

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ
ÚSTAV DOPRAVNÍ TELEMATIKY



Bakalářská práce

**GENEROVÁNÍ GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ BÁZE Z DAT
PLOVOUCÍCH VOZIDEL**

**GENERATING GEOGRAPHIC INFORMATION DATABASE FROM
FLOATING CAR DATA**

Jakub Štok

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
Obor: Inteligentní dopravní systémy
Praha, 2015



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K620 Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jakub Štok

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Generování geografické informační báze z dat plovoucích vozidel**

Název tématu (anglicky): Generating geographic information database from floating car data

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Proved'te rešerši automatizovaných postupů generování GIS objektů z prostorových dat.
- Analyzujte data plovoucích vozidel, navrhňte množinu objektů a atributů, které bude možné automatizovaně zpracovat.
- Proved'te pilotní návrh programového řešení.

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: D.L. Hall, Mathematical Techniques in Multi-sensor Data Fusion Artech House, Norwood, MA (1992)
G. Thomas, S. Donikian, Modelling virtual cities dedicated to behavioural animation, Comput Graph Forum, 19 (2000)

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **21. července 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **24. srpna 2015**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

.....
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky

.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

.....
Jakub Štok
jméno a podpis studenta

V Praze dne21. července 2014

Poděkování

Rád bych poděkoval za podporu a laskavost doc. Ing. Pavlu Hrubešovi, Ph.D., jenž se stal mým vedoucím bakalářské práce, projektu a kolegou na fakultě. Rovněž děkuji panu Ing. Jiřímu Barnetovi za poskytnutí FCD od SECAR BOHEMIA a.s., bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. V neposlední řadě děkuji svým rodičům a blízkým za materiální a morální podporu, která mi umožnila studovat na vysoké škole.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých údajů (autorský zákon).

V Praze dne 16. června 2015

Klíčová slova

Plovoucí vozidlo, GPS, silniční síť, generování, automatická vektorizace, rasterizace

Key words

Floating Car, GPS, road network, generating, automatic vectorization, rasterization

Abstrakt

Práce se zabývá automatickým generováním nových geografických objektů z Floating Car Data (FCD). Z důvodu přiblížení tématiky a vysvětlení pojmu plovoucí vozidla jsou úvodní kapitoly věnovány systému GPS, GIS a samotným FCD.

V práci je vyjmenováno mnoho výstupů, které lze z FCD získat. Jedná se především o výstupy uplatnitelné v silniční dopravě, jako jsou např. mapové podklady pro satelitní navigace. Práce se zaměřuje na několik výstupů a zobrazuje metody a algoritmy, kterými lze výsledků dosáhnout. Nejdůležitějším výstupem je vektorová linie kopírující osu komunikace. Výstupy jsou prezentovány na obrázcích, které téma nejlépe vystihují.

Abstract

The thesis works with automatic generating of new geographic objects using Floating Car Data (FCD). Due to introducing to the topic and explaining the term FCD, opening chapters are dedicated to GPS, GIS and FCD itself.

Many outputs, which are possible to obtain from FCD, are listed in the thesis. These outputs were selected for their applicability in road transport, such as maps for satellite navigation. The thesis focuses on several outputs from the proposed list and shows methods and algorithms in order to achieve them. The most important outcome is a vector line matching a road centerline. Outputs are presented in figures that are the most suitable for the topic.

Obsah

Seznam zkratk	4
Úvod	5
1 Úvod do globálních navigačních systémů	7
1.1 Historie.....	7
1.2 Souřadný systém	8
1.3 Uživatelský segment	8
1.4 Určení polohy	8
1.5 Přesnost určení polohy.....	9
2 Data plovoucích vozidel	11
2.1 Vlastnosti FCD	12
2.2 Zpracování FCD.....	13
2.3 Shrnutí FCD	14
3 Geografické informační systémy	15
3.1 Prostorová data.....	15
3.2 Souřadné systémy.....	15
3.3 Datové modely	16
3.3.1 <i>Rastr</i>	16
3.3.2 <i>Vektor</i>	17
3.4 Prostorové analýzy.....	18
3.4.1 <i>Prostorové a atributové dotazy</i>	18
3.4.2 <i>Vzdálenostní analýzy</i>	19
3.4.3 <i>Statistické analýzy</i>	19
3.5 Automatizované postupy generování GIS objektů	19
3.5.1 <i>Měření</i>	20
3.5.2 <i>Generování analýzou</i>	20
4 Postupy generování geografické informační báze	21
4.1 Možné výstupy práce	21
4.2 Analyzovaná data.....	21
4.2.1 <i>Původ záznamů, geografická oblast zpracování</i>	21
4.2.2 <i>Programové vybavení při generování</i>	22
4.2.3 <i>Načtení dat</i>	23
4.2.4 <i>Čištění dat</i>	23
4.2.5 <i>Analýza dat v R</i>	24
4.3 Tvorba modelu linie komunikace	24
4.3.1 <i>Linie jedné komunikace</i>	25
4.3.2 <i>Linie rychlostní silnice</i>	29
4.3.3 <i>Detekce křížení</i>	30
4.3.3.1 <i>Metoda existence dalšího směru</i>	31

4.3.3.2	Metoda distribuční funkce	32
4.3.4	<i>Shrnutí</i>	33
4.4	Stanovení počtu pruhů	34
4.5	Silniční síť z linií	35
4.5.1	<i>Síť z jednoduchých linií</i>	36
4.5.2	<i>Síť pomocí detekce křížení</i>	39
4.6	Práce s daty v QGIS.....	42
4.6.1	<i>Použití mřížky</i>	43
4.6.2	<i>Použití bufferu</i>	44
4.6.3	<i>Finální tvorba sítě</i>	46
Závěr		48
Seznam použitých zdrojů		50
Seznam obrázků		51
Seznam příloh		52

Seznam zkratek

FCD – Floating Car Data (Data z plovoucích vozidel)

GPS – Global Positioning System (Globální navigační systém)

NAVSTAR GPS - Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System

GIS - Geographic information system (Geografický informační systém)

S-JTSK - Jednotné trigonometrické sítě katastrální

WGS84 - World Geodetic System 1984 (Světový geodetický systém 1984)

SSZ – Světelné signalizační zařízení

CSV – Comma-separated values (Hodnoty oddělené čárkami)

SQL – Structured Query Language (Strukturovaný dotazovací jazyk)

R – Programovací jazyk a prostředí určené pro statistickou analýzu dat

ID – Identifikační číslo ve výpočetní technice

Úvod

Touha objevovat dosud nepoznané patří k základním pudům lidstva. Potřeba zaznamenat poznanou krajinu a dění okolo se v historii neustále zvětšovala. Začalo to náčrtky na jeskynních stěnách, kde si pravěcí lidé zaznamenávali dispozice svého okolí. V průběhu tisíciletí se začali objevovat nejrůznější situační plány starodávných hradišť a prvních měst. Velkým posunem v kartografii se staly námořní mapy, které byly postaveny na matematickém základu pro přesnou navigaci.

K zachycení obrazu krajiny lze použít i slovní popis. Tento způsob není názorný, ale dodnes se používá k doplnění informací, které jsou obsaženy v mapě. Do map se zaznamenávají nejrůznější poznatky o světě okolo nás. Vznikly tzv. tematické mapy neboli mapy zobrazující určitá data v závislosti na jejich umístění. Dalo by se říci, že mapy silniční sítě jsou tematické mapy zobrazující pouze data relevantní pro řidiče.

Analogové (tištěné) mapy jsou dávno na ústupu a v kurzu jsou mapy digitální. Jejich univerzální použití je jejich hlavní předností. Ty můžeme dále dělit na mapy rastrové a vektorové. Oba druhy mají své výhody a nevýhody, ale je tendence vytvářet a používat pouze mapy vektorové. K tomu je zapotřebí výpočetní techniky [1].

Od poloviny 20. století došlo k nevídanému rozvoji výpočetní techniky. Rychlý pokrok v tomto odvětví je dán zejména jeho uplatnění ve vojenství. Většina moderní technologie byla vytvořena pro potřeby mít převahu ve válečném konfliktu. U mapových podkladů tomu není jinak. Jednou z nejvýznamnějších technologií, které nám závody ve zbrojení přinesly, je systém GPS. Na něm je v současnosti postaveno navigování, které se nezměrně projevilo do způsobu tvorby a používání mapových podkladů.

Zaměstnanci nejrůznějších společností stále ručně vytvářejí mapové podklady, které jsou následně využívány pro potřeby GPS zařízení. Cílem této práce je proces vytváření mapových podkladů částečně zautomatizovat na základě přijatých dat z GPS zařízení. Jednalo by se o velkou úsporu času potřebnou k vytvoření map a k aktualizaci stávajících, k určitému snížení počtu zaměstnanců a tedy úsporu na nákladech společností, které se tvorbou a aktualizací silničních mapových podkladů zabývají.

V dnešním dynamickém světě dochází k rychlému vývoji ve všech směrech. U silniční sítě je tomu stejně. Stává se čím dál víc obtížnější tyto změny sledovat a zaznamenávat je na statickém médiu neboli statických mapách. Zapotřebí jsou dynamické mapy, které se mění v závislosti na aktuálním reálném stavu silniční sítě. Konvenčními metodami není realizace dost dobře možná, proto tato práce přichází s novými alternativními způsoby, jak pomocí výpočetní techniky lze daných dynamických map dosáhnout.

V první kapitole jsou shrnuty základní vlastnosti systému GPS a jeho možný budoucí vývoj. Dále je vysvětlen pojem Floating car data a jsou představeny jeho vlastnosti. Třetí kapitola přibližuje problematiku geografických informačních systémů a metody automatizovaných postupů pro generování GIS objektů. Ve čtvrté kapitole je uvedena tvorba postupu pro generování GIS objektů v rámci této práce. Jsou uvedeny problémy, které se při realizaci zadání vyskytly včetně jejich možných řešení.

1 Úvod do globálních navigačních systémů

Jedním z nejrychleji rostoucích technických i ekonomických odvětví je silniční doprava. Osobní automobily jsou i přes rostoucí ceny pohonných hmot stále oblíbenější. v některých případech je vlastnictví automobilu povinností vzhledem k potřebě přepravy za prací, jinde je to prostředek k dání na odív své bohatství. Nákladní automobilová doprava představuje markantní podíl vozidel na silnicích. Dopravci volí levnější řešení přepravy zboží a ve stávajících podmínkách je silniční doprava pro ně časově a finančně nejvýhodnější. Je proto třeba zabývat se otázkou efektivního využití silniční sítě, aby nedocházelo k nadměrným kongescím. K efektivnímu využívání silniční sítě je zapotřebí výpočetní zařízení, které vyhodnotí aktuální data o jejím stavu a vhodným způsobem zajistí řízení a regulaci na síti. K tomuto účelu jsou nezbytné kvalitní podklady se kterými centrální výpočetní zařízení, ale i jednotlivá zařízení na síti (ve vozidlech), budou pracovat. Nejen k tomuto účelu jsou určeny mapové podklady popsané dále v práci.

Silniční síť je systém, jenž je tvořen vozidly, komunikacemi, řídicími a detekčními prostředky, samotnými řidiči a mnohým dalším. Jedním z nových prvků, které řidičům usnadňují orientaci v systému, zvolí mu ideální trasu nebo ho informují o aktuálním stavu systému, je vozidlová navigace. Toto zařízení výrazně změnilo chování řidičů. Zařízení je založeno na systému GPS, který je stručně popsán v této kapitole (existují i další polohovací systémy, ty ale nejsou z různých důvodů v praxi používané).

Systém GPS je historicky první fungující radionavigační systém pro určení polohy založený na satelitech umístěných 20 200 km od zemského povrchu. Je využíván nejen pro nejrůznější aplikace vyžadující relativně přesné určení polohy (agrikultura, stavitelství, doprava, atd.), ale také pro přesné určení času.

1.1 Historie

Systém GPS vychází ze starších pozemních radiových navigačních polohovacích systémů. Ministerstvo obrany Spojených států amerických se v průběhu studené války zabývalo otázkou navádění pozemních jednotek, armádních strojů a zařízení po bojišti, nebo k určení polohy nepřátelského cíle kdekoli na Zemi. Ministerstvo začalo v roce 1973 pracovat na systému NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System), což byl původní název pro GPS systém [2]. První experimentální satelit byl vypuštěn roku 1978. 17. ledna 1994 se poprvé na oběžné dráze nacházelo 24 funkčních satelitů. Tento počet je třeba pro plnou funkčnost systému.

Zásadní zlom pro dopravní využití nastal 2. května 2000, kdy civilním zařízením bylo umožněno přijímat plnohodnotný GPS signál – byla vypnuta "Selective Availability". Tím došlo

k výraznému zpřesnění určení polohy civilních přijímačů (přesnost až na 5 metrů). Dnes je systém GPS udržován v chodu jednotkou 50th Space Wing of the United States Air Force a stojí ročně přibližně 400 milionů dolarů. Do nákladů jsou mimo jiné zahrnuty i výměny zastaralých či nefunkčních satelitů. Přes tyto skutečnosti je systém nabízen široké veřejnosti zdarma bez jakýchkoli výhrad.

1.2 Souřadný systém

Pro správné určení polohy bylo zapotřebí vytvořit souřadný (referenční) systém, podle kterého se určují souřadnice a ke kterému se vztahují veškeré výpočty. Tento úkol se stal zásadní vzhledem k nepravidelnému tvaru Země. Vzhledem ke své velikosti, tvaru a historii většinou každý stát pro své mapy využívá svůj referenční systém. V České Republice se používá lokální systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) pro civilní mapy. Ke globálnímu použití je třeba globální referenční systém. V roce 1984 byl vytvořen souřadný systém WGS84 (World Geodetic System 1984) právě pro potřeby GPS. Systém je geocentrický, neboli střed referenčního elipsoidu je v těžišti Země. Od 1. 1. 2006 využívají české vojenské mapy systém WGS84 [3]. Více o souřadných systémech v kapitole 3.2.

1.3 Uživatelský segment

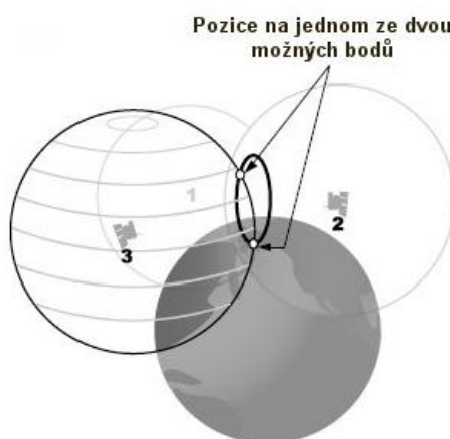
Do toho segmentu lze zařadit způsob určení polohy a zařízení, na kterých se tyto výpočty provádějí. Jedná se o GPS přijímače. Ty jsou schopny určit svoji polohu a přesný čas. Nové GPS přijímače navíc obsahují display, na kterém jsou schopny díky svým mapovým podkladům zobrazit uživateli svoji aktuální polohu. Jednou z dalších vlastností GPS přijímače může být navigace, neboli určení optimální trasy z bodu A do bodu B a její zobrazení. Poté se už GPS přijímač označuje jako palubní počítač.

GPS přijímače jsou pasivní, jelikož data od družic pouze přijímají. Důvodem bylo zajištění, aby přijímač nebyl nepřitelem zaměřitelný. Jak bylo již zmíněno, využívání systému GPS není v současné době nijak zpoplatněno, a tak provoz GPS přijímačů bývá bezplatný. Ve většině případů se platí pouze za aktualizaci mapových podkladů či možnost získávání aktuálního stavu dopravy v okolí. Tyto služby jsou realizovány např. pomocí datových služeb mobilních operátorů.

1.4 Určení polohy

Jednou z metod určení polohy je trilaterace, kterou využívá právě systém GPS. K optimálnímu určení polohy potřebujeme přijímat data minimálně od čtyř satelitů, s vypuštěním informace o nadmořské výšce stačí satelity tři.

Trilaterace v 3D prostoru funguje na bázi protínání plášťů koulí. Střed každé koule je daný satelit a poloměr koule je vzdálenost satelitu od přijímače. Informaci o poloze satelitu a vzdálenosti od satelitu dostáváme přímo od daného satelitu. Protnutím dvou plášťů získáme kružnici, na které se nacházíme. Protnutím tří plášťů získáme dva body, kdy se v jednom z nich nacházíme. Pokud použijeme elipsoid WGS84 jako další plášť, získáme naši pozici na elipsoidu. Více v obrázku 1. z dat ze tří satelitů získáme naši polohu na elipsoidu, ale nezískáme nadmořskou výšku. K tomu už je zapotřebí získat data ze čtvrtého satelitu. Pro přesnější měření se využívají k výpočtu data až z dvanácti satelitů [4].



