

SLOVENSKÁ ŠTATISTIKA a DEMOGRAFIA

SLOVAK STATISTICS
and DEMOGRAPHY

1/2024

ročník/volume 34

Recenzovaný vedecký časopis so zameraním na prezentáciu moderných štatistických a demografických metód a postupov.

Scientific peer-reviewed journal focusing on the presentation of modern statistical and demographic methods and procedures.

Článok/Article: 8

Typ článku/Type of article: informatívny článok/informative article

Strany/Pages: 77 – 92

Dátum vydania/Publication date: 15. január 2024/January 15, 2024



Informatívny článok/Informative article

Martin ŠVEDA

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Geografický ústav SAV v. v. i.

MOBILNÁ SIETĚ AKO PERSPEKTÍVNY ZDROJ INFORMÁCIÍ O PRIESTOROVOM ROZMIESTNENÍ A MOBILITE POPULÁCIE

MOBILE NETWORK AS A PROSPECTIVE SOURCE OF INFORMATION ON THE SPATIAL DISTRIBUTION AND MOBILITY OF THE POPULATION

ABSTRAKT

Mobilné zariadenia sa stali všadeprítomnou a neoddeliteľnou súčasťou nášho každodenného života. Ich prostredníctvom zanechávame čoraz presnejšie a rozmanitejšie digitálne stopy. Príspevok predstavuje základné vlastnosti údajov z mobilnej siete v kontexte ich spracovania pre potreby sledovania rozmiestnenia a mobility populácie. Principiálne môžeme údaje z mobilnej siete rozdeliť do dvoch skupín, na pasívne a aktívne. Práve prvé menované majú značný potenciál pre exploratívny výskum v oblasti časovo-priestorového správania populácie, keďže pri použití vhodného spracovania dokážeme z miliónov záznamov v mobilnej sieti vyťažiť významnú informáciu o pravidelných lokalizáciách značnej časti populácie.

ABSTRACT

Mobile devices have become a ubiquitous and integral part of our daily lives. Through them, we leave increasingly precise and diverse digital footprints. This paper presents the fundamental characteristics of mobile network data during their processing for the purpose of analyzing population distribution and mobility. As a matter of principle, mobile network data can be categorized into two groups: passive and active. The former has significant potential for exploratory research in the field of spatio-temporal behavior of the population, as by means of appropriate processing we can extract meaningful information about the regular localizations of a substantial part of the population from millions of records in the mobile network.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

mobilná sieť, lokalizácia, odhad populácie

KEY WORDS

mobile network, localization, population estimates

1. ÚVOD

Súčasná spoločnosť je viac ako kedykoľvek predtým tvorená tokmi ľudí, tovarov a informácií, avšak dáta, ktoré tieto toky zaznamenávajú, sú pre výskumníkov a výskumníčky často nedostupné. Príkladom sú údaje z mobilnej siete, ktoré majú jednu dôležitú predispozíciu: umožňujú analyzovať časovo-priestorové trajektórie prakticky na individuálnej úrovni a vo vysokom časovom a priestorovom detaile. Význam intrapersonálnej perspektívy pri štúdiu správania ľudí v čase a priestore sa v posledných rokoch zvýšil v dôsledku globalizácie, individualizácie a rozvoja mobilných technológií. Tieto zmeny zvýšili komplexnosť individuálnych časovo-

priestorových trajektórií [11, 16, 20]. Vo vyspelých krajinách už cesty súvisiace s prácou predstavujú približne pätinu všetkých ciest a približne štvrtinu celkovej vzdialenosti, ktorú ľudia precestujú, zatiaľ čo najväčší podiel ciest súvisí s voľným časom [28]. Ak chceme porozumieť fenoménu postmoderného sveta, potrebujeme porozumieť tokom, ktoré tento svet vytvárajú [4]. Je zrejmé, že konvenčné zdroje údajov nám ponúkajú len obmedzený pohľad a naše poznatky o časovom a priestorovom rozmiestnení obyvateľstva na subregionálnej úrovni sú stále veľmi obmedzené [26]. Vo veľkej miere sa spoliehame na desaťročné sčítanie obyvateľstva, ako aj na prieskumy, ktoré sa sporadicky vykonávajú v medzicenzovom období. Rozmiestnenie obyvateľstva je však veľmi dynamické so zásadnými zmenami počas dňa, ale aj v sezónnych cykloch. Tento nedostatok primeraného časového a geografického rozlíšenia konvenčných údajov môže viesť k nežiadúcim skresleniam, podhodnoteniam javov, alebo k neefektívnemu riadeniu [25]. V dôsledku toho sú potrebné nové prístupy k mapovaniu obyvateľstva, ktoré by dokázali rozšíriť naše poznanie o rozmiestnení a mobilite populácie.

Pre výskumníkov a výskumníčky v oblasti priestorových analýz je mobilná sieť zaujímavým zdrojom údajov predovšetkým vďaka možnosti poskytovania údajov o priestorovej a časovej lokalizácii veľkého množstva používateľov. Pre pochopenie toho, ako tieto údaje vznikajú a ako sa dajú analyticky využiť sa v príspevku oboznámime so základnými princípmi prevádzky mobilnej siete a možnosťami lokalizácie mobilných zariadení.

2. MOBILNÁ SIETĚ

Mobilná celulárna (bunková) sieť (ďalej len „mobilná sieť“) je rádiová telekomunikačná sieť, ktorá poskytuje bezdrôtovú konektivitu na rozsiahlom území a je zabezpečovaná veľkým počtom základňových staníc (antén), ktoré poskytujú pokrytie signálom komunikačným zariadeniam, najčastejšie mobilným telefónom (ale aj tabletom, autám či iným prístrojmi). Za uplynulé tri desaťročia sa technológia mobilnej komunikácie progresívne rozvíjala podľa rôznych medzinárodných štandardov, ktoré neboli vždy kompatibilné vo všetkých regiónoch sveta. Prvé generácie mobilných sietí vznikli v 80. rokoch v rámci národných systémov (Japonsko, USA) s obmedzenou medzinárodnou kompatibilitou. Skutočne celosvetový rozvoj zaznamenala mobilná komunikácia až v 90. rokoch so zavedením štandardu GSM (*Global System for Mobile Communications*) vyvinutým Európskym inštitútom pre telekomunikačné normy (ETSI). GSM tak predstavoval už druhú generáciu (2G) mobilných sietí a od svojich predchodcov sa výrazne líšil v tom, že obidva kanály, signalizačný aj hlasový, sú digitálne. Univerzálnosť tohto technologického štandardu prispela k jeho masívnemu rozšíreniu do celého sveta. GSM nasledoval ďalší celosvetový štandard UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), ktorý predstavoval už tretiu generáciu (3G) a umožňoval využívanie mobilnej siete na multimediálne služby (internet, video-stream). Štvrtá generácia (LTE – *Long Term Evolution*) bola v Európe zavedená od roku 2011 s cieľom splniť požiadavky nových konceptov komunikačných sietí, vrátane internetu vecí (*internet of things*), inteligentného riadenia miest (*smart cities*) či dopravných sietí. V súčasnosti sme svedkami postupného zavádzania už piatej (5G) generácie mobilnej siete, ktorá reaguje na čoraz väčší dopyt po rýchlom prenose veľkých objemov dát.

