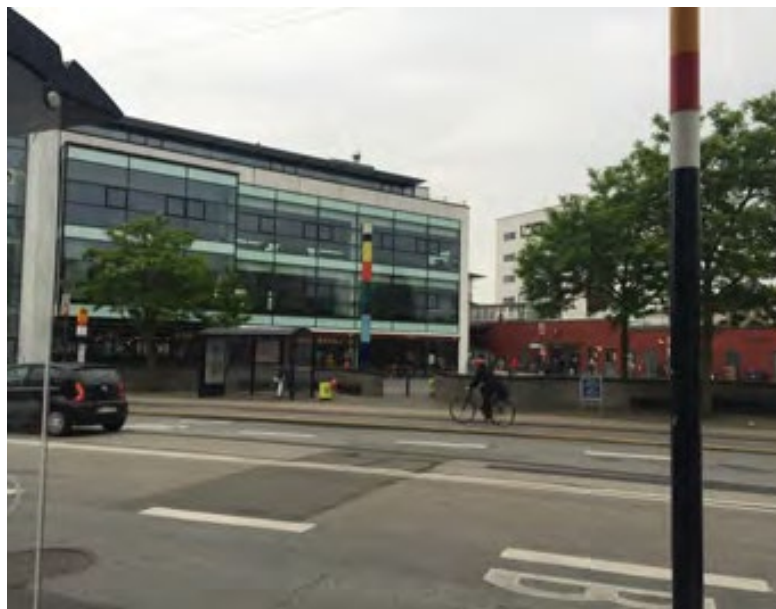


# Variabeldefinition: Wayfinding

Niveau 1



Niveau 2



Niveau 3

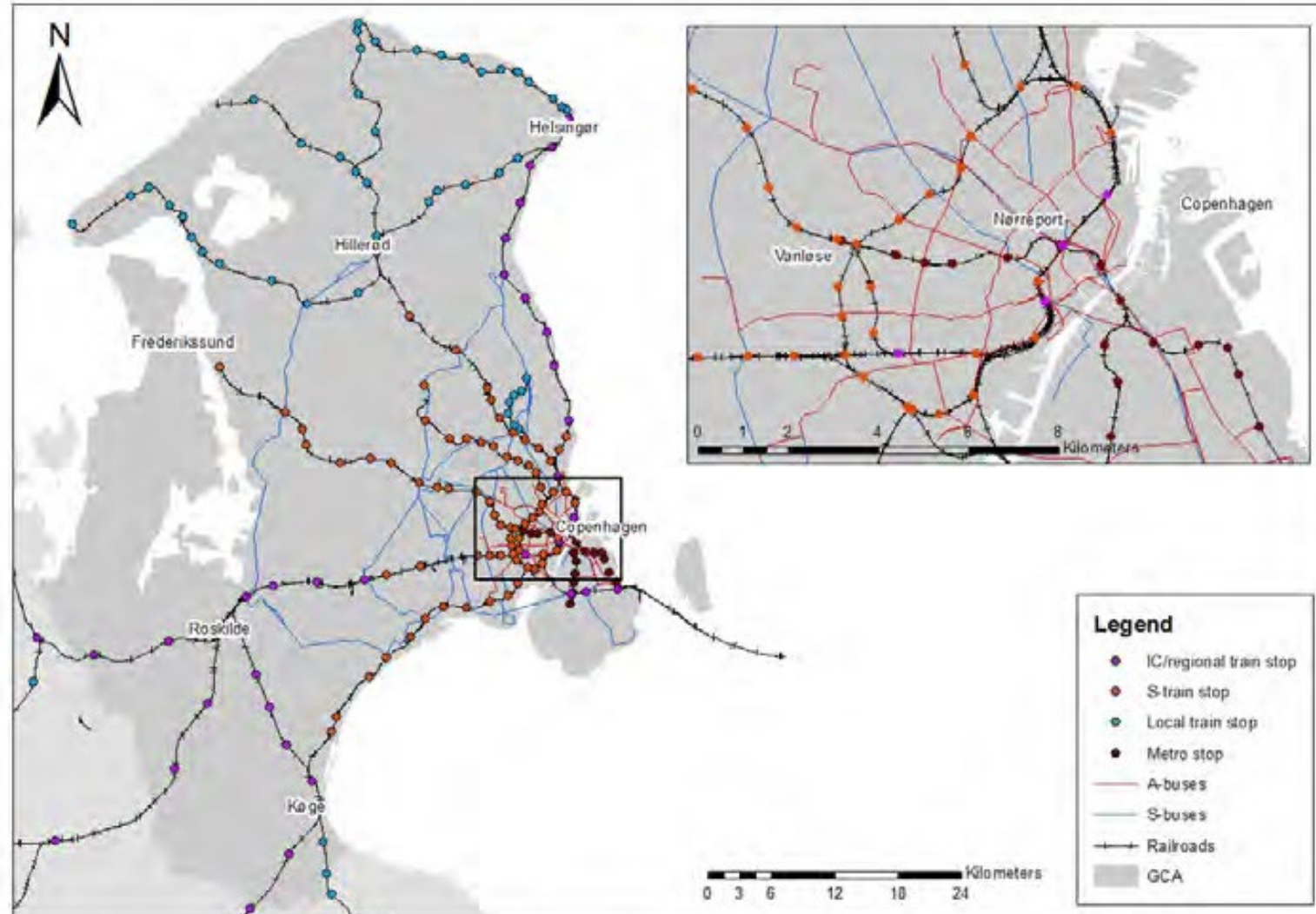




# Dataindsamling

- Detaljeret indsamling af variable for de 20 største skiftestationer
  - 65% af alle skift i stikprøven er foretaget her
  - Alle tilgængelige skiftemuligheder er defineret
- Mere generel indsamling for resterende stationer og stop
  - Baseret på klassifikationer af stations- og stop typer
- Skiftekarakteristika indgår i rutevalgmodellens skiftekanter

# Case study



## Data for observerede ruter

- 5.121 observerede ruter (Transportvaneundersøgelsen 2009-2011)
  - 2.667 arbejdsrelaterede ture
  - 2.454 fritidsture
- Matchet til det kollektive netværk i Anderson (2013)
- 18-200 alternativer genereret for hver observeret rute

# Modelestimation – Multinomial Logit model

- Valgsandsynlighed for alternativet:

$$P_k = \frac{\exp(V_k)}{\sum_{l \in C_n} \exp(V_l)}$$

- $V_j$  er nytten af rute  $k$  og beskrives af flg. variable:
  - Skjult ventetid
  - Til- og frabringer gangtid
  - Køretid i køretøj (bus, S-tog, Metro, lokalbane, fjern- og regionaltoget)
  - Gangtid mellem stop
  - Ventetid (fordelt på transportmidler)
  - Shoppingmulighed
  - Rulletrapper
  - Wayfinding

# Resultater – Grundmodel

|                                  | Rate of substitution<br>(ift bus køretid) |         |
|----------------------------------|---|---------|
|                                  | Work                                      | Leisure |
| <b>Til- og frabringertid</b>     | 1,43                                      | 1,37    |
| <b>Bus + ½ * skjult ventetid</b> | 1,00                                      | 1,00    |
