

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	1
1.1	Metod	2
1.2	Disposition	2
2	Mobilnätsdata för trafikillämpningar	3
2.1	Tillgänglig positioneringsdata från signalering i mobila nät	3
2.2	Estimering av trafikrelaterad data från mobilnätet	8
2.2.1	Estimering av OD-matriser från mobilnätsdata	9
2.2.2	Estimering av restider från mobilnätsdata	12
2.2.3	Estimering av ruttval från mobilnätsdata	14
2.2.4	Identifiering av färdmedel från mobilnätsdata	15
3	Sammanfattning av genomförda workshops	16
3.1	Workshop Mobilnätsdata för trafikillämpningar del 1	16
3.1.1	Inledning	16
3.1.2	Intelligent Management for the Networked Society, Simon Moritz, Ericsson	17
3.1.3	Mobilnätsdata för skattning av trafikläge och reseefterfrågan, David Gundlegård, LiU	17
3.1.4	Mobility Management and Privacy, Olof Görnerup, SICS	18
3.1.5	Morgondagens modeller för strategisk trafikplanering, Ida Kristoffersson, Sweco	19
3.1.6	Trafik Stockholm 2.0, Rodrigo Perez, Trafik Stockholm	20
3.1.7	Sammanfattning av diskussioner och frågor som dök upp under dagen	21
3.2	Workshop Mobilnätsdata för trafikillämpningar del 2	22
3.2.1	Gruppdiskussion Strategiska modeller/analyser	23
3.2.2	Gruppdiskussion Realtidsdata och trafikledning	25
4	Sammanfattning och slutsatser	28
5	Referenser	30
6	Bilaga 1 – Deltagarlistor Workshops	32

1 Bakgrund

Mobila nätverk i kombination med allt mer avancerade och prisvärda mobila enheter gör att både människor och i allt större utsträckning även fordon och gods kommunicerar mer med omvärlden. Detta genererar stora mängder information som på sikt kommer att förändra hur vi kan estimerar, prediktera och förstå våra trafiksystem. Samtidigt finns det ett stort behov av nya metoder för att samla in data som beskriver människors resvanor.

Data från traditionella metoder har en del brister och exempelvis resvaneundersökningar har fått lägre och lägre svarsfrekvenser genom åren. Detta samtidigt som morgondagens prognosmodeller kommer att ställa högre krav på indata gällande såväl mängd, kvalitet och detaljeringsgrad. Som exempel kan nämnas OD-matriser som idag i allmänhet beskriver ett normaldygn eftersom indata vanligtvis inte består av tillräckligt många observationer för att disaggregera mer än på dygnsnivå. Här skulle mobilnätsdata kunna vara ett bra underlag för att estimerar mer detaljerade OD-matriser, både spatialt och temporalt. Även när det gäller restider öppnas nya möjligheter då mobilnätsdata ger en stor mängd data under en lång tid. Detta öppnar för möjligheter att kostnadseffektivt följa upp åtgärder över tid och ger ett bra underlag för kalibrering och validering av prognosmodeller. Data om restider och hur de utvecklas över tid är ett värdefullt underlag för många olika delar inom Trafikverkets organisation.

Även om det redan finns kommersiella tjänster baserade på mobilnätsdata i en del länder är området omoget, framförallt när det gäller möjligheten att följa resandet över tid och hitta mönster och se hur det förändras. Tillgången till data är något som har bromsat användningen av mobilnätsdata. Denna typ av data görs dock tillgänglig i fler och fler länder och nu även i Sverige. Enligt rapporten "Nya indatakällor för trafikprognoser" som tagits fram av Sweco, Linköpings universitet och KTH på uppdrag av Trafikverket och Trafikanalys, är mobilnätsdata en av de datakällor som har identifierats som mest intressanta som indata till framtidens prognosmodeller och som komplement till resvaneundersökningar.

Ingen enskild datakälla utgör dock lösningen utan en kombination av flera datakällor kommer att krävas. GPS-data kan exempelvis bidra med mer detaljerad data, medan mobilnätsdata ger en väldigt stor mängd data över längre tid vilket är lämpligt exempelvis för kalibrering och validering av modeller. Erfarenheten av dessa datakällor är dock relativt begränsad i Sverige och därför bör vidare studier genomföras för att öka kunskapen om deras för- och nackdelar. Denna rapport tillsammans med det pågående Vinnova-finansierade MODE-projektet är ett första steg i detta arbete.

Syftet med denna rapport är att presentera förutsättningarna för att använda mobilnätsdata som indata samt för kalibrering och validering av framtidens prognosmodeller. Prognosmodellerna begränsas till stor del av vilken data de baseras på och det är därför viktigt att så snart som möjligt få en bild av hur nästa generations data om människors resvanor ser ut, så att utvecklingen av morgondagens prognosmodeller kan fortgå.

Vidare så är syftet att presentera konkreta exempel på hur mobilnätdata kan komplettera traditionella insamlingsmetoder och ge rekommendationer för fortsatt arbete.

1.1 Metod

Utgångspunkten för arbetet har varit två workshops där inbjudna experter diskuterat behov, möjligheter och hinder för mobilnätdata som en datakälla för olika trafikrelaterade tillämpningar. Experter på mobil- och telekom och experter inom prognosmodeller, trafikanalys och trafikstyrning sammanfördes vid två tillfällen i Stockholm mellan 2014 och 2015. Vid första tillfället presenterades det senaste arbetet inom både mobilnätdata och trafikstyrning och prognosmodeller. Vid andra tillfället diskuterades olika användningsområden för mobilnätdata.

1.2 Disposition

Rapporten inleds med en kondenserad version av den litteraturstudie kring mobilnätdata som fanns med i rapporten "Nya indatakällor för trafikprognoser" från 2013 som togs fram av Sweco, Linköpings universitet och KTH på uppdrag av Trafikverket och Trafikanalys.

Därefter följer en sammanfattning av de båda workshops som har anordnats inom projektet. Rapporten avslutas med en sammanfattning och de slutsatser som har dragits av projektet.

2 Mobilnätdata för trafikillämpningar

I det här kapitlet beskrivs mobilnätets uppbyggnad, hur signalering mellan mobiltelefoner (terminaler) och mobilnätet går till och hur den informationen kan användas för att skatta trafikrelaterade variabler som OD-flöden och ruttval. Kapitlet är till stora delar en kondenserad version av avsnittet om mobilnätdata i rapporten "Nya indatakällor för trafikprognoser" som togs fram 2013 av Sweco, Linköpings universitet och KTH på uppdrag av Trafikverket och Trafikanalys

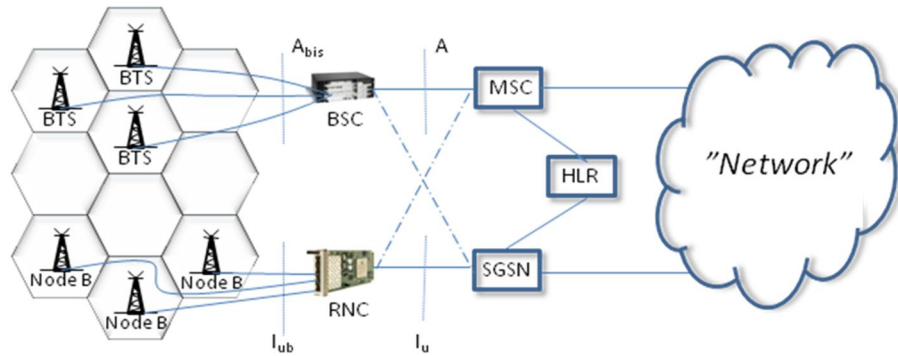
2.1 Tillgänglig positioneringsdata från signalering i mobila nät

Detta avsnitt beskriver den positioneringsdata som finns tillgänglig i signaleringsdata som genereras av mobila terminaler i GSM (2G)- och UMTS (3G)-nätverk. Dessa data kan användas för att bestämma den mobila terminalens position vid olika tidpunkter och därmed vara underlag för att estimerera användarens resmönster. En mer detaljerad beskrivning av tillgänglig positioneringsdata finns i Gundlegård & Karlsson (2006) och Gundlegård & Karlsson (2009).

Vilken typ av positioneringsdata som genereras av mobila terminaler beror till stor del på hur terminalen används. Den mest detaljerade positioneringsinformationen, både med hänsyn till tid och till rum, genereras av aktiva telefoner som används för röstsamtal eller datasessioner. Signaleringsdata som genereras av aktiva terminaler hanteras i GSM av algoritmer för Radio Resource Management (RRM) som återfinns i radioaccessnätet. Även telefoner som är påslagna, men inte används aktivt, genererar användbar positioneringsinformation, dock med betydligt lägre upplösning i tid och rum. Signaleringsdata från terminaler i viloläge sköts av algoritmer för Mobility Management (MM) som återfinns i kärnnätet. Kompletterande information som är mer anpassad för positionering kan erhållas från dedikerade positioneringsfunktioner i nätverket.

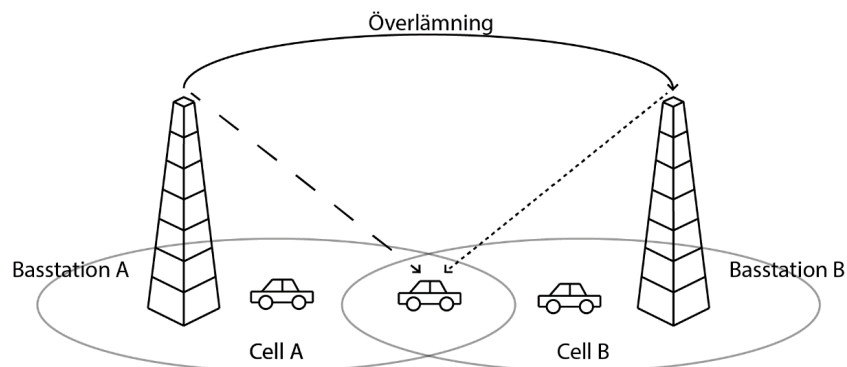
RRM-algoritmer är bara aktiva när terminalen är i upptaget tillstånd och en viktig uppgift för RRM är att initiera byte av basstation (överlämning), så att exempelvis samtal kan upprätthållas även om terminalen är i rörelse. Den enhet i GSM-nätet som har ansvar för beslut om byte av basstation är Base Station Controller (BSC), den fattar beslutet baserat på mät rapporter från den mobila terminalen och den basstation (BTS) som terminalen är uppkopplad emot. Dessa mät rapporter är mycket användbara vid mer detaljerad positionering av en den mobila terminalen. Den mobila terminalen och basstationen sänder med jämna mellanrum mät rapporter med mottagen signalstyrka (RXLEV) och signalkvalitet i form av bitfels sannolikhet (RXQUAL). Den mobila terminalen mäter signalens kvalitet och styrka på nedlänken och basstationen mäter signalens kvalitet och styrka på upplänken. Baserat på en lista av närliggande basstationer som sänds ut av den aktiva basstationen lyssnar terminalen även till angränsande basstationer och mäter signalstyrkan till dessa. Från terminalen skickas mät rapporter via en dedikerad signaleringskanal en gång var 480 ms till basstationen, som i sin tur lägger på mätningarna från upplänken och vidarebefordrar mätningarna till BSC. Figur 1 visar en översiktlig beskrivning av basstationer, BSC, Radio

Network Controller (RNC) - motsvarigheten till BSC i UMTS-nätverk - samt övriga kärnnätet.



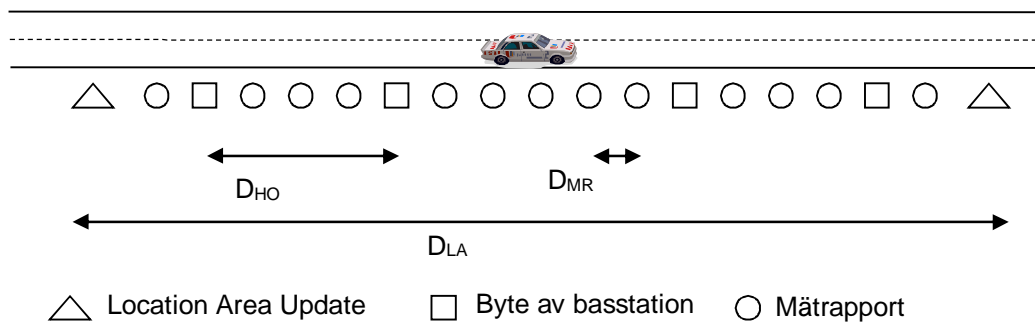
Figur 1. Översiktsbild av mobilnät.

Principen för en överlämning visas i Figur 2. Händelseförloppet är som följer: (1) bilen har en mobil i samtal vilken har god signalstyrka mot basstation A. (2) då bilen rör sig från basstation A minskar signalstyrkan samtidigt som en högre signalstyrka från basstation B uppfattas. (3) en överlämning av mobiltelefonen mellan cell A och cell B genomförs och mobiltelefonen är nu uppkopplad mot basstation B. Förlorad signalstyrka är inte det enda skälet till att överlämningar sker, det kan exempelvis vara ett aktivt val i nätet att balansera ut belastningen på det här sättet. Vi uppmärksammar läsaren på att den här typen av "hård" överlämning bara gäller för GSM-nätet och inte för ex. UMTS där en mobiltelefon kan vara uppkopplad mot flera basstationer samtidigt.



Figur 2. Exempel på överlämning i ett GSM-nät. När bilen rör sig från basstation A förlorar mobiltelefonen i denna signalstyrka. Signalstyrkan är högre från basstation B och en överlämning sker där mobiltelefonen byter cell från A till B. Notera att fordonet som mobiltelefonen färdas i befinner sig på en väg, överlämningen sker därför i ett område som kan hänvisas till en kortare vägsträcka.

När terminalen är i viloläge, det vill säga påslagen men inte i användning för samtal, data-sessioner eller signalering, används MM-algoritmer i kärnätet för att hålla reda på i vilken del av nätverket terminalen befinner sig. Den positioneringsinformation som finns tillgänglig för terminaler i viloläge är betydligt mindre detaljerad och har en upplösning på nivån Location Area (LA), som består av ett konfigurerbart antal celler. Den mobila terminalen skickar ett LA-uppdateringsmeddelande när den upptäcker en ny LA-identitet som sänds ut av den basstation som terminalen för tillfället lyssnar på. Under själva uppdateringsmeddelandet övergår terminalen temporärt till ett aktivt tillstånd och mer positioneringsinformation finns tillgänglig under en kort tid. Utöver byte av LA, skickar terminalen signaleringsinformation med jämna mellanrum, detta tidsintervall spänner normalt över ett flertal timmar, TeliaSonera använder sig exempelvis av ett tidsintervall på fyra timmar för den periodiska uppdateringen i Sverige. En mer detaljerad beskrivning av GSM MM och RRM kan hittas i t.ex. Heine (1999). Den positioneringsinformation som finns tillgänglig genom signaleringsdata från mobila terminaler i viloläge samt aktivt tillstånd illustreras i Figur 3.

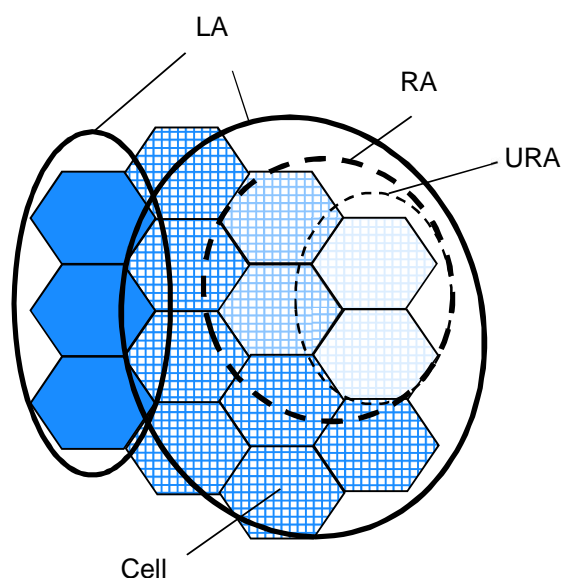


Figur 3. Avstånd mellan mättrapporter med lokaliseringsinformation i GSM. D_{LA} är avståndet mellan uppdateringar för LA, storlek från flera kilometer upp till flera tiotals kilometer. D_{HO} är avståndet mellan byte av basstation, storleksordning från flera hundra meter upp till flera kilometer (flera tiotals km på landsbygden). D_{MR} är avståndet mellan mättrapporter, storleksordning från flera meter upp till flera hundra meter.

En GPRS¹-ansluten terminal genererar också positioneringsdata kontinuerligt, dessa data skiljer sig något från den som är tillgänglig från kretskopplad GSM-data. När terminalen är ansluten till GPRS-nätet kan den vara i två tillstånd: *Stand-by* och *Ready*. När terminalen är i tillstånd *Ready* kan den skicka och ta emot användardata. En stor skillnad mellan tillståndet *Ready* i GPRS jämfört med tillstånd aktiv i kretskopplat GSM, är att terminalen själv har ansvar för vilken basstation den ska kommunicera med. Terminalen lyssnar till angränsande celler under dataöverföringen och beslutar om den ska hålla fast vid den

¹ General Packet Radio Service, även känt som "2.5G", är en teknik som tillåter dataöverföring (som vanlig IP-trafik) i GSM-nätet.

nuvarande basstationen eller byta till en bättre. Eftersom den mobila terminalen själv tar beslut om byte av basstation så behöver inga mät rapporter skickas till radioaccessnätet och denna information kan därför inte användas för att spåra terminalen. Emellertid kan nätet instruera terminalen att sända mät rapporter vid behov. I tillståndet Standby är terminalen ansluten till GPRS-nätverket, men kan inte skicka användardata. I tillståndet Standby utför terminalen endast uppdatering av Routing Area (RA). En RA innefattar en eller flera celler och är jämförbar med, men inte samma som LA, se Figur 4 för en schematisk vy.



Figur 4. Samband mellan Location Area (LA), Routing Area (RA) UTRAN Registration Area (URA) och cell.

Den positioneringsinformation som går att extrahera ur signaleringsdata från UMTS-nät är relativt lik den som finns i GSM- och GPRS-nät. Några viktiga skillnader finns dock som påverkar möjligheten att använda informationen för att avgöra hur de mobila terminalerna rör sig. Mer detaljerad information om UMTS MM och RRM finns i exempelvis Holma och Toskala (2002) och Kaaranen et al. (2001).

Även i UMTS är det terminalens tillstånd som avgör hur mycket signaleringsdata som är tillgänglig. Principiellt är terminalens position i UMTS känd på cellnivå och mät rapporter med signalegenskaper finns tillgängliga för både huvudcellen samt omkringliggande celler när terminalen används för en tjänst med krav på hög servicekvalitet (t.ex. tal eller dataöverföringar med hög datatakt). När terminalen är påslagen men inte används för dataöverföring är det känt på LA- eller RA-nivå. När terminalen används för dataöverföringar med låg datatakt är den känd på cell- eller UTRAN Registration Area

(URA)-nivå, beroende på hur fort den rör sig. URA är en geografisk indelning av nätet som normalt sett består av ett antal celler men färre celler än i en RA. Ett exempel på förhållande mellan LA, RA och URA illustreras i Figur 4.

Den viktigaste skillnaden i hanteringen av aktiva terminaler i UMTS jämfört med GSM är möjligheten att vara uppkopplad mot flera basstationer samtidigt, så kallad *Soft handover*. Terminalen förväntas vara uppkopplad mot flera basstationer under 20-40 % av tiden och då finns extra mycket positioneringsinformation tillgängligt från terminalen. En annan skillnad är hur mätreporter som används för beslut om vilken basstation terminalen ska vara uppkopplad mot skickas in. I UMTS finns möjligheten att använda händelsestyrda mätreporter och då minskar man generellt antalet mätreporter som skickas över radiogränssnittet kraftigt, vilket därmed minskar den positioneringsdata som är tillgänglig. Utöver den händelsestyrda mätreporteringen finns också möjlighet att använda periodisk mätreportering som i GSM, intervallen för dessa är konfigurerbara mellan 0,25 och 64 sekunder.

En annan grundläggande skillnad mellan UMTS och GSM är implementeringen av det fysiska lagret på radiogränssnittet. Egenskaperna för modulationstekniken samt den höga bandbredden i UMTS gör den mer lämplig för positionering. UMTS kännetecknas också av att det, jämfört med GSM, i allmänhet har betydligt mindre celler. Mindre celler ger generellt en bättre noggrannhet i positioneringen av mobila terminaler oavsett vilken positioneringsteknik som används.

Genom att utnyttja den signaleringsinformation som skickas standardmässigt i de mobila näten kan positionen för de mobila terminalerna samplas vid olika tidpunkter. Samplingen styrs av både tidsaspekter och rumsliga aspekter och positioneringsnoggrannheten varierar i den rumsliga dimensionen. Generellt kan vi säga att terminaler i viloläge samplas i rummet i form av LA och tidsmässigt med ett antal timmars mellanrum medan aktiva terminaler samplas i rummet i form av celler och tidsmässigt på sekundnivå. Positioneringsnoggrannheten för varje sampel varierar från 50 m till flera km beroende på var terminalen befinner sig samt vilken positioneringsteknik som används.

Vilken information som är möjlig att använda beror också på var i mobilnätet man hämtar informationen. Det finns i princip tre olika upplösningar på data beroende på var man hämtar informationen (se Figur 1). Hämtar man informationen i BSC/RNC eller motsvarande så kan man få ut den mest detaljerade informationen, dvs. mätreporter på sekundnivå för aktiva terminaler. Hämtar man ut informationen från MSC eller motsvarande så kan man få ut byte av cell för aktiva terminaler samt byte av LA. Om man hämtar informationen från operatörens debiteringssystem så kan man normalt få ut information om vilken eller vilka celler terminalen befinner sig i under ett samtal eller när SMS skickas, så kallad CDR-data, och detta har hittills varit den vanligaste formen av datainsamling.

2.2 Estimering av trafikrelaterad data från mobilnätet

Caceres et al. (2008) sammanställde fördelar och nackdelar med att generera trafikrelaterad data från mobilnätetsdata. De sammanställda resultaten från undersökningen presenteras i Tabell 1. Många välkända trafikdata är med i tabellen och Caceres et al. (2008) ser många tillämpningsmöjligheter för mobilnätetsdata. De ser också fördelar som stort urval och låga kostnader i förhållande till stor nytta. De understryker att tekniska svårigheter relaterat till bristande precision kan begränsa datas duglighet. I första hand handlar det då om att flera parallella vägar kan gå genom samma cell och att data samlas från alla som vistas i området, oavsett om de är statiska eller i rörelse. Det är inte heller helt självklart med vilket färdmedel de rör sig.