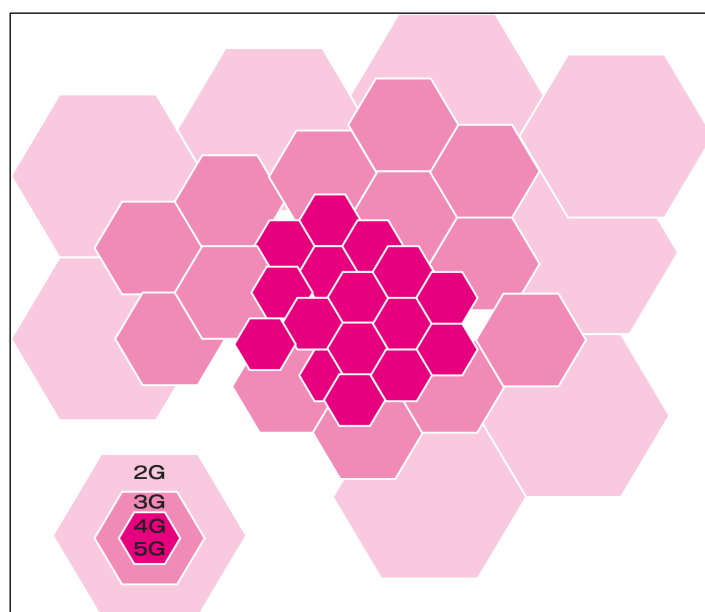
Mobilná sieť je štruktúrovaná prostredníctvom základňových staníc (antén) do jednotlivých buniek (odtiaľ *cellular network*, *cell-phone* a pod.), ktoré sú v priestore

rozmiestnené na základe koncentrácie používateľov (prevažne dennej koncentrácie) a s ohľadom na členitosť reliéfu a infraštruktúru (najmä nadradenú cestnú sieť alebo železnice). Základňová stanica, angl. *Base Transceiver Station* (BTS), je teda základnou konštrukčnou jednotkou mobilnej siete a na území Slovenska sa ich nachádzajú tisíce.

Územie pokrytia signálom reprezentuje vyžarovací polygón, ktorý predstavuje mnohostranný plošný útvar opisujúci pokrytie signálom práve jednej BTS bunky. Vyžarovací polygón spravidla nevytvára spojitú a kompaktnú plochu, ktorú by sme mohli definovať prostredníctvom jednoduchšej geometrie. V realite ide o zložitý polygón (prípadne multipolygón), ktorého podobu ovplyvňuje výkon vysielača, smerovanie, druh použitej technológie (frekvencie) a prekážky obmedzujúce šírenie signálu. V praxi ide najmä o reliéf (pohoria, údolia) a charakter zástavby.

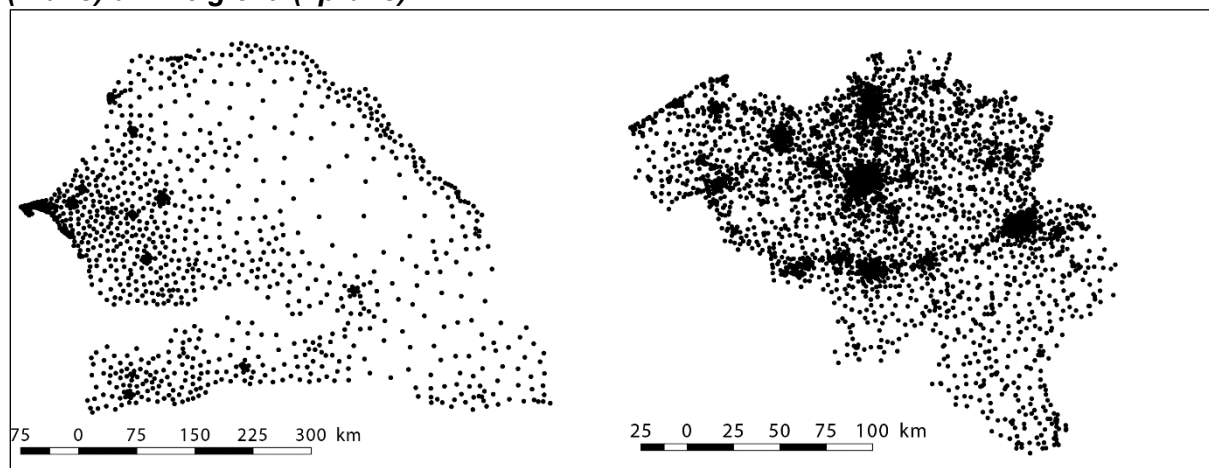
Každá BTS dokáže obslúžiť obmedzený počet používateľov mobilnej siete. Z dôvodu bezproblémovej prevádzky sa bunky mobilnej siete prekrývajú, aby v prípade potreby dokázali poskytnúť kapacitu väčšiemu počtu používateľov. Kapacita úzko súvisí s technológiou, ktorá sa na danej BTS používa. Jednotlivé technológie sa označujú zjednodušene ako 2G, 3G, 4G, 5G a pod. Písmeno G označuje pojem „generácia“. Mobilnú sieť tak tvorí viacero sietí rôznych generácií. Vo všeobecnosti pritom môžeme povedať, že vysoko urbanizované časti územia sú pokryté prevažne menšími bunkami novších generácií mobilnej siete (4G/5G), pričom s narastajúcou vzdialenosťou od miest sa hustota buniek mobilnej siete znižuje spolu s narastajúcou veľkosťou ich vyžarovacích polygónov (obrázok č. 1). Priestorová granularita mobilnej siete sa teda pohybuje od desiatok metrov (v nákupných centrách, letiskách a pod.), cez stovky metrov (v mestských oblastiach) až po desiatky kilometrov (na vidieku), v závislosti predovšetkým od hustoty zaťaženia, ako aj od intenzity dopravy. Na architektúru mobilnej siete však vplýva aj ekonomická vyspelosť krajiny a rôzne regionálne či národné špecifiká (obrázok č. 2).

Obrázok č. 1: Schéma pokrytia územia rôznymi generáciami mobilnej siete v mestskom regióne



Zdroj: vlastné spracovanie autora

Obrázok č. 2: Priestorové rozmiestnenie základňových staníc mobilnej siete v Senegale (vľavo) a v Belgicku (vpravo)



Zdroj: [17]

3. PRIESTOROVÁ LOKALIZÁCIA S VYUŽITÍM ÚDAJOV MOBILNEJ SIETE

Na základnej úrovni môžeme rozlíšiť dva spôsoby priestorovej lokalizácie s využitím mobilnej siete: 1) *sieťová lokalizácia* je výsledkom základných technických daností prevádzky mobilnej siete a je založená na granularite infraštruktúry (veľkosť buniek vyžarovacích polygónov) a potreby zbierania údajov o aktivite mobilného zariadenia. Lokalizácia mobilného telefónu vzniká ako „vedľajší produkt“ fungovania mobilnej komunikácie, keďže údaje sú generované primárne pre potreby prevádzky mobilnej siete; 2) *lokalizácia prostredníctvom služieb priestorovej lokalizácie* je založená na funkcionalite mobilných aplikácií, ktoré používajú polohu mobilného telefónu (napr. prostredníctvom lokalizácie *Assisted-GPS*). Okrem zabezpečenia funkcionality danej aplikácie (napr. navigácia) sa tieto údaje využívajú aj na marketingové účely (ponuka služieb zohľadňujúca polohu používateľa).

Pri druhom spôsobe je informácia o polohe explicitnou súčasťou údajov a ich využiteľnosť na geografické analýzy je tak prirodzene priamočiara. Pri využití *sieťovej lokalizácie* je extrahovanie polohy používateľa mobilnej siete náročnejšie a prináša viaceré metodické a konceptuálne výzvy, na ktoré doposiaľ odborný diskurz nepriniesol jednoznačné riešenia. V ďalšej časti sa budeme venovať výlučne využitiu údajov v sieťovej lokalizácii, keďže ich spracovanie pre potreby priestorových analýz vytvára mnohé technické a metodické výzvy, no zároveň prináša potenciálne veľmi vysoký prínos pre spoločensko-vedný rozvoj.

Princíp sieťovej lokalizácie v mobilnej sieti je prirodzenou nadstavbou základných vlastností mobilnej komunikácie. Z priestorového pohľadu môžeme územie rozdeliť do buniek, ktoré obsluhujú jednotlivé antény mobilnej siete. Každá anténa je schopná pokryť určité územie a obslúžiť určitý počet zákazníkov. Identifikačné údaje o aktuálne využívanej anténe, ako aj ďalšie doplnkové informácie, môžu byť využité pre určenie približnej polohy používateľa mobilného zariadenia. Tieto lokalizačné údaje sú prirodzenou súčasťou mobilnej komunikácie, keďže identifikácia základňových staníc (BTS), s ktorými komunikuje mobilný telefón, je nevyhnutná pre samotné fungovanie mobilnej siete. Lokalizačné údaje, ktoré môžeme získať prostredníctvom sieťovej lokalizácie, principiálne rozdeľujeme na aktívne a pasívne [2]. Kým pri pasívnom type ide o využitie existujúcich záznamov v systéme mobilného operátora, pri aktívnom type

sa záznam vytvára na základe konkrétneho dopytu a s využitím špecializovaného softvéru.

Pasívne lokalizačné údaje sú digitálne „stopy“, ktoré zanecháva mobilné zariadenie na infraštruktúre mobilnej siete. Tieto záznamy vznikajú buď pre potreby vyúčtovania hovorov, SMS a pod., alebo sú dôsledkom pravidelných aktualizácií polohy zariadenia v mobilnej sieti. Vzhľadom na skutočnosť, že k údajom o aktivite mobilného zariadenia vieme priradiť nielen približnú polohu (konkrétnu bunku mobilnej siete), ale aj niektoré základné informácie o používateľovi (vek, pohlavie či fakturačná adresa), získavame bohatú databázu, ktorej využitie (pri zachovaní anonymity používateľov, resp. pri čiastočnom agregovaní údajov) prináša nesmierne cenný zdroj údajov. Príkladom môže byť využitie pravidelnej dennej a nočnej lokalizácie používateľov, ktoré vytvárajú základnú kostru ich každodenných aktivít [3]. Údaje o koncentrácii dennej a nočnej lokalizácie nám umožňujú nielen spresniť priestorovú distribúciu obyvateľstva (napr. koľko ľudí býva v danom meste/v blízkosti nákupného centra a pod.), ale aj extrahovať údaje o predpokladanej priestorovej mobilite (napr. koľko ľudí dochádza do mesta/do nákupného centra). Pasívne lokalizačné údaje sa tak stávajú cenným zdrojom informácií pre dopravné modely [19], urbánne plánovanie [5, 29] či v manažmente krízových udalostí [15].

Principiálne rozoznávame dva typy pasívnych lokalizačných údajov z mobilnej siete: 1) *signalizačné dáta* slúžia na zabezpečenie prevádzky mobilnej siete; 2) záznamy zachytávajúce aktivitu mobilného zariadenia (*call-detail-records*) slúžia primárne na vyúčtovanie služieb používateľovi mobilnej siete.

Signalizačné dáta (*signalling data, ping data*) sú automaticky generované záznamy, ktoré produkuje mobilná sieť pri pravidelných kontrolách pripojených zariadení. Jednotlivé BTS stanice v pravidelných intervaloch (definovaných oblasťou/operátorom) vysielajú signál na všetky dostupné a prihlásené zariadenia. Na základe ich polohy a vyťaženia siete sa určí, ktorá BTS stanica bude konkrétnemu zariadeniu poskytovať signál, čím sa zabezpečuje čo najlepšie pokrytie pre každé zariadenie v dosahu. Prednosť má pritom pripojenie k anténe s novšou technológiou prenosu pred intenzitou signálu. Tieto dáta vznikajú bez interakcie používateľa či používateľky so zariadením. SIM karta vygeneruje záznam pri každej zmene BTS stanice, čím sa vygenerujú desiatky až stovky záznamov denne. Vzhľadom na veľký počet takýchto záznamov a rozličné technické špecifiká je ich spracovanie pomerne náročné. Keďže sa tieto údaje priebežne prepisujú, je ich zber potrebné realizovať v reálnom čase a na pozadí sieťových operácií [26]. Ich praktické využitie v analýzach bolo dosiaľ obmedzené, hoci sa už objavili prvé pionierske počiny [31, 32]. Môžeme však predpokladať, že ich význam v priestorových analýzach bude narastať. Dôvodom sú zmeny vo využívaní mobilného telefónu. Kým v minulosti sme ho využívali najmä na volania a SMS správy, v súčasnosti toto využitie ustupuje v prospech dátových služieb (sociálne siete, okamžitá komunikácia a pod.) a pasívnemu využívaniu telefónu (napr. rôzne notifikácie v aplikáciách si nevyžadujú aktívnu interakciu).

CDR dáta (*call-detail-records*) sú záznamy, ktoré vznikajú pri akejkolvek aktivite mobilného telefónu (SIM karty) s mobilnou sieťou. Za takéto aktivity považujeme uskutočnený/prijatý (neprijatý) hovor, doručenie/zaslanie SMS či dátový prenos. CDR záznam teda nevzniká automaticky, ale výlučne pri aktivite telefónu (SIM karty).

Takýchto záznamov preto existuje principiálne menej než pri signalizačných dátach. Počas bežného dňa SIM karta vygeneruje rádovo desiatky CDR záznamov. Vďaka relatívne jednoduchému spracovaniu (anonymizácia) a dostupnosti (vznikajú pre potreby vyúčtovania používateľov) patria tieto údaje k najčastejším zdrojom v rozmanitých priestorových analýzach [26]). Literatúra poskytuje viacero príkladov úspešnej aplikácie CDR záznamov. Napr. Deville a kol. [10] preukázali, že údaje z mobilnej siete môžu poskytovať presné a finančne dostupné mapy rozmiestnenia populácie na národnej úrovni. Podobne Csáji a kol. [9] dokumentovali silnú koreláciu medzi údajmi z cenzu a CDR dátami na regionálnej úrovni. Rozsiahly prehľad literatúry k využitiu CDR údajov ponúkajú Blondel a kol. [6].

Kým pri pasívnej lokalizácii vychádzame z databázovej infraštruktúry prevádzkovateľa mobilnej siete (ide o anonymizované či agregované dáta), pri aktívnej lokalizácii vznikajú záznamy o polohe individuálneho mobilného zariadenia na základe cieleného lokalizačného dopytu a s využitím špecializovaného softvéru. Nevyhnutnou podmienkou záznamu je informovaný súhlas používateľa mobilného zariadenia a presne stanovené podmienky charakteru a dĺžky záznamu. Právne a etické zásady spojené s aktívnou lokalizáciou diskutuje Ahas a kol. [2], Dufková a kol. [12] či Novák [24], ktorí priniesli aj inšpiratívne pilotné sondy využívajúce aktívnu mobilnú lokalizáciu. Tento spôsob prekonáva základný nedostatok prevádzkových údajov mobilných sietí – záznamov o aktivite mobilného zariadenia, ktorých časové rozostupy (frekvencia záznamov) neumožňujú presné určenie polohy používateľa počas dňa. Pomocou aktívnej lokalizácie je možné doplniť polohu používateľa aj o konkrétne aktivity, ktoré v lokalite vykonáva. Vznikajú tak nesmierne cenné údaje, ktoré do veľkej miery môžu nahradiť tradičné zdroje údajov (dotazníky, časovo-priestorové denníky) na behaviorálny výskum či rôzne prístupy v rámci geografie času (podrobnejšie [30]). Je však potrebné zdôrazniť, že spracovanie údajov z aktívnej lokalizácie si vyžaduje špecifické výpočtové (hardvérové) kapacity, ako aj finančné náklady. V súčasnosti je aktívna lokalizácia skôr marginalizovaným spôsobom využitia mobilnej infraštruktúry. Príkladom je štúdia realizovaná v metropolitnom území mesta Boston na vzorke 1 mil. používateľiek a používateľov mobilnej siete [7]. Pri každej aktivite mobilného zariadenia bola na základe triangulácie odhadnutá poloha používateľa v bunke mobilnej siete. Tým sa dosiahla vyššia priestorová presnosť, vďaka čomu bolo možné sledovať mobilitu obyvateľov v porovnateľnom rozlíšení, aké umožňujú tradičné metódy zberu údajov (napr. prostredníctvom cenzu).

