

Certifikovaná metodika

Metodika identifikace anomálních lokalit kriminality pomocí jádrových odhadů

Ing. Igor Ivan, Ph.D.

Doc. Dr. Ing. Jiří Horák

Projekt:

Geoinformatika jako nástroj pro podporu integrované činnosti bezpečnostních a záchranných složek státu“ VF20142015034 č.j. MV-32046-58/VZ-2012

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Ostrava, 2015

Certifikovaná metodika

Název: Metodika identifikace anomálních lokalit kriminality pomocí jádrových odhadů

Autoři:

Ing. Igor Ivan, Ph.D.

Doc. Dr. Ing. Jiří Horák

Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Oponenti:

1. doc. Ing. Václav Talhofer, CSc. (Univerzita obrany)

2. RNDr. Michal Bíl, Ph.D. (Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.)

Metodika je výstupem projektu „Geoinformatika jako nástroj pro podporu integrované činnosti bezpečnostních a záchranných složek státu“ VF20142015034 č.j. MV-32046-58/VZ-2012, v rámci programu „Bezpečnostní výzkum pro potřeby státu v letech 2010 až 2015“.

Hlavní řešitel projektu: Intergraph CS s.r.o.

Předkladatel: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Vydáno v roce 2015

Obsah

1	ÚVOD	4
2	CÍL METODIKY	5
3	POPIS METODIKY	6
3.1	PŘEDZPRACOVÁNÍ DAT	7
3.2	VOLBA METODY	8
3.3	VOLBA VZORKŮ DAT PRO TESTOVÁNÍ NASTAVENÍ	9
3.4	VOLBA NASTAVENÍ	10
	<i>Vyhlazovací funkce</i>	10
	<i>Velikost buňky</i>	11
	<i>Dosah (šířka pásma)</i>	12
3.5	ZPRACOVÁNÍ VŠECH DÍLČÍCH ÚLOH PODLE OPTIMÁLNÍHO NASTAVENÍ	15
3.6	PROVĚŘENÍ STATISTICKÉ VÝZNAMNOSTI	15
3.7	DALŠÍ POSTPROCESSING A VIZUALIZACE	17
4	SROVNÁNÍ A ZDŮVODNĚNÍ NOVOSTI POSTUPU METODIKY	21
5	UPLATNĚNÍ METODIKY	22
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	23
7	SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍCH METODICE	24
8	VYSVĚTLENÍ POUŽITÝCH POJMŮ	25
9	SEZNAM ZKRATEK	25
10	PŘÍLOHA: PŘÍKLADY APLIKAČNