

WLAN-baserad flödesbeskrivning av vägtrafikanter

WLAN-based flow description of road users

Carl Lindgren
Gustav Nåfält

Handledare och Examinator, Erik Bergfeldt

Sammanfattning

Trådlösa enheter (som efterfrågar en anslutning) söker passivt eller aktivt efter ett *wireless local area network* (WLAN) genom så kallade *probe requests* (upplysningsförfrågningar). När mobila enheter förflyttas mellan olika fysiska platser utsöndras upplysningsförfrågningar (förutsatt att funktion för WLAN är aktiv) och dessa upplysningsförfrågningar är då tillgängliga för allmänt bruk. Att använda denna information för att bestämma hur många vägtrafikanter som passerar en viss plats kan vara intressant dels för ett taxiföretag eller kollektivtrafikplanerare men även för utryckningspersonal.

Arbetet undersöker en datainsamlingsteknik genom fältstudier i Norrköpings kommun och grundas i empiriska undersökningar och experiment. Den rådata som samlats in vid varje fältstudie genomgår en bearbetningsalgoritm med syfte att sammanställa signaler från samma unika *media access control* (MAC)-adress så att de motsvarar endast en förbipasserande vägtrafikanter. Bearbetningsalgoritmens funktionalitet syftar även till att sortera bort MAC-adresser som med viss frekvens återfinns i datainsamlingen då dessa enheter inte ses som enheter i rörelse.

Arbetets resultat visar att tekniken har potential för beskrivning av vägtrafikflöden. Den bearbetningsalgoritm som användes i arbetet hade med fördel kunnat vara mer omfattande för att ge ett mer övertygande resultat.

Abstract

Wireless devices are searching passive or active for wireless access points (WAP) by so called probe requests if they are not connected to a WAP. When mobile devices are moving between physical places probe requests are being transmitted and are therefore available for public use. Using this information to determine the flow of road users in a location may be interesting for a taxi company or public transport planner, but also for emergency services.

This work examines the possibilities of a data gathering technology through field studies in the city of Norrköping, based on empirical studies and experiments. The raw data collected at each field study undergoes a processing algorithm with the purpose of compiling signals from the same unique media access control (MAC) address so that it corresponds to only one bypassing road user. The processing algorithm's functionality also aims to remove MAC addresses that probe request with a certain frequency as these devices are not interpreted as moving devices.

The results of the work show potential of the data gathering technique for describing the flow of road users, but also showing varying results depending on the data gathering environment. The processing algorithm used could have been more extensive to provide a more convincing result.

Innehållsförteckning

1	Inledning	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Syfte	5
1.3	Avgränsning	5
1.4	Metod	5
2	Utförande	6
2.1	Empiri och förarbete.....	6
2.1.1	Litteraturstudie	6
2.1.2	Experimentering.....	7
2.1.3	Utformning av bearbetningsalgoritm	9
2.1.4	Valideringsteknik.....	11
2.2	Fältstudie	12
2.2.1	Bergsbron.....	14
2.2.2	Järnvägsövergång vid Norrköpings tågstation.....	15
2.2.3	Campus Norrköping, gångväg på Bredgatan	16
2.3	Bearbetning av fältstudie.....	17
3	Resultat	19
3.1	Fältstudie	19
3.1.1	Bergsbron.....	19
3.1.2	Järnvägsövergång vid Norrköpings tågstation.....	20
3.1.3	Campus Norrköping, gångväg på Bredgatan	22
4	Diskussion.....	25
4.1	Allmänt.....	25
4.2	Bearbetningsalgoritm	25
4.3	Framtid	26
4.4	Förslag på vidare arbete	26
5	Slutsatser	27
	Referenser	28
	Bilaga A - Observationstabeller Bergsbron	30
	Bilaga B - Observationstabeller övergång vid Norrköpings tågstation	32
	Bilaga C - Observationstabeller gångväg på Bredgatan	34
	Bilaga D - Observationstabell mall.....	36

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Trådlösa enheter (som efterfrågar en anslutning) söker passivt eller aktivt efter ett *wireless local area network* (WLAN) när de inte är ansluta till åtkomstpunkter i ett sådant. Med trådlösa enheter menas enheter som kan anslutas trådlöst till ett nätverk och en "mobil enhet" är en enhet som kan förflyttas (till exempel en telefon, surfplatta eller en bärbar dator). Med passiv sökning menas att trådlösa enheter lyssnar på så kallade *beacon frames*, vilka är signaler som sänds från åtkomstpunkter. Enheterna väljer sedan att ansluta till den åtkomstpunkten som har högst signalstyrka. Aktiv sökning innebär att trådlösa enheter på eget bevåg söker efter anslutningsbara åtkomstpunkter (Kurose & Ross 2012, s. 530) och det görs genom att sända ut *probe requests* (upplysningsförfrågningar) i det område som den trådlösa enheten har räckvidd till. Den trådlösa enheten förväntar att åtkomstpunkterna svarar med *probe response frames* (upplysningssvar) och den trådlösa enheten kan efter svar ansluta till en åtkomstpunkt (Mishra, Shin & Arbaugh 2003).

I Sverige har 85% av befolkningen smarta mobiltelefoner (Davidsson & Thoresson 2017) där dessa mobila enheter under normala omständigheter på ett eller annat sätt är uppkopplade till Internet. När mobila enheter förflyttas mellan fysiska platser (utan att inaktivera funktionen för WLAN) bör upplysningsförfrågningar utsöndras offentligt och i teorin kan dessa signaler samlas in och användas för kommersiell eller allmän nytta. Med signalernas information skulle vägtrafikmiljöer kunna beskrivas genom att till exempel beskriva flödet av vägtrafikanter. Att räkna antalet unika enheter (indirekt antalet användare) som passerar en plats skulle kunna vara användbart för att effektivisera planering av olika transportverksamheter såsom kollektivtrafiksaktörer, räddningstjänst eller ett taxibolag. Ett rimligt scenario skulle vara att ett taxibolag använder stationer som samlar in datatrafik på allmänna platser och utefter det drar slutsatser om antalet potentiella kunder. Ett annat scenario skulle vara att räddningstjänst och andra samhällsfunktioner kan dra nytta av information om trafikläget på vägarna. Rutter för brådskande fordon skulle kunna justeras om en trafikstockning uppenbaras i den först planerade rutten.

För att öka användandet av kollektivtrafik eller att öka vägars kapacitet kan insamlad data över hur många som använder en specifik busslinje eller en viss väg användas. Information om hur många vägtrafikanter som utnyttjar en vägsträcka skulle kunna minska köbildningar vilket i sin tur skulle kunna minska människors påverkan på miljön. Tidsmässig besparing skulle kunna göras på individnivå om till exempel information om att en buss är full delas med trafiketer i realtid (Pattanusorn, Nilkhamhang, Kittipiyakul, Ekkachai & Takahashi 2016).

Att estimerar användargraden av transportmedel eller vägsträckor kan bidra till effektiviseringar av transporter. En enhet för datainsamling skulle kunna vara ett billigt sätt att estimerar antal vägtrafikanter.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att undersöka hur upplysningsförfrågningar kan användas för att beskriva flödet av vägtrafikanter i trafikmiljöer. Resultatet ska presentera praktiska undersökningar som syftar till att beskriva hur bra en datainsamlingsteknik fungerar på utvalda platser i Norrköping.

1.3 Avgränsning

Syftet med arbetet grundas i ett potentiellt användningsområde inom taxibranschen eller liknande branscher för att frambringa information om vägtrafikflöden. Undersökningen sker däremot på en konceptuell nivå i den mån att ingen hänsyn tas till kostnader eller praktisk genomförbarhet.

1.4 Metod

Metodendelen av arbetet kan delas in i tre faser: Empiri, fältstudie och bearbetning av fältstudie. Nedan beskrivs de olika faserna.

Empirin kan betraktas som en förstudie till arbetet och syftade till att ge en fördjupad kunskap inom WLAN. Kunskapen skulle senare användas för att optimera kommande fältstudie och ge ett så bra och representativt resultat som möjligt. I fördjupningen låg särskilt fokus på att undersöka vilken information som görs tillgänglig för en datainsamlare. I en senare del av empirin utfördes experiment med mjuk- och hårdvaror för att ge en bättre förståelse inför fältstudien.

I fältstudien kombinerades kunskap med befintliga verktyg för insamling av data från upplysningsförfrågande enheter. *Probemon* (en öppen programvara skapad av Nik Harris (2015)) användes som datainsamlingsverktyg i detta arbete. Däremot skulle andra programvaror med likvärdiga egenskaper också kunna användas för att få likvärdiga resultat. Lämpliga testmiljöer bestämdes med hänsyn till möjligheten att dra slutsatser där en lämplig testmiljö var en miljö utan en alltför komplex händelsekalender. Exempelvis skulle datatrafik på en tågstation kunna samlas in för att undersöka om det är stor variation i upplysningsförfrågningar mellan på- eller avstigning och när ett oansenligt antal personer befinner sig på perrongen.

Vid bearbetningen av fältstudien utnyttjades kvantitativ data som erhållits från fältstudien för att undersöka teknikens användbarhet. För att undersöka hur väl insamlad data representerade verkligheten jämfördes insamlad data med observationer av vad som skedde i undersökningsmiljön. Här skulle föregående faser sammanställas för att på ett kritiskt sätt analysera vilka resultat och slutsatser som kunde dras.

2 Utförande

2.1 Empiri och förarbete

Detta kapitel beskriver vilken metod som utarbetades och som skulle användas i den kommande fältstudien (kapitel 2.2 och kapitel 2.3). Här utreds centrala begrepp för upplysningsförfrågningar och tester utfördes för att utreda datainsamlingsteknikens begränsningar.

2.1.1 Litteraturstudie

Utifrån en förenklad bild av en upplysningsförfrågan kan den beskrivas som en förfrågan från en enhet om upplysning om vilka åtkomstpunkter som finns i närheten. Frågan kan besvaras med ett svar från trådlösa åtkomstpunkter i det området som enheten har räckvidd till. I åtkomstpunktens svar inkluderas *service set identifier* (SSID), vilket är information om vilket nätverksnamn åtkomstpunkten har. En upplysningsförfrågan innehåller information om den upplysningsförfrågande enhetens *media access control* (MAC)-adress och *received signal strength indication* (RSSI). För varje tillverkat nätverkskort finns en unik MAC-adress som i vissa fall kan användas för att avläsa information om vilket företag som tillverkat det. (Planet3 Wireless 2004 s. 33-36)

Enligt Lindqvist et al. (2009) skulle upplysningsförfrågningar eventuellt vara ett hot mot den personliga integriteten om SSID:n analyseras. Åtkomstpunkternas namn (SSID) kan innehålla information om vem eller vilka som använder nätverket. Individer skulle med hjälp av datainsamling och med hjälp av historiska anslutningar till olika åtkomstpunkter, kunna exploatera en persons integritet genom att logga vilka åtkomstpunkter som personen ifråga varit ansluten till (Freudiger 2015). Därför föreslår Lindqvist et al. (2009) en utvidgning av IEEE 802.11-standarden, som avsevärt skulle förbättra integriteten hos användare utan att försämra användarupplevelsen. Förslaget innebär att alla enheter inom ett trådlöst nätverk delar en gemensam kryptografisk nyckel för att dölja SSID:n för utomstående.

Signalstyrkan för enheter skulle kunna användas för att anpassa mätningar av antalet passagerare som estimeras befinna sig på exempelvis en buss (Pattanusorn et al. 2016). Baserat på tröskelvärden för RSSI kan uppfattade enheter utanför en buss sorteras bort (Mikkelsen, Buchakchiev, Madsen & Schwefel 2016). Pattanusorn et al. (2016) visar i sin studie hur väntande passagerare kan använda information om hur många passagerare som är på en buss innan den har kommit fram. Genom insamling av upplysningsförfrågningar i kombination med en *global positioning system module* (GPS-modul) på bussar kan väntande passagerare få information om dels fyllnadsgraden på en buss, men även var den befinner sig i realtid. Denna information skulle också kunna användas för att utvärdera nyttjandegraden av till exempel kollektivtrafik (Mikkelsen et al. 2016).

Det kan emellertid vara svårt att avgöra hur pålitlig insamlad mätdata är och därför behövs eventuellt mer komplexa bearbetningsalgoritmer än till exempel den som Mikkelsen et al. (2016) tar upp. Beroende på vilket operativsystem en telefon har sänder den ut olika många upplysningsförfrågningar. En telefon med operativsystemet Android L 5.0 sänder i snitt ut en upplysningsförfrågan varje 66:e sekund, medan en iPhone med iOS 8.1.3 sänder ut en upplysningsförfrågan varje 330:e sekund (Freudiger 2015). Även *MAC randomization* (ett

randomiseringsschema för MAC-adresser) skulle kunna försämra pålitligheten av insamlad data med en mindre komplex bearbetningsalgoritm som bygger på att utvärdera unika MAC-adresser. Dock visar Martin et. al (2017) att MAC-adresser från de flesta typer av enheter kan förutses även om ett randomiseringsschema är implementerat.

2.1.2 Experimentering

Av den studerade litteraturen framgick vilken information som kunde fås av en upplysningsförfrågan. I detta kapitel beskrivs utförda tester av datainsamlingstekniken för att undersöka hur väl tekniken skulle fungera i ett praktiskt sammanhang. Förutom SSID, RSSI, och MAC-adress kunde tidpunkten för ankommen upplysningsförfrågan loggas. Figur 1 illustrerar ett antal rader ur en datainsamlingslogg där varje rad motsvarar en mottagen upplysningsförfrågan.

Nr.	Tid	Mac-adress	Mac-adress INFO	SSID	RSSI
1	1521555168 40:		4b Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-73
2	1521555168 40:		4b Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-73
3	1521555168 40:		4b Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-71
4	1521555168 40:		4b Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-73
5	1521555168 40:		4b Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-73
6	1521555168 40:		4b Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-73
7	1521555168 ac:		ff SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS (THAILAND)		-67
8	1521555168 ac:		ff SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS (THAILAND)		-67
9	1521555168 ac:		ff SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS (THAILAND)		-67
10	1521555168 ac:		ff SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS (THAILAND)		-63
11	1521555169 ac:		ff SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS (THAILAND)		-75
12	1521555169 ac:		ff SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS (THAILAND)		-59
13	1521555169 c0:		85 OnePlus Tech (Shenzhen) Ltd		-37
14	1521555169 c0:		85 OnePlus Tech (Shenzhen) Ltd		-35
15	1521555169 c0:		85 OnePlus Tech (Shenzhen) Ltd		-37
16	1521555169 c0:		85 OnePlus Tech (Shenzhen) Ltd		-37
17	1521555169 c0:		85 OnePlus Tech (Shenzhen) Ltd		-49
18	1521555170 48:		63 Liteon Technology Corporation		-89
19	1521555170 48:		63 Liteon Technology Corporation		-87
20	1521555170 2c:		f4 UNKNOWN		-83
21	1521555170 2c:		f4 UNKNOWN		-85
22	1521555171 82:		fc UNKNOWN		-87
23	1521555171 82:		fc UNKNOWN		-85

Figur 1 - Utdrag från en datainsamlingslogg. MAC-adresser och SSID:n är delvis eller helt mörklägda av integritetsskäl.

Ankomsttiden för en upplysningsförfrågan redovisas i kolumn två i Figur 1 där den är angiven i UNIX-format (Harris 2015). UNIX-format ansågs lämpligt ur ett beräkningsperspektiv i jämförelse med ISO-format då beräkningar mellan två olika ankomster enklare kunde utföras.

MAC-adresser med tillhörande information (information om enheten) redovisas i kolumn tre respektive fyra i Figur 1. En MAC-adress kunde användas för att urskilja en unik användare medan den tillhörande informationen var mindre betydande för detta arbete.

Vilket nätverk en enhet vill anslutas till (SSID) ansågs vara av potentiell betydelse vid ett scenario då kunskap om vilka anslutningsbara nätverk som finns i närheten av enheten för datainsamling ska erhållas. Om till exempel två kända nätverk skulle vara lokaliserade norr respektive syd om datainsamlingsenheten och mobila enheter först skickar upplysningsförfrågningar till nätverket i syd och efter det skickar upplysningsförfrågningar till det i norr, skulle det eventuellt kunna dras slutsatser om i vilken riktning enheten rör sig.

RSSI (kolumn sex i Figur 1) är ett mått på hur stark den mottagna signalen är och anges i dBm där låga värden motsvarar en svag signal mellan sändarenhet och datainsamlingsenhet. Detta ansågs vara en rimlig teknik för att ta reda på med vilket avstånd mobila enheter befinner sig på.

I den experimentering som gjordes kunde det konstateras att upplysningsförfrågande enheter tenderar att skicka upplysningsförfrågningar sekvensvis. Ur Figur 1 kan det till exempel utläsas att de första sex raderna skickas från samma unika MAC-adress och de efterföljande sex raderna från en annan unik MAC-adress.

I experimenteringen utfördes även tester med syfte att undersöka med vilka avstånd som upplysningsförfrågande enheter kan upptäckas från och huruvida olika upplysningsförfrågande enheter sänder ut signaler med varierande styrka. Ett test genomfördes genom att stegvis öka avståndet mellan en upplysningsförfrågande mobil enhet och datainsamlingsenhet där brytpunkter identifierades när de mobila enheterna slutade upptäckas. Vid testerna användes två typer av mobila enheter för upplysningsförfrågan och två olika nätverksadapttrar (för datainsamling) där tester för samtliga enheter genomfördes samtidigt. De nätverksadapttrar som användes var en ASUS N10 Nano samt en D-Link Wireless N150 och de mobila enheter som användes var en Huawei Honor 8 samt en OnePlus X. Samtliga brytpunkter presenteras i Tabell 1 nedan.

Tabell 1 - Brytpunkter för två olika anslutsförfrågade enheter

	Huawei Honor 8	OnePlus X
	Brytpunkt (meter)	Brytpunkt (meter)
ASUS N10 Nano	23	40
D-Link Wireless N150	19	40

Ur Tabell 1 kan utläsas att brytpunkter kan variera vid användning av olika nätverksadapttrar och mobila enheter. Att olika typer av mobila enheter kan upptäckas från olika avstånd kan bero på att den utsända styrkan varierar. Ett mer noggrant resultat skulle erhållas om fler tester utfördes (resultatet för denna studie baseras på ett test) och där fler typer av mobila enheter användes.

Utöver experimentering av brytpunkter utfördes experiment med syfte att undersöka hur RSSI och antalet upplysningsförfrågningar som uppfattas förändras när avstånd förändras. För att använda RSSI för slutsatser om avstånd för enheter krävdes en undersökning om mätvärdets pålitlighet. I denna undersökning användes nätverksadapter ASUS N10 Nano och den mobila enheten OnePlus X där datainsamlingar gjordes för olika avstånd. OnePlus X valdes för denna studie då tidigare test av brytpunkter visade på att den hade ett större uppfattningsintervall i jämförelse med Huawei Honor 8. För att påvisa skillnad för RSSI-värden genomfördes undersökningen i intervall av tre minuter där avståndet varierade. Ett längre tidsintervall hade gett en större noggrannhet i studien men också varit mer tidskrävande. Resultatet presenteras i Tabell 2.

Tabell 2 - Avståndsexperimentering

Avstånd (Meter)	Antal uppfattade upplysningsförfrågningar	Max-värde RSSI	Min-värde RSSI	Medelvärde RSSI
10	120	-56	-72	-63,8
15	87	-60	-74	-67,8
20	39	-70	-76	-72,3
22	27	-68	-70	-72,2
23	22	-68	-76	-72,2
25	33	-66	-76	-71,3
27	24	-68	-76	-71,3
30	20	-70	-74	-72,7
33	33	-70	-78	-72,3
36	11	-72	-76	-73,6
38	8	-72	-76	-72,8

Det kunde i allmänhet konstateras att signalstyrkan varierade trots att avståndet var konstant och inget tydligt mönster kunde uppmärksammas. Experimentet indikerade att det var svårt att använda RSSI som enhet för att bestämma avstånd med vald utrustning. Ur Tabell 2 kan t.ex. avläsas att när den upplysningsförfrågande enheten var på 10 meters avstånd så utsöndrades vissa signaler med RSSI på -71 dBm vilket också kunde uppmätas från samma mobila enhet fast vid 38 meters avstånd. Medelvärde av RSSI gav inte heller något tydligt mönster med avseende på avstånd till utsänd enhet då t.ex. medelvärdet var lika på både 20 meters avstånd och 33 meters avstånd.

Ur experimentet kunde det också indikeras att, trots att en upplysningsförfrågande enhet uppfattades på längre avstånd så minskade antalet upplysningsförfrågningar som uppfattades när avståndet ökade. Experimentet tyder på att när avstånd ökar så minskar alltså sannolikheten att en signal ska uppfattas.

Experimentet bestod endast av ett försökstillfälle och resultatet av det hade med fler försök ökat i pålitlighet. Om fler försök gjorts hade tydligare svar kunnat fås om hur RSSI-värden går att använda i liknande samband. Eftersom att det första försöket som gjordes gav indikationer på att RSSI var ett svårt mätvärde att använda i en bearbetningsalgoritm så lades inte mer tid på att undersöka detta.

2.1.3 Utformning av bearbetningsalgoritm

En bearbetningsalgoritm ansågs nödvändig då antalen mottagna upplysningsförfrågningar under en fältstudie var av kvantiteter som inte kunde bearbetas manuellt. För att utforma en sådan algoritm krävdes tillgång till mjukvara och där Matlab ansågs lämplig.