4. URČENIE POLOHY MOBILNÉHO ZARIADENIA S VYUŽITÍM SIEŤOVEJ LOKALIZÁCIE

Na využití údajov z mobilnej siete výskumníkov a výskumníčky asi najviac priťahuje práve ich schopnosť poskytnúť údaje o (približnej) lokalizácii používateľov. Tento atribút má ďalekosiahle možnosti využitia, je však potrebné si uvedomiť, že pokiaľ nepoužívame údaje z aplikácií v samotnom mobilnom zariadení (využívajúce GPS lokalizáciu), záznam o polohe nie je štandardnou súčasťou surových údajov z mobilnej siete a môžeme sa k nemu dopracovať len prostredníctvom aproximácie.

Určenie polohy mobilného zariadenia v sieťovej lokalizácii prebieha takto. Zariadenie s aktívnou SIM kartou sa pripája na BTS stanicu. Zvyčajne ide o najbližší vysielateľ, nemusí to však byť pravidlom. Niektoré BTS stanice totiž slúžia na prenos dát (napr. 4G bunky), iné na prenos hovorov (2G/3G). Sieť zároveň autonómne distribuuje signál všetkým pripojeným zariadeniam podľa svojho vyťaženia. Ak je teda

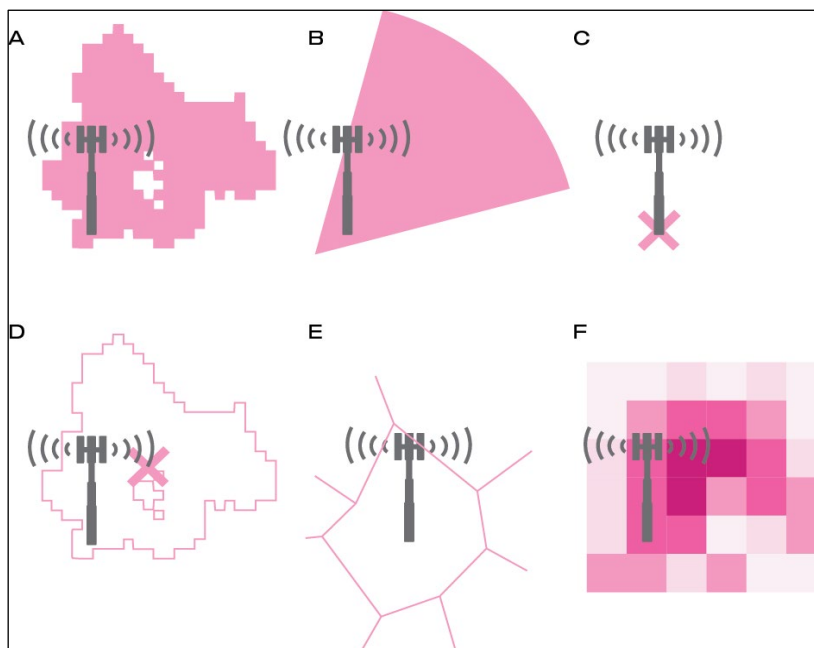
niektorá bunka preťažená, pošle časť zariadení na inú bunku. Práve organické zmeny buniek mobilnej siete (tzv. *handover*) môžu vytvárať zdanlivý pohyb SIM karty, hoci jej poloha je statická. Pri časových agregátoch tento problém zaniká, keďže sa pre danú časovú jednotku (napr. hodinu) vyberá bunka s najväčším počtom záznamov, resp. bunka, kde mobilné zariadenie strávilo najdlhší čas.

Každá bunka distribuuje signál rôznej intenzity a rôznymi smermi. Plochu, ktorú ožaruje nazývame vyžarovací polygón (*cell coverage area, service area*) a vždy ide o nepravidelný útvar, ktorého tvar je výsledkom smerovania a intenzity signálu, ako aj charakteru prírodných podmienok (najmä reliéfu, zástavby, vegetácie a iných prekážok). Z uvedených vlastností základných stavebných prvkov mobilnej siete vyplýva, že tvar a plocha záberu vyžarovacieho polygónu sa môže meniť v rôznych podmienkach. Ako teda pracovať s priestorovým ukotvením vyžarovacieho polygónu? V praxi máme niekoľko možností (obrázok č. 3):

- a) Použitie plochy vyžarovacieho polygónu. – Mobilný operátor pozná predpokladanú oblasť pokrytia každej bunky mobilnej siete. Len zriedka je však možné pracovať s presným tvarom vyžarovacieho polygónu, keďže v konkurenčnom prostredí viacerých mobilných operátorov ide spravidla o citlivú informáciu.
- b) Zjednodušený tvar vyžarovacieho polygónu. – Ďalšou možnosťou je odhadnúť oblasť pokrytia bunky mobilnej siete prostredníctvom základných parametrov konfigurácie antény, ako je výška antény, výkon a uhol pokrytia. Ani tento typ geo-referencovaných údajov však nebýva bežne k dispozícii. Ako však preukázali Ricciato a kol. [26], vďaka podrobnejším informáciám o topológii mobilnej siete (použitie približných oblastí pokrytia namiesto jednoduchej polohy BTS) môžeme výrazne zvýšiť presnosť modelov založených na CDR údajoch.
- c) Poloha BTS. – Častejšou možnosťou je ignorovanie tvaru vyžarovacieho polygónu a využitie len polohy základňovej stanice. Tá je presne daná a v čase stabilná. Nevýhodou však je, že poloha antény sa spravidla nenachádza v priestorovom ťažisku vyžarovacieho polygónu. Dôvodom je skutočnosť, že výkon vyžarovacieho polygónu je často smerovaný jedným smerom, takže výsledný tvar má skôr charakter kruhového výseku, než kruhu či elipsy.
- d) Ťažisko vyžarovacieho polygónu. – Presnejšiu informáciu o polohe mobilného zariadenia nám môže poskytnúť ťažisko (*centre of gravity*) vyžarovacieho polygónu. Pri zjednodušení polygónu do bodu siete strácame časť informácie, no takýto prístup je optimálny nielen z hľadiska práce s citlivými polohovými údajmi, ale aj z dôvodu jednoduchšieho spracovania a výpočtov.
- e) Voroniové polygóny. – Často používaným riešením je zjednodušenie buniek mobilnej siete prostredníctvom *Voroniových (Thiessenových)* polygónov. V tejto metóde sa z bodových údajov polohy BTS vytvorí sieť polygónov, ktoré pravidelne pokrývajú územie. Nevýhodou je skutočnosť, že tvar výsledných polygónov sa môže zásadne líšiť od skutočného tvaru vyžarovacích polygónov, čo môže mať zásadný vplyv na presnosť lokalizácie mobilného zariadenia. Vo výsledku tak môžu byť odhady prítomného obyvateľstva (používateľov mobilných zariadení) značne pod- alebo nad-hodnotené [21].
- f) Pravdepodobnostný model pokrytia. – Poloha mobilného zariadenia v mobilnej sieti môže byť vyjadrená aj prostredníctvom pravdepodobnostného modelu, ktorý zohľadňuje vzdialenosť od jednotlivých BTS staníc (čím bližšie, tým je

väčšia pravdepodobnosť lokalizácie), ako aj prekryv jednotlivých buniek mobilnej siete.

Obrázok č. 3: Ilustrácia tvaru vyžarovacieho polygónu a rôzne možnosti jeho generalizácie



Poznámka: a) skutočný tvar vyžarovacieho polygónu, b) zjednodušenie vyžarovacieho polygónu do kruhového výseku, c) redukcia vyžarovacieho polygónu do bodu lokalizácie základňovej stanice (BTS), d) redukcia vyžarovacieho polygónu do jeho priestorového ťažiska, e) zjednodušenie buniek mobilnej siete prostredníctvom Voroniových (Thiessenových) polygónov, f) nahradenie tvaru vyžarovacích polygónov pravdepodobnostným modelom.

Zdroj: vlastné spracovanie autora

Poloha mobilného zariadenia (používateľa mobilnej siete) je limitovaná veľkosťou vyžarovacieho polygónu. Vieme teda, že ak je daná SIM karta pripojená ku konkrétnej BTS bunke, nachádza sa v danom vyžarovacom polygóne. Keďže intenzita mobilného signálu klesá so štvorccom vzdialenosti, môžeme predpokladať, že mobilné zariadenie bude pripojené k najbližšej BTS. Vzhľadom na veľkosť buniek mobilnej siete (stovky metrov až kilometre) je takáto presnosť lokalizácie často nedostatočná, najmä pri štúdiách v mikromierke lokalít. Pre väčšinu aplikácií pracujúcich v regionálnej mierke (napr. na úrovni miest, okresov či krajov) nie sú uvedené limity prekážkou.

Ako sme uviedli, jednotlivé bunky majú rôzny dosah v závislosti od použitej technológie mobilnej siete. Polygóny 2G buniek majú dosah v kilometroch, polygóny 4G buniek už len rádovo stovky metrov. Pri snahe o dosiahnutie vyššej presnosti priestorovej lokalizácie je možné z datasetu vylúčiť práve 2G bunky, ktoré zvyčajne slúžia iba na prenos hovorov. Takýto prístup je vhodný napríklad v urbanizovaných územiach s vysokým počtom BTS buniek novších generácií. Pri analýze vidieckych oblastí by však vyradenie 2G buniek mohlo zásadne redukovať objem záznamov, keďže vidiecka a prírodná krajina je pokrytá oveľa nižším počtom plošne väčších buniek. Riešením je rozdelenie územia do pravidelnej siete, kde je pre každú jednotku definovaný podiel pokrytia jednotlivých typov BTS staníc. Na jeho základe sa následne alokujú údaje o používateľoch a používateľkách mobilnej siete do uvedenej pravidelnej siete. Takýto postup prináša jednoduchý priestorový systém záznamov, ktoré môžeme agregovať do ľubovoľných väčších priestorových jednotiek. Popri skladbnosti je

výhodou aj prispôsobenie týchto záznamov iným zdrojom priestorových údajov (napr. údaje zo sčítania obyvateľstva agregované do priestorovej mriežky s veľkosťou 1 x 1 km). Rizikom tohto prístupu je použitie nevhodne zvolenej metódy interpolácie bodových (prípadne plošných) údajov z mobilnej siete do cieľových priestorových jednotiek. Nesprávne zvolená metóda interpolácie môže priniesť nežiaduce skreslenia, najmä v prípade menej urbanizovaného územia (podrobnejšie [1, 18]).

Poznanie distribúcie mobilných zariadení (používateľov mobilnej siete) v priestore a čase je základnou schopnosťou lokalizačných údajov sieťovej lokalizácie. Ďalším krokom spracovania týchto údajov je extrahovanie periodicky navštívených lokalít používateľov mobilnej siete a následná konštrukcia tokov medzi nimi.

5. KLASIFIKÁCIA POUŽÍVATEĽOV MOBILNÝCH ZARIADENÍ NA ZÁKLADE PRAVIDELNOSTI POBYTU V MOBILNEJ SIETI

Základnou informáciou, ktorú poskytuje lokalizácia v mobilnej sieti, je sledovanie statickej lokalizácie (pobytu) používateľov v priestore. Princiipiálne môžeme rozlíšiť dva typy pobytu:

- 2) Jednorazový pobyt mobilného zariadenia v lokalite je ohraničený časovým intervalom vstupu do danej bunky mobilnej siete (vytvorením záznamu) a výstupu (vytvorením záznamu v inej bunke mobilnej siete). Dĺžka pobytu v bunke mobilnej siete pritom nemusí zodpovedať skutočnej dĺžke pobytu používateľa.
- 3) Pravidelný (opakovaný) pobyt mobilného zariadenia v rámci lokality. Sledovanie opakovaných lokalizácií mobilného zariadenia v jednej bunke mobilnej siete (prípadne v lokalite vytvárajúcich viacero buniek) umožňuje identifikovať významné lokalizácie z hľadiska periodickej mobility populácie a filtrovať nerutinné (nepravidelné) lokalizácie v mobilnej sieti. Práve tento typ záznamu má osobitný význam pre spoločensko-vedné analýzy, keďže umožňuje identifikovať kotevné body a priradiť im predpokladaný význam z hľadiska každodenného života obyvateľov.

Pri identifikácii kotevných bodov z mobilnej siete môžeme rozlíšiť nasledujúce kategórie [3, upravené]:

- *Respondent*: Používateľ mobilného telefónu (anonymizovaný) vykonávajúci aktivity na mobilnej sieti.
- *Bunka pravidelnej lokalizácie*: Bunka mobilnej siete (vyžarovací polygón BTS), v ktorej sa respondent pripája na mobilnú sieť opakovane počas určitého obdobia (napr. 30 dní).
- *Bunka náhodnej lokalizácie*: Bunka mobilnej siete (vyžarovací polygón BTS), v ktorej mal respondent lokalizačný záznam iba raz za určité časové obdobie (napr. 30 dní).
- *Významné miesto*: Bunka pravidelnej lokalizácie, ktorej vieme priradiť určitý význam v každodennom živote respondenta.
- *Každodenný kotevný bod*: Bunka pravidelnej lokalizácie, v ktorej respondent vytvoril záznamy väčšinu dní pozorovania.
- *Kotevný bod domov/práca*: Každodenný kotevný bod, ktorý spĺňa zadané kritéria na určenie pravidelnej dennej/nočnej lokalizácie (napr. najväčší počet lokalizácií v čase od 9:00 do 15:00 hod.).
- *Multifunkčný kotevný bod*: Každodenný kotevný bod, ktorý spĺňa kritériá na identifikovanie kotevného bodu domov i kotevného bodu práca.

Uvedené kategórie sú len veľmi všeobecne definované a je potrebné ich spresniť vzhľadom na charakter údajov (CDR, signalizačné), priestorovú mierku a ciele analýzy. Často je potrebné uplatniť ďalšie kritériá, ktoré z datasetu vylúčia tých respondentov, ktorí majú malý alebo veľký počet záznamov (lokalizácií v bunkách mobilnej siete). V praxi môže ísť napr. o mobilné zariadenia vo firmách (call centrá, zákaznícka podpora a pod.) alebo krátkodobých návštevníkov daného územia.

Identifikovanie pravidelnej (dennej a nočnej) lokalizácie je súčasťou hľadania časovo-priestorových vzorcov pohybu používateľov mobilnej siete. Ide o širokú problematiku s množstvom prístupov (napr. v behaviorálnej geografii a geografii času) a aplikácií. Na rozdiel od tradičných nástrojov zberu údajov na zachytenie časovo-priestorových vzorcov pohybu obyvateľov (časovo-priestorové rozpisy – diáre, GPS trackovanie a pod.) lokalizácia s využitím mobilnej siete neposkytuje informácie o aktivitách, použitých dopravných prostriedkoch či sociálnom kontexte. Napriek tomu môžeme identifikovať niekoľko základných kategórií s predpokladanou interpretáciou.

Rezident: Jedno miesto pravidelnej lokalizácie v nočných hodinách môže identifikovať bydlisko používateľa mobilného zariadenia. Môže však ísť napríklad aj o pracovisko nočnej zmeny (najmä pri lokalizácii v priemyselných areáloch).

Pracujúci: Jedno miesto pravidelnej lokalizácie v denných hodinách môže identifikovať pracovisko používateľa mobilného zariadenia. Na rozdiel od rezidenčnej lokality miesto práce podlieha oveľa väčšej variabilite. Problémom môže byť už samotné určenie časti dňa, ktorá by mala špecifikovať pracovnú činnosť (práca na zmeny, na skrátený pracovný čas a pod.), nehovoriac o pracovných aktivitách, ktoré nie sú viazané na jedno miesto (poštové doručovateľky, vodiči, živnostníci a pod.).