Avslutningsvis menar Caceres et al. (2008) att dugligheten måste ställas i relation till tillämpningen. För realtidsapplikationer med krav på precision som trafikövervakning sägs dugligheten kräva största uppmärksamhet och att mobilnätetsdata antingen måste ställas i relation till andra datakällor eller fungera som ett komplement till dessa.

Tabell 1. Sammanfattning av huvudsakliga för- och nackdelar för olika trafikdata som insamlas från mobilnätet. Källa: Caceres et al. (2008).

Trafikdata	Händelse	Fördelar	Nackdelar
OD-matris	Överlämning (Location Update)	Urvalstorlek, liten tidsåtgång, data direkt från trafikströmmen.	Stora områden.
Trafikflöde	Överlämning (Location Update)	Täcker in hela nätverket.	Många felkällor.
Hastighet	Överlämning	Acceptabel precision, stor täckning.	Flera vägar i en mobilnätscell.
Trängsel	Samtalsvolym	Snabb detektering.	Dålig lokalisering.
Densitet	Trafikintensitet	Stor täckning.	Många felkällor.

Nedan följer ett par avsnitt som fördjupar sig i olika användningsområden som estimering av restider och OD-matriser. För en sammanställning av olika större projekt där mobilnätetsdata har använts för att estimeras olika typer av trafikdata hänvisas till Steenbruggen et al. (2011).

2.2.1 Estimering av OD-matriser från mobilnätetsdata

Det finns en hel del forskning där OD-matriser har estimerats utifrån olika typer av positioneringsdata från mobilnätet. Nedan presenteras ett par olika metoder samt fördelar respektive nackdelar med att använda mobilnätetsdata för estimering av OD-matriser.

Caceres et al. (2007) utvecklade en teknik för att spåra mobiltelefoner uppkopplade till GSM-nätet och korrelera dessa telefoner till trafikflödet. Metoden bygger på antagandet att mobiltelefoner som rör sig längs en rutt tenderar att byta basstation vid ungefär samma position (dvs. den mast som ligger längst ner i GSM-nätets hierarki). Metoden testades med en modell över ett GSM-nät där mobiltelefoners förflyttningar kunde simuleras. Förflyttningarna extraherades från simuleringsresultaten och en OD-matris konstruerades från dessa förflyttningar. Metoden i sig sägs tillgodose dataunderlag för automatisk OD-estimering utan någon egentlig fördröjning. Författarna argumenterar för att deras metod har stor potential och att den mycket väl kan vara mycket mer kostnadseffektiv än traditionella metoder. Dels för att infrastrukturen för datainsamling redan är tillgänglig (GSM-nätet i sig) och dels för att några förändringar i mobilnätet inte krävs. Begränsningen ligger i att mobilnätetsdata bara blir tillgängligt på operatörsbasis.

Förmågan att automatiskt kunna ta fram OD-matriser för en godtycklig tidsperiod, vilket är möjligt med tekniken, anges i Caceres et al (2007) ha följande tillämpningar:

1. Tillgång till resultat mycket snabbare än traditionella metoder medför att småskaliga projekt kan få tillgång till stora mängder data till en rimlig resurskostnad.
2. Kommersiella tillämpningar, som marknadsundersökningar och fleet management.
3. Användaranalys för kollektivtrafiksoperatörer. Som redan har noterats måste dessa parter traditionellt sett antingen köpa in sig hos resvaneundersökningar eller genomföra riktade sådana på egen hand (hållplats- och ombordintervjuer). De förra tar lång tid och de senare når bara det egna transportmedlet.
4. Realtidsövervakning av trafiksystemet som helhet och förslag till alternativa rutter om mobilnätdata kan hänföras till rutter.

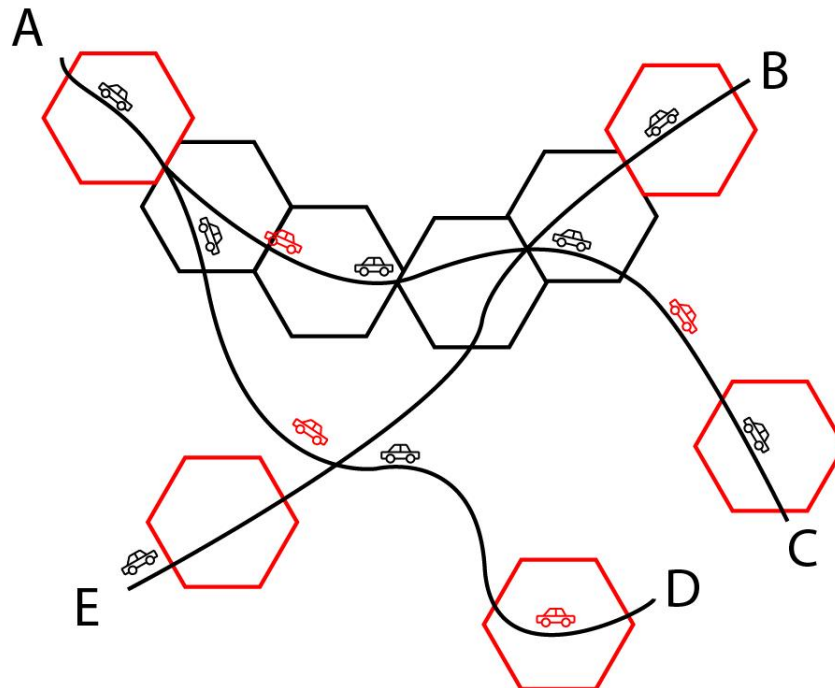
Metoden som Caceres et al. (2007) tillämpade medger tidsvariation i såväl den uppskattade OD-matrisen som de trafikflödesuppskattningar som ges av att observera mobiltelefoners förflyttningar mellan olika Location Areas. På det stora hela har det framkommit att de främsta parametrarna som måste betraktas för att nå en noggrann uppskattning av trafiksituationen är precision, uppdateringsfrekvens och antalet lokaliseringar.

Uppdateringsfrekvensen är högre ifall mobiltelefonen är aktiv så att samtal kan upprätthållas då man är i rörelse. Utan några modifieringar av nätet medger GSM-tekniken en precision som motsvaras av respektive cells radie. Radien bestäms oftast av var basstationen är placerad. Då basstationens kapacitet räknat i antalet uppkopplade mobiltelefoner är begränsad används oftast små celler i tätbebyggda områden, radier ner till 100 m och upp till 1 km är en uppgift som dök upp i samma rapport, men i mer lantliga miljöer kan en basstation täcka så mycket som en radie mellan 5 och 20 km.

I den OD-matris som estimerades från simuleringar nådde Caceres et al. (2007) ett relativt fel mellan 1 och 5 % beroende på OD-par. Sett till hela matrisen varierade det relativa felet mellan drygt 2 och 22 % beroende på tid på dygnet. En del av dessa fel anges uppstå då man konverterar från antal detekterade mobiltelefoner till motsvarande antal personbilar. Minns att såväl förare som passagerare i ett fordon kan ha mobiltelefon och att antalet detekterade mobiltelefoner i sig inte ger motsvarande antal fordon. Utöver det simulerades även avstängda mobiltelefoner, vilka inte kan detekteras och därför inte användas för uppskattning av OD-matriser.

Sohn & Kim (2008) antog en tillståndsmoell (eng. state-space model) för estimering av OD-flöden baserade på tidsserier av trafikräkningar. Genom att definiera en delmängd av alla celler i mobilnätet som referensceller fick de ett antal start- och målpunkter. De antog

vidare att en liten modifikation i mobilnätet skulle det göra det möjligt att få information om när ett antal *probes*, en delmängd av alla mobiltelefonutrustade fordon, antingen ankom eller lämnade en sådan referenscell. De fick alltså data över i vilken cell ett fordon befann sig i, vilket är mer precist än att bara veta i vilket Location Area som mobiltelefonen befinner sig och de behövde inte förlita sig till aktiva telefoner.



Figur 5. Exempel på (röda) referensceller och (röda) probes i ett transportnätverk för estimering av OD-flöden. Den här tekniken kräver anpassningar i såväl mobiltelefon som i mobilnätet. De svarta cellerna ger en bild av hur vägnätet kan täckas in av ett mobilnät.

Figur 5 ger en principiell skiss av metoden utvecklad av Sohn & Kim (2008). Från mobilnätets celler väljs ett antal referensceller (röda) som motsvarar olika ursprung och destinationer (A-E) i transportnätverket. Ett urval av fordon (röda) väljs ut och från dessa ges information om när de ankommer och lämnar referenscellerna. På så och sätt kan dynamiska OD-matriser uppskattas. För att undersöka lämpligheten att använda probes och referensceller för OD-estimering genomförde de ett 20-tal experiment där de varierade andelen probes och cellstorlekarna samt cellgränsens läge. Vad gäller den temporala upplösningen verkar behovet vara styrande. I de simuleringar som genomfördes kunde de estimerar OD-flöden i intervall om 15 minuter.

Författarna pekar på att cellstorleken påverkar precisionen men även hur stor andel av trafiken som agerar probes. De fann att en penetrationsgrad (andel probes) på 3 % var nödvändig för att nå acceptabla estimeringar av OD-matriserna. De noterade vidare att estimering av OD-flöden med probes förvisso gav ett sämre resultat än motsvarande med

automatisk nummerräkning, vilket var väntat, men att deras metod är att föredra över uppskattningar från historisk data om denna är "tillräckligt dålig".

Calabrese et al. (2011) använde olika typer av "aktiv data" i mobilnätet, dvs. sändning och mottagande av samtal, sms samt uppkoppling mot Internet för att estimerade OD-matriser i Boston-området, USA. De bestämde (x, y, t)-koordinater (longitud, latitud och tid) genom triangulering. På så och sätt fick de inte bara information om i vilken cell mobiltelefonen befann sig men även en (ungefärlig) position inom cellen. De fann att osäkerheten för denna metod var ungefär 320 m, vilket är den radie inom vilken individen kan befinna sig i genomsnitt. Indata till deras metod beror på aktiviteterna som användarna genomför, det vill säga när de kopplar upp sig till mobilnätet eller tar emot exempelvis mobiltelefoner. På så sätt blir insamlingsmetoden händelsedrivna och användarnas beteende påverkar underlaget. De menar att detta kan påverka mängden data som samlas in. De fann vidare att en individ i genomsnitt genomför en aktivitet var 260:e minut i mobilnätet, användningen av mobiltelefoner har dock förändrats en hel del sedan dess.

Calabrese et al. (2011) lyfter fram att estimering av OD-matriser med mobilnätetsdata, jämfört med resvaneundersökningar, har den stora fördelen att mobilnätetsdata är kontinuerlig över tid, vilket medger identifiering av tidsvariationen över dygn, mönster mellan veckodagar och helger men även säsongsvariationer. Utöver det ser de stora fördelar med att kunna få ut OD-matriser för "stora händelser", som sportevenemang. Calabrese et al. (2011) hade tillgång till data motsvarande 4,3 % av befolkningen. De undersökte om de hade någon snedvridning i sitt dataunderlag genom att betrakta var mobiltelefoner befann sig under nattens timmar genom att betrakta lokaliseringsdata under den tiden. Genom att se om en individ konsekvent befann sig på en plats under nattetid kunde de anta att detta var individens bostad. Befolkningstätheten som kunde beräknas för respektive område från mobilnätetsdata jämfördes med en resvaneundersökning som genomförts i området och de fann att dessa representerade den verkliga befolkningen på ett tillfredsställande sätt.