Obr. 1: Princip trilaterace [4]

Jak vlastně určíme vzdálenost přijímače od satelitu? Signál k přijímači za ideálních podmínek letí rychlostí světla. Přijímač tedy porovnává čas vyslání signálu a čas přijetí signálu od daného satelitu. Časový rozdíl následně vynásobí rychlostí světla a vzdálenost je spočtena. Pro tuto operaci je zapotřebí, aby přijímač měl k dispozici velice přesný čas. V praxi není reálné, aby každý přijímač obsahoval své atomové hodiny. Tento problém je řešen neustálým resetováním méně přesných krystalických hodin. Čas je resetován informacemi, které přicházejí ze satelitů (výpočet proměnné t).

GPS přijímač tedy vypočítává 4 parametry – souřadnice x a y , výšku z a čas t . Jedná se o čtyři rovnice o čtyřech neznámých. K tomu potřebujeme data ze čtyř družic. Pokud vypustíme výšku z , stačí tři družice.

1.5 Přesnost určení polohy

V praxi není rychlost signálu konstantní a ani dráha signálu není přímá. Obě tyto veličiny ovlivňuje mnoho faktorů. Rovněž záleží, jaký přijímač pro určení polohy se použije. Pro běžný GPS přijímač umístovaný ve vozidlech a v pohybu, se může přesnost polohy dostat až na 15 metrů. v otevřené krajině za stacionárního stavu je přesnost polohy okolo 5 metrů, v městech

s vysokou zástavbou lze signál úplně ztratit, či dostávat data s nepřesností i sto metrů a více. Tento jev je způsoben tzv. vícecestným šířením signálu.

Jak bylo již zmíněno, odraz signálu od okolí a rychlost pohybujícího se přijímače je zásadní. Pokud máme výhled a jsme připojeni k více než čtyřem satelitům zároveň, nepřesnost nemusí být tak tragická. Atmosférické podmínky mají rovněž velký vliv. Rychlost světla se vzhledem k okolnímu prostředí mění a i měnící se hustota atmosféry měření ovlivňuje.

Seznam vlivů, které ovlivňují přesnost určení polohy, je dlouhý a není ho třeba k účelu této práce zmiňovat. Cílem je pouze dále zmíněnými metodami ukázat, že i z takto nepřesného měření lze získávat velice přesné výstupy. v této práci je použita metoda, kdy se z obrovského množství měření vytvoří průměr. Takto zjištěná poloha dosahuje přesnosti několika centimetrů a pro dopravní účely je více než dostačující.

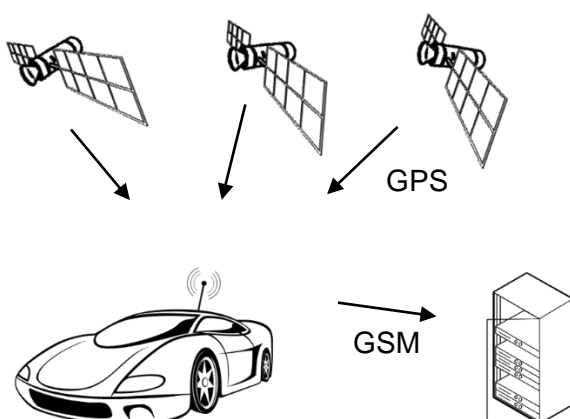
2 Data plovoucích vozidel

Kvalitou dopravy je multikriteriální hodnocení stavu dopravy určitého území. Jejimi kritérii může být intenzita vozidel, jejich hustota nebo rychlost dopravního proudu. K detekci stavu dopravy jsou používány konvenční detekční prostředky, jako jsou indukční smyčky, videokamery s virtuálními smyčkami a mnohé další. v posledních letech začal být využíván nový zdroj informací o stavu dopravy, FCD (Floating Car Data).

V oblasti automobilové dopravy a geolokačního systému GPS se standardizoval pojem FCD pro data přijatá z palubních počítačů, jejichž součástí je GPS přijímač, instalovaných v jednotlivých silničních vozidlech. Pojem Floating Car Data by se dal volně přeložit jako data z plovoucích vozidel. Silniční síť si lze představit jako síť kanálů, ve kterých teče proud částic. Jde o dopravní proud a částice jsou silniční vozidla. Tato analogie pohybu vozidel s proudem tekutiny nebo elektrickým proudem se využívá při matematickém řešení nejrůznějších situacích, které se na síti vyskytují.

Data z jednoho palubního počítače jsou odeslána přibližně každých 30 sekund, tato hodnota se ale liší systém od systému. Ve městech je třeba vysoká frekvence odesílání dat, na dálnicích a mimo zástavbu je dostačující perioda odesílání i 120 vteřin. Palubní jednotky jsou nainstalované ve vozech za účelem sledování vozidla. Vozidlo bývá sledováno z bezpečnostních důvodů nebo správy vozového parku. v poslední době se do FCD zařízení dají zařadit chytré telefony, na kterých uživatelé využívají navigační aplikace [4].

Data z plovoucích vozidel jsou přenášena pomocí datových služeb mobilních operátorů. Od nich se dále informace dostávají po síti k výpočetnímu centru. Data jsou analyzována a dále využita nejrůznějšími způsoby. Proces přenosu dat je zobrazen v obrázku 2.



Obr. 2: Přenos FCD

Tento nekonvenční zdroj informací o stavu dopravy s sebou nese mnohé výhody i nevýhody. Mezi výhody patří finanční úspora, kdy není třeba stavět velké množství detektorů k určení

stavu dopravy. Mezi nevýhody patří zhoršená přesnost dat ve vysoké zástavbě a absence relevantních dat z tunelů a jiných míst, které nemají přímý výhled na oblohu.

Jak je již zmíněno, hlavní využití FCD spočívá v nahrazení konvenčních detektorů a určování stavu dopravy (ideálně dynamicky). Dalším z využití je automatizovaná tvorba silničních mapových podkladů, kterými se tato práce zabývá.

2.1 Vlastnosti FCD

Data přijímaná z plovoucích vozidel jsou tvořeny formou jednotlivých záznamů. Záznamy nejčastěji obsahují identifikační číslo zařízení, polohu reprezentovanou zeměpisnou šířkou a výškou, aktuální rychlost vozidla, čas odeslání dat a směr (azimut). Další posílané informace se různí v závislosti na požadavcích provozovatele GPS zařízení. Data jsou často prezentována v tabulkové formě. Příklad dat, která pocházejí od společnosti SECAR BOHEMIA a.s., jsou na obrázku 3.

16981760	50.03686	14.27284	126	1.8.2012 0:05	148	ON	OA
16981760	50.03535	14.27505	125	1.8.2012 0:05	135	ON	OA
16981760	50.03293	14.28064	141	1.8.2012 0:05	129	ON	OA
16981760	50.0297	14.28552	139	1.8.2012 0:05	138	ON	OA
16386688	49.96072	14.51517	81	1.8.2012 2:03	78	ON	NA
16386688	49.9616	14.52006	82	1.8.2012 2:03	75	ON	NA
16386688	49.96235	14.52531	80	1.8.2012 2:03	81	ON	NA
16386688	49.96267	14.53112	84	1.8.2012 2:03	89	ON	NA

Obr. 3: CSV soubor

Souřadnice jsou posílány v souřadnicovém systému WGS84. Souřadnice má dvě složky, zeměpisnou šířku a výšku, které se udávají ve stupních s přesností na pět desetinných míst. Zeměpisná šířka udává úhlovou vzdálenost od rovníku Země, zeměpisná výška udává úhlovou vzdálenost od nultého poledníku.

Rychlost se udává v celočíselném datovém typu v kilometrech za hodinu. Nejnižší hodnota je 0, maximální hodnota není teoreticky omezena. Prakticky by měla být hodnota omezena maximální dovolenou rychlostí na dané komunikaci, samozřejmě s přičtením určitého přesahu, jelikož někteří řidiči limity rychlostí nedodržují [6].

Čas vyslání dat může být prezentován v mnoha formátech a různých časových rozlišeních. v mnoha aplikacích je rozlišení na jednu minutu dostačující.

Směr neboli azimut udává aktuální výchylku směru vozidla od směru severního. Udává se ve stupních. Severní směr má hodnotu 0°, východní 90°, jižní 180° a západní 270°. Směr tedy může nabývat hodnot od 0° do 360° (některé systémy hodnoty 0° a 360° rozlišují).

Další atributy jsou volitelné. v obrázku 3 jsou navíc dva atributy. Data pocházejí od společnosti SECAR BOHEMIA a.s., která se zabývá zabezpečením a vyhledáváním vozidel. První atribut značí, jestli je klíček od vozidla v zapalování. Tak se dá určit manipulace s vozidlem bez zažehnutého motoru. Druhým atributem je rozlišen typ vozidla, tj. zda je automobil nákladní nebo osobní.

Kvůli chybám systémů a přenosu dat mívají atributy chybné hodnoty. Pomocí výše zmíněných omezení se dají tyto chyby odfiltrovat a zvýšit tak užitečnost pro další aplikace FCD.

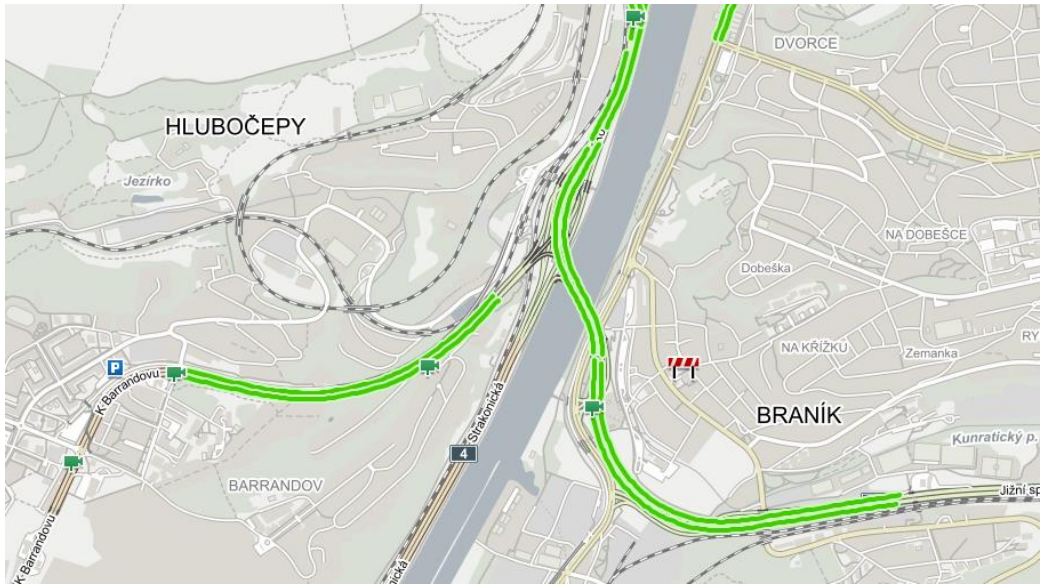
2.2 Zpracování FCD

Data putují po mobilních sítích a počítačových sítích k výpočetnímu centru, kde jsou analyzována. Výpočetní centrum bývá velice výkonný počítač, na kterém probíhají výpočty. Ve všech využitích FCD, kromě případu této práce, se na datech provádí tzv. map-matching algoritmy. Jedná se o párování dat již s existujícími mapovými podklady. Těchto algoritmů je velké množství a nelze jednoznačně říci, který podává nejlepší výsledky. Některé algoritmy vykazují velkou přesnost v přiřazování FCD k správným silničním úsekům, ale jejich výpočetní čas je nepoužitelný pro okamžité určení stavu dopravy v oblasti.

Nepřesnost GPS zařízení (15 metrů a více) způsobuje, že nelze jednoznačně říci, na kterém silničním úseku se vozidlo při odeslání FCD nacházelo. Map-matching algoritmy bývají založeny na minimální vzdálenosti, rozpoznávání trendů, mřížkovém výběru nebo fuzzy logice a snaží se dosadit vyslaný bod do modelu silniční sítě [7].

Při určování stavu dopravy a cestovních dob se nepracuje s jednotlivými FCD body, ale s trajektoriemi vozidel, tvořené více body. Vytvoření těchto trajektorií bývá komplikované při nízké přesnosti GPS, ale především při nízké frekvenci odesílání dat palubní jednotkou. Pokud se dva sousledné body nacházejí na komunikacích, které nejsou konjunktivní, není jednoznačné, kudy trajektorie vozidla vede. Tento problém je opět řešen přesnějšími a pomalejšími, nebo nepřesnějšími a rychlejšími algoritmy.

Cílenými informacemi jsou rychlosti dopravních proudů na jednotlivých úsecích komunikací. Z extrahovaných trajektorií a časových údajů při odeslání FCD lze zjistit rychlosti, jakými vozidla jednotlivé úseky projíždí. Čím jsou intervaly výpočtu kratší, tím aktuálnější data lze získat. Výsledkem mohou být silniční sítě, jejichž linie jsou dynamicky ohodnocovány podle aktuálních průměrných rychlostí. v obrázku 4 je zobrazené využití této technologie portálem Mapy.cz, kde zelená linie značí 1. stupeň průjezdnosti.



Obr. 4: FCD zobrazené portálem mapy.cz

2.3 Shrnutí FCD

Metoda FCD má obrovský potenciál a jistě ještě není plně využita. v porovnání s ostatními zdroji dat v dopravě je levná a velice přesná. Hlavním výstupem FCD jsou dynamické mapy cestovních dob. Podmínkou přesného měření je vysoká penetrace vozidly odesílajících FCD. Pokud se bude do této metody více investovat a hojně se rozšíří, kvalita dopravy se zlepší.

Cílem této práce je využít FCD k vytvoření geografické informační báze, neboli vytvoření modelu silniční sítě. K tomuto účelu nejsou cestovní časy třeba a jedná se o velice specifické využití FCD, ke kterému chybí řádné publikace.

3 Geografické informační systémy

S rozvojem společnosti, vědních oborů a výpočetní techniky se zvyšuje počet informací, které je třeba zpracovávat. Proto se ve druhé polovině 20. století vyvíjely technologie pro nakládání s daty. Jedním z nich jsou i geografické informační systémy (GIS). v současné době jsou využívány mnoha vědeckými obory a jejich možnosti se neustále rozšiřují.

Informační systémy, které jsou souborem lidí, technologií a metod, slouží pro prezentaci informací dle potřeb uživatelů za pomoci ukládání, uchovávání a zpracování dat. GIS oproti těmto informačním systémům umožňuje doplnění základních dat informací o poloze. Nejčastěji se jedná o polohu na povrchu Země. Tato vlastnost dat přináší nové možnosti, jakým způsobem lze data zpracovávat [8].

Prostorovými analýzami získáváme výsledky, které jsou závislé na prostorovém uspořádání objektů a jejich vlastnostech. Z toho vyplývá, že GIS obsahuje nástroje pracující jak s informacemi o poloze, tak s popisnými vlastnostmi.

3.1 Prostorová data

Pojmy geograficky a prostorově jsou zaměnitelné, ale neznamení totéž. Prostorová data jsou data, která jsou přiřazena k jakémukoli místu. Geografická data se svým umístěním vztahují pouze k povrchu Země. v souvislosti s GIS se pojmy používají jako synonyma (data se vztahují k zemskému povrchu) a je to akceptováno.

Data, se kterými geografické informační systémy pracují, existují ve formě tabulek, textů, grafů, družicových snímků nebo map. Data jsou často uchovávána v relačních databázích, kde jsou snadno zpracovatelné i velké objemy dat.

Data kromě svých vlastností (atributů) musí rovněž obsahovat vazbu k určitému místu v prostoru. Ostatní data nesplňující výše zmíněnou podmínku jsou označována jako data neprostorová. Typickými prostorovými daty jsou FCD.

GIS obsahuje řadu prostorových dimenzí, ve kterých lze s daty pracovat. Pro danou dimenzi musí mít data odpovídající tvar. Jedním z parametrů je počet souřadnic. Dvourozměrné obsahují dvě hodnoty k popsání polohy, třírozměrné tři. U 2,5D prostorů je třetí souřadnice uložena jako neprostorový atribut. Souřadnice se vztahují k souřadnému systému.

3.2 Souřadné systémy

Popis Země jako matematického tělesa je značně problematický. Země nemá homogenní tvar, neodpovídá žádnému pravidelnému tělesu jako je např. koule. K tomu je její povrch značně zvrásněn pohořími a údolími. K popsání zemského povrchu dochází zjednodušením, tzv. aproximací. Povrch je nejprve transformován na geoid. Geoid označuje plochu, kdy na jeho

povrchu má zemská tíže stejnou hodnotu. Zemská tíže je výslednicí sil gravitačních a odstředivých. Tato plocha kopíruje střední klidnou hladinu oceánů a moří a je pro matematické zpracování stále příliš složitá.

Pravidelné těleso, které nejlépe odpovídá geoidu, je rotační elipsoid. Jeho velikost, tvar a přesná poloha vůči geoidu se různí v závislosti na zkoumaném území. Rozlišují se lokální a globální elipsoidy. Lokální elipsoidy jsou určeny tak, aby co nejlépe kopírovaly geoid na daném území. Globální elipsoidy se snaží podobat celému geoidu. To má za následek variabilní nepřesnosti a zkreslení.

Pro české civilní mapy je využíván Besselův elipsoid, který je základem pro souřadnicový systém S-JTSK. Nejrozšířenějším globálním souřadným systémem je WGS84, který využívá elipsoid mající střed v těžišti Země a zkreslení je minimalizováno na území USA. Toto dvojí užívání souřadných systémů způsobuje, že jedna poloha má v každém souřadném systému trochu jiné souřadnice (lišící se až o stovky metrů).

Pro práci s objekty v rovině je nutné převést polohy objektů z tělesa (elipsoidy) do roviny. Při tomto zobrazení dochází ke zkreslení. Ze zobrazených ploch (rovin) následně vznikají mapy. Existuje mnoho kartografických zobrazení s rozdílnou přesností a zkreslením pro objekty s odlišnou polohou. S-JTSK používá své unikátní kartografické zobrazení, Křovákovo zobrazení. WGS84 používá Univerzální transverzální zobrazení Mercatorovo [9].

3.3 Datové modely

Grafická podoba dat (modely) se používá pro přehledné zobrazení velkého množství dat, k rychlé analýze nebo prezentaci výsledků. Výhodou grafické formy je její vysoká vypovídající schopnost a přehlednost. Datové modely účelně s ohledem na cíl podstatné elementy zvýrazňují a nepodstatné zanedbávají, jde tedy o účelné zjednodušení reálného světa.

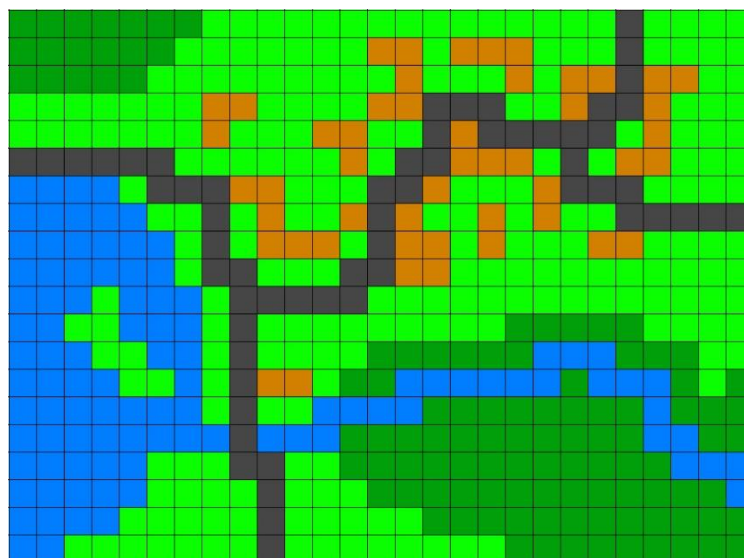
Grafická podoba GIS znázorňuje jednotlivé prvky, jejich umístění a tvar v prostoru. K tomuto určení se využívají dva druhy dat, rastrová a vektorová. Oba druhy mají svá pozitiva a negativa [9].

3.3.1 Rastr

Překrytím zemského povrchu pravidelnou sítí bodů pravidelných geometrických tvarů (čtvercových, obdélníkových, trojúhelníkových, hexagonálních,...) vzniká rastr. Každý jednotlivý tvar (buňka) má jasně definovanou polohu, velikost a tematickou informaci. Zkoumaný jev je zobrazen diskrétními hodnotami, které jsou vztaženy k jednotlivým buňkám.

Obsah buněk může být reprezentován dvouhodnotovým prvkem (binární rastr), číslem stanovujícím stupeň šedi (šedotónový rastr), číslem reprezentující barvu (barevný rastr),

číslem udávajícím nadmořskou výšku (model terénu) nebo jiným druhem dat, která vystihují zkoumaný jev. Rozlišení použité pro záznam hodnot je jedním z ukazatelů kvality výsledného rastru. Obrázek 5 zobrazuje typickou rastrovou vizualizaci části povrchu Země.



Obr. 5: Rastrové zobrazení části povrchu Země

Přiřazení hodnoty atributu buňky dochází několika způsoby, lišící se kvalitou. Nejméně kvalitní metodou je stanovení hodnoty atributu z bodového měření kdekoli v ploše buňky. Dalšími metodami jsou aritmetický průměr z několika bodových měření, vážený aritmetický průměr (váha je nejčastěji plošný rozsah), stanovení podle maximální či minimální hodnoty atributu nebo hodnoty s největší vahou.

Přesnost a kvalita rastrového zobrazení je také značně omezena velikostí buněk. Menší velikost buněk lépe (přesněji) zachycuje průběh hranic jevů. Velikost buněk je vázána na potřebné rozlišení jevu, jelikož poloviční šířka buňky čtyřnásobně zvětšuje objem dat. Nerozvážená velikost buněk způsobuje buď nedostatečné rozlišení jevu, či velké nároky jak na skladování dat, tak na jejich zpracování.

Rychlé odpovědi na polohové dotazy, snadné překrývání a kombinace obrazů s různým tematickým obsahem a výpočetně nenáročné analýzy jsou hlavní výhody rastrů. Jejich nevýhodou je paměťová náročnost a omezená kvalita, dána především velikostí buněk.

3.3.2 Vektor

Ve vektorových modelech dochází ke snaze k vyjádření jevů a prostorových objektů ve formě snadno definovatelných geometrických prvků. Těmi nejjednoduššími geometrickými prvky jsou bod a linie. Bodový prvek se vyjadřuje polohou určenou souřadnicemi. Linie představuje sled orientovaných úseček, kdy každá z nich je definovaná počátečním a koncovým bodem.

Posledním geometrickým prvkem využívaným v datových modelech je plocha, kterou tvoří uzavřená linie. Každý prvek obsahuje svůj unikátní identifikátor, aby nebyl zaměněn za jiný.

Rozlišují se dva základní typy vektorového modelu – nespojené a topologické. Nespojené modely obsahují linie protínající se v kterémkoli místě. Prvkům nejsou vytvářeny vzájemné prostorové vztahy. Nehodí se pro analýzy, nýbrž pro pouhé zobrazování. Jejich uplatnění je v počítačové grafice.

Topologické modely tvoří grafy. Obsahují uzly (body), se kterými sousedí hrany (linie). Dvě linie se mohou křížit pouze v uzlech. Modely a jejich základní vlastnosti bývají uloženy v tabulkách sousednosti a v tabulkách incidence. Tyto modely jsou velice vhodné pro další analýzy a našly své využití v dopravě. Tato práce má za cíl vytvořit právě topologický datový model silniční sítě

Se složitostí a počtem zkoumaných jevů roste počet prvků ve vektorovém datovém modelu. v případě malého množství prvků je vždy výhodnější používat vektorové modely. S vysokým počtem prvků ale přichází velká výpočetní náročnost jak analýz, tak zobrazování a tehdy je vhodné využívat rastrové modely.

Výhodami vektorových datových modelů jsou přesné výpočty délek, vzdáleností a ploch, kvalitní grafika a vysoká přesnost polohy jevů. U rastrových modelů tyto charakteristiky vždy závisí na velikosti buněk.

3.4 Prostorové analýzy

Při zpracování dat se vytvářejí nová data, která mohou být cílem nebo mezikrokem sloužícím našemu účelu. K získání těchto nových dat se v GIS používají prostorové analýzy. Prostorové analýzy jsou velice různorodé a ne každý GIS software umí všechny provést. Uvedeme si analýzy, které budou dále využity v této práci, a jejich popis je rovněž omezen na aplikaci v této práci.

3.4.1 Prostorové a atributové dotazy

Pomocí dotazů nad databází, obsahující zkoumané prvky, dokážeme získat prvky o požadovaných vlastnostech. Pokud dotaz obsahuje podmínku o poloze prvku, jedná se o prostorový dotaz. Pokud se ptáme pomocí atributů prvků, jde o dotaz atributový. Kombinace obou typů dotazů se nazývá integrované analytické dotazy. Právě tyto dotazy jsou pro GIS oproti jiným IS specifické a jsou pro GIS hlavní předností [10].

Výstupem je relace obsahující prvky, které splňují podmínky dotazu. Tyto relace bývají uloženy v databázi, zobrazené pro potřeby uživatele nebo užity v dalších zpracováních.

3.4.2 Vzdálenostní analýzy

Pro prostorové analýzy je zásadní pojem vzdálenost. Nejčastěji se uplatňuje měření vzdáleností v dvourozměrném prostoru a je využívána Eukleidovská či Manhattanská metrika. Pro vzdálenost Eukleidovskou metrikou platí:

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

Vzdálenost Manhattanskou metrikou se určuje vztahem:

$$d = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2)$$

Hodnoty x_i , y_i a x_j , y_j označují souřadnice prvků i a j . Metriky mají svá uplatnění, já jsem použil metriku Eukleidovskou.

Důležitým nástrojem pro vzdálenostní analýzy je buffer. Jde o zónu (obal), kdy všechny prvky nacházející se v zóně mají od výchozího prvku (jevu) vzdálenost menší nebo stejnou než zadanou. Buffer je vektorová plocha, která splňuje dané požadavky. Pomocí tohoto nástroje lze dostat například výčet prvků nacházejících se do určité vzdálenosti od zkoumaného jevu nebo prvku.

3.4.3 Statistické analýzy

V GIS se často pracuje s velkým množstvím dat, a proto je často třeba vystihnout podstaty jevů, identifikovat výrazné znaky hodnot atributů. K charakterizaci těchto objemů se používají statistické charakteristiky, histogramy a jiné nejrůznější diagramy pro názorné zobrazení trendů. v práci jsou hojně využity aritmetické průměry, histogramy a distribuční funkce.

3.5 Automatizované postupy generování GIS objektů

V časech minulých byl člověk ve všech činnostech nenahraditelný. v současné době je v technickém odvětví snaha lidský faktor minimalizovat, neboli činnosti automatizovat. Výhodami jsou nižší provozní náklady, vyšší rychlost, spolehlivost a většinou i kvalita. Automatizovaných postupů generování GIS objektů je celá řada.

S příchodem výpočetní techniky nastala potřeba analogové tištěné mapy převést do digitální podoby. Dlouho se používaly nejrůznější způsoby ruční digitalizace, kdy pracovník pomocí kurzoru tvořil vektorová data nad rastrovou mapou. Tato činnost se ukázala jako velice neefektivní, i když s kvalitními výsledky. Pro digitalizaci větších územních celků se metoda ukázala jako nevýhodná kvůli velké finanční náročnosti, proto se začaly digitalizovat mapy pomocí skenování. K tomuto postupu je zapotřebí drahé vybavení, jehož hlavní částí je software, který dokáže rastrová data převést do vektorové podoby. Dodnes jsou tyto softwary

značně chybové, je nutná jejich kontrola, vyžadují kvalitní a vhodnou předlohu a jejich cena se pohybuje nad 100 000 Kč [11].

Zdrojem rastrových modelů jsou nejčastěji letecké fotografie. Pro některá využití jsou rovněž vhodné snímky z družic. Rastrové podklady z družic jsou vhodné pro zachycení krajinných jevů, kde je rozlišitelnost okolo 20 metrů tolerována. Letecké snímky jsou mimo jiné stejně jako analogové mapy využívány k digitalizaci objektů (silnic, hranic lesů,...).

3.5.1 Měření

V této práci jsou data získávána pomocí měření. Polohová data se ukládají při geodetickém zaměření bodu v terénu. Z těchto dat jsou následně spočítány souřadnice v souřadném systému. Měření se většinou provádí kvůli své přesnosti a je nákladné, vlastnosti FCD jsou ale opačné. Je pro mnoho využití nepřesné, ale velké objemy dat z velkých oblastí nepředstavují finanční náročnost.

Při samotném zaměření polohy bývají k informacím připojovány atributy, stejně jako je tomu u FCD. Následně jsou data převedena do GIS databáze. Za ideálního stavu je formát naměřených dat totožný s formátem dat v GIS databázi. Jakákoliv konverze dat není žádoucí.

3.5.2 Generování analýzou

Dalším způsobem generování GIS objektů, které jsou v této práci využity, je tvorba GIS objektů pomocí GIS analýz. Databáze je naplněna pomocí měření, ale data v této podobě nejsou vhodná pro další využití. Každou analýzou prostorových dat dochází ke generování nových prostorových dat. Cílem této práce je analýzou prvků vytvořit prvky nové, vhodné k účelu práce. GIS analýzy využití při zpracování jsou popsány v kapitole 3.4.

4 Postupy generování geografické informační báze

4.1 Možné výstupy práce

Na začátku mé práce s tématem jsem vytvořil seznam možných výstupů, které by se analýzou FCD ve vztahu s tvorbou map daly získat. V seznamu se objevují i pouze teoretické výstupy, pro jejichž praktické získání neexistuje jistota, že by cíl byl realizovatelný.

- Jednotlivé linie -> uzly -> model silniční sítě
- Rozdíly stávající silniční sítě od nové – aktualizace silničního modelu
- Počet pruhů komunikace (dálnice)
- Místa s častým zastavováním – detekce SSZ, mimo křižovatky detekce pěších přechodů
- Kategorizace komunikací podle hustoty FCD bodů a průměrných rychlostí
- Rizikové úseky s vysokou rychlostí vozidel – ve městech nad 50 km/h a mimo města nad 90 km/h nebo 130 km/h
- Rizikové úseky s velkým rozptylem rychlostí – velmi proměnný stav dopravy
- 3D model silniční sítě s převýšením – pro detekci příliš strmých úseků nevhodných pro kamiony
- Rozlišení jednosměrných a obousměrných úseků komunikací
- Komunikace se zákazem vjezdu nákladním automobilům – úseky bez jejich výskytu
- Detekce zákazu odbočení [12]

Při tvorbě seznamu jsem došel k závěru, že existují výstupy, které téměř jistě nejsou realizovatelné. Výstupy jsou obsaženy v následujícím seznamu.

- Rozlišení paralelních linií bližší než 12 metrů [6]
- Stanovení šířky komunikace
- Rozlišení linií 12 metrů od středu křížení [6]
- Detekce tunelů a mostů

K získání většiny realizovatelných výstupů je třeba složitých postupů a dalších výzkumů, které neodpovídají rozsahu této práce. K návrhu programového řešení jsem si vybral výstupy, které jsem označil jako výstupy dosažitelné v rámci bakalářské práce a ke kterým mám pro jejich tvorbu potřebná data. Jedná se o tvorbu silniční linie a sítě, stanovení počtu jízdních pruhů, kategorizaci komunikací a stanovení křížení se SSZ.

4.2 Analyzovaná data

4.2.1 Původ záznamů, geografická oblast zpracování

Data mi byla poskytnuta společností SECAR BOHEMIA a.s. ve formě CSV souborů. Popis poskytnutých dat a jejich charakteristiky se nacházejí v kapitole 2.1. Navíc je pouze parametr

„klíček“, kde je pro potřeby společnosti zaznamenáváno, jestli ve chvíli odeslání dat byl klíček v zapalování, či nikoli.

Podařilo se mi získat FCD ze tří měsíců a dvou oblastí. První oblastí je celá délka Pražského okruhu a druhou je oblast Nuslí zaměřená na Nuselský most. Časové pokrytí FCD z Pražského okruhu je jeden měsíc, srpen roku 2012. Data z oblasti Nuslí jsou z května a června roku 2014. Oblasti jsou znázorněny v obrázku 6.



Obr. 6: Oblasti zkoumání, mapový podklad z mapy.cz

Pražský okruh byl zvolen vzhledem k vysoké intenzitě plovoucích vozidel na této rychlostní silnici. Programové řešení je tak možné testovat v prostředí rychlostní silnice, kde se vyskytují jak mosty, tunely nebo časté sjezdy a nájezdy. Pro testování v městském prostředí byla zvolena oblast kolem Nuselského mostu. Hustá zástavba a síť ulic jsou pro tuto část Prahy charakteristické. Programové řešení lze navíc v oblasti testovat v kontrastu s Nuselským mostem, po kterém vede velice dopravně vytížená Severojižní magistrála.

4.2.2 Programové vybavení při generování

Každý CSV soubor, který jsem s daty obdržel, obsahuje okolo 1 500 000 záznamů (bodů). S takto velkým množstvím dat je z důvodu efektivity třeba pracovat v databázi. Pro práci s prostorovými daty je určený PostGIS, který je nadstavbou databázového systému PostgreSQL, jelikož databázovému systému přidává podporu pro geografické objekty. S daty v systému se operuje pomocí dotazovacího jazyku SQL. Pro tvorbu složitých algoritmů na úpravu a analýzu dat používám programovací jazyk R v editoru Rkward.

Pro zobrazení dat používám QGIS, komplexní software pro práci s GIS. Jeho doplňkem, který rozšiřuje možnosti prostorových a jiných analýz, je GRASS GIS. PostGIS (<http://postgis.net/>),

PostgreSQL (<http://www.postgresql.org/>), Rkward (<https://rkward.kde.org/>), QGIS (<http://www.qgis.org/en/site/>) i GRASS GIS (<http://manual.linfiniti.com/en/grass/index.html>) jsou zdarma šiřitelné pro nekomerční využití.