| <b>Lokaltog</b>                  | 0,98                                      | 0,89    |
| <b>Metro</b>                     | 0,76                                      | 0,82    |
| <b>Reg, and intercitytog</b>     | 1,02                                      | 1,34    |
| <b>S-tog</b>                     | 0,91                                      | 0,93    |
| <b>Skiftestraf</b>               | 5,47                                      | 5,44    |
| <b>Gangtid ved skift</b>         | 0,33                                      | 0,49    |
| <b>Ventetid ved skift</b>        | 0,09                                      | 0,09    |

# Resultater – Grundmodel

|                           | Rate of substitution<br>(ift bus køretid) |             |
|---------------------------|---|-------------|
|                           | Work                                      | Leisure     |
| Til- og frabringertid     | 1,43                                      | 1,37        |
| Bus + ½ * skjult ventetid | 1,00                                      | 1,00        |
| Lokaltog                  | 0,98                                      | 0,89        |
| Metro                     | 0,76                                      | 0,82        |
| Reg, and intercitytog     | 1,02                                      | 1,34        |
| S-tog                     | 0,91                                      | 0,93        |
| <b>Skiftestraf</b>        | <b>5,47</b>                               | <b>5,44</b> |
| Gangtid ved skift         | 0,33                                      | 0,49        |
| Ventetid ved skift        | 0,09                                      | 0,09        |