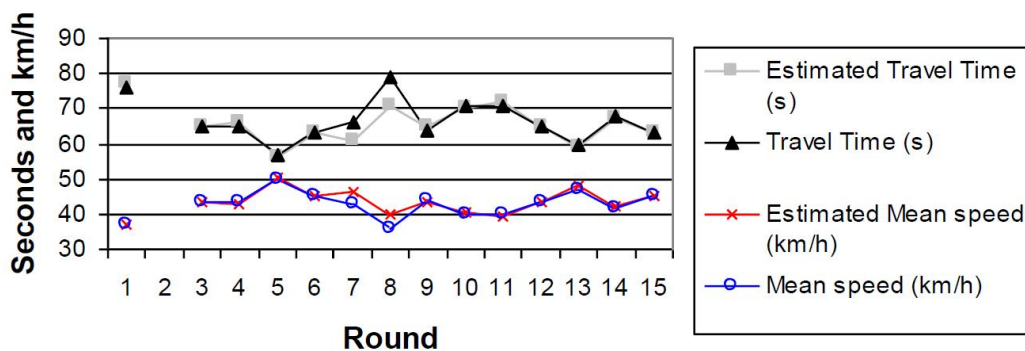
2.2.2 Estimering av restider från mobilnätetsdata

Även restider har, relativt framgångsrikt, estimerats från mobilnätetsdata. Nedan följer två exempel på detta varav ett är från Sverige.

Bar-Gera (2007) använde aktiva mobiltelefoner i syfte att uppskatta restider och hastigheter på en motorvägssträcka i Israel. Med aktiva mobiltelefoner avses i detta fall sådana som är i samtal. Mätningarna från mobiltelefonnätet jämfördes med induktionsloopar och med data från s.k. floating-cars. I urvalet för restidsestimering baserad på mobilnätetsdata hamnar alltså alla mobiltelefoner som är aktiva i samtal på den rutt som studeras. I fallet Bar-Gera (2007) motsvarade detta runt 1-3 % av den totala trafiken mellan klockan 10:00 till 20:00 respektive dag, vilket förvisso inte behöver vara representativt för något annat område eftersom det bland annat beror på vilken operatörs data som analyseras. I en jämförelse mellan restiderna som uppskattas från

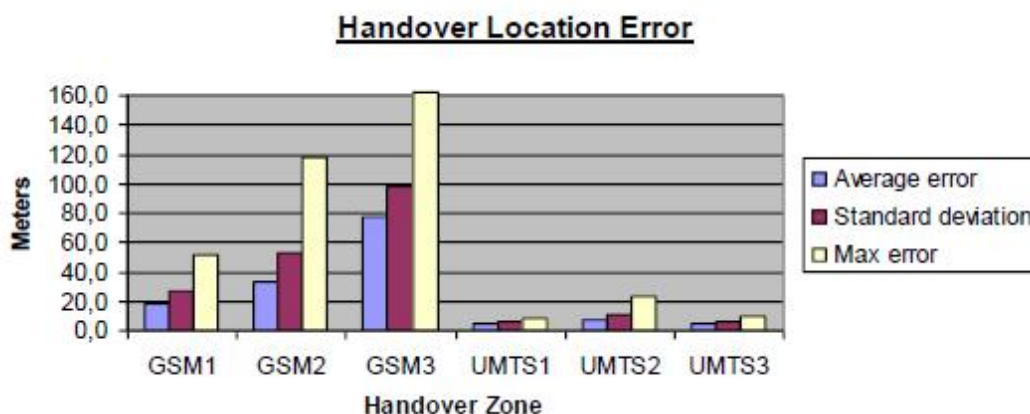
induktionsloopar mot dem som uppskattats med mobiltelefoner noterades det att den senare hade en mer brusig natur än den förra. En förklaring troddes ligga i att en mindre samplingsstorlek användes än för induktionsloopar. En stark korrelation mellan restiderna som uppskattades från de olika indatakällorna kunde påvisas och med en absolut relativ genomsnittlig skillnad på 10,7 %. Ingen av dessa källor kan dock ses som någon absolut sanning.

Det har även genomförts framgångsrika försök till restidsestimering från mobilnätdata även i Sverige. Gundlegård & Karlsson (2009b) gjorde fältförsök där de undersökte skillnader i överlämningsdata mellan GSM och UMTS. Försöken genomfördes i stadsmiljö (långsam trafik) och längs en motorväg och framförallt längs motorvägen erhöles goda resultat. Författarna jämförde restider estimerade från överlämningar i UMTS (och GSM) med de faktiska restiderna för ett fordon som körde samma sträcka flera gånger. Resultaten för UMTS-försöket ses i Figur 6 här nedanför.



Figur 6. Restider och medelhastigheter för 15 olika passager mellan två olika överlämningszoner. Bildkälla: Gundlegård & Karlsson (2009b).

Gundlegård & Karlsson (2009b) påvisade att precisionen med avseende på lokalisering i GSM då en överlämning sker är betydligt sämre än den i UMTS. De menade att det är viktigt att särskilja på precision i lokalisering och precision i restidsestimering. Den förra handlar helt och hållet om att veta var en mobiltelefon befinner sig och placera in den på kartan medan det senare även innefattar problemet att särskilja olika trafikslag. Exempel på precisionen i lokaliseringen i GSM och UMTS för en 90-sträcka i utkanten av en urban miljö ges i Figur 7.



Figur 7. Olika mått på spatialt mätfel från tre olika överlämningar från de två olika näten GSM och UMTS. Bildkälla: Gundlegård & Karlsson (2009b)

2.2.3 Estimering av ruttval från mobilnätdata

Att estimerar ruttval utifrån mobilnätdata är inte trivialt eftersom att precisionen både temporalt och spatialt kan variera väldigt mycket. Det finns dock några exempel på när ruttval har estimerats utifrån mobilnätdata, nedan presenteras två av dessa exempel.

Sohn & Kims (2008) metod medger utöver estimeringen av dynamiska OD-matriser (se avsnitt 2.2.1) även identifiering av ruttval. Sett till skissen av metoden i Figur 5 skulle detta motsvaras av att celler längs alternativa rutter mellan olika OD-par väljs som referensceller. För en probe som har färdats mellan ett OD-par är det då även möjligt notera vilken referenscell som har passerats på vägen och därav vad ruttvalet var.

I Sverige har Görnerup (2012) utvecklat en metod för identifiering av ruttval (vanliga rutter) från sekvenser av celler i GSM och UMTS utan att rutterna behöver vara kända på förhand. Mobilnätet behöver inte veta om vilken cell en telefon befinner sig i bara för att den byter celler. Mobilnätet vet däremot om ifall mobiltelefonen har bytt Location Area (kluster av celler) och vet definitivt vilken cell telefonen befinner sig i om denna kopplas upp vid exempelvis telefonsamtal. I värsta fall är därför en sekvens av Location Areas som en mobiltelefon har befunnit sig i tillgänglig i rätt ordningsföljd. Den informationen kan användas för identifiering av ruttvalet. Utöver att metoden medger identifiering av ruttvalet, vilket i sig är en fördelaktig egenskap medger metoden i viss mån att identifiering av transportsättet blir möjligt. Författaren noterade i sitt valideringsunderlag (GPS-spår från tre olika rutter) att en av rutterna bestod av järnväg. Med sådan kännedom om vad rutten är för typ av infrastruktur blir identifiering av färdmedlet i vilket fall delvis möjligt. Vad gäller precisionen jämförde Görnerup (2012) sekvenserna från mobilnätdata med GPS-spår (som har mycket hög exakthet). Författaren kom fram till att sekvenserna från mobilnätdata väl överensstämde med GPS-spåren.

2.2.4 Identifiering av färdmedel från mobilnätsdata

Mobilnätsdata har i många fall använts för att uppskatta trafikinformation för fordonstrafik, alternativt så har mobilnätsdata betraktats i ett perspektiv där transportsättet inte har varit av intresse. Det finns dock ett par exempel på forskare som har gjort estimeringar av färdmedelsval från mobilnätsdata. Ruttvalsestimeringen i metoden utvecklad av Görnerup (2012), beskriven i avsnitt 2.2.3, gjorde det i viss mån möjligt att identifiera färdmedel i och med att det var möjligt att konstatera om rutten följde tågräls eller vanlig väg. Det blir då åtminstone möjligt att särskilja fordonsresor från tågresor.

Xu et al. (2011) tillämpade en Markov-modell med två underliggande modeller för att hantera de två olika tillstånden fritt flöde och bundet flöde. De nådde i princip likvärdig precision för båda dessa fall då de, från endast mobilnätsdata, försökte differentiera mellan färdmedlen motorfordon, cykel och gång. Den enda data de egentligen hade tillgängligt är tidsstämplade registreringar som uttryckte till vilken basstation en mobiltelefon var uppkopplad men även vilken exakt position masten i sig hade.

Wang et al. (2010) använde faktureringsunderlaget i mobilnätsdata för att bestämma färdmedlen genom att betrakta en grups faktureringsdata då denna grupp har samma startpunkt och målpunkt men olika start- och restider. I och med att de hade uppskattningar av mobiltelefonernas positioner (med ett fel på runt 350 meter) kunde de i princip betrakta mobilnätsdata som GPS-spår hellre än att bara se till en mobilmast position. De försökte särskilja på färdmedlen personbil, kollektivtrafik och gång genom att jämföra restiderna i mobilnätsdata med restidsuppskattningar med olika färd sätt mellan start- och målpunkten. En klusteralgorithm grupperade sedan deras data i olika färdmedelsgrupper beroende på varje enskild restid (i princip genom att se till att varje enskild restid är så lik sin egen grupp men så olik alla andra grupper som möjligt).

3 Sammanfattning av genomförda workshops

Syftet med genomförda workshops var att samla experter inom mobilnätdataområdet och experter inom trafikledning, trafikanalys, trafiksimulering samt prognosmodeller för att tillsammans hitta möjliga användningsområden för mobilnätdata. Nästa generations prognosmodeller är under utveckling och det är viktigt att utvecklarna har en klar bild om vilken typ av data som kan genereras från mobilnätet. Samtidigt behöver aktörerna inom mobilnätdataområdet få en bättre bild av behoven inom trafikledning, trafikanalys och prognosmodeller.

Två workshops genomfördes med några veckors mellanrum. Tanken med den första delen som gick av stapeln i Stockholm den 5 mars var att ge en bild av kunskapsläget, vilken typ av data som kan plockas ut från mobilnätet samt hur state-of-the-art inom prognosmodeller och trafikstyrning ser ut. Under del 2, som genomfördes i Stockholm den 26 mars, diskuterades olika konkreta trafikrelaterade användningsområden för mobilnätdata. Deltagarlistor för respektive workshops återfinns i Bilaga 1. Inbjudan till de workshops som arrangerades spreds till arrangörernas nätverk och mottagarna uppmanades att sprida inbjudan vidare.