Identifikácia rezidentov a pracujúcich je zvyčajne prvým a nevyhnutným krokom na určenie ďalších kategórií používateľov mobilnej siete:

Dochádzajúci do práce (školy): Pokiaľ sa denná lokalita nezhoduje s nočnou, môžeme daného používateľa identifikovať ako dochádzajúceho do práce alebo školy. Ak používateľ nie je v danom regióne identifikovaný ako rezident, môžeme uvažovať o interregionálnej alebo cezhraničnej dochádzke.

Odchádzajúci do práce (školy): Ak rezidentovi nevieme priradiť dennú lokalitu (ani jedna bunka mobilnej siete nemá dostatočný počet záznamov počas určenej časti dňa), je pravdepodobné, že svoje pracovné alebo vzdelávacie aktivity realizuje mimo sledovaného regiónu.

Tranzitujúci: Ak mobilnému zariadeniu nie je možné priradiť rezidenčnú či pracovnú lokalitu (nesplňuje stanovené podmienky, napr. počtu záznamov alebo dĺžky zotrvania v lokalite), no zároveň sa daná SIM karta viacnásobne objavuje v mobilnej sieti sledovaného územia, môžeme uvažovať o kategórii tranzitujúcich (napr. vodiči) či krátkodobých, no pravidelných, návštevníkov (napr. nakupujúci z iných regiónov).

Nezaradení používateľa mobilnej siete sú takí, ktorých mobilné zariadenie nespĺnilo kritériá ani jednej z predchádzajúcich kategórií. V praxi tieto záznamy väčšinou nevstupujú do analýz, keďže ich relevantná interpretácia je prakticky nemožná.

Odstránenie tohto dátového „šumu“ je častou, a vo svojej podstate nevyhnutnou súčasťou práce s údajmi typu *big data*.

Okrem uvedených základných kategórií môžeme uvažovať o ďalších kategóriách, ktoré by zodpovedali očakávaným priestorovým vzorcom správania a analytickým zámerom. Príkladom je snaha o identifikovanie používateľov mobilnej siete dochádzajúcich za službami či inými aktivitami (napr. voľný čas). Pri tomto zámere je potrebné definovať nielen čas lokalizácie (napr. poobedné hodiny), ale aj bližšie špecifikovať očakávané charakteristiky lokality (nákupné centrum, lesopark). Je zrejmé, že lokalita dochádzky za službami by mala byť rozdielna od dennej (pracovnej) lokality.

Údaje pochádzajúce z mobilnej siete sú relatívne sémanticky chudobné a poskytujú len obmedzené informácie o používateľoch, ktoré však nemusia zodpovedať skutočnému používateľovi mobilného zariadenia. Väčšinu doplnkových informácií môžeme identifikovať len prostredníctvom časových a priestorových vzorcov správania a využitím doplnkových podkladov (napr. krajinná pokrývka, dopravná infraštruktúra, funkčná štruktúra).

Mobilní operátori v praxi disponujú aj ďalšími doplnkovými charakteristikami používateľov a používateľiek mobilnej siete, ktoré umožňujú (v anonymizovanej a agregovanej podobe) štruktúrovať lokalizačné záznamy napríklad podľa fakturačnej adresy, pohlavia, veku, typu mobilného zariadenia či ďalších údajov, ktoré pochádzajú zo zmluvného vzťahu medzi používateľom a poskytovateľom telekomunikačných služieb (tabuľka č. 1). Napríklad spotreba mobilných dát alebo typ mobilného telefónu umožňuje zacieliť analýzu na špecifickú skupinu používateľov s očakávaným správaním v mobilnej sieti. Môžeme totiž predpokladať, že najnovšie mobilné zariadenia s vysokou spotrebou údajov bude využívať špecifická skupina používateľov (napr. mladí pracujúci s vyšším vzdelaním). Iným príkladom môže byť identifikácia sociálno-patologických javov prostredníctvom výberu tých používateľov mobilnej siete, ktorí neplatia načas faktúry a aktívne využívajú stávkovanie cez mobilný telefón.

Tabuľka č. 1: Štruktúra vybraných doplnkových údajov k lokalizačným údajom mobilnej siete

Údaje o používateľovi	vek, pohlavie, fakturačná adresa, typ užívateľa (privátny/biznis), štátna príslušnosť (na základe unikátneho čísla IMSI (<i>International Mobile Subscriber Identity</i>) obsahujúceho kód krajiny a kód mobilného operátora)
Využívanie mobilnej siete	typ mobilného zariadenia, spotreba údajov, typ využívanej služby (paušálu)
Využívanie rozmanitých služieb	využívanie tiesňových liniek, charitatívne príspevky, stávkovanie, hry, poistenie, parkovanie, verejná doprava a pod.
Finančné ukazovatele	forma platby za telekomunikačné služby, index bonity, index finančnej zodpovednosti
Cestovné návyky	počet dní strávených v zahraničí, navštívené krajiny (pripojenie cez roaming)

Zdroj: www.marketlocator.sk

6. POHYB V MOBILNEJ SIETI

Sieťová lokalizácia neumožňuje zaznamenávať reálny priestorový pohyb (trajektóriu) mobilného zariadenia. Nepriamo však môžeme pohyb odvodiť chronologickým pospájaním lokalizácií v jednotlivých bunkách mobilnej siete. Takto vytvorená trajektória však nemusí zodpovedať skutočnému pohybu používateľa. S využitím cestnej siete a modelovaním predpokladaných trajektórií sa môžeme viac priblížiť ku skutočnému pohybu používateľov, prípadne môžeme využiť informácie z reprezentatívnych prieskumov v aktívnej lokalizácii.

Pri sledovaní pohybu mobilného zariadenia je dôležité v čo najväčšej miere odlišiť skutočné pohyby od fiktívnych zmien polohy. Nereálne pohyby vznikajú viacerými spôsobmi. Jedno miesto býva spravidla pokryté signálom viacerých základňových staníc mobilnej siete (BTS). Pri pravidelnej aktualizácii polohy mobilného zariadenia, alebo pri jeho aktivite, môže dôjsť k zmene BTS bez toho, aby používateľ vykonal pohyb v priestore. Dôvodom môže byť zmena aktivity (hlasový hovor, dátový tok), naplnenie kapacity danej BTS alebo prepnutie na vysielateľ so silnejším signálom. V blízkosti štátnych hraníc nastáva často prepojenie mobilného telefónu na sieť mobilného operátora vo vedľajšej krajine. Výsledkom môže byť viacnásobný záznam na infraštruktúre mobilnej siete (minimálne jeden záznam pri zmene BTS), hoci priestorová poloha mobilného zariadenia ostala nezmenená (napr. pri pobyte na pracovisku, v domácnosti). Eliminácia týchto fiktívnych pohybov používateľa v mobilnej sieti nie je vôbec triviálna úloha. Odporúčaným riešením je použitie dlhšieho pozorovacieho času, vďaka ktorému sa fiktívne pohyby „vyhladia“.

7. OCHRANA OSOBNÝCH ÚDAJOV

Pri spracovaní údajov z mobilnej siete má ochrana osobných údajov veľmi dôležité postavenie. Znalosť polohy individuálneho používateľa alebo identifikácia jeho pravidelne navštevovaných lokalít (domov, práca) predstavujú neakceptovateľný zásah do súkromia [3, 8]. Nejde však len o poznanie priestorovej lokalizácie. Analýzou smerovania hovorov možno skonštruovať sociálnu sieť jednotlivca, či dokonca analyzovať jeho osobnosť [23].