4.2.3 Načtení dat

Při načtení dat je třeba dodržet stejné datové typy atributů. Jednotlivé záznamy (body) jsou vloženy do relace a k nim jejich atributy. Nově vytvořeným atributem je index, který se v CSV souborech nevyskytoval. Existuje sice atribut identifikační číslo GPS zařízení, který se u jednotlivých zařízení mění (z důvodu anonymity), ale nemění se v dostatečně krátkých intervalech. Proto je třeba záznamům přidat nový atribut, který bude v každém řádku unikátní. SQL dotaz pro načtení CSV souboru do relace databáze a přidání identifikačního klíče je následující:

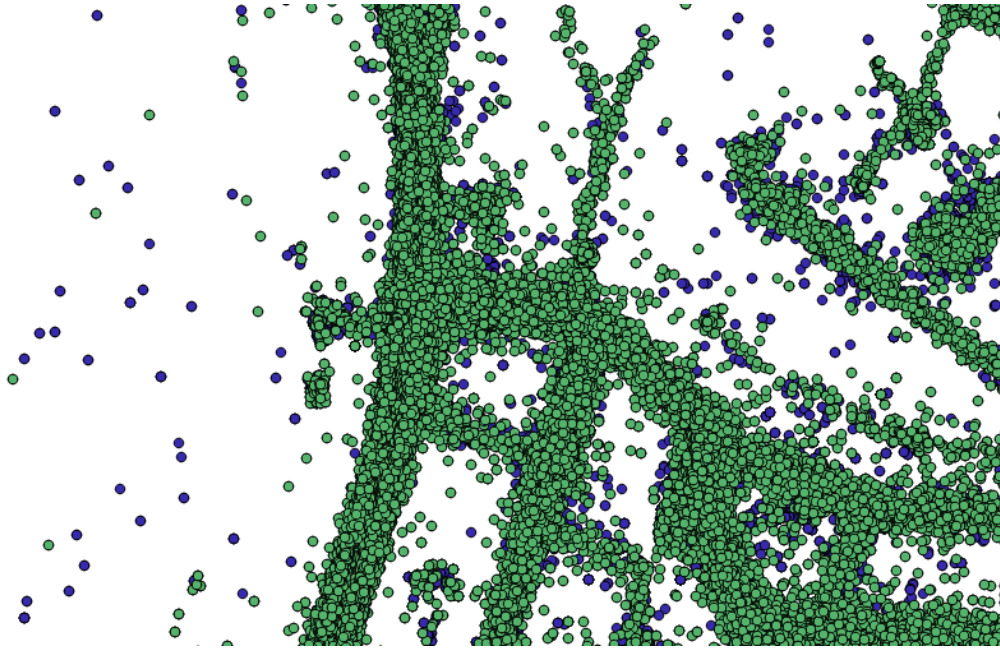
```
CREATE TABLE fcd
( idvozidla integer,
  lat double precision,
  long double precision,
  rychlost smallint,
  datum timestamp without time zone,
  smer smallint,
  klíček character(3),
  vozidlo character(2));
COPY fcd FROM 'F:\export-8-2012.csv' USING DELIMITERS ',';
ALTER TABLE fcd1 ADD COLUMN idbodu BIGSERIAL PRIMARY KEY;
```

4.2.4 Čištění dat

Po načtení dat je třeba odstranit záznamy, které jsou očividně chybné nebo které nejsou pro mé řešení relevantní. Jsou to záznamy s nereálně vysokými rychlostmi, směry od 0° do 360°, záznamy s chybějícím klíčkem v zapalování a s ID vozidel, které neodpovídají určenému formátu.

```
fcd.rychlost < 200 AND fcd.klíček = 'ON'
AND fcd.smer <= 360 AND fcd.smer >= 0 AND idvozidla > 0
```

Tímto pročištěním dat z Nuslí ubylo v relaci z počátečního počtu 2 303 665 záznamů na 1 899 929 záznamů. V obrázku 7 je zobrazeno, že čištěním ubylo velké množství záznamů s velkou prostorovou výchylkou. Modře jsou zobrazeny body, které byly během pročištění z relace smazány. Obrázek byl generován v programu QGIS.



Obr. 7: Pročištění relace

4.2.5 Analýza dat v R

Programovací jazyk R se zaměřuje na statistické výpočty. Pomocí knihoven lze přidat funkce, které umožňují práci s prostorovou databází. Díky tomuto nástroji jsem schopen data analyzovat algoritmy mé vlastní tvorby, které nejlépe poslouží danému účelu. Nevýhodou je doba, jaká je potřebná na zpracování příkazů, jelikož software dokáže využívat jen jedno jádro procesoru najednou. Některé výpočty proto zaberou i mnoho hodin. Pro nahrání dat do proměnné v R z relace fcd slouží příkaz:

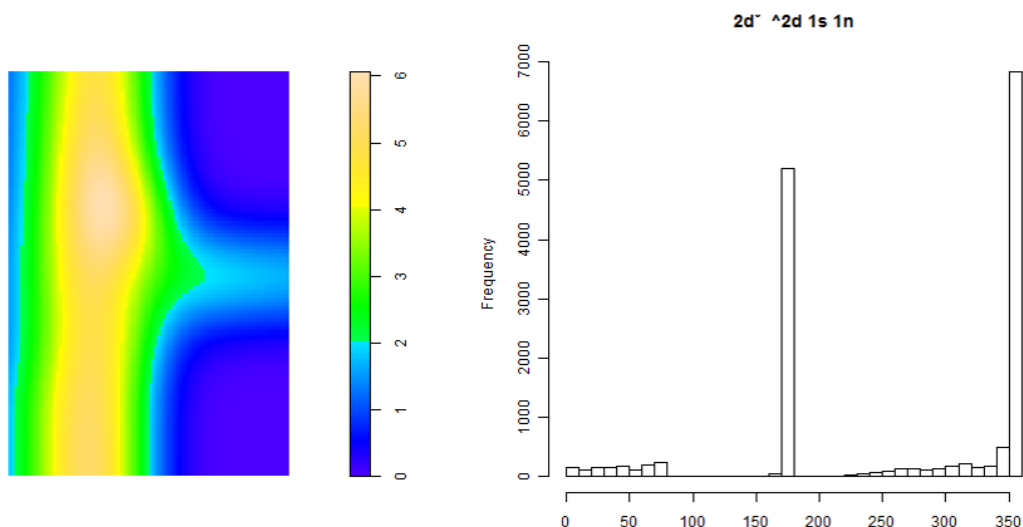
```
qSQL<- paste("SELECT * FROM fcd;", sep="")
rs <- dbSendQuery(con, qSQL)
df <- fetch(rs, n = -1)
```

Obsah relace fcd je nyní uložen ve vektoru **df**, který se dále zpracovává ve statistických a jiných výpočtech. Jiným kódem lze nové data opět zpět do databáze nahrát.

4.3 Tvorba modelu linie komunikace

Základem silniční sítě jsou její linie. Dal jsem si za cíl vytvořit linii, která by kopírovala osu komunikace. V ose komunikace se teoreticky nachází nejvyšší hustota zaznamenaných bodů. Body jsou sice velice nepřesně umístěné (přesnost na maximálně 15 metrů), ale s jejich zvyšujícím se počtem se zvyšuje přesnost výsledné analýzy. v obrázku 8 je zobrazena hustota FCD bodů na komunikaci, která se kříží s komunikací s menším významem. Žlutě až bíle je vyjádřena oblast, kde je hustota FCD maximální. v té samé oblasti se rovněž nachází osa komunikace. Vedle je znázorněn histogram směrů z FCD bodů v oblasti výřezu. Jsou jasně rozlišitelné dva hlavní směry, v tomto případě 360° a 180°. Další směry s nižší četností

můžeme přiřadit vozidlům na přípojně komunikaci, odbočujícím vozidlům a chybám ve stanovení směru způsobené přenosem či GPS jednotkou.



Obr. 8: Hustotní diagram a histogram FCD ve výřezu oblasti

4.3.1 Linie jedné komunikace

Můj postup je takový, že si určím jakýkoliv bod na komunikaci, ze kterého algoritmus vychází. Načtu si veškeré body z tohoto okolí do vektoru. Z tohoto souboru bodů vycházím v dalších výpočtech. Načtení bodů se provádí příkazem:

```
qSQL <- paste("SELECT ST_X(fcd_nusle_clean.\"the_GeomKrovak\"),
  ST_Y(fcd_nusle_clean.\"the_GeomKrovak\"), fcd_nusle_clean.rychlost,
  fcd_nusle_clean.smer FROM fcd_nusle_clean WHERE
  ST_DWithin(fcd_nusle_clean.\"the_GeomKrovak\",
  ST_GeomFromText('POINT(\"xx,\"\",yy,)\", 102067)\", \" vzd,\"\", sep="")
rs <- dbSendQuery(con, qSQL)
df <- fetch(rs, n = -1)
```

V proměnné **df** se nyní nachází všechny body nacházející se od souřadnic **xx** a **yy** do vzdálenosti **vzd**. Jedním ze způsobů najít osy komunikace je zprůměrování x-ových a y-ových souřadnic všech bodů v proměnné **df**. Tento postup nebere při výpočtu v potaz atribut směr u jednotlivých bodů. Počítá tedy i s body, které vytvořila vozidla přímo se na této komunikaci nenacházející. Metodu používám díky její jednoduchosti a malému rozdílu oproti komplikovanějším metodám. Poloha jednoho bodu na ose linie se spočítá:

```
xx <- mean(df$st_x)
yy <- mean(df$st_y)
```

Takto spočtené hodnoty se zpět do databáze nahrají příkazy:

```
qSQL <- paste("INSERT INTO bodylinie2(x, y) VALUES(\"xx,\"\",yy,)\");")
dbSendQuery(con, qSQL)
```

Získání jednoho bodu osy linie je snazší část. Problém je samotný posun po linii, kdy by se po určitých vzdálenostech výpočet bodu osy linie opakoval. Je zapotřebí určit správný směr posunu a odpovídající vzdálenost posunu. Můj algoritmus si vytváří dvousložkovou proměnou **spravnysmer**, do které na první pozici ukládá hodnotu směru, který je v oblasti nejvíce zastoupen. Na druhou pozici je ukládána hodnota druhého nejčastěji zastoupeného směru.

```
spravnysmer[1]<-hist(df$smer,360, plot = F)$mids[which.max(hist(df$smer,360, plot
= F)$density)]
vyber<-!(df$smer>(spravnysmer[1]-rozsm) & df$smer<(spravnysmer[1]+rozsm))
spravnysmer[2]<-hist(df$smer[vyber],360, plot =
F)$mids[which.max(hist(df$smer[vyber], 360, plot = F)$density)]
```

Proměnná **vyber** obsahuje matici, která obsahuje hodnoty *TRUE* a *FALSE*. *FALSE* hodnoty jsou přiřazeny hodnotám směrů, které jsou podobné nejzastoupenějšímu ze směrů. Podobnost je vyjádřena intervalem od (**spravnysmer[1]-rozsm**) do (**spravnysmer[1]+rozsm**). Proměnná **rozsm** obsahuje předem určený rozptyl směru, jaký jsem ochotný tolerovat. Při testování algoritmu se mi osvědčila hodnota 20°. Při takto vysoké hodnotě je zaručeno, že druhý spočtený směr bude na dané komunikaci směr opačný.

Pokud je komunikace jednosměrná (či testujeme jeden dálniční pás), algoritmus hlásí chybu. Důvodem je chybějící druhý směr, jelikož směry všech bodů jsou obsaženy ve výše zmíněném intervalu, a tak matice **vyber** obsahuje pouze hodnoty *FALSE*. Je třeba algoritmus připravit na tyto situace. Mým opatřením je podmínka:

```
if (length(vyber[vyber==TRUE])==0)
  {spravnysmer[2]<-361}
else
  {spravnysmer[2]<-hist(df$smer[vyber], 360, plot =
F)$mids[which.max(hist(df$smer[vyber], 360, plot = F)$density)]}
```

Druhému směru je zapotřebí přiřadit hodnotu, která není v rozsahu 0 – 360, aby s ní dále nebylo nakládáno. Ideální by bylo přiřadit hodnotu *NULL* či *NA*, ale z důvodu nezměnění datového typu proměnné volím hodnotu 361°.

Určení dvou nejčastěji zastoupených směrů neřeší otázku, kterým směrem se má určení osy linie posunout. Na některých komunikacích může být pořadí dvou nejzastoupenějších směrů proměnlivé. v praxi to znamená, že jednou je maximální četnost směrů v jednom směru, v druhé oblasti je maximální četnost směrů u druhého směru. Tento problém řeším následující podmínkou.

```
if (abs(((spravnysmer[1]- sm) + 180) %% 360 - 180)< abs(((spravnysmer[2]- sm) +
180) %% 360 - 180)) {sm<-spravnysmer[1]}
else {sm<-spravnysmer[2]}
```

Proměnná **sm** označuje směr, kterým se hledaná oblast posunula v předchozím kroku. Je tedy zajištěno, že následující posunutí bude podobné minulému posunutí a nestane se, že by se

posouvání za účelem tvorby linie znenadání otočilo opačným směrem. Při stanovení prvního posunutí není jasné, jakým směrem se má výpočet posunout. Z tohoto důvodu jsem si vytvořil podmínku, která tuto situaci řeší.

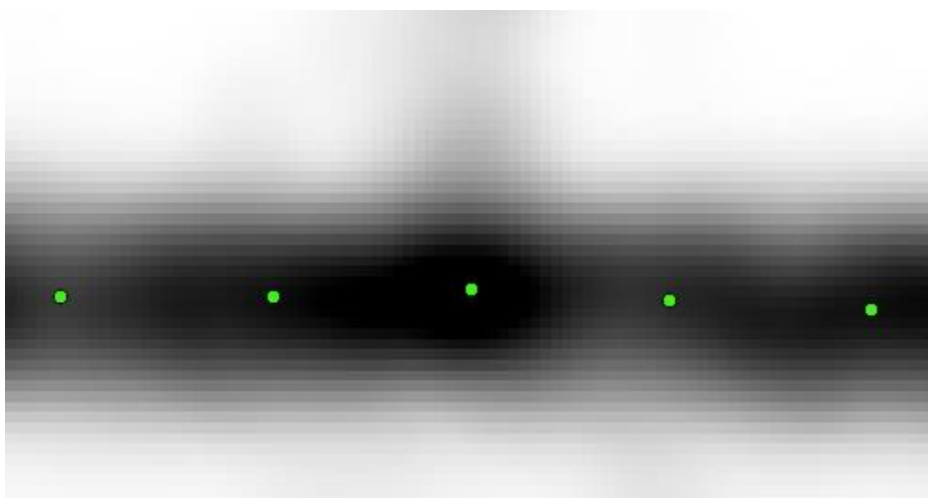
```
if (pocatekprogramu == TRUE)
  {sm <- spravny smer[1]
  pocatekprogramu <- FALSE}
```

Jako první směr posunu tedy volím směr, který má v oblasti nejvyšší četnost. Tímto řešením se může stát, že v některých případech se tvorba linie bude ubírat opačným směrem, než je mnou zamýšleno. Jedním z řešení je zaměnit **spravny smer[1]** za **spravny smer[2]** a dále se tvorba linie bude ubírat mnou kýženým směrem.

Po určení směru, kterým se oblast posune, následuje samotné posunutí. To je realizováno změnou souřadnic bodu, který je vždy středem každé zkoumané oblasti. Velikost proměnné **krok** je závislá na komunikaci, která je zkoumaná. Kvůli snížení výpočetního času se snažím volit vzdálenost posunutí poměrně velkou. Při analýze dálnic a rychlostních silnic se mi osvědčila hodnota 50 metrů. Na komunikacích se směrovými oblouky s malými poloměry je třeba hodnot menších. Po testování algoritmu jsem došel ke vzdálenosti posunutí 20 metrů.

```
xx<- xx + krok * cos((360-sm+90)*pi/180)
yy<- yy + krok * sin((360-sm+90)*pi/180)
```

Výše zmíněnými příkazy vytvořené body jsou znázorněny v obrázku 9. Proměnná **vzd** je zvolena hodnota 20 metrů, aby bylo k výpočtu využito velké množství dat a docházelo k co nejpřesnějšímu určení osy komunikace. v oblasti křížení (uprostřed obrázku) lze rozeznat, že bod lehce vybočuje. To je způsobeno vedlejší komunikací. Jelikož je vybočení nepatrné, tak ho ve výpočtech nezohledňuji. Existuje nebezpečí, že tvořená linie „odbočí“ na vedlejší komunikaci. To se může stát v případě velkého objemu odbočujících vozidel, tedy směr s nejvyšší četností je směr odbočovací. Tyto situace lze těžko identifikovat.



Obr. 9: Body osy komunikace

Nyní je třeba vypočítané body i s relevantními atributy nahrát zpět do relační databáze. Pro vizualizaci dat je třeba opět souřadnice přepočítat do vybraného souřadného systému a zobrazení. V této práci výhradně využívám Křovákovo zobrazení, více v kapitole 3.2.