Nedan följer sammanfattningar av de två workshops som arrangerades och de diskussioner som hölls.

3.1 Workshop Mobilnätdata för trafikillämpningar del 1

Nedan följer en sammanfattning av de presentationer som gavs under del 1 och de diskussioner och frågor som dök upp.

3.1.1 Inledning

Dagen inleddes med att Andreas Allström presenterade ett antal pågående projekt och kommersiella aktörer runt om i världen som redan använder mobilnätdata och har gjort det en längre tid. Bland aktörerna som nämndes fanns amerikanske AirSage, israeliska CellInt och Wave guard technologies, franska MediaMobile och holländska TomTom. Det konstaterades att många av operatörerna själva jobbar med att förädla sin egen data med syfte att sälja den. Initiativet D4D nämndes även där operatören Orange har släppt data från Elfenbenskusten (2013) och Senegal (2015) till intresserade forskare.

Därefter tog Di Yuan från Linköpings universitet över och presenterade projektet MODE. Det är ett Vinnova-finansierat projekt som LiU projektleder och där övriga parter är Ericsson, SICS, Sweco, Trafikverket och Trafikkontoret Stockholms Stad. Syftet med projektet är ta fram metoder för att dynamiskt skatta reseefterfrågan med hjälp av signaleringsdata i mobila nät. Detta kan bl a användas vid prediktion av trafikläget och utgöra underlag för trafikstyrning och strategisk trafikplanering. Mobilnätdata innebär ett paradigmskifte inom styrning och planering av transportsystem eftersom det är en helt ny typ av datakälla som kräver nya tankesätt och nya modeller men samtidigt har väldigt stor

potential för att förbättra uppföljningen av olika investeringar och åtgärder. Projektet har tre olika huvudområden:

- Metoder för att inhämta mobilitetsinformation
- Anonymisering av data
- Modeller och metoder för skattning av reseefterfrågan

3.1.2 Intelligent Management for the Networked Society, Simon Moritz, Ericsson

Simon Moritz inledde med att presentera exempel på den enorma mängd data som produceras idag. Som exempel nämndes att 5 exabyte (5 miljarder gigabyte), vilket motsvarar all information som producerades fram till 2003 i hela världen, idag produceras på två dagar. Och denna utveckling bara fortsätter. Detsamma gäller hastigheten i våra mobilnät där hastigheten i 5G-näten kommer att vara 10 miljoner Kbit/s och majoriteten av data som skickas kommer att genereras av saker, inte av människor. Detta kan jämföras med 3G-näten där hastigheten uppgår till 14 000 Kbit/s och där majoriteten av trafiken genereras av människor. Framtiden kommer innebära en verklighet där allt är uppkopplat, där mycket är automatiserat och där olika system för beslutsstöd baserade på artificiell intelligens är vanliga.

Den datainsamling som sker idag via resvaneundersökningar har vissa brister och mobilnätdata är en del av lösningen. Det är en datakälla som är tillgänglig i hela världen och där befintlig infrastruktur kan användas. Det är en datakälla som är högst relevant för ett land som Sverige, framförallt om den kombineras med all annan data som samlas in här. Det är dock viktigt att det genereras användbar information från all data.

Ericsson har tillsammans med MIT tagit fram ett verktyg som heter Many Cities (manycities.org) där aktiviteten i mobilnäten kan studeras för olika områden i ett par utvalda städer. Detta har skapat flera intressanta insikter, speciellt när det har kombinerats med andra datakällor. Vidare så visade Simon Moritz ett antal exempel på användningsområden där OD-matriser från mobilnätdata kan spela en viktig roll, exempelvis optimering av busslinjer, utplacering av taxi samt analys av flöden i köpcentrum. Han visade även en del exempel på Ericssons arbete inom ITS och uppkopplade fordon.

Sammanfattningsvis så är hans beskrivning att det som behövs för att ta nästa steg är tillgång till data av olika slag (nätverksdata, öppen data, expertdata), använda intelligens av olika slag (AI, statistik, folket) och bygga framtida business case på detta.

3.1.3 Mobilnätdata för skattning av trafikläge och reseefterfrågan, David Gundlegård, LiU

David Gundlegård började med att konstatera att dedikerade trafiksensorer är dyra att installera och underhålla. Det finns stor potential om vi kan utnyttja befintlig infrastruktur som finns i mobilnätet, det investeras dessutom stora summor på att förbättra denna infrastruktur ytterligare.

I mobilnätet finns olika typer av data tillgänglig i olika delar av mobilnätet. Den vanligaste formen av data är Call Detail Records (CDR) som används som underlag för fakturering. Det är den typen av data som oftast görs tillgänglig för forskning. CDR-data är händelsebaserad och består av information om i vilken cell användaren har skickat ett sms eller ringt ett samtal. Den rumsliga upplösningen beror av cellstorleken och varierar från 100 m till 35 km. Cellstorleken är mindre i områden där många människor rör sig och det finns många olika sätt att representera cellerna i ett mobilnät. Det kan exempelvis göras med något som heter Voronoi tessellation, vara baserad på empiriska observationer eller på en modell baserad på propageringen av radiosignaler.

I mobilnätet finns också signaleringsdata tillgänglig. Upplösningen i tid och rum för denna typ av data beror på hur mobiltelefonen används. En telefon i ett samtal eller där dataöverföring pågår genererar detaljerad data men även en telefon som är påslagen men inte används genererar viss data.

I det som kallas kärnnätet kan så kallade Location Area updates och handover data plockas ut. Location Area updates är en datatyp som är relativt utforskad i litteraturen. Det är data som genereras av alla mobiltelefoner, oavsett om de används eller inte. Nätverket kontrollerar med jämna mellanrum, ungefär var fjärde timme, var mobiltelefonen befinner sig. För denna typ av data bestäms den rumsliga noggrannheten av storleken på aktuell Location Area som i vissa fall kan vara en hel stad. Handovers (överlämningar) är en mer detaljerad typ av data som genereras när en aktiv mobiltelefon rör sig från en cell till en annan. Den rumsliga noggrannheten är mellan 20 och 100 meter för väl definierade områden.

I radionätet, dvs ganska långt ut i hierarkin i mobilnätet, finns mät rapporter tillgängligt. För denna typ av data kan man under ideala förhållanden komma ner på en noggrannhet på 20-40 meter och experiment har visat på CEP-67 på 75 m. Det kräver dock en databas med signalstyrka från celler i närområdet.

Slutligen visade David Gundlegård ett antal exempel på hur CDR-data från D4D projektet har använts för olika trafikrelaterade analyser. Bland de exempel som visades fanns skattning av reseefterfrågan, ruttklassificering och skattning av restider.

3.1.4 Mobility Management and Privacy, Olof Görnerup, SICS

I takt med att tekniken har blivit mobil och uppkopplad har information om människors mobilitet börjat genereras i stor mängd från mobilnät, appar i mobiltelefon, kreditkortstransaktioner med mera. Sådan mobilitetsdata har många applikationer, men individers mobilitet kan potentiellt vara känslig information av många anledningar, både av privata och professionella skäl, särskilt som mobilitetsdata kombineras med andra datakällor om personer.

I och med att vi alla är unika i vårt sätt och vårt resande är det relativt enkelt att indirekt identifiera enskilda personer även från mobilnätetsdata som saknar explicit information om

identitet, inte ens om sådan data har låg upplösning i tid och rum. Ett sätt att uppnå anonymitet i sammanhanget är att gruppera mobilitetsdata till större kluster och betrakta mobiliteten hos tillräckligt stora grupper av människor. Förutom anonymiseringen finns det andra positiva bieffekter av att göra det, som att stora mängder data reduceras till hanterbara format på vilken man bygger sin kunskap.

I tillägg kan ett ramverk för anonymisering, s.k. differential privacy, användas för att garantera att beskrivningar av människors mobilitet i form av grupperad mobilnätdata verkligen är anonyma.

3.1.5 Morgondagens modeller för strategisk trafikplanering, Ida Kristoffersson, Sweco

Prognosmodeller för strategisk trafikplanering används i huvudsak i åtgärdsplaneringen för att ge underlag för samhällsekonomiska kalkyler, vilka sedan utgör en del av beslutsunderlaget för rangordning av infrastrukturinvesteringar i den nationella åtgärdsplanen. Stora infrastrukturinvesteringar påverkar res-efterfrågan och prognosmodeller behövs för att modellera förändringar i resenärernas beteende (byte av färdmedel, destination, rutt m.m.). Prognosmodeller används även som designverktyg, t ex. för att jämföra effekterna av alternativa trängselskatte-system. Det är också möjligt att använda prognosmodeller som back-casting-verktyg för att besvara frågor av typen "Vilka åtgärder behövs för att nå målet X".

Sampers är den nationella modellen för persontransporter. Sampers innehåller dimensionerna körkorts- och bilinnehav, resegenerering, färdmedelsval, destinationsval, ruttval och utbudsberäkning. Som resultat ger Sampers OD-matriser per ärende och färdmedel, länkflöden och restider. Nuvarande Sampers är skattad på resvanedata från -98. I det pågående projektet SampersOmskattning skattas modellen om på resvanedata från RVU2005/06, förbättras i flera andra avseenden med t ex. fler ärenden (tre typer av skolresor, skiljer mellan dagligvaruinköp och sällaninköp m.m.), samt programmeras om från grunden i språket C#. RVU2011-14 används inte i omskattningen eftersom svarsfrekvensen var låg och det är svårt att få tillräckligt med data för modellskattning.

En annan brist i nuvarande Sampers är underskattning av bilrestider i trängselsituationer eftersom hänsyn inte tas till korsningsfördröjningar och köer som sprider sig bakåt i nätverket. Detta gör att restidsvinsterna (och därmed lönsamheten) av att införa t ex. trängselskatt underskattas stort. Utvecklingsprojektet IHOP2 arbetar med att ta fram en "Storstads-Sampers", där analyser i trängselsituationer ska kunna göras med en dynamisk modell.

När det gäller kollektivtrafik modelleras inte trängsel ombord på fordonen och i koll-nätet i Sampers. En annan brist är att det totala kollektivtrafikresandet i Stockholmsregionen underskattas. Utvecklingsprojektet Ny Koll-assignment tittar på hur man kan förbättra kollektivtrafikmodelleringen i Sampers.

Många utvecklingsprojekt pågår för att förbättra prognosmodellerna och det finns ett stort behov av data för modellskattning, kalibrering och validering. I Sampers görs i dagsläget en basprognos för nuläges-situationen. Givet tillgång till data om flöden på ett stort antal länkar skulle istället en basmatris kunna användas. I och med att kommande "Storstads-Sampers" använder en dynamisk modell behövs t ex. data om hur res-efterfrågan och restider varierar under dagen. Det finns en stor potential i att utnyttja mobilnätdata som komplement till kamera-, slang- och floating car-mätningar. Utmaningen ligger främst i uppdelning av flöden/OD-matriser på färdmedel, person/godstrafik och för modellskattning även uppdelning på ärenden.

3.1.6 Trafik Stockholm 2.0, Rodrigo Perez, Trafik Stockholm

Rodrigo Perez inledde med att presentera Trafik Stockholm, dess verksamhet och de utmaningar som finns i Stockholm. Trafiksystemet i Stockholm är väldigt sårbart med många flaskhalsar över Saltsjö/Mälarsnittet samtidigt som regionen växer. Vidare så innebär den stora ombyggnaden av Slussen ett stort behov av samverkan, prioritering och systemstöd. De nya anläggningarna som byggs, Norra länken och Förbifart Stockholm, innebär mer övervakning och större behov av systemstöd för att trafikstyra och analysera konsekvenser. Trafik Stockholms drivs av Trafikverket och Stockholm stad och har som huvuduppdrag att samla in, bearbeta och vidareförmedla information som påverkar trafikläget, samt att vägleda och styra trafik på det stagliga vägnätet.

Just nu pågår ett arbete med att gå från reaktiv till proaktiv trafikledning, ett arbete som är indelat i tre delar:

- Uppföljning och utvärdering
- Mer och bättre trafikinformation
- Samverkan (både operativ och strategisk)

I uppföljning och utvärdering ingår en månatlig och årlig sammanställning av större störningar och konsekvenser och analyser av dessa. Tanken är att det ska gå att hitta mönster på återkommande händelser och föreslå åtgärder. Det görs även simuleringar inför viktiga vägarbeten.

När det gäller utvecklingen av mer och bättre trafikinformation så eftersträvas tydlig trafikslagsövrigräpande information, mer tillgänglig digital trafikinformation, bättre samverkan med media och tjänsteutvecklare samt en partsgemensam informationsplattform. En viktig del i detta arbete är det prognosverktyg för vägtrafikledning som ska upphandlas via en innovationsupphandling. Det är ett verktyg som i realtid tar fram prognoser 30-60 min framåt i tiden och föreslår åtgärder.

Förbättrad samverkan är ett pågående arbete som bl a inneburit att Nacka kommun och SL anslutit till Trafik Stockholm. Tanken är att Trafik Stockholm vid sidan av den operativa

trafikledningen ska vara en arena för utvecklingsprojekt som skapar ökade möjligheter till ett samlat arbete med operativa frågor inom stockholmstrafiken nu och i framtiden.

När det gäller trafikdata så vill man inom Trafik Stockholm utnyttja och lära sig av all den information som finns. Data som samlas in idag används som stöd till trafikledarna och vid storstadsplanering samt för efteranalyser och verksamhetsutveckling. Det databehov som finns handlar framförallt om tre olika typer av data: högupplöst data, data som ger bra underlag för mobility management-åtgärder och data från de tekniska systemen så att underhållet kan optimeras.

3.1.7 Sammanfattning av diskussioner och frågor som dök upp under dagen

Seminariedeltagarna utgjorde en bred skara intressenter med olika bakgrund, i den andan lyftes det fram vikten av ett multimodalt synsätt.

Myndigheter, forskare och konsulter som arbetar mycket med prognosmodeller och har insikt i dessa är väl medvetna om vilka brister som finns med dagens prognosmodeller och åt vilket håll de kommer att utvecklas i framtiden. Det är viktigt att denna kunskap görs tillgänglig för de som jobbar med att förädla data från mobilnäten.

En del av prognosmodellerna är efterfrågesidan, det vill säga de modeller som används för att uppskatta reseefterfrågan. Efterfrågemodellerna bygger mycket på de resvaneundersökningar som genomförs under flera år, men med tanke på fallande svarsfrekvens och andra brister börjar behovet av kompletterande underlag bli stort. Men även utbudssidan, det vill säga den del av prognosmodellerna som motsvarar (bl.a.) infrastrukturen finns brister, och delar av utbudssidan bygger på fältmätningar och forskning från 90-talet.

Framtidens prognosmodeller går med all sannolikhet mot så kallade aktivitetsbaserade modeller där befolkningen modelleras ned på enskilda hushåll till skillnad från dagens format med lite större aggregerade zoner. Ökad noggrannhet i modelleringen kommer att kräva mer indata än vad dagens modeller gör. Mobilnätsdata spås vara ett viktigt komplement för att dels öka förmågan i dagens prognosmodeller och för att få de framtida modellerna att fungera. Samtidigt ska man minnas att mobilnätsdata inte kommer att ge all indata som kommer att krävas, den säger inte hur mycket det kostar att resa mellan A och B och utan bearbetning finns det inget sätt att säga varför en resa genomförs.

Varför en resa genomförs är såklart av stor vikt för modellresultaten, med bearbetning finns det möjligheter att göra antaganden om resors syften. Man kan exempelvis se till ett spår och undersöka vid vilka tider en mobiltelefon har befunnit sig på en plats, och göra antaganden om vad som är skola, hemmet eller arbetsplatsen.

Långväga resor är ett område där dataunderlaget är dåligt och det är också ett område där mobilnätsdata har stor potential. Som exempel nämndes resandet mellan Stockholm och Göteborg som vi har väldigt dålig koll på.

En sådan bearbetning kan, med befoget, upplevas som integritetskränkande och just upprätthållande av den personliga integriteten kommer att vara av stor vikt för tillämpningen av mobilnätdata. En första tanke för att upprätthålla integriteten är såklart att inte koppla ihop en person med de mätningar som görs i mobilnätet, men det finns samtidigt forskning som visar att det är fullt möjligt att identifiera en person även från sådana mobilspår. Den enda garantin som egentligen finns för den personliga integriteten i sammanhanget är att man mycket tidigt i förädlingskedjan bearbetar data för att beskriva mobiliteten hos grupper istället för individer.

Samtidigt är ambitionen hos forskare och andra tillämpare att få tillgång till högupplöst data för att driva området framåt. Hur väl överens stämmer ambitionen om aktivitetsbaserade modeller med aggregerade mobilnätdata? Är det fortfarande användbart?

Förväntningarna är i stort sett lika höga som deltagarnas ambitioner, och av goda skäl, forskning har visat på möjligheterna som följer med mobilnätdata och det är många som vill göra något bra med all den data som redan finns. Förutom långsiktiga prognosmodeller finns det behov av sådan data för kortsiktig planering (vem påverkas om en bro stängs av), Mobility Management (vem är det som bidrar till trängsel) samt att planering av kollektivtrafik blir mer kunskapsbaserad om man vet var en stor del av sina kunder kommer ifrån och var de vill resa, och mycket annat.

Innan planeringen börjar bygga på kunskaper som kan hämtas från mobilnätdata är det många frågetecken som behöver rätas ut, en bit på vägen kommer att vara förståelse för arbetssätt och syften mellan organisationer som traditionellt inte arbetar med varandra. För mobilsidan är det förmodligen naturligt att vilja bearbeta data nära källan och sälja ett väl formaterat underlag till en ny kund på en ny marknad som samtidigt tar hänsyn till integriteten för befintliga kunder på en gammal marknad. Samtidigt kan förväntningarna från den nya kunden vara annorlunda, är det så att man vill veta så mycket som möjligt och göra bearbetningen själv för att det ska vara värt ansträngningen, för att möjliggöra forskning och därigenom kunna använda resultaten?

De påtalade bristerna i prognosmodellerna mottogs med förvåning av deltagare som är mindre insatta i problematiken. Det stod dock klart att det finns ett behov av mer data för att säkerställa förmågan till framtida trafikmodeller. Det råder egentligen ingen tvekan om det finns behov av data och att data finns, det gäller dock att synka behoven med tillgången och hitta samarbetsformer.

3.2 Workshop Mobilnätdata för trafik tillämpningar del 2

Andreas Allström inleder med en kort sammanfattning av Workshop 1, där det konstaterades att användbar data finns tillgänglig i mobilnätet och att behovet av data är stort för såväl trafikledning som strategiska modeller.

Ett reportage från Ny Teknik om Telias långa lagringstider av mobilnätdata tas upp. En effekt av reportaget är att PTS ska granska Telias rutiner för datalagring (lagen säger just

nu att data ska lagras i sex månader, Telia ska på uppgift lagra data i 26 månader). Datainspektionen och PTS har varit obenägna att sätta definiera vad som är ok att lagra och hur informationen kan användas innan de har haft ett konkret fall att granska.

Inledningen fortsätter med markandsutvecklingen sedan Workshop 1, AirSage (US) som då dök upp som ett exempel på bolag som bearbetar och säljer mobilnätdata har nyligen köpt upp Decell (IL) som levererar realtidsinformation om trafiken genom att bearbeta information från mobiltelefoner och GPS-enheter.

Tillgången till data är en nyckelfråga. Operatörerna verkar inte vilja dela ut all data, men de vill vara med och samarbeta. Marcus Mohall, UU, nämner samarbetet mellan Uppsala Universitet och en svensk mobiloperatör, där möten har genomförts utan att den personliga integriteten har varit knäckfrågan.

Ett citat lyfts fram om att det tar kraft att få igång ett samarbete med operatörer, men att samarbetet blir långtgående och värdefullt för båda partners när det väl finns. En viktig kugge i detta samarbete är förmodligen att man ökar värdet i varandras produkter. En idé i den andan är att representerade myndigheter skriver på ett så kallat "Letter of Interest" med listade användningsområden, som riktar sig mot operatörerna för att påvisa att viljan för att skapa en ny sorts marknad finns.

Gruppen delades upp i två diskussionsgrupper, en där fokus låg på strategiska modeller och analyser och en som fokuserade på realtidsdata och trafikledning. Diskussionerna baserades på de förslag på användningsområden och konkreta projekt som deltagarna i del 1 av denna workshop hade ombetts att skicka in (se Bilaga). Nedan följer en sammanfattning av diskussionerna i de två grupperna.

3.2.1 Gruppdiskussion Strategiska modeller/analyser

Diskussionen handlade till en början om vilka behov av data som finns när det gäller strategiska modeller/analyser och gick sedan in på var mobilnätdata har störst potential att möta dessa behov. Integritetsfrågan lyftes och ett par konkreta case föreslogs.

Leonid Engelson, TrV, inledde med att ta upp tre viktiga områden där brister finns i data för strategiska modeller: 1) Restider och flöden på väglänkar för skattning av volume-delay-funktioner, 2) Kalibrering och validering av flöden och restider från strategiska modeller och 3) Resvaneundersökningar för skattning av efterfrågemodeller.

1) För skattning av volume-delay-funktioner behövs både restid och flöde för samma väglänk vid ungefär samma tidpunkt och för många väglänkar i nätet. Ett generellt problem är att restider och flöde har olika karakteristik, där få fordon behöver följas för att uppskatta restid med tillräcklig noggrannhet, medan flöde kräver att i princip alla fordon loggas.

2) Kalibrering och validering: idag mäts restider på 53 sträckor i Stockholm och används för validering. Det vore bra med fler sträckor. Kamerorna mäter inte flödet, de är inte byggda för det. Kamerorna ger bra restider när de fungerar. Design är viktigt i ett kamerasytem, vilka körfält och rutter som väljs. Att enbart använda mobilnätdata för att

titta på restider och flöden på länkar av längd några hundra meter är svårt eftersom cellerna är av storlek några hundra meter. Behöver i så fall kombineras med andra datakällor. Mobilnätdata passar för validering, framför allt för långväga resande med olika färdmedel: bil, kollektivtrafik, järnväg och flyg. Att kombinera mobilnätdata och GPS-data vore bra, eftersom de ofta kompletterar varandra. Å ena sidan ger GPS-data t.ex. inga spår i tunnelbanan, vilket mobilnätdata gör. Å andra sidan har GPS-data mycket finare upplösning än mobilnätdata.