Na ochranu súkromia používateľov mobilnej siete sú údaje vždy anonymizované, t. j. všetky osobné údaje, ako je meno, adresa, telefónne číslo atď., sú buď odstránené z databázy, alebo nahradené náhodne generovaným číslom, aby sa predišlo identifikácii. Aj v prípade, ak sú individuálne údaje agregované, je potrebné venovať zvýšenú pozornosť vždy, keď sa tieto údaje analyzujú a vizualizujú mimo prostredia prevádzkovateľa mobilnej siete. Kľúčovým právnym rámcom v Európskej únii je nariadenie o ochrane osobných údajov (*General Data Protection Regulation* – GDPR). Hoci prácu s individuálnymi záznamami vylučujú právne normy, samotní prevádzkovatelia mobilnej komunikácie majú často vnútorné smernice nastavené ešte prísnejšie. Strata dôvery zákazníkov zvyčajne oveľa prevyšuje potenciálny profit vyplývajúci z monetizácie lokalizačných údajov.

Ochrana osobných údajov prináša pre výskumníkov a výskumníčky analyzujúcich údaje z mobilnej siete viacero výziev. Kľúčovým problémom je nájdenie takého prístupu, ktorý umožňuje analyzovať napr. priestorové rozmiestnenie populácie alebo dochádzkové toky bez toho, aby bolo možné identifikovať akékoľvek individuálne údaje. V praxi ide najmä o prácu s malými sídlami (s nízkym počtom rezidentov) alebo s malými („jednotkovými“) tokmi. Pokiaľ nechceme o tieto údaje prísť, jedným z riešení

je využitie diferenciálnej anonymizácie, ktorá pridáva k pôvodným hodnotám náhodný šum (*random noise*). Potrebné množstvo „šumu“ je riadené parametrom epsilon, ktorý možno odvodiť z pravdepodobnosti, či je možné identifikovať prídanie alebo vynechanie akýchkoľvek individuálnych údajov z datasetu. Podrobnejšie sa tejto problematike venujú Dwork a Roth [13] a Ruggles a kol [27].

Dôslednú anonymizáciu údajov z mobilnej siete nemôžeme podceňovať. Hoci by sa mohlo zdať, že z miliónov záznamov nie je možné identifikovať konkrétnu osobu, nie je to tak. Pri štúdiu, ktorá spracovala CDR záznamy 15-mesačného pozorovania [23], sa preukázalo, že prostredníctvom štyroch náhodne zvolených záznamov konkrétneho používateľa dokážeme identifikovať až 95 % používateľov mobilnej siete. Dôsledné rešpektovanie ochrany súkromia je nevyhnutným krokom pri budovaní partnerstiev medzi mobilnými operátormi a spracovateľmi údajov z ich infraštruktúry (akademický, štátny a súkromný sektor). Rovnako je však dôležité aj pri budovaní dôvery zo strany verejnosti.

8. ZÁVER

Rozvoj technológií mobilnej komunikácie prispel k prudkému nárastu jej používateľov. Mobilný telefón sa stal neoddeliteľnou súčasťou každodenného života a unikátnym zdrojom údajov o obyvateľstve, ich priestorovom rozmiestnení, pohybe a aktivitách. Vďaka vysokej penetrácii mobilných telefónov v populácii a schopnosti sledovať ich pohyb na úrovni základňových staníc mobilnej siete môžeme prekonať viaceré limity, ktoré sa spájajú s tradičnými údajmi o populácii, najmä čo sa týka frekvencie zisťovania populačných dát, rýchlosti ich spracovania a v neposlednom rade i ochoty obyvateľov poskytovať presné údaje v cenze či inom plošnom zisťovaní. V roku 2021 bolo v krajinách EÚ registrovaných 1 054 SIM kariet s aktivovanou hlasovou alebo dátovou službou mobilnej siete na 1 000 obyvateľov [14]. Tento bezprecedentný rozsah pokrytia populácie vytvára unikátny predpoklad pre holistické prístupy sledovania miest a regiónov. Všadeprítomnosť a štandardizovaný charakter mobilnej infraštruktúry vytvára dlhodobý rámec na sledovanie priestorovej variability populácie vo vysokom časovom a priestorovom rozlíšení. Ak však chceme s týmito unikátnymi údajmi pracovať, potrebujeme poznať princípy ich vzniku a možnosti ich spracovania, ktoré sme si v stručnosti predstavili v tomto príspevku.

LITERATÚRA

- [1] AASA, A. – KAMENJUK, P. – SALUVEER, E. – ŠIMBERA, J. – RAUN, J.: Spatial interpolation of mobile positioning data for population statistics. In: *Journal of Location Based Services*, 2021, č. 15, s. 239 – 260.
- [2] AHAS, R. – AASA, A. – SILM, S. – AUNAP, R. – KALLE, H. – MARK, Ü.: Mobile positioning in spacetime behavior studies: social positioning method experiments in Estonia. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 2007, č. 34, s. 259 – 273.
- [3] AHAS, R. – SILM, S. – JÄRV, O. – SALUVEER, E. – TIRU, M.: Using mobile positioning data to model locations meaningful to users of mobile phones. In: *Journal of Urban Technology*, 2010, č. 17, s. 3 – 27.
- [4] BATTY, M.: *The new science of cities*. MIT press, 2013.
- [5] BECKER, R. A. – CACERES, R. – HANSON, K. – LOH, J. M. – URBANEK, S. – VARSHAVSKY, A. – VOLINSKY, C.: A tale of one city: Using cellular network data for urban planning. In: *IEEE Pervasive Computing*, 2011, č. 10, s. 18 – 26.

- [6] BLONDEL, V. D. – DECUYPER, A. – KRINGS, G.: A survey of results on mobile phone datasets analysis. In: EPJ data science, 2015, č. 4, s.1 – 55.
- [7] CALABRESE, F. – DI LORENZO, G. – LIU, L. – RATTI, C.: Estimating origin-destination flows using mobile phone location data. In: IEEE Pervasive Computing, 2011, č. 10, s. 36 – 44.
- [8] CALABRESE, F. – DIAO, M. – DI LORENZO, G. – FERREIRA JR. J. – RATTI, C.: Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: A mobile phone trace example. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, č. 26, s. 301 – 313.
- [9] CSÁJI, B. C. – BROWET, A. – TRAAG, V. A. – DELVENNE, J. C. – HUENS, E. – VAN DOOREN, P. – SMOREDA, Z. – BLONDEL, V. D.: Exploring the mobility of mobile phone users. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2013, č. 6, s. 1459 – 1473.
- [10] DEVILLE, P. – LINARD, C. – MARTIN, S. – GILBERT, M. – STEVENS, F. R. – GAUGHAN, A. E. – BLONDEL, V. D. – TATEM, A. J.: Dynamic population mapping using mobile phone data. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, č.45, s. 15 888 – 15 893.
- [11] DOHERTY, S. T.: Should we abandon activity type analysis? Redefining activities by their salient attributes. In: Transportation, 2006, č. 33, s. 517 – 536.
- [12] DUFKOVÁ, K. – FICEK, M. – KENCL, L. – NOVÁK, J. – KOUBA, J. – GREGOR, I. – DANIHELKA, J.: Active GSM cell-id tracking: Where Did You Disappear? In: MELT 2008: Proceedings of the First ACM International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments. San Francisco, 2008, s. 7 – 12.
- [13] DWORK, C. – ROTH, A.: The algorithmic foundations of differential privacy. In: Foundations and Trends in Theoretical Computer Science, 2014, č. 9, s. 211 – 407.
- [14] EUROSTAT: European Neighbourhood Policy - East - statistics on science, technology and digital society. [online]. [cit. 22-12-2023]. Dostupné na: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=European Neighbourhood Policy - East - statistics on science, technology and digital society.](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=European_Neighbourhood_Policy_-_statistics_on_science,_technology_and_digital_society)
- [15] GETHING, P. W. – TATEM, A. J.: Can mobile phone data improve emergency response to natural disasters? In: PLoS medicine, 2011, č. 8, e1001085.
- [16] GONZÁLEZ, M. C. – HIDALGO, C. A. – BARABÁSI, A. L.: Understanding individual human mobility patterns. In: Nature, 2008, č. 7196, s. 779 – 782.
- [17] JACQUES, D. C. Mobile phone metadata for development. Technical Report. 2018, arXiv: 1806.03086.
- [18] JÄRV, O. – TENKANEN, H. – TOIVONEN, T.: Enhancing Spatial Accuracy of Mobile Phone Data Using Multi-temporal Dasymetric Interpolation. In: International Journal of Geographical Information Science, 2017, č. 31, s. 1630 – 1651.
- [19] LIU, F. – JANSSENS, D. – CUI, J. – WANG, Y. – WETS, G. – COOLS, M.: Building a validation measure for activity-based transportation models based on mobile phone data. In: Expert Systems with Applications, 2014, č. 41, s. 6174 – 6189.
- [20] MOKHTARIAN, P. L. – SALOMON, I. – HANDY, S. L.: The impacts of ICT on leisure activities and travel: a conceptual exploration. In: Transportation, 2006, č. 33, s. 263 – 289.
- [21] MOLINARI, M. – FIDA, M. R. – MARINA, M. K. – PESCAPE, A.: Spatial interpolation based cellular coverage prediction with crowdsourced measurements. In: Proceedings of the 2015 ACM SIGCOMM Workshop on Crowdsourcing and Crowdsharing of Big (Internet) Data, 2015, s. 33 – 38.