# Resultater – Model med skiftekarakteristika

|                            | Rate of substitution<br>(ift bus køretid) |         |
|----------------------------|---|---------|
|                            | Work                                      | Leisure |
| Til- og frabringertid      | 1,41                                      | 1,37    |
| Bus + ½ * skjult ventetid  | 1,00                                      | 1,00    |
| Lokaltog                   | 0,97                                      | 0,86    |
| Metro                      | 0,79                                      | 0,81    |
| Reg, and intercitytog      | 0,95                                      | 1,29    |
| S-tog                      | 0,94                                      | 0,94    |
| Skiftestraf                | 5,64                                      | 5,40    |
| Gangtid ved skift          | 0,40                                      | 0,55    |
| Ventetid ved skift – Bus   | 0,07                                      | 0,08    |
| Ventetid ved skift – Tog   | 0,14                                      | 0,10    |
| Ventetid ved skift – Metro | 0,37                                      | 0,51    |
| Shoppingmulighed           | -0,90                                     | -0,34*  |
| Wayfinding – medium svært  | 0,82                                      | 0,45*   |
| Wayfinding – meget svært   | 2,19                                      | 0,49*   |
| Rulletrapper ved skift     | -1,02                                     | -0,83   |

# Resultater – Model med skiftekarakteristika

|                            | Rate of substitution<br>(ift bus køretid) |         |
|----------------------------|---|---------|
|                            | Work                                      | Leisure |
| Til- og frabringertid      | 1,41                                      | 1,37    |
| Bus + ½ * skjult ventetid  | 1,00                                      | 1,00    |
| Lokaltog                   | 0,97                                      | 0,86    |
| Metro                      | 0,79                                      | 0,81    |
| Reg, and intercitytog      | 0,95                                      | 1,29    |
| S-tog                      | 0,94                                      | 0,94    |
| Skiftestraf                | 5,64                                      | 5,40    |
| Gangtid ved skift          | 0,40                                      | 0,55    |
| Ventetid ved skift – Bus   | 0,07                                      | 0,08    |
| Ventetid ved skift – Tog   | 0,14                                      | 0,10    |
| Ventetid ved skift – Metro | 0,37                                      | 0,51    |
| Shoppingmulighed           | -0,90                                     | -0,34*  |
| Wayfinding – medium svært  | 0,82                                      | 0,45*   |
| Wayfinding – meget svært   | 2,19                                      | 0,49*   |
| Rulletrapper ved skift     | -1,02                                     | -0,83   |



# Resultater – Model med skiftekarakteristika

|                            | Rate of substitution<br>(ift bus køretid) |         |
|----------------------------|---|---------|
|                            | Work                                      | Leisure |
| Til- og frabringertid      | 1,41                                      | 1,37    |
| Bus + ½ * skjult ventetid  | 1,00                                      | 1,00    |
| Lokaltog                   | 0,97                                      | 0,86    |
| Metro                      | 0,79                                      | 0,81    |
| Reg, and intercitytog      | 0,95                                      | 1,29    |
| S-tog                      | 0,94                                      | 0,94    |
| Skiftestraf                | 5,64                                      | 5,40    |
| Gangtid ved skift          | 0,40                                      | 0,55    |
| Ventetid ved skift – Bus   | 0,07                                      | 0,08    |
| Ventetid ved skift – Tog   | 0,14                                      | 0,10    |
| Ventetid ved skift – Metro | 0,37                                      | 0,51    |
| Shoppingmulighed           | -0,90                                     | -0,34*  |
| Wayfinding – medium svært  | 0,82                                      | 0,45*   |
| Wayfinding – meget svært   | 2,19                                      | 0,49*   |
| Rulletrapper ved skift     | -1,02                                     | -0,83   |

## Resultater – Model med heterogenitet

- Test af forskellige præferencer mellem passagererne
- Stor heterogenitet for skiftestraffen
  - Forskellige opfattelser af hvor slemt skift er
- Også heterogenitet for wayfinding
  - Nogen tillægger det ingen betydning

# Sammenligning af modeller

|                 | Base model | Multinomial model | Mixed logit model |
|-----------------|------------|-------------------|-------------------|
| Log(likelihood) | -2.735     | -2.697            | *-2.340           |
| AIC             | 5.489      | 5.426             | 4.731             |
| BIC             | 5.542      | 5.520             | 4.878             |

# Konklusion

- Intuitive fortegn på parametre for skiftekarakteristika
  - Indkøbsmulighed - positivt
  - Sværere wayfinding - negativt
  - Rulletrapper - positivt
- Skiftekarakteristika mere relevant for arbejdsrelaterede ture
- Skiftestraf:
  - 2,7 minutter for bedst mulige skift
  - 7,8 minutter for værst mulige skift

# Hvordan anvender vi resultaterne?

- Forbedring af rutevalgsmodeller
- Anlæg af nye stationer
- Optimere passagerflows på stationer

## Fremtidigt arbejde

- Inkludere første og sidste station/stop i modellen
- Bruge nye indsamlede ture fra 2011-2019
- Indsamle mere data om stationskarakteristika
- Evt. benytte rejsekortdata i stedet for TU observationer