3) Resvaneundersökningar för skattning av efterfrågemodeller. Socio-ekonomiska data om resenären behövs, liksom information om resans ärende. Modeller är under utveckling för att härleda ärende från målpunkt, men detta gäller GPS-data eftersom målpunkten måste vara mycket noggrant angiven och kunna kopplas till en specifik butik/gym/arbetsplats/bostad etc. Databas för målpunkter behövs. Open Street Map (OSM) finns men är inte komplett. Att kombinera flera olika databaser ger problem med olika format och dubletter, men är inte omöjligt. Metoden för att bestämma resans ärende går ut på att klassificera de typer av aktiviteter målpunkten tillåter.

Marcus Mohall, Uppsala universitet, berättade sedan övergripande kring de analyser de gjort på data från en svensk operatör. Uppsala universitet har fått tillgång till mobilnätdata för två dagar. De data UU har fått visar positionen baserat på närmaste antenn givet signalstyrka. Marcus och de andra forskarna vid Uppsala universitet är intresserade av hur olika delar av befolkningen reser. De vill titta på rörelsemönster som proxy för vilka socio-ekonomiska grupper som möts och även jämföra med resvaneundersökningar. De identifierar nattpositionen som trolig bostad och positionen där användaren spenderar lång tid under dagen som trolig arbetsplats. Forskarna har tillgång till mycket data om socio-ekonomi i olika områden i form av ett socio-ekonomisk data grid 100x100 m och samplar för varje område agenter från socio-ekonomiska fördelningen i just det området och kopplar sedan detta till ett mobil-spår.

Fråga: Hur exakta blir restiderna? Hittills har UU mest tittat på reslängd och pendlingsmönster. Analys av restider ska påbörjas nu. Det finns mycket brus i restider, t.ex. rörelser mitt i natten när positionen hoppar mellan två master. Data uppdateras var 5e minut, men sekvensen av master är återgiven i rätt ordning. I snitt handlar det om ca 3 events per 5 minuter om man rör sig mycket. Telefonen behöver inte användas för att synas i data. En del korta resor tappas eftersom filtrering behövs. Masterna sitter relativt tätt inne i städerna, men glesare utanför. I Norrlands inland är det inte ovanligt att alla resor i en kommun kopplas till samma område.

Integritet

För forskningstillämpningar behövs originaldata som är obehandlad. För andra tillämpningar inom trafikområdet behövs mest aggregerade data kring restider och flöden, skattning av parametrar i modellerna (hur känslig man är), arbetsresor för en hel region etc.

Det är en utmaning att förklara för operatören att för forskning behövs detaljerad data men dessa kommer inte ges vidare och för tillämpning är aggregerad data ofta mest intressant.

Det är känsligt hur många användare olika operatörer har.

Konkreta projektförslag

Projekt 1 - Långväga resande

Hur många åker tåg, kollektivtrafik, bil och flyg mellan olika städer i Sverige för validering av långväga Sampers-modellen. Helst OD-matriser för resor mellan storstäderna (Stockholm, Göteborg, Malmö). Möjlighet att mappa mot operatörer. Får hela kedjan för tågresor, vilket är svårt att få tillgång till idag. Det behöver utredas hur man går från antal mobiler till antal personer, d.v.s. hur skalningen ska göras. Kanske har man bara tillgång till data från en operatör för en viss sträcka och kan därmed bara följa en delmängd av mobilerna. Det är heller inte säkert att en mobil är lika med en person eftersom en del har med sig två mobiler (ofta en privat och en företagsmobil). I samband med denna diskussion kom även frågan upp hur mobila bredband med SIM-kort hanteras. De har telefonnummer, betyder det att de kommer med i insamlad data? Detta gäller t.ex. uppkopplade bilar. Operatören kan troligen filtrera ut så att bara mobiler kommer med i insamlad data.

Projekt 2 - För vilka avstånd är mobilnätdata lämplig för restidsberäkning?

Var ligger gränsen för mobilnätdata i avstånd – är Stockholm-Uppsala gränsen för hur kort resan kan vara? Vore bra att kunna karakterisera osäkerheten i data med ett tal som är en funktion av avståndet, men detta tal är beroende av var i landet analysen görs.

3.2.2 Gruppdiskussion Realtidsdata och trafikledning

Diskussionsgruppen konstaterar att trafikövervakningen har ett mycket tydligt syfte, särskilt i storstäderna, att säkerställa god restidspålitlighet. I ett tänk som länge har funnits inom väderleksrapporterna "idag ska det sannolikt regna, ta med paraply" vill vi säkerställa indikatorer för det framtida trafikläget såväl globalt som lokalt för att därigenom ge resenärerna möjlighet att välja rätt restid, rätt färdmedel eller rent utav att det är bättre att stanna hemma den dagen. Syftet är då att få en restidspålitlighet som är så pass god att man inte måste planera sin restid med en slags buffert som lika gärna kan betraktas som förlorad tid.

I den andan är det viktigt att få till någon slags "persistent sensing", det vill säga att man har tillgång till rullande mätdata för att kunna jämföra nuläget, eller för den delen vad man tror är på väg att hända, med historiska fall.

I dagsläget, och särskilt för Stockholmstrafiken, vet vi att det ungefär 50 gånger om året (en dag i veckan) är extra mycket trafik som orsakar omfattande trängsel och köbildning. Sedan tillkommer det 12 andra tillfällen som är extraordinära, exempelvis med dragbil plus släp som välter på Essingeleden. Sedan finns det intressanta säsongsvariationer, som i maj när trängseln i innerstaden är mycket högre än annars.

Tomas Julner jämför en sådan global approach till trafikövervakningen med vad Trafik Stockholm just nu gör för Södra Länken. Det finns redan en algoritm för beslutstöd som drar slutsatser om det framtida trafikläget genom att observera nuvarande nivåer på inflödet. Är det för mycket går man ut med kövarningar långt innan Södra Länken, men även på radio. Ibland blir motmedlet att helt enkelt stänga en nedfart för trafiken.

Det finns intressanta följd effekter av en stängning som man inte har fullständig kunskap om i dagsläget, var åker resenärerna istället? Kan vi identifiera alternativa vägar och smitvägar och genomföra trimningsåtgärder? Eller kan vi helt undvika dessa trängselscenarion om vi kan påverka resenärerna innan resan genomförs?

Peo Svensk undrar om marknaden och hur den ska se ut. Det finns ju inget som säger att bara trafikmyndigheter ska betala för framtagandet. MSB är en myndighet som kan vara intresserad, och privata aktörer, operatörer etc. Mycket möjligt att ett bolag som AirSage etablerar sig i Sverige om de etablerar samarbete med en operatör.

Konkreta projektförslag

Projekt 1 – Mobilnätdata för identifiering och trimning av omledningsvägar.

Vid återkommande tillfällen måste nedfarter till Södra Länken i Stockholm stängas på grund av att trafikledningen har identifierat en uppbyggnad av trafikefterfrågan som ligger över vad denna kan hantera. Vid en stängning av en nedfart antas trafiken välja en annan väg för att ta sig till sitt resmål.

Aktuellt projektförslag syftar till att använda mobilnätdata för att identifiera alternativa resvägar, och eventuell flaskhalsar utmed dessa, för att göra trafiksystemet mer robust vid sådana tillfällen då efterfrågan avviker från normalfall. Projektet syftar särskilt till att identifiera alternativa vägar vid stängningar av Södra Länken.

Projekt 2 – Tidsberoende och säsongsvariande OD-matris för trafikledning

Det är ett välkänt faktum att trafiken varierar med säsonger, väder och tider på dygnet vilket kan noteras vid trafikmätningar i snitt längs Stockholms vägar. Vidare ger resvaneundersökningar viss insikt i hur befolkningen rör sig under den mätvecka undersökningen löper.

Däremot saknas kännedom om hur resmönstren hos hela befolkningen, uppdelat på områden, varierar över året. En resandematris som är tidsberoende (timme för timme) och ihärdig, det vill säga en som inte bara omfattar timme för timme en normal dag, utan timme för timme för olika månader, veckor eller till och med dagar under året skulle ge ökad insikt i hur Stockholmsarna väljer att röra sig beroende på säsong och tid på dygnet. Därigenom kan även Sthlm stad, TrV och TS tillgodose sig underlag som är av nytta för framtida uppköp av trafikövervakningssystem, som, i vilket fall till del, är beroende av tidsvarianter i efterfrågan.

En högre upplösning ger även möjlighet till att identifiera korrelationer med vägarbeten, broreparationer, störningar i väg- och kollektivtrafik, väder, stora händelser, skollov- och semesterperioder. Det skulle även göra det möjligt att på ett bättre sätt förstå varför det vid ca 50 tillfällen per år är extra mycket framkomlighetsproblem och varför 12 av dessa är extraordinära.

Projekt 3 – Stockholmsgrafen

Inom detta projekt skulle möjligheten till att i realtid beräkna trafikefterfrågan och restidsförluster i vägtrafiksystemet med hjälp av mobildata studeras. Genom att beräkna totalt flöde och genomsnittlig hastighet kan denna jämföras med skyltad hastighet för att ge en uppskattning av den totala restidsförlusten i trafiksystemet. Det är inte bara av nytta för den operativa verksamheten, som ett slags index för hur hårt belastat systemet är, utan även för långsiktig utvärdering och jämförelser av prestationen från år till år.

Vidare ger mobilnätdata god täckningsgrad, möjligheterna till att "zooma in" och skapa samt följa lokala index kan därför också utredas.

Projekt 4 – Mobilitetsmätningar före och efter införande av trängselskatt på Essingeleden

(Eller, "Förändringar i resvanor till följd av nya trängselskattenivåer och placeringar"). Vem påverkas av trängselskattehöjningar och införande?

Projekt 5 – Jämförelse av indatakällor – Ett fältförsök från Kungens Kurva

I och med att förbifarten byggs kommer E4/E20 förbi Kungens Kurva att vara en vägarbetsplats i tio år med sänkt framkomlighet för biltrafiken. Inför, under och efter avser Trafikverket mäta rörelsemönster, trafikmängder och restider med olika metoder. Här ges ett tillfälle för att jämföra mobilnätdatas lämplighet för att dels planera, genomföra och följa upp trafikomläggningsplaner, dels som ett system för att tillgodose trafikanterna information operativt.

Projekt 6 – Det nationella trafikövervakningssystemet

I Danmark har motsvarande Trafikverket konstaterat vilka vägar som är att anse som sitt strategiska nätverk och för dessa bestämt att man ska mäta trafiken på ett sådant sätt att man inom minuter är uppmärksam på eventuella problem. I Sverige har vi långt många fler kilometer väg per person, och det vore därför dyrt att etablera konventionella sensorer för vår motsvarighet till ett strategiskt nät. Mobilnätdata har däremot närmast total täckningsgrad och ger möjligheter till att mäta avvikelser från normala restider eller hastigheter även på vägar som inte omfattas av nuvarande mätutrustning.

4 Sammanfattning och slutsatser

Som framgår av litteraturstudien och sammanfattningarna från de workshops som har genomförts i detta projekt är potentialen hos mobilnätsdata väldigt stor. Ahas et al. (2010) konstaterar exempelvis i sin studie att positioneringsdata har flera fördelar över traditionella metoder. Som exempel nämns att 1) mobiltelefoner har en hög spridning, 2) mobiltelefoner bärs på personen under mesta delen av dagen, 3) indata är digital vilket innebär att den är både objektiv och fri från de fel som ofta fås vid manuell inmatning och 4) mobiltelefonen medför möjligheten att ställa specifika frågor under studiens gång via exempelvis SMS.