Bearbetningsalgoritmen formulerades i grunden genom villkor som eliminerar vissa signaler (rader i Figur 1) då specifika villkor överträds. Villkoren i sig är baserade på experiment utförda i detta arbete. För att nödvändiga och rimliga villkor skulle formuleras nyttjades kunskap som litteraturstudien och experimenteringen bidragit till. Följande villkor formulerades:

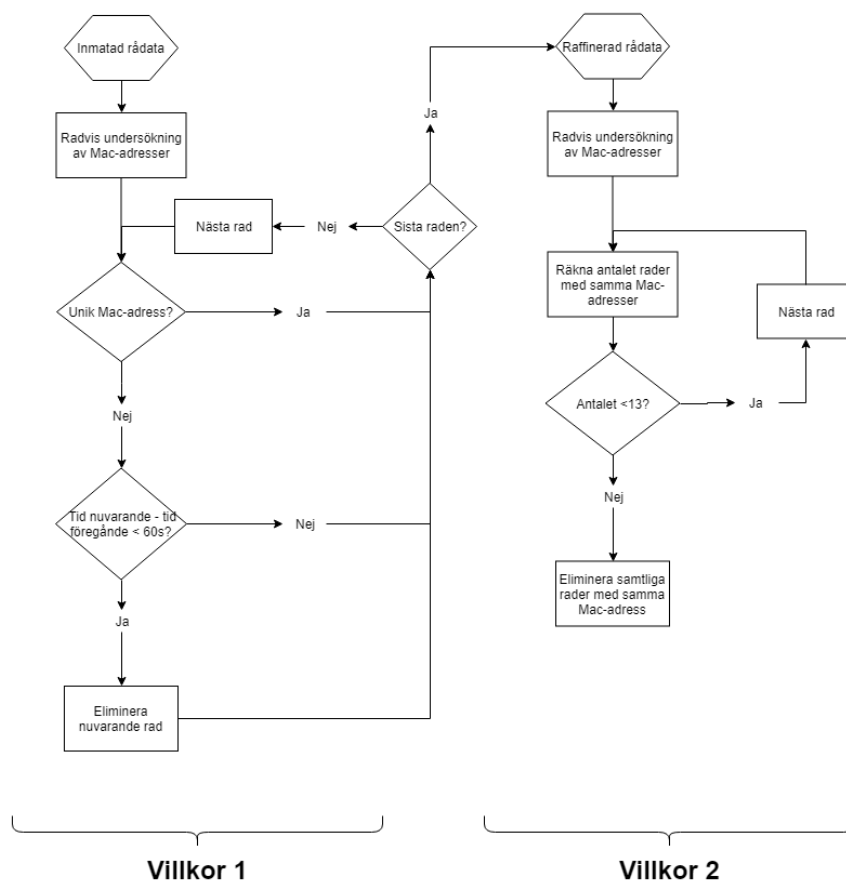
Villkor 1: För varje rad (varje ankommen upplysningsförfrågan) studeras de efterföljande raderna inom ett intervall av 60 sekunder. Om någon efterföljande upplysningsförfrågan har samma MAC-adress som den första i intervallet av 60 sekunder elimineras den (efterföljande).

Förklaring villkor 1: I experimenteringen fastslogs att upplysningsförfrågningar tenderar att skickas sekvensvis (se kapitel 2.1.2) och data kan på det viset bli missvisande om ingen åtgärd görs. I denna undersökning tolkas en sekvens av signaler (ex. rad ett till sex i Figur 1) som att en enhet upplysningsförfrågar en gång under tiden för en sekvens. Kravet på 60 sekunder innebär att en MAC-adress kan bidra med maximalt en signal per tidsintervall av 60 sekunder. Att 60 sekunder valdes berodde på att valideringstekniken för fältstudien delades in i intervall av 60 sekunder (se kapitel 2.1.4).

Villkor 2: För samtliga kvarvarande rader (efter utfört villkor 1) gäller att: Om totala antalet gånger som samma MAC-adress har detekterats överstiger det maximala antalet detekteringar som tillåts för hela datainsamlingsperioden ska rader med denna MAC-adress elimineras. Maximala antalet detekteringar för hela detekteringstiden fås genom att definiera maximala antalet förfrågningar per sekund (från samma MAC-adress) vilket sattes till 0,007 i denna studie. För 30 minuters detekteringstid medför detta att maximala antalet detekteringar för hela perioden (avrundat) blir 13 st.

Förklaring villkor 2: I en stadsmiljö kan det vara svårt att urskilja om en upplysningsförfrågan kan härledas till en vägtrafikanter eller en enhet i närheten av vägen. De upplysningsförfrågningar som inte sänds från vägtrafikanter anses vara oönskade signaler. För att undvika dessa signaler bortses samtliga enheter som under en längre tid har blivit frekvent detekterade. Att antalet maximala förfrågningar per sekund sattes till 0,007 grundas i experimentering där villkor 1 blivit utfört. I experimenteringen visade resultat att majoriteten av MAC-adresserna detekterades antingen 1-5 gånger eller fler än 13 gånger (på ett 30 minuters intervall). MAC-adresserna som detekterades fler än 13 gånger ansågs inte vara vägtrafikanter och eliminerades därför.

Bearbetningsalgoritmen är visuellt beskriven i Figur 2.



Figur 2 - En topologisk beskrivning av bearbetningsalgoritmen

Utöver ovan nämnda villkor för hur rådata bearbetades valdes att en skalningsfaktor skulle användas för slutlig kalibrering. Syftet med skalningsfaktorn var att hantera undersökningsmiljöer där skillnaden mellan antalet upplysningsförfrågningar och trafikanter i genomsnitt kunde variera. T.ex. skulle en vägtrafikanter kunna ha två upplysningsförfrågande enheter vilket medför att två MAC-adresser härstammar från en trafikant. På samma sätt skulle det kunna vara så att en trafikant inte har någon mobil enhet. Om det efter villkor 1 och 2 fanns tio upplysningsförfrågningar kvar i datamängden och skalningsfaktorn var 0,5 så innebär det att antalet signaler efter färdig bearbetning var 5 stycken ($10 \cdot 0.5$). För beskrivning av hur skalningsfaktorn bestäms, se kapitel 2.3.

2.1.4 Valideringsteknik

För att kunna dra slutsatser från fältstudien krävdes någon form av referens för vad som faktiskt skedde i miljön för datainsamlingen. Med valideringsteknik menas alltså vilken teknik som ska användas för att jämföra insamlad upplysningsdata med information om hur många vägtrafikanter som faktiskt passerar undersökningsplatsen eller hur trafiken där beskrivs vid ett givet tillfälle.

Insamling av trafikinformation genomfördes genom att dela in en fältstudie i tidsintervall av en minut/intervall. Vid varje intervall antecknades information om hur många väg- och gångtrafikanter som passerat samt en beskrivning av hur trafiksituationen såg ut visuellt (se Bilaga A, B och C). Beskrivning av trafiksituationen skulle användas som underlag i

diskussionen av resultatet. Det tidsintervall som valdes skulle med fördel vara så litet som möjligt då detta minskar förenklingen av verkligheten. Det som begränsade hur litet intervallet möjligt kunde vara var främst hur mycket tid som krävdes för att anteckna och observera händelser. Även tidsmässig felmarginal mellan enheten för datainsamling och observatör kunde begränsa tidsintervallet och genom tester framkom det att felmarginalen innebar en skillnad på maximalt tre sekunder. En minut/intervall ansågs vara rimlig och utan några avsevärda problem. För att se anteckningsmall, se Bilaga D.

En fördel med en valideringsteknik som bygger på observationer är främst enkelhet och kostnad då endast anteckningsmaterial krävs. En nackdel med denna typ av valideringsteknik är den mänskliga faktorn och den risk som finns att observationer som görs inte blir korrekta.

Ett alternativ till att använda observationer skulle vara att använda trafikräknare för att räkna antalet passerande vägtrafikanter vilket kunnat ge större säkerhet i testet. En trafikräknare ansågs vara för kostsam för studien och därför användes konventionell räkning. Risker för felobservation ansågs däremot vara låga då de miljöer som undersöktes innebar kvantitetsmässigt hanterbar information.

En annan fördel med mänsklig observation var att, istället för att räkna antalet passerande fordon kan observatören räkna antal passerande vägtrafikanter. Detta ger en mer verklig bild av händelseförloppet men ställer också högre krav på observatören.

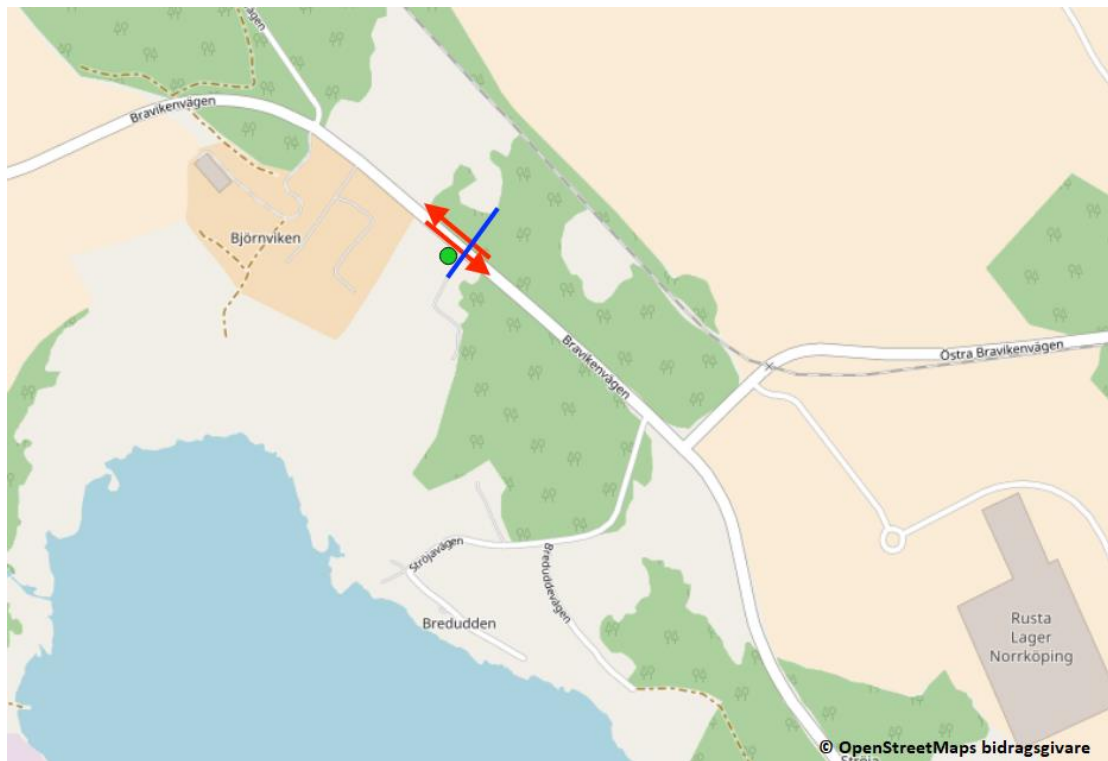
2.2 Fältstudie

När förberedande tester var sammanställda kunde fältstudien starta. Detta kapitel behandlar de tester som utfördes på de platser som ansågs vara möjliga att undersöka. Möjliga undersökningsplatser ansågs vara sådana där det verkliga antalet vägtrafikanter kunde räknas, det vill säga de platser som var möjliga att validera enligt kapitel 2.1.4.