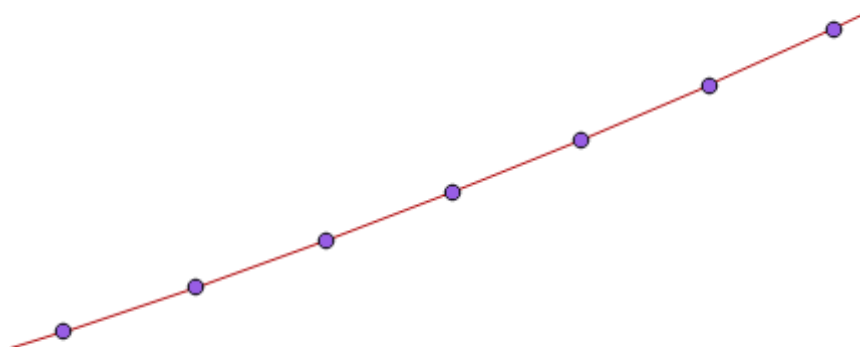
```
qSQL<-paste("INSERT INTO bodylinie (idbodu,x,y) VALUES(",i,",",xx,",",yy,");")
dbSendQuery(con, qSQL)
```

```
qSQL<-paste("UPDATE bodylinie SET \"the_GeomKrovak\"=
GeomFromEWKT('SRID=102067;POINT('||bodylinie.x||'|'||bodylinie.y||')');")
dbSendQuery(con, qSQL)
```

Každý vytvořený bod osy komunikace má své unikátní identifikační číslo - **idbodu**. Díky posloupnosti těchto čísel lze stanovit, jak má vést skrze body výsledná linie. Linii tvořím přímo nad databází v jazyce SQL.

```
CREATE OR REPLACE VIEW vyber AS
SELECT * FROM bodylinie ORDER BY idbodu;
SELECT * FROM vyber;
DROP TABLE IF EXISTS linie;
CREATE TABLE linie AS
SELECT a.idbodu as FROM, b.idbodu as TO, (ST_MakeLine(a."the_GeomKrovak",
b."the_GeomKrovak")) AS the_geom
FROM vyber a, vyber b
WHERE a.idbodu = b.idbodu+1;
```

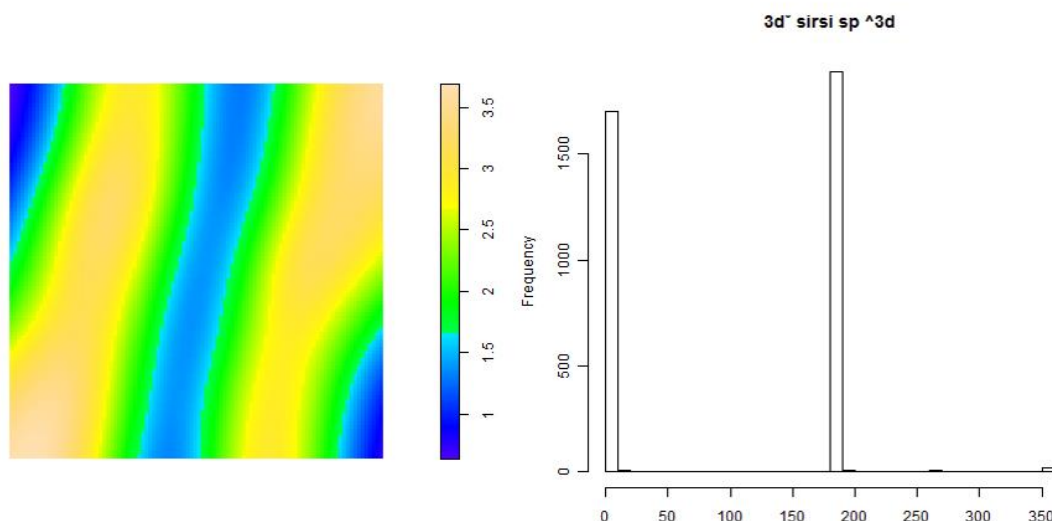
Výsledkem je linie komunikace, která je znázorněná v obrázku 10. Linie s menšími odchylkami kopíruje osu komunikace. Pokud jsou vzdálenosti mezi body linie menší, tak linie osu komunikace kopíruje lépe (na přesnost v řádech centimetrů). Při posunutí oblasti zkoumání do míst, kde se žádné body nenacházejí, se vyskytnou chyby ve výpočtech. Jedním z řešení je pevné stanovení délky linie, po jejímž dosažení se program ukončí. Další řešení je popsáno v kapitole 4.5.1.



Obr. 10: Linie komunikace

4.3.2 Linie rychlostní silnice

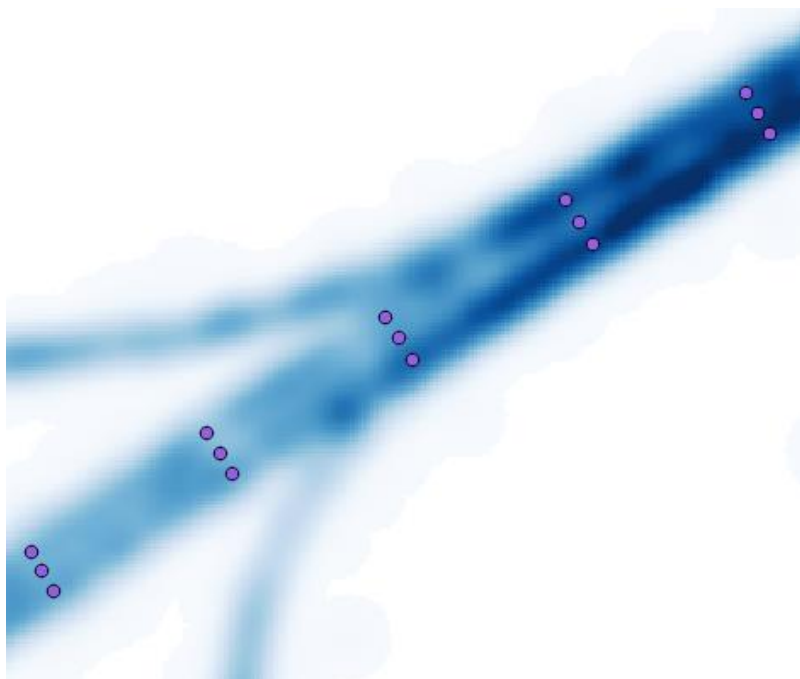
V předchozím řešení se souřadnice bodů linie tvoří za pomoci všech FCD bodů v okolí. Výsledkem je tedy osa komunikace. Dalším cílem je vytvořit osy pásů směrově rozdělených komunikací s oddělovacím pásem za pomoci FCD bodů z okolí, které obsahují požadované hodnoty atributů. Výsledkem tedy není jedna linie, ale v tomto případě tři. Dvě kopírující středy pásů komunikace v jednotlivých směrech a jedna linie kopírující osu celé komunikace.



Obr. 11: Hustotní diagram a histogram směrů z FCD ve výřezu oblasti směrově rozdělené komunikace

Postup je z větší části shodný s postupem předešlým. Data opět zpracovávám pomocí jazyka R. Dva nejčtenější směry určím rovněž stejně. Rozdíl nastává v určení bodu osy komunikace. Nyní v každé oblasti vypočítávají body dva, každý z jiného souboru dat. První soubor dat obsahuje pouze ty FCD body, jejich atribut směr má hodnotu nejčtenějšího směru. Druhý soubor obsahuje FCD body s hodnotou druhého nejčtenějšího směru. K získání třetího bodu, osy komunikace, stačí souřadnice 2 bodů os pruhů zprůměrovat.

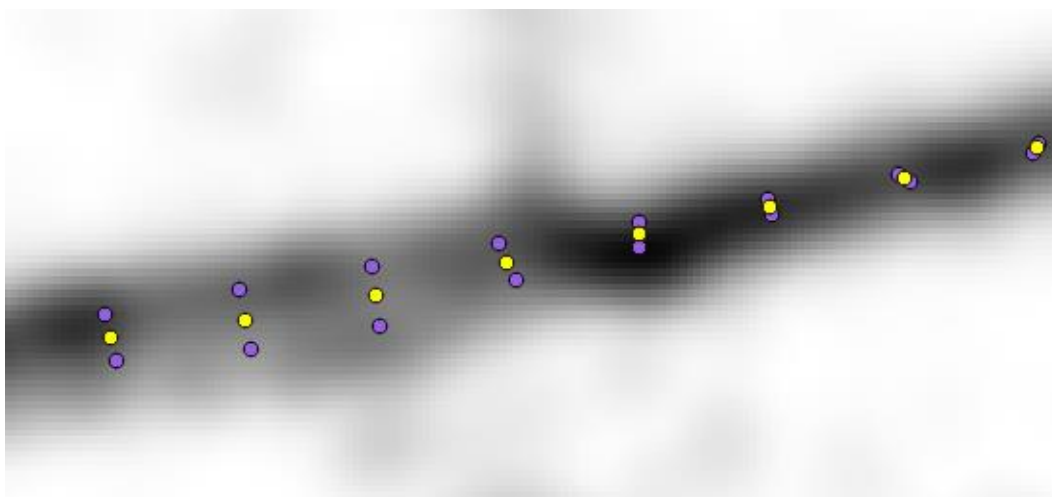
Pro získání více bodů pro výpočet vybírám body v rozsahu $\text{spravnysmer}[1] \pm 10^\circ$ pro první soubor dat a $\text{spravnysmer}[2] \pm 10^\circ$ pro druhý soubor dat. Výpočet probíhá v cyklu dvou opakování, kdy v každém opakování se vypočte jeden bod osy pásu. Obsah cyklu je uveden v příloze 1. Výsledné body jsou zobrazeny v obrázku 12.



Obr. 12: Body jednotlivých pásů a osy komunikace

Popsaný algoritmus jsem rovněž aplikoval na komunikace nižších tříd bez směrově oddělených pásů. Výsledné body jsou zobrazeny v obrázku 13. Po porovnání s fotografickými mapami jsem došel k závěru, že body nereflktují konstrukční rozměry komunikace z důvodu nepřesnosti polohy bodů způsobené odrazy GPS signálu od budov a proto určování dalších linií kromě osy komunikace ztrácí smysl.

Celý kód pro vytřetí linií rychlostní komunikace je uveden v příloze 3.



Obr. 13: Body jednotlivých pruhů na komunikaci bez oddělovacího pásu

4.3.3 Detekce křížení

Podél vytvořené linie jsou hodnoty atributů FCD bodů a počet FCD bodů proměnlivé. Mění se rychlost vozidel, hustota bodů, směry vozidel a další. Pro detekci křížení komunikací

a vytvoření relace bodů, které označují lokalitu křížení, jsem si zvolil určení počtu směrů vozidel, které jsou v nejbližší oblasti zastoupeny. Jistě by šlo detekovat křížení i jinými způsoby, ale tato metoda se zdá nejjednodušší a výpočetně nenáročná.

Dříve popsaný algoritmus si vyhledává dva nejčetnější směry, které se v nejbližší oblasti nacházejí. Moje úvaha vychází z předpokladu, že pokud se v oblasti vyskytuje křížení, tak i další směry mají početné zastoupení.

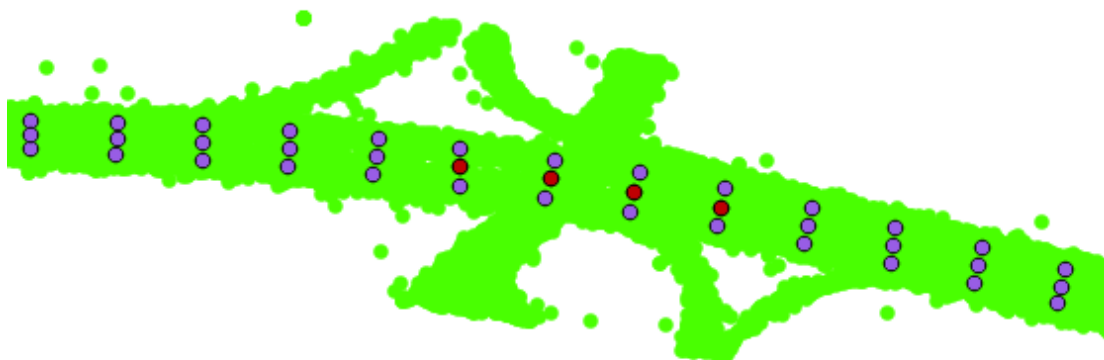
4.3.3.1 Metoda existence dalšího směru

Prvním řešením je spočtení četností všech směru, kromě těch dvou, které ještě nebyly v programu použity. Řeším to přiřazením hodnoty *NA* již k použitým směrům a následným zjištěním, jestli se v souboru směrů nenachází takový směr, který má četnost vyšší než 20 hodnot. Tato hodnota se mi osvědčila při testování na Pražském okruhu. Určení hodnoty v oblasti Nuslí je problematické pro získání relevantních výsledků, jelikož jsou jako křížení označované i lokace, kde se žádné křížení nevyskytuje.

```
smerupraven[smerupraven > (spravnysmer[1]-rozsm) & smerupraven < (spravnysmer[1] +  
rozsm)] <- NA  
smerupraven[smerupraven > (spravnysmer[2]-rozsm) & smerupraven < (spravnysmer[2] +  
rozsm)]<-NA
```

```
if (max(hist(smerupraven,360, plot = F)$counts)>20)  
{qSQL <- paste("INSERT INTO bodysite(x,y) VALUES(",xx,", ",",yy,");")  
dbSendQuery(con, qSQL)}
```

Pokud dojde k detekci křížení neboli uzlu silniční sítě, souřadnice uzlu (bodu osy komunikace) jsou zaznamenány do nové databázové relace **bodysite**. v obrázku 14 jsou červeně zobrazeny křížení detekovaná na Pražském okruhu. Častým jevem je vytvoření několika bodů křížení v řadě z důvodu opakované detekce více než dvou četných směrů. Tento by se dal vyřešit shlukováním sousedících bodů křížení.



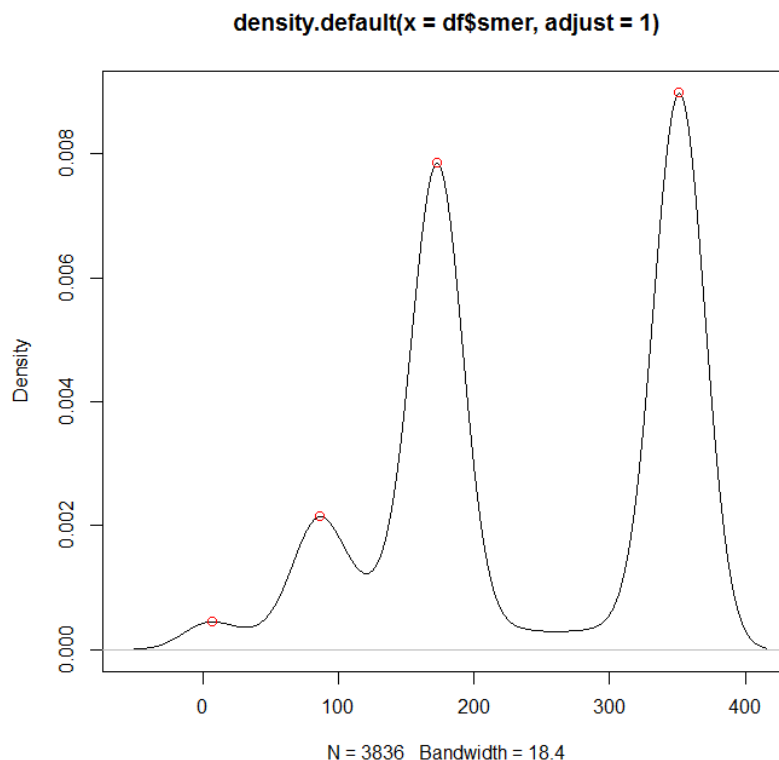
Obr. 14: Lokace křížení metodou existence dalšího směru

4.3.3.2 Metoda distribuční funkce

V předchozí metodě se detekuje, pokud existuje další alespoň jeden čtený směr. Pomocí metody distribuční funkce se určí počet směrů, které jsou v křížení výrazně zastoupeny. v klasickém křížení se jedná o 4 směry, ve složitějším křížení může být směrů i více. Tyto čtené směry hledám pomocí vrcholů křivky distribuční funkce.