Det sker dessutom en snabb utveckling inom området och i litteraturstudien nämns mestadels GSM (2G) och UMTS (3G) men det numera väl utbyggda 4G ger en ännu högre detaljeringsgrad med mindre celler och ett ökat utnyttjande av datatrafik i mobilnäten. Under de senaste åren har det dessutom genomförts en hel del forskning inom området, detta delvis tack vare att mobilnätsdata från utvalda afrikanska länder har varit tillgänglig för forskning inom tävlingen D4D (<http://www.d4d.orange.com/>). Vidare har konferensen NetMob (<http://www.netmob.org/>) arrangerats sedan 2010. NetMob är en konferens helt fokuserad på mobilnätsdata och dess användningsområden där bland annat resultaten från D4D presenterats. Under sommaren 2015 publicerades en omfattande litteraturstudie av de senaste femton årens forskning inom analys av mobilnätsdata, se Blondel et al. (2015). Författarna konstaterar att allteftersom mer mobilnätsdata har blivit tillgänglig har flera nya upptäckter gjorts kring människors beteende, främst när det gäller strukturen på våra sociala nätverk och hur vi rör oss. Vidare beskriver man hur människors rörelsemönster tenderar att dagligen följa samma mönster, något som framgår tydligt av mobilnätsdata. Mobilnätsdata ger dessutom möjlighet att studera hur beteende förändras vid exempelvis större incidenter eller katastrofer.

Även om möjligheterna med mobilnätsdata är stora finns det frågetecken kring exempelvis tillgång till data, personlig integritet och kostnad. Detta tas också upp av Blondel et al. (2015) som nämner faran med att anonymiserade data-set blir anonymiserade. Detta är självklart viktigt att ta hänsyn till men Blondel et al. (2015) bedömer att de stora möjligheterna att utveckla och förbättra olika samhällsfunktioner utifrån mobilnätsdata uppväger riskerna. Slutligen konstaterar de att den forskning som hittills har genomförts på mobilnätsdata bara är toppen på ett isberg och potentialen för vad som kan göras är stor.

Det är även viktigt att betona att mobilnätsdata inte löser alla behov som finns utan är en del i ett större pussel där många olika datakällor kombineras. Förutsättningar finns dock för att mobilnätsdata ska bli en viktig del i detta pussel och bidra till bättre strategiska trafikmodeller.

I Sverige har viss forskning genomförts på mobilnätsdata men än så länge bara på internationell data, simulerad data eller mindre försök från enstaka mobiltelefoner. Under 2015 har dock svensk mobilnätsdata börjat bli tillgänglig för forskning. Vidare pågår det Vinnova-finansierade projektet MODE där Ericsson, Linköpings universitet, SICS och

Sweco tillsammans med Trafikverket och Stockholm stad studerar hur mobilnätsdata kan användas vid proaktiv trafikledning och prediktering av restider.

Utfallet av de workshops som anordnats är ett par förslag på användningsområden för mobilnätsdata inom områdena trafikledning och strategiska prognosmodeller. Inom strategiska prognosmodeller, vilket är huvudfokus för denna rapport, är de mest intressanta förslagen:

- *Analys av det långväga resandet i Sverige.* För validering av Sampers-modellen är det viktigt att veta hur många som åker tåg, buss, bil och flyg mellan olika städer i Sverige. Denna typ av data är bristfällig idag och mobilnätsdata har potential att höja kvaliteten på denna data.
- *Tidsberoende och säsongsvariande OD-matris.* Det är ett välkänt faktum att trafiken varierar med säsonger (väder) och tider på dygnet, vilket kan noteras vid trafikmätningar. Nationella resvaneundersökningar görs utspjutt över året och ger viss insikt i hur resmönstren hos befolkningen varierar med säsong, men det låga antalet observationer gör informationen bristfällig, framförallt för färdmedel som varierar mycket över året så som cykelresor. Traditionella resvanedata räcker inte heller som underlag för den detaljerade uppdelning av OD-matriser över dygnet som behövs (på 15-min-nivå under rusningstimmarna) för strategiska analyser i storstadsområden där trängsel och trängselavgifter varierar stort för olika tidpunkter på dygnet.

Rekommendationen är att dessa två förslag prioriteras vid framtida forskning om hur svensk mobilnätsdata kan användas som indata till strategiska prognosmodeller.

Denna rapport sammanfattar kunskapsläget, presentationerna och diskussionerna vid de workshops som har anordnats inom aktuellt projekt. Projektet har dock även resulterat i ett antal *Letter Of Interest* där olika organisationer beskriver sitt intresse för mobilnätsdata och exemplifierar hur de skulle kunna ha nytta av denna data. Dessa LOI används i dialogen med mobiloperatörerna.

5 Referenser

- R. Ahas, A. Anto, S. Silm och M. Tiru, "Daily rhythms of suburban commuters' movements in the Tallinn metropolitan area: Case study with mobile positioning data," *Transportation Research Part C*, nr 18, pp. 45-54, 2010.
- H. Bar-Gera, "Evaluation of a cellular phone-based system for measurements of traffic speeds and travel times: A case study from Israel," *Transportation Research Part C*, vol. 15, pp. 380-391, 2007.
- V. Blondel, A. Decuyper and G. Krings, "A survey of results on mobile phone datasets analysis", *EPJ Data Science* 2015 4:10 DOI 10.1140/epjds/s13688-015-0046-0, 2015
- N. Caceres, J. Wideberg och F. Benitez, "Review of traffic data estimations extracted from cellular networks," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 2, nr 3, pp. 179-192, 2008.
- F. Calabrese, G. Lorenzo, L. Liu och C. Ratti, "Estimating Origin-Destination Flows Using Mobile Phone Location Data," *IEEE Pervasive Computing*, pp. 36-44, 2011.
- D. Gundlegård och J. Karlsson, "Generating Road Traffic Information from Cellular Networks - New Possibilities in UMTS," *ITS Telecommunications*, pp. 1128-1133, 2006.
- D. Gundlegård och J. Karlsson, "Road Traffic Estimation using Cellular Network Signalling in Intelligent Transport Systems," To appear in *Wireless Technologies in Intelligent Transportation Systems*, 2009a.
- D. Gundlegård och J. Karlsson, "Handover Location Accuracy for Travel Time Estimation in GSM and UMTS," *IET Intelligent Transport systems*, vol. 3, nr 1, pp. 87-94, 2009b.
- O. Görnerup, "Scalable Mining of Common Routes in Mobile Communication Network Traffic Data," *Pervasive* (Springer-Verlag, Berlin), nr 7319, pp. 99-106, 2012.
- G. Heine, *GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation*, Boston: Artech House, 1999.
- C. Holm, M. Anzek och S. Kastela, "Travel time information service utilising mobile phone tracking," *Promet- Traffic- Traffico*, vol. 16, nr 4, pp. 211-216, 2004.
- H. Holma och A. Toskala, *WCDMA for UMTS – Radio access For Third Generation Mobile Communications (Second Edition)*, West sussex: John Wiley & Sons, Ltd., 2002.
- H. Kaaranen, A. Ahtiainen, L. Laitinen, S. Naghian och V. Niemi, *UMTS Networks – Architecture, Mobility and Services*, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd., 2001.
- K. Sohn och D. Kim, "Dynamic origin-destination flow estimation using cellular communication systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, nr 5, pp. 2703-2713, 2008.

J. Steenbruggen, M. Borzacchiello, P. Nijkamp och H. Scholten, "Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a review of applications and opportunities," *GeoJournal*, vol. 4, 2011.

H. Wang, F. Calabrese, G. Lorenzo och C. Ratti, "Transportation Mode Inference from Anonymized and Aggregated Mobile Phone Call Detail Records," i 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Madeira, 2010.

P. Wang, T. Hunter, A. Bayen, K. Schechtner och M. González, "Understanding Road Usage Patterns in Urban Areas," *Sci. Rep.*, vol. 2, nr 1001, pp. 1-6, 2012.

S. Iqbal, C. Choudhury, P. Wang, and M. González, "Development of Origin-Destination Matrices Using Mobile Phone Call Data", *Transportation Research C*, Vol. 40, Pages 63-74, 2014.

D. Xu, G. Song, P. Gao, R. Cao, X. Nie och K. Xie, "Transportation Modes Identification from Mobile Phone Data Using Probabilistic Models," *Advanced Data Mining and Applications*, vol. II, pp. 359-371, 2011.

6 Bilaga 1 – Deltagarlistor Workshops

Del 1 den 5 mars i Stockholm

<i>Namn</i>	<i>Organisation</i>
Adrian Prelipcean	KTH
Andreas Allström	Sweco
Andreas Hess	SICS
Andreas Holmström	Trafikanalys
Clas Rydergren	LiU
David Gundlegård	LiU
Di Yuan	LiU
Elias Arnestrand	Samtrafiken
Erik Jenenlius	KTH
Fredrik Rangne	Ericsson
Gyözö Gidofalvi	KTH
Ida Kristoffersson	Sweco
Jens Löfgren	Iterio
Leif Linse	Trivector
Leonid Engelson	Trafikverket
Liselotte Felter	Nobina
Magnus Fransson	Sweco
Marcus Mohall	Uppsala universitet
Marcus Weiland	Samtrafiken
Maria Börjesson	CTS/KTH
Nils Breyer	LiU
Nima Dokoohaki	SICS
Oliver Canella	WSP
Olof Görnerup	SICS
Otto Åstrand	Trafik Stockholm
Peo Svensk	Trafikverket
Rein Jüriado	Vinnova
Rodrigo Perez	Trafik Stockholm
Simon Moritz	Ericsson
Styrbjörn Bergdahl	Trafikverket
Therese Nyman	Iterio
Tobias Johansson	Stockholm stad
Tomas Julner	Trafikverket

Del 2 den 26 mars i Stockholm

<i>Namn</i>	<i>Organisation</i>	<i>Diskussionsgrupp</i>
Tobias Johansson	Stockholm stad	Strategiska modeller/analyser
Tomas Julner	Trafikverket	Realtidsdata och trafikledning
Leonid Engelson	Trafikverket	Strategiska modeller/analyser
Peo Svensk	Trafikverket	Realtidsdata och trafikledning
Elias Arnestrand	Samtrafiken	Strategiska modeller/analyser
Andreas Holmström	Trafikanalys	Strategiska modeller/analyser
Gyöző Gidofalvi	KTH	Strategiska modeller/analyser
Marcus Mohall	Uppsala universitet	Strategiska modeller/analyser
Styrbjörn Bergdahl	Trafikverket	Strategiska modeller/analyser
Mats Sandin	WSP	Realtidsdata och trafikledning
Andreas Allström	Sweco	Realtidsdata och trafikledning
Ida Kristoffersson	Sweco	Strategiska modeller/analyser
Clas Rydergren	LiU	Strategiska modeller/analyser
Nima Dokoohaki	SICS	Strategiska modeller/analyser
Olof Görnerup	SICS	Strategiska modeller/analyser
Magnus Fransson	Sweco	Realtidsdata och trafikledning