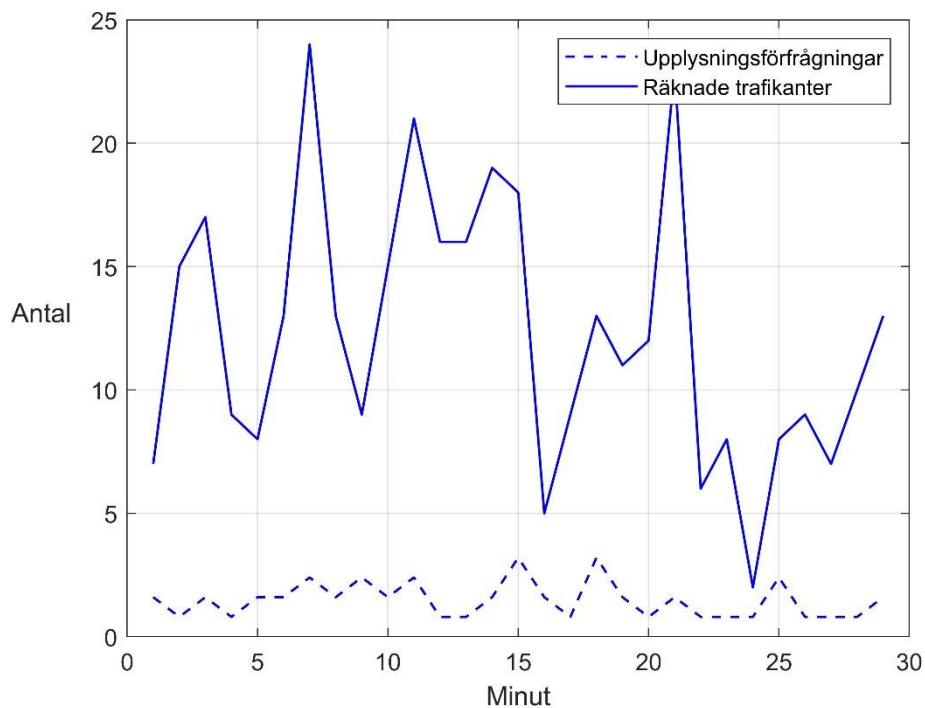
Totalt tio fältstudier (30 minuter/fältstudie) utfördes vid olika områden i Norrköping (med omnejd) under perioden 9 maj till 18 maj 2018. Fältstudierna utfördes av två personer där den ena personen räknade hur många vägtrafikanter som passerade datainsamlingsenheten varje minut. Den andra personen rapporterade när respektive tidsintervall var över och skrev sedan ner vad den första personen räknat till. För ingående information om observationsprotokollet, se Bilaga D. Den nätverksadapter som användes under fältstudien var en ASUS N10 Nano.

Tester utfördes på olika vägvägnitt för att undersöka var datainsamlingstekniken skulle kunna appliceras. Tekniken testades på en väg med hastighetsbegränsningen 70 km/h och bredvid en väg med maxhastigheten 40 km/h. Dessutom testades teknikerna på gångtrafikanter, där hastigheten antogs vara max 10 km/h. Genom att testa olika hastigheter kunde datainsamlingsteknikens begränsningar identifieras.

En inledande fältstudie genomfördes vid en väg med hastighetsbegränsning 70 km/h. Detta gjordes vid Bravikenvägen utanför Norrköping. För exakt position och resultat, se Figur 3 och Figur 4. I Figur 3 är datainsamlingsenhetens position beskriven med en grön rund symbol, trafikanter som passerar den blå linjen i kartbilden är trafikanter som räknas av observatören och de röda pilarna symboliserar flödesriktningen på vägen.



Figur 3 - Kartbild över experimentplats Bravikenvägen (OpenStreetMap 2018)



Figur 4 - Resultat för mätningar vid experimentplats Bravikenvägen

I Figur 4 presenteras resultatet av en fältstudie för väg med hastighetsbegränsning 70 km/h. Redan i ett tidigt skede av fältstudien insågs att det i dessa hastigheter var svårt att finna ett samband mellan upplysningsförfrågningar och passerande vägtrafikanter. Efter detta

beslutades det att efterföljande arbete skulle fokuseras på trafikanter som färdas på sträckor med lägre hastighetsbegränsning.

Att placera datainsamlingsenheten på ett torg eller vid en större trafikplats skulle generera otydlig data i den bemärkelsen att det skulle vara svårt att faktiskt verifiera datainsamlingsenhetens antal uppfattade enheter. Till skillnad från observatörens sinnen som uppfattade antal personer i deras synfält, sökte datainsamlingsenheten efter enheter i en radie omkring sig. Även om det skulle vara möjligt att placera datainsamlingsenheten vid ett torg för att räkna antal enheter skulle det vara praktiskt svårt att validera sådan data. Därför valdes platser för fältstudien där observatörerna inte behövde ta hänsyn till angränsande eller korsande vägar, som skulle kunna uppfattas av datainsamlingsenheten.

Efter att ha avfärdat vägar med för hög hastighetsbegränsning och större trafikplatser (som till exempel ett torg) pivoterade fältstudien åt att fokusera på mindre vägar och gångstråk. Fältstudien utgjordes av undersökningar på olika platser i Norrköping i närhet till Linköping universitets campus Norrköping. Undersökningar gjordes om 30 minuters intervall vid olika tider på dygnet och som sedan kunde valideras med den teknik som beskrivs i kapitel 2.1.4.

Vid varje undersökningsplats valdes olika möjliga trafikscenarier som skulle undersökas. Scenarierna var godtyckliga mått på hur trafiken såg ut och beskrevs med syfte att försöka erhålla variation mellan olika fältstudier. Dessa undersökningar skulle alltså jämföras för att undersöka om det fanns signifikanta skillnader att urskilja vid olika trafikscenarier trots att undersökningsplatsen var densamma.

De enheter/personer som passerade en plats skulle i så stor utsträckning som möjligt uppfattas av både datainsamlingsenheten och av observatören. Observatören räknade alltid antal personer som passerade datainsamlingsplatsen vilket innebär att ett fordon kunde resultera i fler än en vägtrafikanter. Att antalet vägtrafikanter räknades på detta sätt var för att ge en så verklig bild av situationen som möjligt. Barn i bilstol räknades inte i studien. Nedan följer beskrivningar av de platser som valdes för fältstudien.

2.2.1 Bergsbron

Bergsbron ligger på Kungsgatan och är en av de fyra broar som korsar Motala ström och binder samman Södra promenaden med Norra promenaden. Att bron är en av dessa begränsade överfarter medför att antalet trafikanter som väljer Bergsbron varierar stort mellan maxtimme (mycket trafik) och lågtrafik. Med stor variation i de olika scenarierna kunde förhoppningsvis också variation i fältstudien fås.

De vägtrafikanter som passerade undersökningsplatsen var främst biltrafikanter men även cyklister och gåendes där samtliga passerande (båda färdriktningar) inräknades i studien. Brons bredd vid undersökningsplatsen är cirka 11 meter (Google 2018) och passerande trafikanter vid andra sidan bron ansågs därför vara tillräckligt nära för att kunna inkluderas i datainsamlingen. Närmsta korsande väg i sydlig riktning är Kvarngatan där avståndet dit från undersökningsplatsen är 96 meter (Google 2018). Närmsta korsande väg i nordlig riktning är Skvallertorget och avståndet dit från undersökningsplatsen är 64 meter (Google 2018). Hastighetsbegränsningen är 40 km/h.

Vid Bergsbron gjordes undersökning av två olika scenarier: Lågtrafikerad och högtrafikerad trafik. I Figur 5 presenteras en bild över det undersökta området med beskrivningar av vägtrafikflöde.



Figur 5 - Kartbild över undersökningsplats Bergsbron (OpenStreetMap 2018)

I en reflektion av undersökningsplatsen kan det konstateras att Bergsbron ur ett WLAN-signalperspektiv är isolerad från precis intilliggande byggnader och vägar som skulle kunna innebära oönskade signaler (signaler från icke-vägförare). Detta var positivt för att erhålla ett bra resultat men av samma anledning sätter det inte lika höga krav på vad datainsamlingstekniken kan behärska.

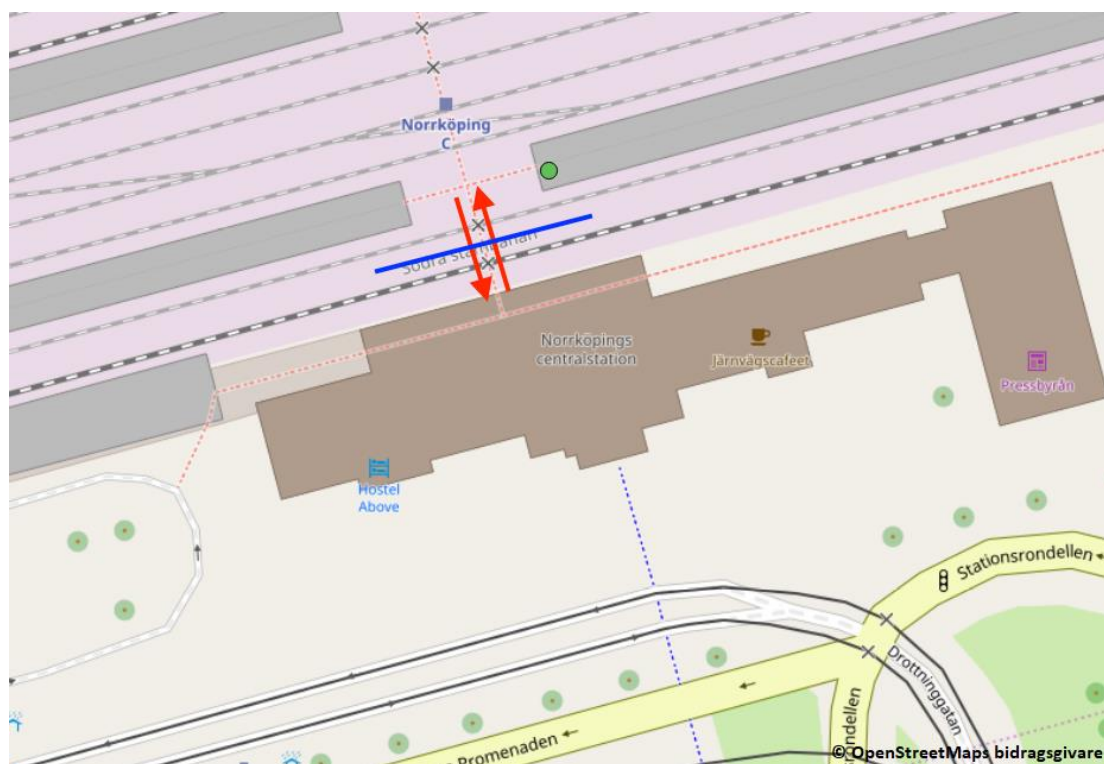
2.2.2 Järnvägsövergång vid Norrköpings tågstation

Norrköpings tågstation är belägen norr om stadens stadskärna där både lokala och regionala passagerartåg trafikerar stationen. I likhet med Bergsbron ansågs tågstationen möjligen generera data med både höga och låga siffervärden. När ett tåg ankom till stationen bedömdes att en uppgång i antal upplysningsförfrågningar eventuellt skulle komma och andra tider bedömdes en nedgång. Den förhoppningsvis stora variationen av trafikflöde förväntades vara till fördel för fältstudien.