**DTU**



# Results – Multinomial Logit Model

| Parameters                            | Work    |             | Leisure |             | Rate of substitution<br>(to bus IVT) |         |
|---------------------------------------|---------|-------------|---------|-------------|--------------------------------------|---------|
|                                       | Coef.   | Rob. t-test | Coef.   | Rob. t-test | Work                                 | Leisure |
| <b>In-vehicle time</b>                |         |             |         |             |                                      |         |
| <b>Bus + ½ * hidden waiting time</b>  | -0.371  | -26.06      | -0.336  | -27.15      | 1.00                                 | 1.00    |
| <b>Local train</b>                    | -0.360  | -6.97       | -0.289  | -6.14       | 0.97                                 | 0.86    |
| <b>Metro</b>                          | -0.292  | -12.52      | -0.274  | -11.49      | 0.79                                 | 0.81    |
| <b>Reg. and intercity train</b>       | -0.353  | -14.24      | -0.434  | -14.94      | 0.95                                 | 1.29    |
| <b>S-train</b>                        | -0.347  | -21.87      | -0.316  | -20.03      | 0.94                                 | 0.94    |
| <b>Transfer components</b>            |         |             |         |             |                                      |         |
| <b>Transfer penalty</b>               | -2.088  | -13.09      | -1.814  | -12.01      | 5.64                                 | 5.40    |
| <b>Transfer waiting time Bus</b>      | -0.026  | -4.50       | -0.026  | -4.56       | 0.07                                 | 0.08    |
| <b>Transfer waiting time Train</b>    | -0.050  | -8.23       | -0.035  | -5.03       | 0.14                                 | 0.10    |
| <b>Transfer waiting time Metro</b>    | -0.137  | -5.14       | -0.170  | -4.9        | 0.37                                 | 0.51    |
| <b>Transfer walking time</b>          | -0.147  | -5.71       | -0.186  | -6.35       | 0.40                                 | 0.55    |
| <b>Shop available at any transfer</b> | 0.332   | 2.47        | 0.115   | 0.85*       | -0.90                                | -0.34   |
| <b>Ease of wayfinding – Lit./Mod.</b> | -0.306  | -2.61       | -0.150  | -1.12*      | 0.82                                 | 0.45    |
| <b>Ease of wayfinding - Difficult</b> | -0.811  | -2.44       | -0.165  | -0.59*      | 2.19                                 | 0.49    |
| <b>Escalators at transfer points</b>  | 0.376   | 4.48        | 0.278   | 2.67        | -1.02                                | -0.83   |
| <b>Other components</b>               |         |             |         |             |                                      |         |
| <b>Access/egress</b>                  | -0.523  | -19.41      | -0.460  | -20.98      | 1.41                                 | 1.37    |
| <b>First boarding is on a bus</b>     | -0.897  | -4.60       | -0.607  | -2.36       | 2.42                                 | 1.81    |
| <b>No. of est. parameters:</b>        | 16      |             | 16      |             |                                      |         |
| <b>Number of observations:</b>        | 2,667   |             | 2,454   |             |                                      |         |
| <b>Null log-likelihood:</b>           | -13,063 |             | -11,659 |             |                                      |         |
| <b>Final log-likelihood:</b>          | -2,697  |             | -3,258  |             |                                      |         |
| <b>Likelihood ratio test:</b>         | 20,733  |             | 16,803  |             |                                      |         |
| <b>Adjusted rho-square:</b>           | 0.792   |             | 0.719   |             |                                      |         |