Distribuční funkce se získá pomocí funkce **density**. Na této křivce si najdu všechny body, ve kterých je derivace rovná nule. Výsledkem jsou tedy všechny vrcholy a údolí křivky, kdy jednotlivé vrcholy a údolí se v řadě střídají. Pokud je prvním bodem vrchol, tak údolím je každý druhý bod. S údolím neppracuji, k výpočtu používám pouze hodnoty vrcholů. v kódu jsou rovněž rozepsány příkazy k vykreslení grafu k zobrazení distribuční funkce a vrcholů. Graf je zachycen v obrázku 15.

```
require(graphics)
d <- density(df$smr)
ts_y <- ts(d$y)
require(pastecs)
tp <- turnpoints(ts_y)
keep <- 1:((tp$nturns+1) / 2) * 2
if (tp$firstispeak == TRUE) {keep <- keep - 1}
peaks <- tp$tppos[keep]
plot(d)
points(d$x[peaks],d$y[peaks],col="red")
```



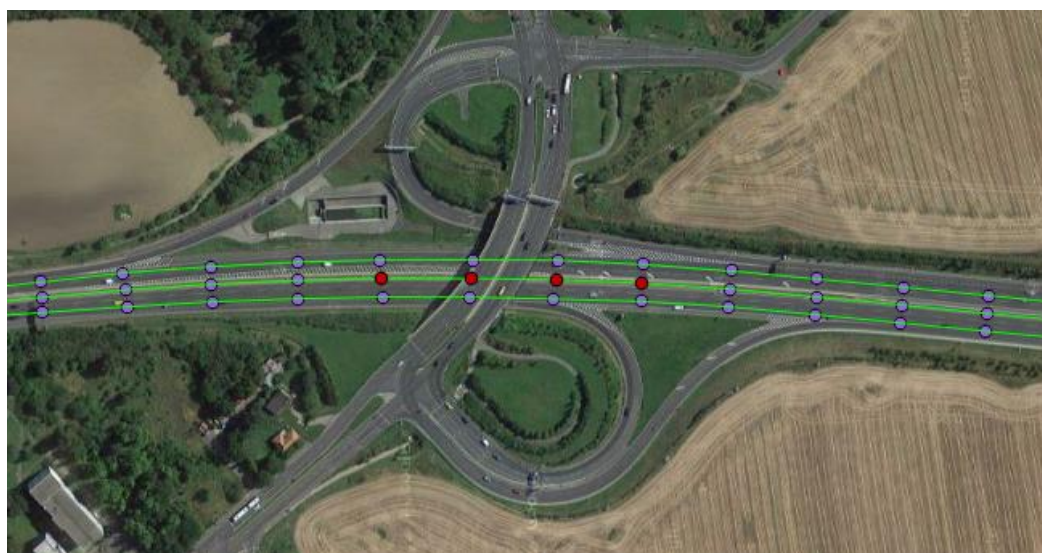
Obr. 15: Distribuční funkce s vrcholy

Hodnoty směrů leží v intervalu 0° až 360° . Křivka distribuční funkce sice zasahuje i mimo tento interval, ale určené vrcholy nikdy tento interval nepřekročí a vždy korespondují s nejčetnějšími směry v aktuálním souboru dat. i na úsecích, kde reálně není žádné křížení, se často detekuje více než 2 vrcholy. Tento jev přikládám k chybovosti odeslaných dat z vozidel. Z toho důvodu volím minimální hodnotu distribuční funkce $0,002$. Tato hodnota se mi v oblasti Nuslí velice osvědčila. Všechny směry s hodnotou distribuční funkce nad $0,002$ jsou dále zpracovávány.

Pro určení lokace křížení stačí v každé oblasti vytvořit křivku distribuční funkce a určit počet vrcholů splňující výše zmíněnou podmínku. Pokud je nalezen pouze jeden vrchol, s největší pravděpodobností se jedná o jednosměrnou komunikaci. Dva vrcholy značí standardní komunikaci bez křížení. Výskyt více než dvou vrcholů detekuje křížení a lze následně jeho souřadnice uložit do databázové relace stejně jako v předchozí metodě.

4.3.4 Shrnutí

Cílem výše zmíněných postupů je vytvořit linii podél osy komunikace. Jak je názorně vidět na obrázcích 16 a 17 v porovnání s fotografickými mapami, za ideálních podmínek bez rušení, jsou podle vizuální kontroly výsledky poměrně přesné. Vytvořená linie velice dobře koresponduje s osou komunikace a přesnosti se dá ještě zvýšit pomocí kratšího odstupů mezi jednotlivými body linie. Linie korespondující s jednotlivými směrově rozdělenými pásy neleží v osách pásů, ale jsou lehce posunuté do pruhů, kterým projede více vozidel, jelikož v oblasti tohoto pruhu je vyšší hustota FCD bodů.



Obr. 16: Vytvořená linie s pruhů a křížením, mapový podklad z maps.google.com

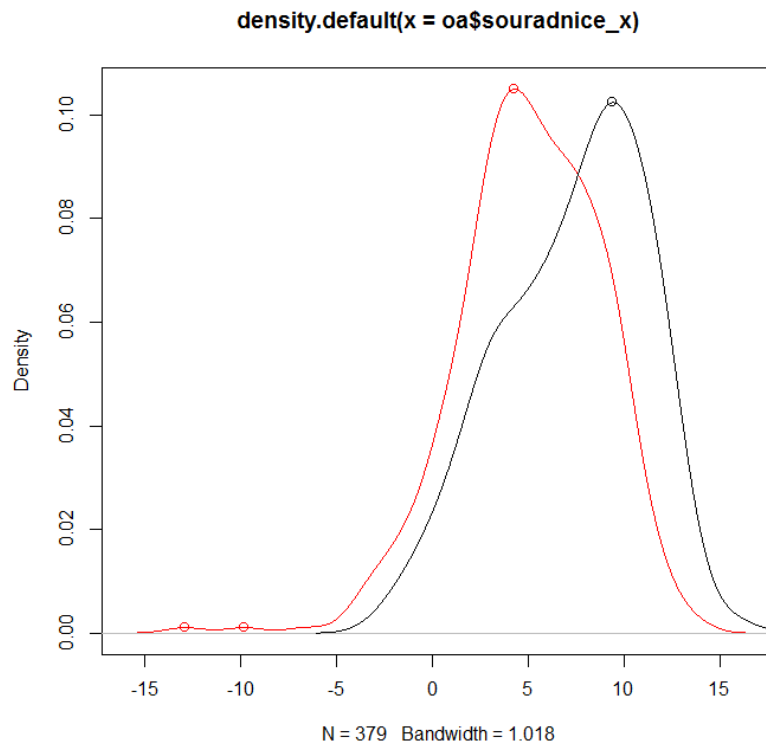


Obr. 17: Vytvořená linie s pruhy, mapový podklad z maps.google.com

4.4 Stanovení počtu pruhů

Informace o počtu pruhů komunikace je zvláště na rychlostních silnicích a dálnicích velmi užitečná, zejména při užití navigačních zařízení. Řidiči kamionu si mohou naplánovat předjíždění, řidiči osobních vozidel mohou být upozorněni na nenadálé snížení počtu pruhů.

Při určování počtu jízdních pruhů vycházím z křivky distribuční funkce, kdy na x-ové ose jsou souřadnice bodů na kolmé ose k ose komunikace. V obrázku 18 je znázorněn graf se dvěma křivkami distribuční funkce, kde červená křivka vznikla z FCD bodů od osobních automobilů, černá od nákladních automobilů. Data pochází z dvou pruhového úseku v jednom pásu. Z grafu je zřejmé, že většina nákladních automobilů jezdí v pravém jízdním pruhu, řidiči osobních automobilů dávají přednost levému jízdnímu pruhu.



Obr. 18: Křivky distribučních funkcí polohy FCD bodů jednoho jízdního pásu

Jako v předchozím využití křivky distribuční funkce problém analyzuji za pomoci vrcholů křivek. Počet vrcholů, které nejsou od sebe příliš blízko či příliš daleko, udává počet pruhů komunikace. Vzhledem k testovacím výsledkům a konstrukčním rozměrech rychlostních silnic a dálnic, volím rozmezí od 2 do 5 metrů. Dále přidávám omezení minimální hodnoty distribuční funkce vrcholu křivky z důvodu braní v potaz pouze hodnoty hustot s velkým zastoupením FCD bodů. Kód k vytvoření obrázku 18 je uveden v příloze 5.

K vytvoření úplného algoritmu pro stanovení počtu pruhů komunikace je třeba dalšího výzkumu, který v této práci již není obsažen.

4.5 Silniční síť z linií

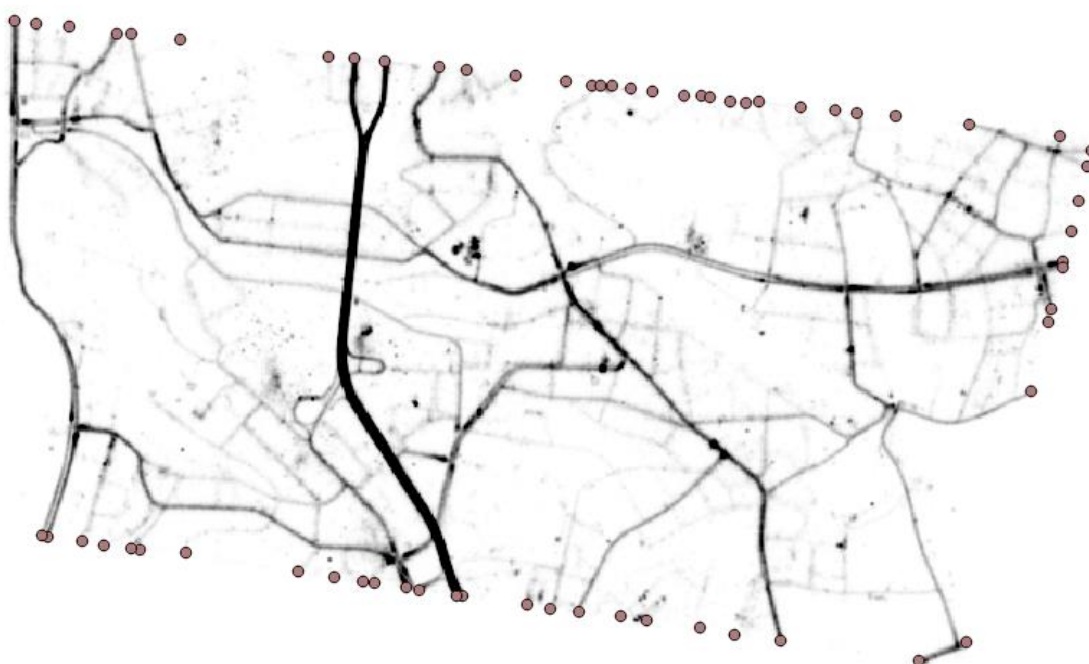
Hlavním cílem této práce není vytvoření linie jedné komunikace, ale generování celé silniční sítě v dané oblasti. Vytvořená silniční síť by měla uplatnění jako základ pro silniční modely s rozsáhlým využitím. Jedním z mnoha jsou mapové podklady pro navigační zařízení, které by byly pro navigování vhodnější z důvodu jejich vyšší přesnosti v závislosti polohy vozidla zjištěné pomocí GPS a polohou linie, na které se vozidlo pohybuje.

Ideálním výstupem je soubor linií a uzlů, kdy každá linie a každý uzel obsahují určité atributy charakterizující danou komunikaci či křížení.

4.5.1 Síť z jednoduchých linií

V kapitole 4.3.1 je uvedené řešení pro tvorbu jednoduché linie jedné komunikace. Jednou z metod k vytvoření silniční sítě je zachycení všech komunikací alespoň jednou linií a následné sloučení překrývajících se linií.

K vytvoření sítě je třeba mnoha linií. Každá linie má svůj počáteční a konečný bod. Mé řešení pracuje s počátečními body, které jsem si sám zvolil. Body jsou lokalizovány v místech, kde komunikace směřují ven ze zkoumané oblasti. Řešení použitelné v praxi by mělo obsahovat algoritmus, který si počáteční body volí sám. Volba může být náhodná, i když tato možnost není optimální. Body samozřejmě musí být umístěné do míst, kde existují FCD body. Moje zvolené body v oblasti Nuslí jsou zobrazeny v obrázku 19.



Obr. 19: Počáteční body linií

Po vytvoření relace počátečních bodů je spuštěn algoritmus na vytvoření jednoduché linie podobný algoritmu popsaneho v kapitole 4.3.1. Linie nemá definovanou délku, je proto třeba ji ukončit jiným způsobem. Přidaným kódem je níže uvedená podmínka zabraňující zacyklení. Ta funguje na principu prohledávání blízké oblasti, jestli se v nich nevyskytují již další vytvořené body linie. Pokud těchto bodů linie v okolí je větší množství, tak je pravděpodobné, že došlo k zacyklení a linie je následně ukončena. Po testování považuji hodnotu pěti bodů za optimální, kdy nedochází k předčasnému ukončení linie a zároveň je zacyklení detekováno relativně brzy.

```
qSQL<-paste("SELECT ST_X(bodylinie.\"the_GeomKrovak\"),  
            ST_Y(bodylinie2.\"the_GeomKrovak\") FROM bodylinie2 WHERE  
            ST_DWithin(bodylinie.\"the_GeomKrovak\",ST_GeomFromText('POINT(\"xx,\"\",yy,\"'  
            ', 102067),\", vzd,")", sep="")
```



```
rs <- dbSendQuery(con, qSQL)
df2 <- fetch(rs, n = -1)
dbClearResult(rs)
```

```
if (dim(df2)[1]>5) {break}
```

Příkazem **break** se tvorba aktuální linie ukončí a začne se tvořit nová linie z dalšího počátečního bodu v pořadí. Další podmínky řeší případ, kdy v oblasti je málo dat k analyzování. v proměnné **df** jsou uloženy všechny FCD body v blízkém okolí. Po testování na datech z Nuslí z obou měsíců dohromady jsem došel k závěru, že pokud je v okolí méně než 5 FCD bodů, tak je linie ukončena.

```
else if (dim(df)[1]<5) {break}
```

Předchozí podmínka plní svůj účel, ale linie je ukončena příliš brzy. Má snaha je vytvořit linii, která projede co možná nejvíce komunikací. Z tohoto důvodu jsem vytvořil další podmínku, kdy při menším počtu FCD bodů v oblasti se směr linie otočí o 180° nazpět a linie je dále tvořena. v kříženích komunikací jsou data velmi nekonzistentní a existuje možnost, že se tvorba linie vydá po jiné komunikaci, než ze které původně vyšla. Takto by se teoreticky po častém opakování dala zmapovat celá silniční síť. Podmínka pro otočení tvorby linie má následující tvar.

```
else if (dim(df)[1]<10)
  {sm<- (sm+180)%%360
  xx<- xx + (krok) * cos((360-sm+90)*pi/180)
  yy<- yy + (krok) * sin((360-sm+90)*pi/180)}
```

Tato podmínka plní svůj účel, jen pokud má krok posunutí a poloměr hledané oblasti stejnou hodnotu (**krok == vzd**). Před otočením na konci komunikace dochází k postupnému poklesu FCD bodů v okolí, dokud počet bodů je menší než 10. Poté se směr otočí a tvorba linie dále pokračuje.

Výsledné body linií jsou zobrazeny v obrázku 20. Barvy rozlišují jednotlivé linie. Je zřejmé, že linie neprošly všemi komunikacemi ve zkoumané oblasti. Toto je způsobené jevem, kdy mnohé linie jsou svedeny na frekventované komunikace, ze kterých linie už neodbočí a jsou v těchto komunikacích ukončeny pomocí první uvedené podmínky zabraňující zacyklení.



Obr. 20: Silniční síť vytvořena z jednoduchých linií

Nejjednodušším řešením tohoto problému je mnohonásobné opakování algoritmu, kdy z počátečního bodu nevede pouze jedna linie, ale mnoho. Tím teoreticky může docházet k náhodnému odbočení linií z frekventovaných komunikací. Abych tento jev podpořil, vložil jsem do tvorby linie jistou náhodnost. v níže uvedeném kódu je pseudonáhodně zvolená hodnota z rozsahu od -10 do 10, která upravuje směr posunu v každém kroku.

```
rand <- sample(c(-10, -5, 0, 5, 10), 1))
xx<- xx + (krok) * cos((360 - sm + 90 + rand) * pi / 180)
yy<- yy + (krok) * sin((360 - sm + 90 + rand) * pi / 180)
```

Pořadí nejčtetnějších směrů v oblastech křížení je velmi proměnlivé. Nejčtetnější směr je různý v jednotlivých částech křížení. Linie se ubírá směrem nejčtetnějšího směru, který je v určitém rozsahu. Pomocí pseudonáhodné změny směru posunutí v každém je zvýšena šance, že algoritmus detekuje takový nejčtetnější směr, který směřuje na vedlejší komunikaci.

Předchozím kódem se zvyšuje šance, že několikanásobným opakování celého algoritmu ze všech počátečních bodů sítě vytvořené linie projdou všemi frekventovanými komunikacemi v oblasti. Tato metoda je realizovatelná a vrací uspokojivé výsledky. Její nevýhodou je velká výpočetní náročnost. Vytvoření sítě, kdy z každého počátečního bodu vychází jedna linie, trvá mému osobnímu počítači přibližně 30 minut. Jak je vidět z obrázku 20, mnoho komunikací algoritmem projito nebylo, a proto jsou třeba další opakování. Výsledek po 10. opakování je v obrázku 21, kdy rovněž byla upravena podmínka zamezující zacyklení na hodnotu 15 z důvodu, že by po několikanásobném opakování byla linie ukončena hned po jejím vytvoření díky vysokému výskytu dříve vytvořených bodů linií.