Platsen där datainsamlingsenheten placerades avsåg att detektera passagerare som gick över spår ett och två (spår ett är närmast stationsbyggnaden och sedan stigande ordning till spår sju som är längst ifrån stationsbyggnaden). Därmed observerades och detekterades personer som förflyttades från stationsbyggnaden till spår två och t.o.m. spår sju. Undersökningen kartlade därmed inte de personer som ankom till och avgick från spår ett. Placering av datainsamlingsenheten kunde å andra sidan ge upphov till felkällor i och med att avståndet rakt över spåren till gångvägen bredvid stationsbyggnaden från datainsamlingsenheten var cirka 13

meter (Google 2018). De enheter/personer som passerade på den gångvägen räknades inte men skulle kunna uppfattas av datainsamlingsenheten.

Antalet uppfattade enheter av datainsamlingsenheten skulle också kunna innebära begränsad korrelation med antalet faktiska personer vid just stationen om det är så att resenärer i genomsnitt medhaver fler än en mobil enhet/person. Alla uppfattade enheter behöver heller inte nödvändigtvis vara direkt kopplade till en trafikant. En uppfattad enhet kan kopplas till en person som möter upp en ankommande trafikant. För bild på datainsamlingsplatsen, se Figur 6.



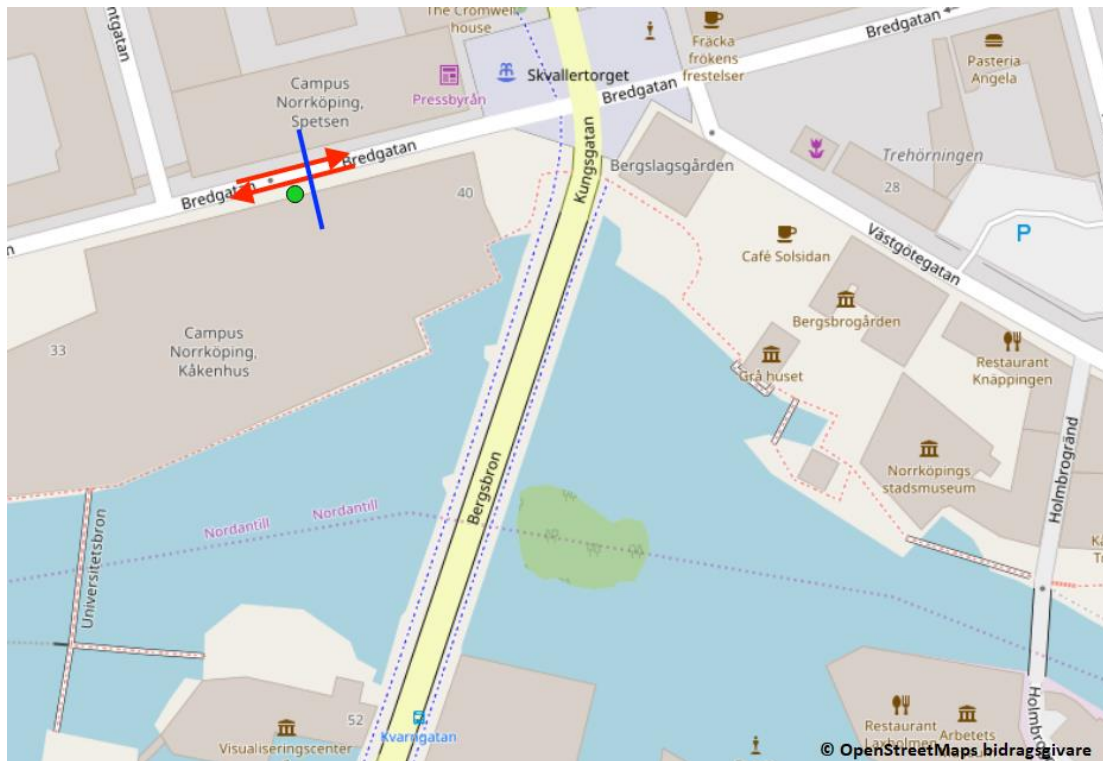
Figur 6 - Kartbild över undersökningsplats Järnvägsövergång (OpenStreetMap 2018)

2.2.3 Campus Norrköping, gångväg på Bredgatan

Precis intill Campus Norrköping går Bredgatan och den del av gatan som valdes för att undersökas bedömdes trafikeras av cyklister och gåendes men även av fåtalet biltrafikanter med låga hastigheter.

Vägens bredd vid undersökningsplatsen är 9,5 meter (Google 2018) och samtliga passerande vägtrafikanter inräknades i studien. Närmsta korsande väg i sydvästlig riktning är Luntgatan där avståndet dit från undersökningsplatsen är 38 meter (Google 2018). Närmsta korsande väg i nordöstlig riktning är Skvallertorget och avståndet dit från undersökningsplatsen är 39 meter (Google 2018).

Vid Bredgatan gjordes undersökningar av två olika bedömda scenarier. Högt trafikerat scenario och lågt trafikerat scenario. Figur 7 är en kartbild över det undersökta området med beskrivningar av vägtrafikflöden.



Figur 7- Kartbild över undersökningsplats Bredgatan (OpenStreetMap 2018)

I en reflektion av datainsamlingsplatsen kan det konstateras att det finns närliggande byggnader som kan avge oönskade upplysningsförfrågningar (upplysningsförfrågan från icke-vägtrafikanter). Även trafikanter från Luntgatan och Skvallertorget som inte passerar datainsamlingsenheten kan avge oönskade signaler då det visats att enheter kan skicka upplysningsförfrågningar på liknande avstånd (se kapitel 2.1.2).

2.3 Bearbetning av fältstudie

Efter datainsamlingen av rådata påbörjades bearbetningsarbetet. Här var ambitionen att på ett kvantitativt mätbart sätt jämföra hur bra bearbetningsalgoritmen fungerade i de valda miljöerna. För varje fältstudiemiljö valdes två skilda mätningar för jämförelse där datainsamlingsplatsen var konstant men tidpunkterna varierade.

För att mäta hur väl insamlad och bearbetad data motsvarade antalet passerande vägtrafikanter valdes två jämförelsetekniker som skulle användas.

1. Visuellt jämförelse

Den första jämförelsen som gjordes för fältstudierna var en visuell jämförelse. Vid den visuella jämförelsen observerades plottade grafer av insamlad och bearbetad data för att jämföra trender. Intressanta scenarier jämfördes genom att granska observationsprotokollet minut för minut och om någon graf av någon anledning avvek från det som ansågs rimligt så antecknades och diskuterades detta. Vissa miljöer kunde anses verka fungera bättre än andra men det fanns inget faktiskt mått eller bevis på att det var så. Den visuella jämförelsen ansågs viktig för resultatet då det skulle ge en intuition av hur väl datainsamlings- och bearbetningstekniken fungerade.

2. Jämförelse av medelfelet

Jämförelsen av medelfelet gav ett mått på hur väl insamlad och bearbetad data om upplysningsförfrågningar korrelerade mot information om hur många personer som passerade datainsamlingsenheten vid en viss miljö. Medelfelet beräknades enligt (1).

$$\text{Medelfel} = \frac{\sum_{i=1}^{30} |x_i - y_i|}{30} \quad (1)$$

$x_i = \text{räknade vägtrafikanter för minut } i, \quad i = 1 \dots 30$
 $y_i = \text{uppfattade enheter för minut } i, \quad i = 1 \dots 30$

När jämförelsen av medelfelet var gjord för skalningsfaktor = 1 så kalibrerades skalningsfaktorn så att medelfelet minimerades för varje fältstudiemiljö. Skalningsfaktorn kalibrerades alltså för varje fältstudiemiljö för att optimera de två valda fältstudierna.

3 Resultat

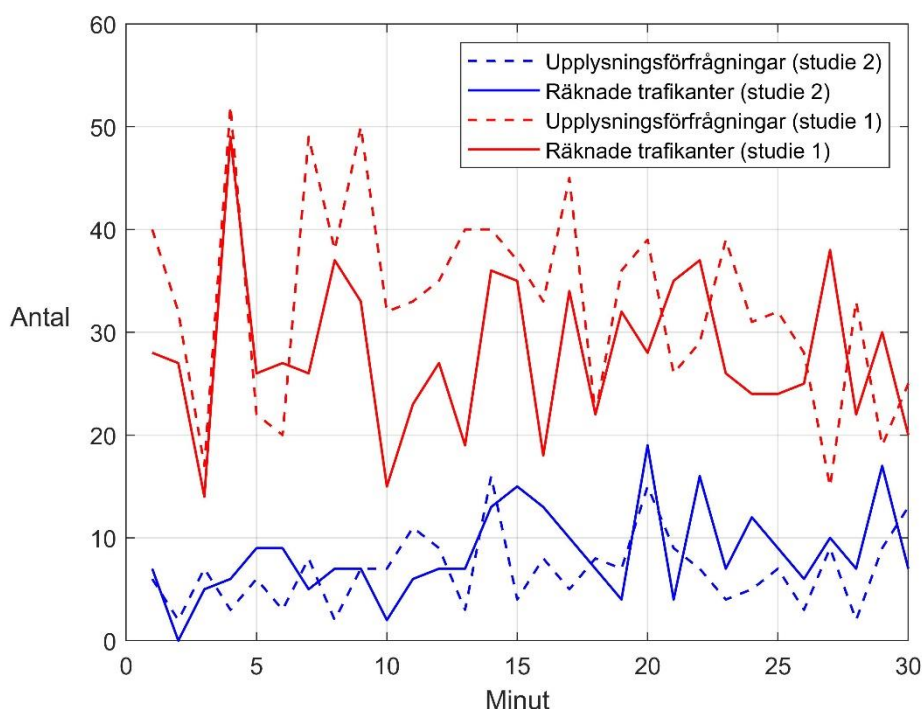
Resultatet presenterar tre separata undersökningar i Norrköping. Se kapitel 2.2 för detaljerad information om de olika valda platserna.

3.1 Fältstudie

En visuell jämförelse mellan bearbetad mätdata och det faktiskt räknade antalet passagerare som passerade undersökningsplatsen presenteras i detta kapitel för respektive undersökningsplats. I efterkommande grafer illustreras bearbetad mätdata som streckade linjer och det verkliga antalet passagerare som heldragna linjer. För varje fältstudie kalibrerades skalningsfaktorn så att det gemensamma medelfelet för fältstudierna minimerades.

3.1.1 Bergsbron

I Figur 8 illustreras resultat för två undersökningstidpunkter. De röda kurvorna illustrerar resultatet för en undersökning utförd 2018-05-09 klockan 16:17-16:47. De blå kurvorna illustrerar en undersökning 2018-05-10 klockan 08:42-09:12. Notera att den andra undersökningen (de blåfärgade graferna) utfördes på en röd kalenderdag. För detaljerad information om insamlad data och räknade trafikanter se Bilaga A.

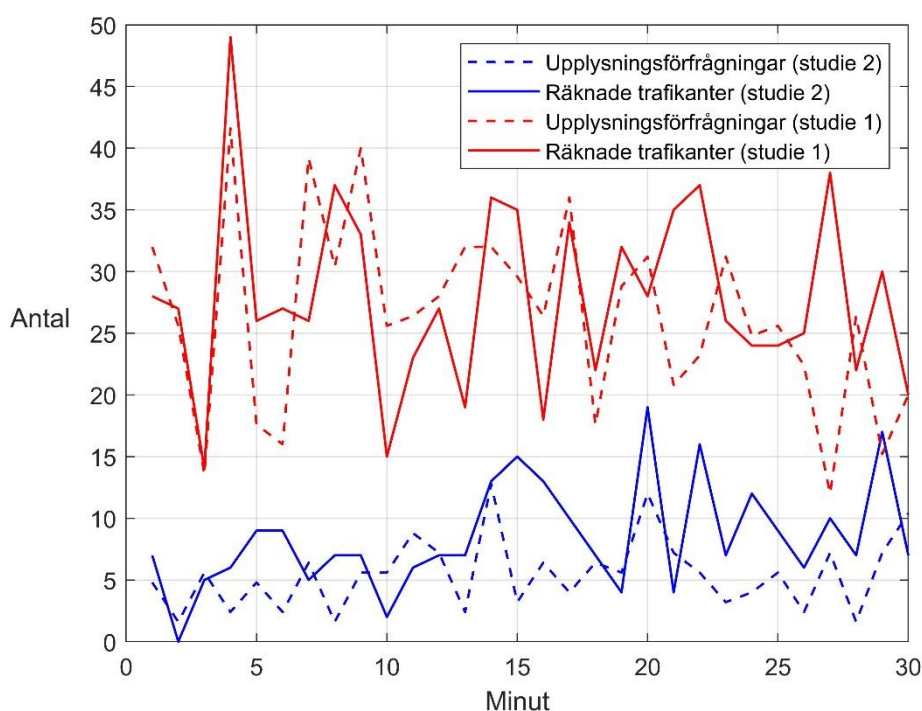


Figur 8 - Plottat resultat vid Bergsbron (Skalningsfaktor = 1)

Ur Figur 8 kan det utläsas att det finns korrelation mellan insamlad data och räknade trafikanter under vissa tidpunkter. Under andra tidpunkter är korrelationen mindre till exempel i intervallet av minut 10-15 och vid minut 27 för den undersökningen som gjordes 2018-05-09 (röda linjer). Vid minut 10 skildrar den röda streckade linjen en mätdata som var högre än vad antalet räknade trafikanter var. Vid minut 27 visar grafen motsatsen, där kurvan för räknade trafikanter

är högre än den kurvan som beskriver insamlad mätdata. Den mindre korrelationen kan bero på att de vägtrafikanter som passerade under dessa minuter antingen hade ovanligt många eller ovanligt få mobila enheter per passagerare i genomsnitt. En annan anledning kan vara att observationen av antal trafikanter var felaktig.

Minimalt medelfel med hänsyn till båda studierna fås för skalningsfaktor = 0,8 och det grafiska resultatet för det presenteras i Figur 9. I jämförelse med Figur 8 är de streckade linjerna förskjutna negativt i y-led. Figur 9 visar att den mindre korrelationen som fås i Figur 8 (röda linjer) vid minut 10-15 blivit ”åtgärdad” d.v.s. korrelationen har ökat. Däremot fås ett än större fel vid minut 27 i skillnaden mellan antalet insamlade upplysningsförfrågningar och antalet räknade trafikanter.



Figur 9 - Plottat resultat vid Bergsbron (Skalningsfaktor = 0,8)

I Tabell 3 presenteras information om medelfel för respektive studie och skalningsfaktor.

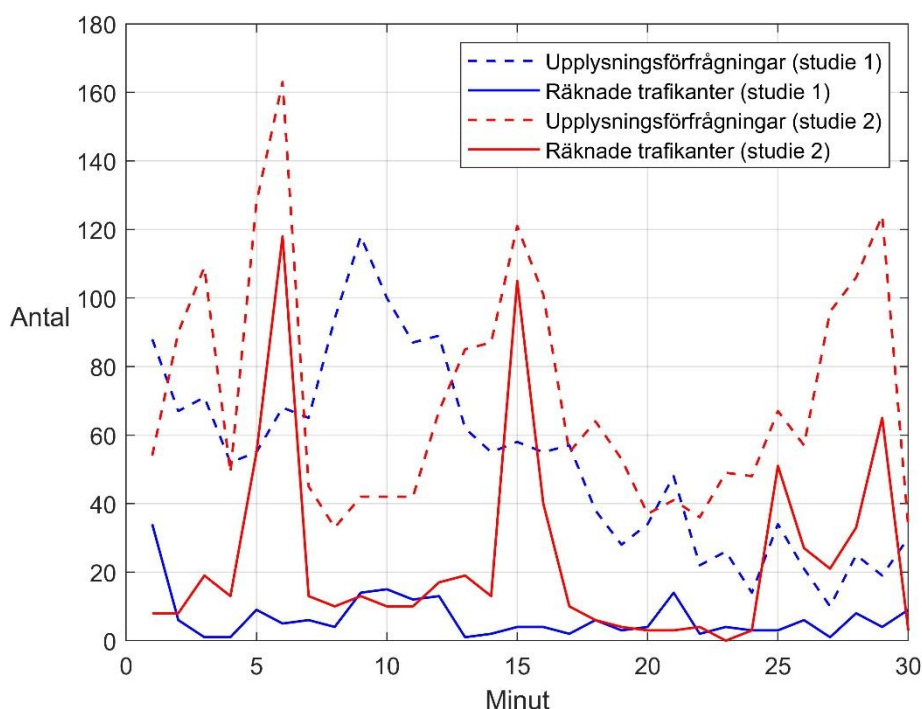
Tabell 3 - Medelfel vid Bergsbron

	Skalningsfaktor = 1	Skalningsfaktor = 0.8
Studie 1 (medelfel)	9,2	6,7
Studie 2 (medelfel)	4,0	4,2
Gemensamt (medelfel)	6,6	5,45

3.1.2 Järnvägsövergång vid Norrköpings tågstation

I Figur 10 presenteras två undersökningstillfällen. Studie ett (de blåa linjerna i grafen) avser en undersökning utförd 2018-05-10 14:16-14:46 och studie två (de röda linjerna i grafen) avser en

undersökning utförd 2018-05-18 07:30-08:00. Observera att studie ett är utförd på en röd kalenderdag. För detaljerad information om insamlad data och räknade trafikanter se Bilaga B.

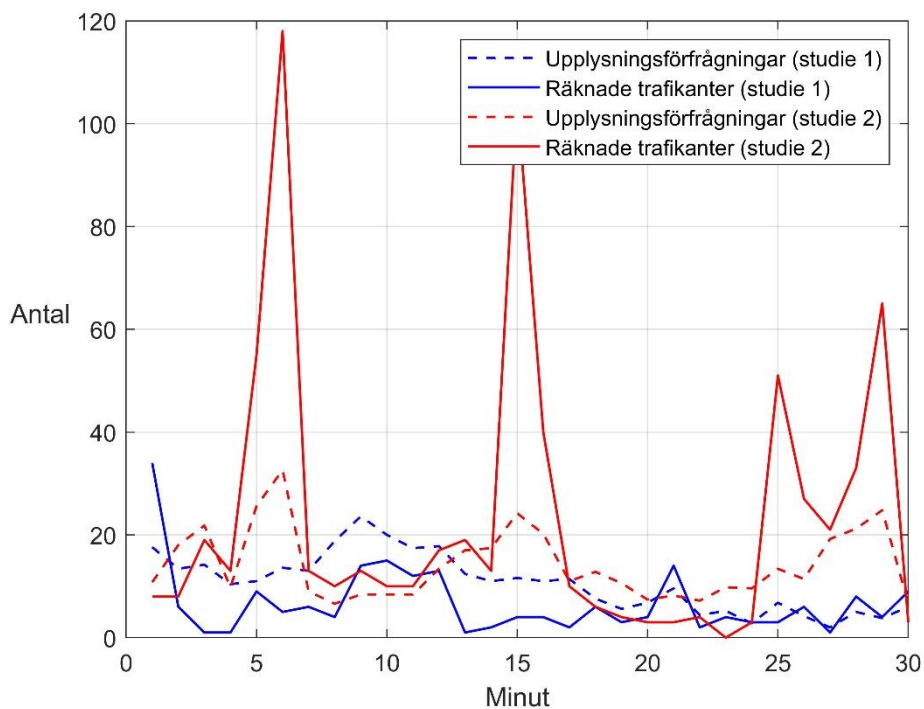


Figur 10 - Plottat resultat vid Järnvägsövergång (Skalningsfaktor = 1)

Ur Figur 10 kan det avläsas att undersökningen som utfördes 2018-05-18 (röda linjer) i allmänhet korrelerar väl med varandra men att streckad linje är något förskjuten i positivt y-led. Förskjutningen kan bero på oönskade upplysningsförfrågningar från eventuella mobila enheter i passerande tåg eller i intilliggande stationshus. Vid minut 6 och 15 kan en kraftig uppgång för både streckad och heldragen linje avläsas vilket kan bero på att tåg ankommer straxt innan (se Bilaga B).

Undersökning utförd 2018-05-10 (blåa linjer) korrelerar inte särskilt väl och är särskilt avvikande vid intervallet av minut 8-13. Denna avvikelse kan på samma sätt som de röda linjerna bero på upplysningsförfrågningar från eventuella mobila enheter i passerande tåg eller intilliggande stationshus. Noterbart är att det vid studie 1 ankommer ett regionaltåg vid minut 8 och som sedan avgår vid minut 9 vilket kan kopplas till att upplysningsförfrågningarna ökar kraftigt (se Bilaga B).

Minimalt medelfel med hänsyn till båda studierna fås för skalningsfaktor = 0,2 och resultatet för det presenteras i Figur 11.



Figur 11 - Plottat resultat vid Järnvägsövergång (Skalningsfaktor = 0,2)

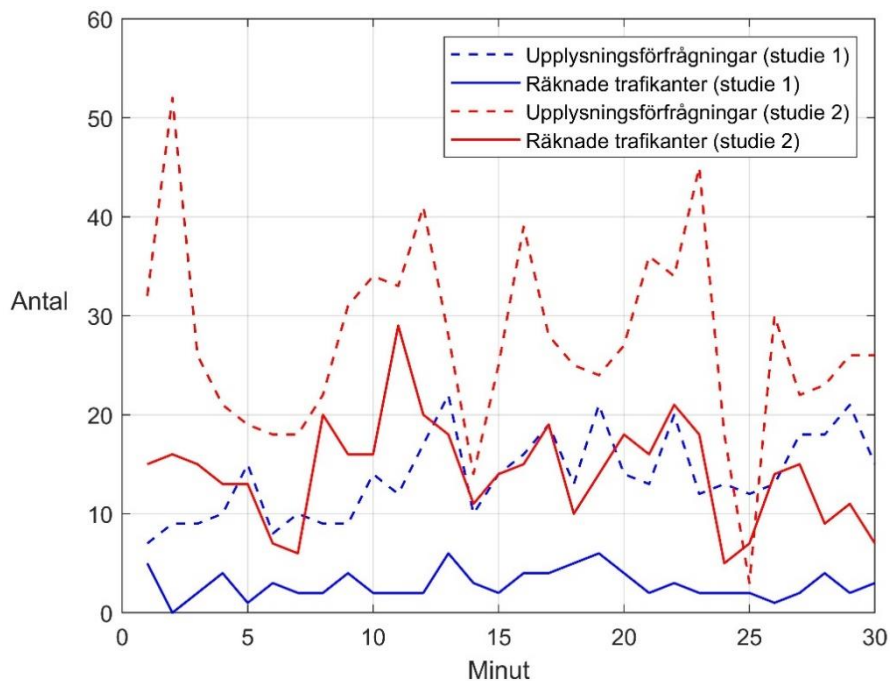
I Tabell 4 presenteras fullständig information om medelfel för respektive studie och skalningsfaktor.