# Resultater – Heterogenitet (mixed model)

| Parameters  | Work    |             | Leisure |             | Rate of substitution<br>(to bus IVT) |                            |
|---|---------|-------------|---------|-------------|--------------------------------------|----------------------------|
|   | Coef.   | Rob. t-test | Coef.   | Rob. t-test | Work                                 | Leisure                    |
| <b>In-vehicle time</b>  |         |             |         |             |                                      |                            |
| Bus + ½ * hidden waiting time ( $\mu$ )                                       | -0.437  | -8.14       | -0.405  | -8.23       | 1.00 [1.00-1.00]                     | 1.00 [1.00-1.00]           |
| Bus + ½ * hidden waiting time ( $\sigma$ )                                    | -0.351  | -11.52      | -0.492  | -12.18      |                                      |                            |
| Local train ( $\mu$ )   | -0.587  | -7.48       | -0.993  | -4.37       | 0.97 [0.46-1.81]                     | 0.72 [0.14-2.23]           |
| Local train ( $\sigma$ )  |         |             | -0.511  | -2.64       |                                      |                            |
| Metro ( $\mu$ )   | -0.388  | -10.17      | -0.814  | -7.10       | 0.64 [0.30-1.19]                     | 0.84 [0.17-2.57]           |
| Metro ( $\sigma$ )  |         |             | 0.480   | 3.61        |                                      |                            |
| Reg. and intercity train ( $\mu$ )  | -0.659  | -8.94       | -0.463  | -5.29       | 0.89 [0.32-2.00]                     | 1.27 [0.21-4.31]           |
| Reg. and intercity train ( $\sigma$ )   | -0.309  | -6.08       | -0.597  | -12.92      |                                      |                            |
| S-train ( $\mu$ )   | -0.664  | -11.62      | -0.638  | -10.10      | 0.86 [0.37-1.70]                     | 0.93 [0.26-2.39]           |
| S-train ( $\sigma$ )  | 0.163   | 3.39        | 0.276   | 2.78        |                                      |                            |
| <b>Transfer components</b>  |         |             |         |             |                                      |                            |
| Transfer penalty ( $\mu$ )  | 1.252   | 15.83       | 1.203   | 12.34       | 5.79<br>[2.63-11.10]                 | 6.16<br>[1.41-17.71]       |
| Transfer penalty ( $\sigma$ )   | -0.107  | -3.49       | 0.420   | 4.99        |                                      |                            |
| Transfer waiting time Bus   | -0.040  | -3.72       | -0.059  | -5.47       | 0.06 [0.03-0.12]                     | 0.10 [0.03-0.23]           |
| Transfer waiting time Train   | -0.083  | -6.58       | -0.061  | -5.16       | 0.14 [0.06-0.26]                     | 0.10 [0.04-0.24]           |
| Transfer waiting time Metro   | -0.292  | -5.46       | -0.338  | -4.40       | 0.48 [0.23-0.90]                     | 0.57 [0.19-1.33]           |
| Transfer walking time   | -0.242  | -5.74       | -0.267  | -5.89       | 0.40 [0.19-0.74]                     | 0.45 [0.15-1.05]           |
| Shop available at any transfer ( $\mu$ )<br>(positive log-norm. distribution) | -0.742  | -1.78       | 0.434   | 0.85        | -1.35<br>[(-6.35)-(-0.09)]           | -0.74<br>[(-1.71)-(-0.25)] |
| Shop available at any transfer ( $\sigma$ )                                   | 1.040   | 5.81        |         |             |                                      |                            |
| Ease of wayfinding – Lit./Mod. ( $\mu$ )<br>(normal distribution)             | -0.514  | -2.61       | -0.342  | -1.41       | 0.84<br>[-2.02-4.20]                 | 0.58<br>[0.20-1.35]        |
| Ease of wayfinding – Lit./Mod. ( $\sigma$ )                                   | 0.739   | 3.27        |         |             |                                      |                            |
| Ease of wayfinding – Difficult ( $\mu$ )<br>(normal distribution)             | -2.141  | -2.90       | -0.383  | -0.88       | 3.53<br>[-1.65-10.75]                | 0.65<br>[0.22-1.51]        |
| Ease of wayfinding – Difficult ( $\sigma$ )                                   | 2.654   | 3.93        |         |             |                                      |                            |
| Escalator at transfer point ( $\mu$ ) (positive log-norm. distribution)       | -1.020  | -4.15       | -1.088  | -2.55       | -0.91<br>[(-3.91)-(-0.08)]           | -0.78<br>[(-3.16)-(-0.08)] |
| Escalator at transfer point ( $\sigma$ )                                      | -0.931  | -13.12      | 0.795   | 7.53        |                                      |                            |
| <b>Other components</b>   |         |             |         |             |                                      |                            |
| Access/egress ( $\sigma$ )  | -0.143  | -2.75       | -0.148  | -3.52       | 1.54 [0.48-3.76]                     | 1.57 [0.38-4.37]           |
| Access/egress ( $\sigma$ )  | 0.391   | 14.46       | 0.379   | 12.29       |                                      |                            |
| First boarding is on a bus  | -0.897  | -5.84       | -1.477  | -3.73       | 2.85 [1.35-5.32]                     | 2.51 [0.85-5.82]           |
| No. of est. parameters:   | 25      |             | 24      |             |                                      |                            |
| Number of observations:   | 2,667   |             | 2,454   |             |                                      |                            |
| Null log-likelihood:  | -13,063 |             | -11,659 |             |                                      |                            |
| Final log-likelihood:   | -2,340  |             | -2,626  |             |                                      |                            |
| Adjusted rho-square:  | 0.819   |             | 0.773   |             |                                      |                            |