Celý algoritmus pro tvorbu silniční sítě pomocí jednoduchých linií je uveden v příloze 6.



Obr. 21: Silniční síť vytvořena z jednoduchých linií po deseti opakování

4.5.2 Síť pomocí detekce křížení

Řešení popsané v kapitole 4.5.1 je z důvodu opakování algoritmu výpočetně velice náročné. Možným řešením tohoto problému je metoda tvorby silniční sítě díky detekci křížení. Při průchodu tvorby linie zkoumanou oblastí se zaznamenávají lokace křížení, neboli se detekují křižovatky. v těchto kříženích se rovněž zaznamenává počet směrů, které byly detekovány. Takto lze určit, kolik má daná křižovatka ramen.

Algoritmus jsem sestavil tak, že tvorba linie postupně vyjíždí všemi rameny ze všech křížení. Tímto postupem se docílí vytvoření silniční sítě, kdy na všech hranách mezi všemi kříženími je vytvořena alespoň jedna linie.

K určení křížení využiji křivku distribuční funkce. Postup k jejímu využití je v kapitole 4.3.3.2. Při tvorbě křížení zjednodušeně uvažuji, že křižovatka může mít nanejvýš 4 ramena. Pro načtení 4 nejčetnějších směrů v křížení používám následující cyklus. Pokud je dostatečně četných směrů méně než 4, méně četné směry do vektoru **spravnysmer** nejsou uloženy.

```
for (j in 1:4)
{if (is.na(sort(d$y[peaks][d$y[peaks]>0.002], decreasing=TRUE)[j])==FALSE)
{spravnysmer[j] <- round(d$x[d$y == sort( d$y[peaks][d$y[peaks]>0.002],
decreasing=TRUE)[j]])
}
}
```

Díky délce vektoru **spravnysmer** lze určit, jestli se v oblasti nachází křížení či nikoli. Pokud délka je menší nebo rovna dvěma, o křížení se nejedná a je vytvářena linie stejným způsobem,

jako v kapitole 4.3.1. s tvorbou křížení, kdy je délka vektoru **spravnysmer** větší než 2, mohou nastat tyto situace:

- Okolí splňuje podmínky křížení -> vytvoření nového křížení a uložení jeho atributů do tabulky všech křížení.
- Tvorba linie se přesunula do míst, kde se nachází křížení, ze kterého aktuálně tvořená linie vychází.
 - Nebyla vyčerpána ramena křižovatky, po kterých lze vytvořit nové linie -> tvorba nové linie z dalšího ramene
 - Všechna ramena křižovatky již byla použita ke tvorbě linie -> přesunutí ke křížení s menším identifikačním indexem
- Tvořená linie se dostala do míst již jiného křížení -> návrat zpět na aktuální křížení

U každého nového křížení se uloží jeho index, poloha, počet detekovaných čtených směrů a pomocná hodnota zvaná **pocitadlo** do tabulky **krizeni**. Počet směrů je zjištěn z délky vektoru **spravnysmer**. **pocitadlo** určuje, kolik ramen křižovatky ještě nebylo projito. Význam proměnné **idkrizeni2** je objasněn později v textu. Hodnoty jsou uloženy následujícím kódem.

```
idkrizeni <- idkrizeni + 1
idkrizeni2 <- idkrizeni
krizeni$xx[idkrizeni] <- xx
krizeni$yy[idkrizeni] <- yy
krizeni$pocetsmeru[idkrizeni] <- length(spravnysmer)
krizeni$pocitadlo[idkrizeni] <- krizeni$pocetsmeru[idkrizeni]
qSQL<-paste("INSERT INTO bodylinie (idbodou,x,y,idlinie,idkrizeni)
            VALUES(",i,",",xx,",",yy,",",k,",",idkrizeni,");")
dbSendQuery(con, qSQL)
```

Rovněž si vytvářím tabulku **smerykrizeni**, do které si ukládám až čtyři směry, které jsou v křížení detekovány. v případě absence směrů je uložena hodnota *NA*. Pozice směrů v tabulce je dána indexem křížení.

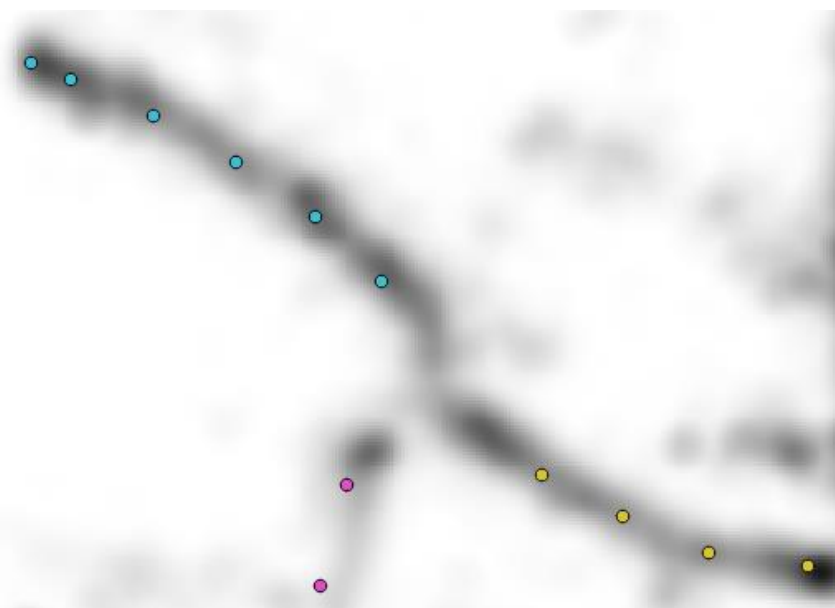
```
smerykrizeni$a[idkrizeni] <- spravnysmer[1]
smerykrizeni$b[idkrizeni] <- spravnysmer[2]
smerykrizeni$c[idkrizeni] <- spravnysmer[3]
smerykrizeni$d[idkrizeni] <- spravnysmer[4]
```

Posléze jsou z jednotlivých ramen postupně vytvářeny linie. Následujícím kód obsahuje příkazy, které jsou provedeny při každém projití aktuálního křížení.

```
xx <- krizeni$xx[idkrizeni]
yy <- krizeni$yy[idkrizeni]
if (krizeni$pocitadlo[idkrizeni] == 3) sm <- smerykrizeni$b[df3$idkrizeni[1]]
if (krizeni$pocitadlo[idkrizeni] == 2) sm <- smerykrizeni$c[df3$idkrizeni[1]]
if (krizeni$pocitadlo[idkrizeni] == 1) sm <- smerykrizeni$d[df3$idkrizeni[1]]
krizeni$pocitadlo[idkrizeni] <- krizeni$pocitadlo[idkrizeni] - 1

xx <- xx + (krok*2) * cos((360-sm+90)*pi/180)
yy <- yy + (krok*2) * sin((360-sm+90)*pi/180)
```

Prvními dvěma příkazy se zajistí, že aktuální poloha je přesně v místě křížení. Následně je podle hodnoty proměnné **pocitadlo** rozhodnuto, kterým směrem neboli po kterém rameni se bude tvořit nová linie. Poté je **pocitadlo** sníženo o jedna. Posledním příkazem je posunutí tvoření z oblasti křížení ve směru nově tvořené linie. Na obrázku 22 je znázorněno křížení, kterého bylo dosaženo na linii tvořenou fialovými body. První linie, tvořena modrými body, se vydala ramenem s největším počtem FCD bodů. Po několika krocích je linie ukončena z důvodu nedostatku dat, jelikož je dosaženo hranice zkoumané oblasti. Proces se znovu vrací do křížení a použije ještě nevyužitě rameno. Začne se tvořit další linie skládající se ze žlutých bodů.



Obr. 22: Tvorba křížení

Pokud ani žlutá linie není při hledání nového křížení úspěšná, vyčerpají se všechna nepoužitá ramena a proměnná **pocitadlo** obsahuje hodnotu 0. v tom případě se přejde zpět k předchozímu uloženému křížení. Pokud i toto obsahuje hodnotu 0, přejde se k dalšímu předchozímu křížení. Vracení se k již vytvořeným křížením pomocí jejich indexů je realizováno druhým indexem **idkrizeni2**. Kdyby byly odčítány hodnoty od **idkrizeni**, při tvoření nových křížení by se předchozí záznamy křížení z tabulky **krizeni** přepisovaly.

```
idkrizeni2 <- idkrizeni-1  
xx <-krizeni$xx[idkrizeni2]  
yy <-krizeni$yy[idkrizeni2]
```

Poslední situace nastává, pokud tvorba linie dojde do míst, kde se nachází nerelevantní křížení, neboli index nalezeného křížení neodpovídá aktuálnímu křížení, ze kterého rameno vychází. v této situaci se pouze proces vytváření linie vrací zpět do aktuálního křížení.

```
xx <-krizeni$xx[idkrizeni]  
yy <-krizeni$yy[idkrizeni]
```

Výše popsaným algoritmem lze velice rychle vygenerovat model silniční sítě i ve větší oblasti. v obrázku 23 je algoritmem zachycena část silniční sítě s krokem 40 m a poloměrem zkoumané oblasti 20 m. Generování trvalo pouze několik minut. Jednotlivé barvy představují jednotlivé linie, kdy nová linie se vytvoří při každém vyjetí z nového ramene.

V některých oblastech jsou křížení detekovány častěji, než jak tomu odpovídá skutečnost. Toto je zapříčiněno malou hustotou FCD bodů v oblasti. Důvodem, proč není vygenerována silniční síť celé oblasti, je problém, kdy se proces vyčerpávání ramen u již dříve vytvořených ramen postupně zpomaluje, až dojde k jeho zdánlivému zastavení. Možným důvodem je situace, kdy je v oblasti detekováno více křížení najednou. Pro tuto situaci jsem algoritmus upravil, ale problém přesto vyřešen nebyl. Je tedy třeba dalšího výzkumu.

Kód pro vytvoření silniční sítě pomocí detekce křížení je uveden v příloze 4.



Obr. 23: Model silniční sítě vytvořený hledáním křížení

4.6 Práce s daty v QGIS

Při práci s geografickými daty je třeba nástroj, který dokáže data kvalitně zobrazit. Žádoucí je rovněž možnost data v této grafické podobě zpracovávat. Nástrojem se mi stal program QGIS,

který je dostupný zdarma a jeho vývoj neustále pokračuje. QGIS je především zaměřen na zobrazování, tvorbu a editaci rastrových a vektorových geografických dat. Jeho omezenou analytickou schopnost doplňuje nespočet doplňků, které jsou vyvíjeny nezávisle. Výše zmíněné obrázky zobrazující body a linie v prostoru pochází z QGIS.

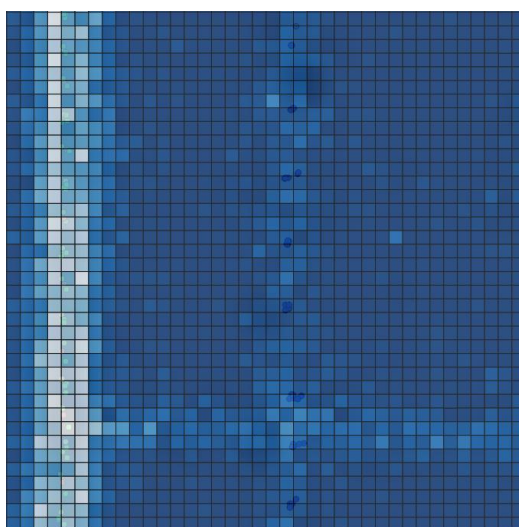
Důvodem, proč se pokouším o analýzu FCD dat v programu QGIS za pomoci jeho doplňků, je výpočetní náročnost mých algoritmů napsaných v R. Pomocí již vytvořených a optimalizovaných geografických funkcí chci dosáhnout nových výsledků s nižší výpočetní náročností.

Možných řešení k vytvoření modelu silniční sítě je nespočet a mnoho z nich je v průběhu výzkumu vyzkoušel. i z tohoto důvodu zde neuvádím celkové postupy, ale výběr mezikroků, jejichž kombinací se dojde k cíli.

4.6.1 Použití mřížky

Při tvorbě mřížky jsem se inspiroval prací [13], kde je nastíněna automatizovaná tvorba linií právě využitím mřížky. Pomocí mřížky obrovský počet FCD dat redukuji na menší počet, kdy nově vytvořené body mřížky snadněji analyzuji. Při vytváření mřížky rovněž nově vzniklým bodům přisuzuji atributy, jejichž hodnoty vznikly rozličnými způsoby.

Mřížka v QGIS se vytvoří pomocí funkce **Vector Grid**. Velikost jednotlivých buněk může být různorodá, pro podrobnou analýzu vytvořené mřížky volím šířku buňky 4 metry, pro rychlou analýzu volím 20 metrů. Dále je třeba jednotlivým buňkám mřížky přiřadit atributy. Jediný atribut, který se mi podařilo buňkám přiřadit pomocí analýz v QGIS je počet FCD bodů v oblasti každé buňky. Výsledkem je tedy mříž polygonů připomínající rastr zobrazující hustotu bodů v buňkách. Výsledek je zobrazen v obrázku 24, kde světlejší odstíny modré značí vyšší hustotu.

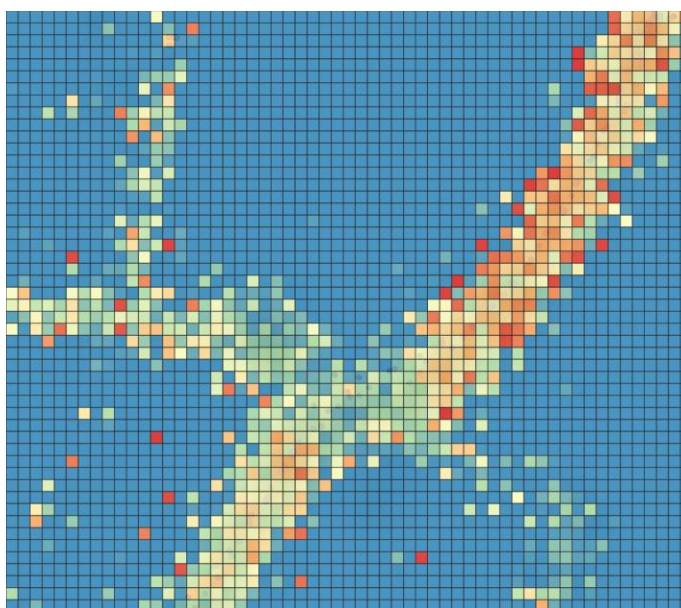


Obr. 24: Mřížka zobrazující hustotu FCD bodů

I když je tato mřížka užitečná, rád bych měl u jednotlivých buněk více atributů pro získání silničního modelu s vyšší informační hodnotou. Z toho důvodu opět použiji R a mřížku vytvořím v tomto prostředí. Další atributy jsou spočteny následovně.

```
pocetbodu <- length(df$smer)
prumernarychlost <- mean(df$rychlost)
maxrychlost <- max(df$rychlost)
odchylkarychlosti <- sd(df$rychlost)
hlavnismer <- max(hist(df$smer,360, plot = F)$counts)
```

Počet bodů vrací stejné hodnoty, jako funkce **Points in Polygon** v QGIS. Průměrná rychlost a maximální rychlost v buňce jsou spočteny jednoduchými funkcemi, stejně jako odchylka rychlostí. Stejný způsob, se kterým jsem pracoval v kapitole 4.3.1 pro výpočet nejčtenějšího směru v oblasti, používám i v tomto případě. Celý algoritmus pro vytvoření mřížky je obsažen v příloze 2. v obrázku 25 jsou rastrově zobrazeny odchylky rychlostí. Červená barva znamená velkou odchylku. Z obrázku je patrné, že před křížením odchylky nabývají vyšších hodnot. Pokud se jedná o křižovatky se světelným signalizačním zařízením, hodnoty odchylek a počet bodů s těmito vysokými hodnotami narůstají. Takto se tedy dají detekovat křižovatky se světelným signalizačním zařízením.