Tabell 4 - Medelfel vid Järnvägsövergång

	Skalningsfaktor = 1	Skalningsfaktor = 0.2
Studie 1 (medelfel)	46,3	5,9
Studie 2 (medelfel)	47,3	13,8
Gemensamt (medelfel)	46,8	9,85

3.1.3 Campus Norrköping, gångväg på Bredgatan

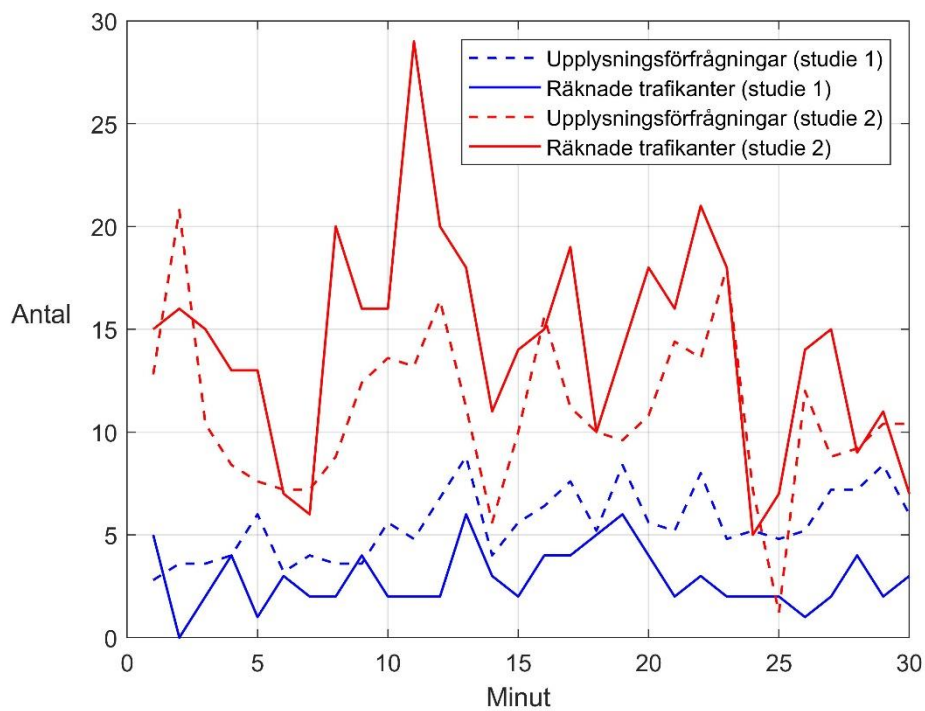
I Figur 12 presenteras de undersökningstillfällen som utfördes på undersökningsplatsen ”gångväg på Bredgatan”. Studie ett (de blåa linjerna i grafen) avser en undersökning utförd 2018-05-11 08:40-09:10 och studie två (de röda linjerna i grafen) avser en undersökning utförd 2018-05-15 07:50-08:20. För detaljerad information om insamlad data och räknade trafikanter se Bilaga C.



Figur 12 - Plottat resultat vid Bredgatan (Skalningsfaktor = 1)

Ur Figur 12 kan det avläsas att båda studiernas upplysningsförfrågningar i allmänhet är förskjutna i positivt y-led. Det är särskilt låg korrelation vid minut 2 samt vid minut 23 för studie 2. Den mindre korrelationen kan bero på oönskade upplysningsförfrågningar från eventuella enheter i intilliggande byggnader eller enheter vid Luntgatan eller Skvallertorget.

Minimalt medelfel med hänsyn till båda studierna fås för skalningsfaktor = 0,4 och resultatet för det presenteras i Figur 13 nedan.



Figur 13 - Plottat resultat vid Bredgatan (Skalningsfaktor = 0,4)

I Tabell 5 nedan presenteras fullständig information om medelfel för respektive studie och skalningsfaktor.

Tabell 5 - Medelfel vid Bredgatan

	Skalningsfaktor = 1	Skalningsfaktor = 0.2
Studie 1 (medelfel)	10,9	2,8
Studie 2 (medelfel)	13,3	4,2
Gemensamt (medelfel)	12,1	3,5

4 Diskussion

4.1 Allmänt

Resultatet presenterar ett varierande utfall hos den föreslagna WLAN-baserade datainsamlingstekniken. Att resultatet varierar kan bero på miljön för fältstudien, både i avseende till hur många vägtrafikanter som passerar och huruvida undersökningsplatsen har önskade signaler. Önskade signalerna skulle kunna komma från en intilliggande byggnad eller från en angränsade väg. Resultatet visar på att vid vissa platser finns det mindre korrelation mellan insamlad data och räknade trafikanter vilket innebär en dålig beskrivning av det verkliga flödet. Resultatet av fältundersökningen vid Bergsbron visade på att det i allmänhet fanns korrelation mellan räknade trafikanter och upplysningsförfrågningar, medan det vid andra undersökningsplatser saknades visuell korrelation.

Resultatet av fältstudien på Bergsbron gav ett lovande resultat dels visuellt men även vid mätning av medelfel. Att skalningsfaktorn inte behövde justeras särskilt mycket (i relation till skalningsfaktor = 1) är också ett bra tecken. Att resultatet blev särskilt bra för denna miljö kan bero på det faktum att Bergsbron är en plats utan intilliggande byggnader vilken innebär en mer ”isolerad miljö” med avseende på utsända upplysningsförfrågningar. Trots att studien visar på potential för att kunna användas i miljöer likt den vid Bergsbron så bör denna studie snarare tolkas som ett stickprov än något annat.

Resultatet i denna studie visar att datainsamlingsenheten uppfattade fler upplysningsförfrågningar än antalet trafikanter som passerade datainsamlingsenheten. Då skalningsfaktorn, vid minimering av medelfelet, var för alla undersökningsplatser mindre än 1. Rimligtvis borde skalningsfaktorn som användes i studien vara större än 1 då det tidigare är nämnt att (endast) 85 % av Sveriges befolkning har en smart telefon. Detta tyder antingen på att vägtrafikanter under fältstudien i genomsnitt hade fler än en trådlös enhet per person eller att antalet önskade signaler (signaler från icke-vägtrafikanter) var högre vid dessa undersökningsplatser.

Att fältstudien vid Norrköpings tågstation gav ett mindre bra resultat kan ha ett samband med det faktum att gåendes längs spår inte räknades. Avståndet till perrongen var endast 13 meter och gåendes vid den perrongen kan mycket väl blivit detekterade (se kapitel 2.1.2).

4.2 Bearbetningsalgoritm

Den bearbetningsalgoritm som används är enkelt utvecklad och bygger på enstaka påverkande parametrar. Resultatet av de tre undersökta fältstudiemiljöerna tyder på att antalet upplysningsförfrågningar är färre vid en s.k ”isolerad miljö”. Det kan tänkas att en bearbetningsalgoritm skulle kunna kalibreras med hänsyn till faktorer så som antalet byggnader som är intilliggande datainsamlingsenheten eller avstånd mellan dessa.

Den skalningsfaktor som introducerades för bearbetningsalgoritmen visades kunna användas för att minimera medelfelet. Det ska däremot tydliggöras att skalningsfaktorn endast bestämdes med hjälp av de två studier som gjordes i respektive fältstudiemiljö. För att forma en skalningsfaktor som representerar en viss miljö bör den baseras på många fler mätningar. Resultatet av Järnvägsövergång vid Norrköpings tågstation (Figur 10 och Figur 11) visar på hur skalningsfaktorn visserligen kan ge en stor förbättring i medelfelet men att resultatet trots

detta blir ganska missvisande. Vad som egentligen är intressant är främst att på ett säkert sätt kunna urskilja extrema toppar i vägtrafikanter snarare än att ha ett lågt medelfel.

4.3 Framtid

Om antalet användare av en viss busslinje skulle vara högt och på en annan linje vara lågt skulle kollektivtrafiksaktören kunna reglera kapacitet över dygnet. Att göra kollektivtrafiken mer energieffektiv per passagerare/km skulle kunna ha en globalt positiv effekt på miljön och andelen växthusgas som släpps ut per passagerare/km skulle minska (Silveira & Xylia 2017). Till skillnad från andra genomförda studier utreder denna studie hur passagerarantal skulle kunna estimeras innan de exempelvis kliver på en buss. I resultatet från fältundersökningen på Bredgatan kan ett mönster urskiljas där antalet detekterade enheter korrelerar väl med antalet räknade vägtrafikanter. Dessutom var det gemensamma medelfelet litet relativt medelfelen vid de andra undersökningsplatserna. Därför skulle en rimlig slutsats vara att den typ av datainsamlingsteknik som studerats i detta arbete, kan användas för kommersiella verksamheter. Verksamheter som kan dra nytta av en passagerarestimeringsmetod kan exempelvis vara en taxi-verksamhet där en enhet för datainsamling skulle kunna placeras vid ett torg, utanför en nattklubb eller likande.

Antalet upplysningsförfrågningar i förhållande till antalet vägtrafikanter kan i grunden ses som ett speciellt mänskligt beteende där varje enskild individ har en egen vilja. Att människor väljer att deras enheter ska sända upplysningsförfrågningar när de rör sig mellan olika platser kan mycket väl förändras i framtiden. Om vägtrafikanter börjar inse att deras personliga integritet äventyras eller att det finns risk för att den missbrukas så kan detta beteende förändras. Att framtida mobila enheter t.ex. skulle kunna erbjuda funktioner som stänger av upplysningsförfrågan vid förflyttning eller i utvalda miljöer är inte orimligt.

Den bearbetningsalgoritm som används i detta arbete kan ha påverkats negativt av MAC-randomisering vilket kan öka i användande i framtiden. Om en upplysningsförfrågande enhet till exempel använder en MAC-adress i 30 sekunder, för att sedan använda en annan så kan denna enhet uppfattas som två olika trafikanter av bearbetningsalgoritmen.

4.4 Förslag på vidare arbete

En brist i detta arbete är att bearbetningsalgoritmen är av enkel natur och kan rimligtvis utvecklas i vidare arbete genom att till exempel justera skalningsfaktorn med hänsyn till intilliggande byggnader. Vidare kan liknande fältstudier som presenterats utvecklas genom mer omfattande studier där fler timmar avsätts. Både förbättrade bearbetningsalgoritmer och datainsamlingsmetoder bör också hantera randomiserade MAC-adresser på likande sätt som Freudiger (2015) gör där MAC-adresser kopplas till det sekvensnummer upplysningsförfrågningen har.

Vidare är konceptet om randomiserade MAC-adresser ett verktyg för att WLAN-användare ska förbli anonyma. Systemet som Mikkelsen et al. (2016) presenterar har en anonymiseringsenhet som tilldelar randomiserade ID:n till samtliga insamlade upplysningsförfrågningars MAC-adresser. Detta är ett intressant förslag för att dels behålla enkelheten i bearbetningsalgoritmen men också WLAN-användarens anonymitet.