- [22] MONTJOYE, Y. A. – QUOIDBACH, J. – ROBIC, F. – PENTLAND, A. S.: Predicting personality using novel mobile phone-based metrics. In: Greenberg, A. – Kennedy, W. – Bos, N. (eds.): Social computing, behavioral-cultural modeling, and prediction. Berlin: Springer, 2013a, s. 48 – 55.
- [23] MONTJOYE, Y. A. – HIDALGO, C. A. – VERLEYSSEN, M. – BLONDEL, V. D.: Unique in the crowd: The privacy bounds of human mobility. In: Scientific Reports, 2013b, č. 3, s.1 – 5.
- [24] NOVÁK, J.: Lokalizační data mobilních telefonů: možnosti využití v geografickém výzkumu. [Dizertačná práca]. Praha: Univerzita Karlova v Prahe, 2010.
- [25] RICCIATO, F. – WIDHALM, P. – CRAGLIA, M. – PANTISANO, F.: Estimating population density distribution from network-based mobile phone data. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015.
- [26] RICCIATO, F. – WIDHALM, P. – PANTISANO, F. – CRAGLIA, M.: Beyond the “single-operator, CDR-only” paradigm: An interoperable framework for mobile phone network data analyses and population density estimation. In: Pervasive and Mobile Computing, 2017, č. 35, s. 65 – 82.
- [27] RUGGLES, S. – FITCH, C. – MAGNUSON, D. – SCHROEDER, J.: Differential privacy and census data: Implications for social and economic research. In: AEA Papers and Proceedings, 2019, s. 403 – 408.
- [28] SCHLICH, R. – SCHÖNFELDER, S. – HANSON, S. – AXHAUSEN, K. W.: Structures of leisure travel: temporal and spatial variability. In: Transport Reviews, 2004, č. 24, s. 219 – 237.
- [29] STEENBRUGGEN, J. – TRANOS, E. – NIJKAMP, P.: Data from mobile phone operators: A tool for smarter cities? In: Telecommunications Policy, 2015, č. 39, s. 335 – 346.
- [30] ŠVEDA, M. – MADAJOVÁ, M.: Merging diaries and GPS records: The method of data collection for spatio-temporal research. In: Moravian Geographical Reports, 2015, č. 2, s. 12 – 25.
- [31] ŠVEDA, M. – SLÁDEKOVÁ MADAJOVÁ, M.: Estimating distance decay of intra-urban trips using mobile phone data: The case of Bratislava, Slovakia. In: Journal of Transport Geography, 2023, 103552.
- [32] YANG, J. – SHI, Y. – YU, C. – CAO, S. J.: Challenges of using mobile phone signalling data to estimate urban population density: towards smart cities and sustainable urban development. In: Indoor and Built Environment, 2020, č. 2, s. 147 – 150.

RESUMÉ

Príspevok predstavuje údaje z mobilnej siete ako nekonvenčný zdroj údajov na sledovanie priestorového rozmiestnenia a mobility populácie. Vďaka vysokej penetrácii mobilných zariadení v populácii máme možnosť získať údaje s charakterom plošných zisťovaní. V úvodnej časti sa zaoberá architektúrou mobilnej siete a jej diferenciáciou na jednotlivé vývojové časti – generácie (2G, 3G, 4G, 5G). V ďalšej časti sa zaoberá základnými možnosťami lokalizácie v mobilnej sieti, kde rozlišujeme pasívnu a aktívnu lokalizáciu. Kým využitie aktívnej lokalizácie limitujú uvedené súhlasy používateľov mobilnej siete, pri pasívnej lokalizácii môžeme vyťažiť množstvo polohových informácií zo záznamov, ktoré necháva mobilné zariadenia pri využívaní mobilnej siete (digitálne stopy). Hoci údaj o polohe SIM karty sa explicitne nenachádza v údajoch mobilnej siete, dokážeme ho významne aproximovať využitím rôznych prístupov, ktoré v príspevku predstavujeme. Pravidelnosť lokalizácií v mobilnej sieti potom umožňuje extrahovať niektoré významné lokality, ako napr. pravidelnú dennú

alebo nočnú lokalitu. Lokalizácia s využitím mobilnej siete neposkytuje informácie o aktivitách, použitých dopravných prostriedkoch či sociálnom kontexte. Napriek tomu môžeme identifikovať niekoľko základných kategórií s predpokladanou interpretáciou, ako napr. rezident, pracujúci, dochádzajúci, tranzitujúci a pod. Príspevok uzatvára téma ochrany osobných údajov a potreba anonymizácie a agregácie týchto unikátnych údajov.

RESUME

The contribution presents data from a mobile network as an unconventional data source for monitoring spatial distribution and mobility of population. Given the widespread use of mobile devices among the population, we have an opportunity to obtain data with the character of large nationwide surveys. The introductory part of the contribution addresses the architecture of the mobile network and different generations of mobile networks (e.g., 2G, 3G, 4G, 5G). The next part deals with essential possibilities of localization in the mobile network, distinguishing between passive and active localization. While the use of active localization is limited by the informed consent of mobile network users, by means of passive localization, we can extract the location information from records left by mobile devices while using the mobile network (digital traces). Although the location data of the SIM card is not explicitly present in the mobile network data, we can meaningfully approximate it using various approaches presented in the contribution. The regularity of localizations in the mobile network then allows us to extract some significant locations, such as regular day or night locations. Localization using the mobile network does not provide information about activities, modes of transportation, or social context. Nevertheless, we can identify several basic categories with presumed interpretations, such as residents, workers, commuters, transit users, and others. The contribution concludes with the topic of personal data protection and the need for anonymization and aggregation of these unique data.

PROFESIJNÝ ŽIVOTOPIS

Mgr. Martin Šveda, PhD., absolvoval magisterské štúdium v odbore geografia a kartografia (2007) a doktorandské štúdium v odbore regionálna geografia na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave (2011). Od roku 2017 pôsobí ako odborný asistent na Katedre regionálnej geografie a rozvoja regiónov Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Súčasne pracuje ako samostatný vedecký pracovník v Geografickom ústave SAV. Vo svojej výskumnej činnosti sa zameriava predovšetkým na procesy suburbanizácie a ich vplyvy na transformáciu prímestských sídiel. Venuje sa aj sledovaniu časovo-priestorových vzorcov správania obyvateľov prostredníctvom lokalizačných údajov mobilnej siete.

KONTAKT

martin.sveda@uniba.sk