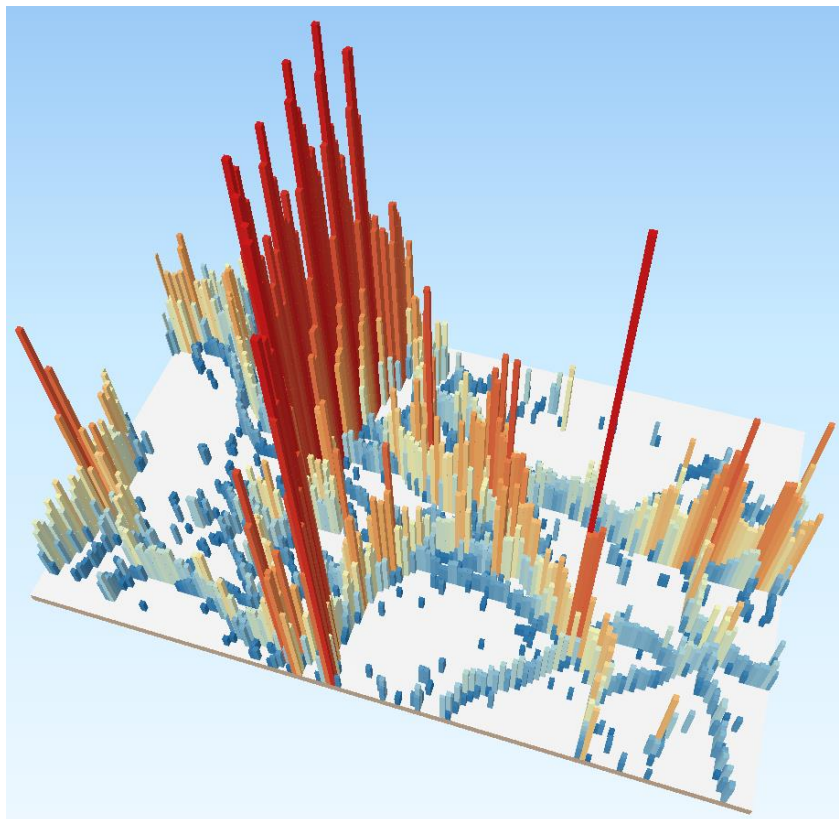


Obr. 25: Mřížka zobrazující hustotu FCD bodů

4.6.2 Použití bufferu

Následně je třeba buňky, které splňují určité kritérium, spojit do linií a posléze do celého modelu silniční sítě. v tomto případě pracuji s daty z oblasti Nuslí. Nejdříve je třeba určit, které buňky k následujícímu zpracování budou vybrány. Při této selekci používám pouze kritérium počtu bodů v buňkách. Jejich zastoupení je zobrazeno v obrázku 26 pomocí QGIS doplňku Qgis2threejs. Kritériem je hranice, která musí hodnoty počtu bodů v buňkách dosáhnout.

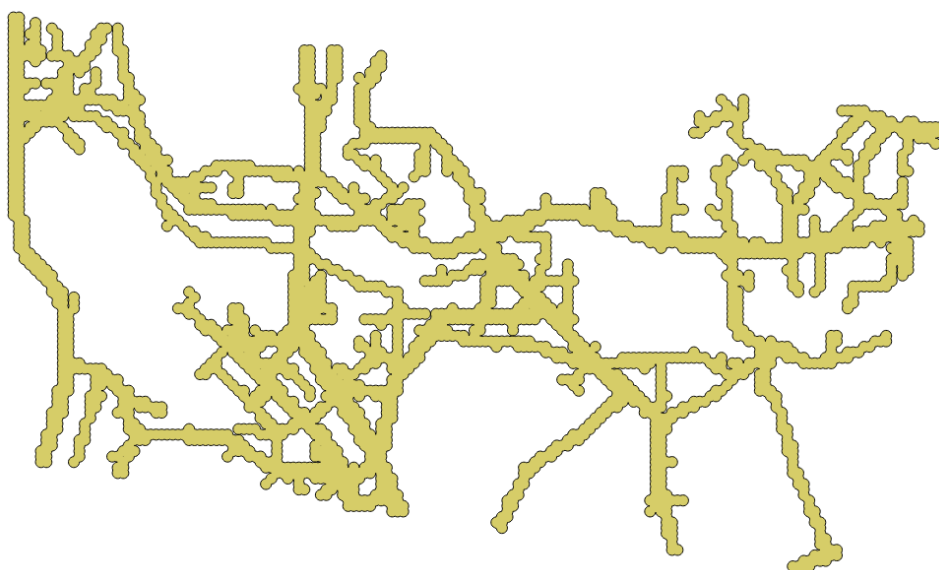
Z obrázku je patrné, že určení této hodnoty je velmi komplikované. Výška a barva sloupců nad buňkami zobrazuje počet FCD bodů v buňkách. Je vidět, že hodnoty jsou velmi proměnlivé a určená hranice není nikdy pro celou oblast optimální. Pro testování jsem zvolil hodnotu 70 bodů v jedné buňce.



Obr. 26: 3D zobrazení hustotní mřížky

Pro kategorizaci silnic používám právě hodnoty počtu bodů v buňkách. Z obrázku 26 je poznat, že Severojižní magistrála, procházející oblastí po Nuselském mostu, má hodnoty v buňkách výrazně vyšší, než zbytek oblasti. Nedá se říci, že vyšší hodnoty automaticky znamenají vyšší třídu silnice, ale za určité skladby vozidel a podmínek tomu situace může odpovídat. Ať se toto tvrzení prokáže či ne, bude získán relevantní zdroj informací o vytíženosti komunikací.

Vybrané buňky spojuji pomocí bufferu (angl. nárazník) neboli oblasti okolo zkoumaného prvku. Oblasti okolo sousedících buněk se překryjí a výsledkem je jeden velký polygon, který obaluje celou silniční síť v oblasti. Ne všechny buňky v oblasti jsou spolu sousedící, a tak se vytvoří několik oddělených polygonů. Vycházím z toho, že všechny komunikace jsou v silniční síti propojené, proto mi stačí vybrat jeden největší vytvořený polygon a ostatní smazat. Takto data vyčistím o další chybná data. Výsledný polygon je zobrazen v obrázku 27.



Obr. 27: Polygon vzniklý za pomoci bufferu

Polygon nyní nekopíruje osy jednotlivých komunikací, jako jsem se snažil v kapitole 4.3, ale obaluje lokace s vysokou hustotou bodů FCD. Tímto způsobem jsou ztraceny informace o přesné poloze os komunikací a další analýza polygonu již přesnost nezvýší. Přesto tuto metodu používám z důvodu její výpočetní nenáročnosti.

4.6.3 Finální tvorba sítě

Optimálním způsobem vytvoření silniční sítě z polygonu je využití středové linie polygonu – centerline. Ani po mnoha pokusech s nejrůznějšími softwary se mi nepodařilo tento způsob realizovat. Každý software měl specifické požadavky jak na tvar a velikost polygonu či na operační systém a speciální ovladače. Z tohoto důvodu jsem došel k řešení pouze pomocí rasterizace polygonu, zúžení polygonu a zpětného převedení do vektorové podoby.

Polygon převádím do rastrové podoby kvůli funkci, kterou obsahuje QGIS doplněk GRASS. Funkce **r.thin** v rastrovém obrázku ztenčí všechny vyskytující se jevy na šířku jedné buňky. Takto dosáhnu podobného výsledku, který bych dostal pomocí vytvoření středových linií polygonu. Vytvořený rastr následně převedu zpět do vektorového formátu pomocí GRASS funkce **r.to.vect**, který z rastrové buňky převede na vektorové linie. Výsledek je zobrazen v obrázku 28.



Obr. 28: Silniční síť vytvořena pomocí QGIS GRASS

Jak je z obrázku 28 patrné, linie vytvořené silniční sítě příliš komunikaci nekopírují. Linie jsou nerovné a často se výrazně odchyľují od os komunikací. Původce těchto nesrovnalostí je GRASS funkce **r.thin**. z důvodu, že tato funkce pracuje jako black box (černá skříňka) bez jakékoliv možnosti nastavení. Tento problém přetrvává a řešením je nalézt jiný způsob, jak vytvořit středové linie polygonu.

Při výše zmíněném postupu také dochází ke ztrátě všech atributů, které byly jednotlivým vektorovým buňkám mřížky přiřazeny. Řešením může být dodatečné ohodnocení linií sítě.

Závěr

Floating car data jsou kromě již známějších využití novým zdrojem dat pro automatizovanou tvorbu prostorových objektů. Cílem této práce bylo zjistit, jaké objekty s jakými vlastnostmi a atributy lze z FCD vytvořit. Následně jsem vytvořil vlastní řešení a návrhy řešení pro vybrané výstupy.

V prvních kapitole jsem se věnoval způsobu, jakým funguje GPS, které poskytuje informaci o poloze. Shrnujím základní principy této technologie z důvodu poznání problematiky nepřesnosti určení polohy touto metodou. Následně jsem popsal samotné FCD, které jsem získal od společnosti SECAR BOHEMIA a.s. Data jsem analyzoval, mimo jiné jsem zkoumal vlastnosti jejich atributů. Rovněž jsem krátce popsal standardní způsob zpracování FCD.

K účelu generování GIS objektů je třeba znalosti GIS systémů, souřadných systémů nebo typů datových modelů, jimž jsem se věnoval ve třetí kapitole. Vlastní generování se provádí pomocí prostorových analýz. Prostorové analýzy použité v této práci jsou v této kapitole popsány.

Před samotnou tvorbou návrhového řešení pro generování GIS objektů jsem si stanovil množinu výstupů, které lze analýzou FCD získat. Tento výčet obsahuje objekty, které jsem po průzkumu dostupné literatury a vlastním zamyšlení určil jako reálné po dalším výzkumu získat. Je možné, že některé výstupy by nebylo možné po bližším zkoumání v požadované kvalitě vygenerovat a naopak mnou nezmíněné výstupy by bylo poměrně snadno možno dosáhnout. Tento výčet výstupů je třeba podrobit dalšímu zkoumání způsobem tvorby programových řešení k jednotlivým výstupům.

Z důvodu rozsahu práce jsem si z výčtu vybral několik výstupů, kterých jsem se snažil dosáhnout. Prvním je tvorba linie shodující se s osou reálné komunikace neboli vytvoření modelu této komunikace. K tomuto řešení jsem použil analýzu bodů blízkého okolí a posouvání této lokace ve stanovených krocích. Pokud data nevykazují velké anomálie, algoritmus pracuje bezchybně. Při nízké hustotě FCD bodů v oblasti či jejich velké chybovosti není výsledek uspokojivý.

Podobným způsobem jsem vytvořil linii rychlostní komunikace s tím rozdílem, že programové řešení rovněž zaznamenává jednotlivé pásy rozdělené středovým pásem. Na dálnicích tento algoritmus pracuje bezchybně z důvodu velkého množství dat a jejich minimální chybovosti. Absence dat v tunelech není v této práci vyřešena a tak úseky rychlostních silnic v tunelech nejsou tímto řešením zaznamenány.

Dále jsem se zabýval detekcí polohy křížení komunikací. Navrhl jsem dvě metody, kdy první pouze detekuje polohu křížení, druhá i určuje, kolik ramen dané křížení obsahuje. U obou

metod je třeba nastavit práh, od kterého se rozlišuje detekce ramene od chyb v datech. Přesné určení křížení je tedy problematické a práh je třeba testováním určit pro každý set dat nový.

Stanovení počtu pruhů na rychlostní silnici je výstup, ke kterému jsem navrhl způsob řešení, ale dále jsem se programovému řešení nevěnoval. Jedná se o velice užitečnou informaci a je třeba dalšího zkoumání.

Po vytvoření jednotlivých linií je třeba do datového modelu obsáhnout celou silniční síť v oblasti. První řešení je snaha v oblasti vytvořit co nejvíce jednoduchých linií, jejichž sloučením by se dosáhlo vytvoření celého modelu. Metoda je výpočetně náročná a šance obsažení všech komunikací v oblasti modelem je nízká. Druhou metodou je vytvoření sofistikovaného procházení oblasti za pomoci postupného zaznamenání všech křížení v oblasti. Metoda je velice rychlá, přesná a výpočetně nenáročná. Nepodařilo se mi však, aby algoritmus pracoval přesně podle mých představ, a je třeba další výzkum.

V posledních odstavcích práce jsem se věnoval tvorbě modelu za pomoci GIS systému QGIS a jeho doplňků. Pomocí rasterizace vektorových objektů a následné vektorizace jsem dosáhl vytvoření modelu celé silniční sítě. Tato metoda je jistě nejrychlejší a pomocí atributů určující rastr i nejzajímavější z hlediska hledání jevů na silniční síti, jako například lokace rizikových úseků s proměnlivou rychlostí vozidel. Vytvořená síť, bohužel, postrádá přesnou shodu s reálnou silniční sítí z důvodu jednoho mezikroku při tvorbě modelu. Problém si žádá další výzkum.

Tato práce nabízí několik řešení, jak generovat GIS objekty z FCD. Některá řešení produkují uspokojující výstupy, u jiných je třeba dalšího výzkumu. Zdroj dat, jako je FCD, musí být dále zkoumán a je třeba hledat jeho další uplatnění v široké oblasti silniční dopravy.

Seznam použitých zdrojů

- [1] VOŽENÍLEK, Vít. 1999. Aplikovaná kartografie. In: Aldebaran Bulletin. Univerzita Palackého: Olomouc.
- [2] KVAPIL, Jiří. 2005. Kosmický segment GPS a jeho budoucnost. In: Aldebaran Bulletin. s. 11-21. 2. Dostupné také z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php
- [3] KAPLNA, V, K KEPRTOVÁ, M KONEČNÝ, Z STACHOŇ a K TAJOVSKÁ. Kartografie a Geoinformatika - multimediální učebnice [online]. Geografický ústav PŘF MU Brno [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://oldgeogr.muni.cz/ucebnice/kartografie/>
- [4] BERGMANN. 2006. Jak funguje GPS? Svět hardware [online]. [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/jak-funguje-gps/21826-5>
- [5] TURKSMA, S. 2000. The various uses of floating car data. In: Conference on Electricity for Materials Processing and Conservation. London: IET, s. 51 - 55.
- [6] HOU, Yi-dong. 2012. Study on the acquisition accuracy and applicability of the floating car data in urban city. In: Electrical & Electronics Engineering (EEESYM), 2012 IEEE Symposium. Kuala Lumpur: IEEE, s. 751 - 754.
- [7] ZUYUN, Wang. 2009. A Quick Map-Matching Algorithm by Using Grid-Based Selecting. In: International workshop on education technology and training. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, s. 306 - 311.
- [8] TOLLINGEROVÁ, Dana. 1996. GIS: geografické informační systémy. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [9] KOMÁRKOVÁ, Jitka a Hana KOPÁČKOVÁ. 2005. Geografické informační systémy pro kombinovanou formu studia. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice.
- [10] KOLÁŘ, Jan. 2003. Geografické informační systémy 10. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT.
- [11] Ceník GISoft a Bentley Systems. 2015. GISoft [online]. [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/Hlavni/Cenik>
- [12] ZHU, Tongyu. 2012. An approach to detect left-turn forbidden intersection using taxi trajectories. In: ITS Telecommunications (ITST), 12th International Conference. Taipei: IEEE, s. 658 - 662.
- [13] ZHAO, Yue. 2011. A new method of road network updating based on floating car data. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International. Vancouver, BC: IEEE, s. 1878 - 1881.

Seznam obrázků

Obr. 1: Princip trilaterace [4]	9
Obr. 2: Přenos FCD	11
Obr. 3: CSV soubor	12
Obr. 4: FCD zobrazené portálem mapy.cz	14
Obr. 5: Rastrové zobrazení části povrchu Země	17
Obr. 6: Oblasti zkoumání, mapový podklad z mapy.cz.....	22
Obr. 7: Pročištění relace	24
Obr. 8: Hustotní diagram a histogram FCD ve výřezu oblasti.....	25
Obr. 9: Body osy komunikace	27
Obr. 10: Linie komunikace	28
Obr. 11: Hustotní diagram a histogram směrů z FCD ve výřezu oblasti směrově rozdělené komunikace	29
Obr. 12: Body jednotlivých pásů a osy komunikace	30
Obr. 13: Body jednotlivých pruhů na komunikaci bez oddělovacího pásu	30
Obr. 14: Lokace křížení metodou existence dalšího směru	31
Obr. 15: Distribuční funkce s vrcholy.....	32
Obr. 16: Vytvořená linie s pruhy a křížením, mapový podklad z maps.google.com	33
Obr. 17: Vytvořená linie s pruhy, mapový podklad z maps.google.com.....	34
Obr. 18: Křivky distribučních funkcí polohy FCD bodů jednoho jízdního pásu	35
Obr. 19: Počáteční body linií	36
Obr. 20: Silniční síť vytvořena z jednoduchých linií	38
Obr. 21: Silniční síť vytvořena z jednoduchých linií po deseti opakování.....	39
Obr. 22: Tvorba křížení	41
Obr. 23: Model silniční sítě vytvořený hledáním křížení	42
Obr. 24: Mřížka zobrazující hustotu FCD bodů	43
Obr. 25: Mřížka zobrazující hustotu FCD bodů	44
Obr. 26: 3D zobrazení hustotní mřížky.....	45
Obr. 27: Polygon vzniklý za pomoci bufferu	46
Obr. 28: Silniční síť vytvořena pomocí QGIS GRASS	47

Seznam příloh

1. Obsah cyklu k výpočtu osy jízdního pásu (1 strana)
2. Tvorba rastru (2 strany)
3. Linie rychlostní komunikace (3 strany)
4. Síť pomocí detekce křížení (4 strany)
5. Stanovení počtu pruhů (2 strany)
6. Síť z jednoduchých linií (3 strany)