5 Slutsatser

Sammanfattningsvis kan det konstateras att det finns potential för att använda upplysningsförfrågningar för beskrivning av flödet av vägtrafikanter i trafikmiljöer. Däremot visar resultatet på att med den enkla bearbetningsalgoritm som har använts så fås inget övertygande resultat och osäkerheten är stor. Resultatet visar på att det vid miljöer av få påverkande faktorer (bortsett från vägtrafikanter) blir enklare att dra slutsatser om en signal utsänds från en passerande vägtrafikanter.

Referenser

- Davidsson, P. & Thoresson, A. (2017). *Svenskarna och internet 2017*. Stockholm: ISS (Internetstiftelsen i Sverige). https://www.iis.se/docs/Svenskarna_och_internet_2017.pdf
- Freudiger, J. (2015). How talkative is your mobile device?: an experimental study of Wi-Fi probe requests. I *Proceedings of the 8th ACM Conference on Security & Privacy in Wireless and Mobile Networks*. New York, USA, 22-26 juni, 2015. Artikelnr. 8. doi:10.1145/2766498.2766517
- Google (2018). *Google Maps*. [Mätavstånd]. Tillgänglig: <https://www.google.com/maps/@58.5893295,16.1722769,14z> [2018-05-21]
- Harris, N. (2015). *Probemon*. [GitHub commitment], 9 jan, <https://github.com/nikharris0/probemon> [2018-05-31]
- Kurose, J. F. & Ross, K. W. (2012). *Computer Networking: A Top-Down Approach*. 6. uppl., London: Pearson Education
- Lindqvist, J., Aura, T., Danezis, G., Koponen, T., Myllyniemi, A., Mäki, J. & Roe, M. (2009). Privacy-Preserving 802.11 Access-Point Discovery. I *Proceedings of the second ACM conference on Wireless network security*. Zurich, Switzerland, 16-19 mars 2009, ss. 123-130. doi: 10.1145/1514274.1514293
- Martin, J., Mayberry, T., Donahue, C., Foppe, L., Brown, L., Riggins, C., Rye, E.C., & Brown, D. (2017). A Study of MAC Address Randomization in Mobile Devices and When it Fails. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*, 2017(4), ss. 365-383. doi:10.1515/popets-2017-0054
- Mikkelsen, T., Buchakchiev, R., Madsen, T. & Schwefel, H.P. (2016) Public Transport Occupancy Estimation Using WLAN Probing. I *8th International Workshop on Resilient Networks Design and Modeling (RNDM)*. Halmstad, Sverige, 13-15 september, 2016. ss. 302-308. doi:10.1109/RNDM.2016.7608302
- Mishra, A., Shin, M. & Arbaugh, W. (2003). An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 33(2), ss. 93-102. doi:10.1145/956981.956990
- OpenStreetMap (2018). *Rasterlager*. [Kartografiskt material] <https://www.openstreetmap.org/copyright>
- Pattanusorn, W., Nilkhamhang, I., Kittipiyakul, S., Ekkachai, K. & Takahashi, A. (2016). Passenger Estimation System Using Wi-Fi Probe Request. I *7th International Conference on Information Communication Technology for Embedded Systems*, 20-22 mars 2016, ss. 67-72. doi:10.1109/ICTEmSys.2016.7467124.
- Planet3 Wireless (2004). *CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide (Exam PW0-205)*. 1. uppl., USA:McGraw-Hill Education

Silveira, S. & Xylia, M. (2017). On the road to fossil-free public transport: The case of Swedish bus fleets. *Energy Policy*, 100(Januari), ss. 397-412.
doi:10.1016/j.enpol.2016.02.024

Bilaga A - Observationstabeller Bergsbron

Tabell 1 - Studie 1

Minut	Tid	Verkligt antal	Observation	Antal upplysningsförfrågningar
1	16:17:00	28	Krypfart i norrgående riktning, ingen köbilning sydgående	40
2	16:18:00	27	Samma som ovan.	32
3	16:19:00	14	Samma som ovan.	17
4	16:20:00	49	Samma som ovan.	52
5	16:21:00	26	Samma som ovan.	22
6	16:22:00	27	Samma som ovan.	20
7	16:23:00	26	Samma som ovan.	49
8	16:24:00	37	Samma som ovan.	38
9	16:25:00	33	Samma som ovan.	50
10	16:26:00	15	Samma som ovan.	52
11	16:27:00	23	Samma som ovan.	33
12	16:28:00	27	Samma som ovan.	35
13	16:29:00	19	Samma som ovan.	40
14	16:30:00	36	Samma som ovan.	40
15	16:31:00	35	Samma som ovan.	37
16	16:32:00	18	Samma som ovan.	33
17	16:33:00	34	Samma som ovan.	45
18	16:34:00	22	Samma som ovan.	22
19	16:35:00	32	Samma som ovan.	36
20	16:36:00	28	Samma som ovan.	39
21	16:37:00	35	Samma som ovan.	26
22	16:38:00	37	Samma som ovan.	29
23	16:39:00	26	Samma som ovan.	39
24	16:40:00	24	Samma som ovan.	31
25	16:41:00	24	Samma som ovan.	32
26	16:42:00	25	Samma som ovan.	28
27	16:43:00	38	Samma som ovan.	15
28	16:44:00	22	Något mindre kö	33
29	16:45:00	30	samma som ovan.	19
30	16:46:00	20	samma som ovan.	25

Tabell 2 - Studie 2

Minut	Tid	Verkligt antal	Observation	Antal upplysningsförfrågningar
1	08:42:00	7		6
2	08:43:00	0		2
3	08:44:00	5		7
4	08:45:00	6		3
5	08:46:00	9		6
6	08:47:00	9		3
7	08:48:00	5		8
8	08:49:00	7		2
9	08:50:00	7		7
10	08:51:00	2		7
11	08:52:00	6		11
12	08:53:00	7		9
13	08:54:00	7		3
14	08:55:00	13		16
15	08:56:00	15		4
16	08:57:00	13		8
17	08:58:00	10		5
18	08:59:00	7		8
19	09:00:00	4		7
20	09:01:00	19		15
21	09:02:00	4		9
22	09:03:00	16		7
23	09:04:00	7		4
24	09:05:00	12		5
25	09:06:00	9		7
26	09:07:00	6		3
27	09:08:00	10		9
28	09:09:00	7		2
29	09:10:00	17		9
30	09:11:00	7		13

Bilaga B - Observationstabeller övergång vid Norrköpings tågstation

Tabell 1 - Studie 1

Minut	Tid	Verkligt antal	Observation	Antal upplysningsförfrågningar
1	14:16:00	34	Ankommet pendeltåg staxt innan startad Observation	88
2	14:17:00	6		67
3	14:18:00	1		71
4	14:19:00	1		52
5	14:20:00	9		55
6	14:21:00	5		68
7	14:22:00	6		65
8	14:23:00	4	Ankommet regionaltåg (tåg A)	94
9	14:24:00	14	Avgående regionaltåg (tåg A)	118
10	14:25:00	15		100
11	14:26:00	12		87
12	14:27:00	13		89
13	14:28:00	1		62
14	14:29:00	2		55
15	14:30:00	4		58
16	14:31:00	4		55
17	14:32:00	2	Ankommet regionaltåg (tåg B)	57
18	14:33:00	6		38
19	14:34:00	3		28
20	14:35:00	4		34
21	14:36:00	14	Avgående regionaltåg (tåg B)	48
22	14:37:00	2		22
23	14:38:00	4		26
24	14:39:00	3		14
25	14:40:00	3	Avåående regionaltåg (tåg C)	34
26	14:41:00	6		21
27	14:42:00	1		10
28	14:43:00	8		25
29	14:44:00	4		19
30	14:45:00	9		30

Tabell 2 - Studie 2

Minut	Tid	Verkligt antal	Observation	Antal upplysningsförfrågningar
1	07:30:00	8		54
2	07:31:00	8		90
3	07:32:00	19		109
4	07:33:00	13	Ankommet pendeltåg	49
5	07:34:00	55	Bom nere mellan spår 1 och 2.	128
6	07:35:00	118		163
7	07:36:00	13		45
8	07:37:00	10		33
9	07:38:00	13		42
10	07:39:00	10		42
11	07:40:00	10		42
12	07:41:00	17		67
13	07:42:00	19		85
14	07:43:00	13	Ankommet pendeltåg	87
15	07:44:00	105		121
16	07:45:00	40		101
17	07:46:00	10		55
18	07:47:00	6		64
19	07:48:00	4	Ankommet intercitytåg	53
20	07:49:00	3		37
21	07:50:00	3		41
22	07:51:00	4		36
23	07:52:00	0		47
24	07:53:00	3	Ankommet pendeltåg + regionaltåg	48
25	07:54:00	51		67
26	07:55:00	27	Ankommet regionaltåg	57
27	07:56:00	21	Ankommet pendeltåg	96
28	07:57:00	33		106
29	07:58:00	65		124
30	07:59:00	3		33

Bilaga C - Observationstabeller gångväg på Bredgatan

Tabell 1- Studie 1

Minut	Tid	Verkligt antal	Observation	Antal upplysningsförfrågningar
1	08:40:00	5		7
2	08:41:00	0		9
3	08:42:00	2		9
4	08:43:00	4		10
5	08:44:00	1		15
6	08:45:00	3		8
7	08:46:00	2		10
8	08:47:00	2		9
9	08:48:00	4		9
10	08:49:00	2		14
11	08:50:00	2		12
12	08:51:00	2		17
13	08:52:00	6		22
14	08:53:00	3		10
15	08:54:00	2		14
16	08:55:00	4		16
17	08:56:00	4		19
18	08:57:00	5		13
19	08:58:00	6		21
20	08:59:00	4		14
21	09:00:00	2		13
22	09:01:00	3		20
23	09:02:00	2		12
24	09:03:00	2		13
25	09:04:00	2		12
26	09:05:00	1		13
27	09:06:00	2		18
28	09:07:00	4		18
29	09:08:00	2		21
30	09:09:00	3		15

Tabell 2 - Studie 2

Minut	Tid	Verkligt antal	Observation	Antal upplysningsförfrågningar
1	07:50:00	15		32
2	07:51:00	16		52
3	07:52:00	15		26
4	07:53:00	13		21
5	07:54:00	13		19
6	07:55:00	7		18
7	07:56:00	6		18
8	07:57:00	20		22
9	07:58:00	16		31
10	07:59:00	16		34
11	08:00:00	29		33
12	08:01:00	20		41
13	08:02:00	18		28
14	08:03:00	11		14
15	08:04:00	14		25
16	08:05:00	15		39
17	08:06:00	19		28
18	08:07:00	10		25
19	08:08:00	14		24
20	08:09:00	18		27
21	08:10:00	16		36
22	08:11:00	21		34
23	08:12:00	18		45
24	08:13:00	5		18
25	08:14:00	7		3
26	08:15:00	14		30
27	08:16:00	15		22
28	08:17:00	9		23
29	08:18:00	11		26
30	08:19:00	7		26

Bilaga D - Observationstabell mall

Tabell 1 är det ark som användes under fältstudierna. Tiden antecknades och vid varje en-minuters intervall räknades antalet passerade personer. Sista kolumnen användes för att beskriva vilka situationer som observerades.

Tabell 1 - Mall för observationer under fältstudie.

Minut	Tid	Antal	Observation
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			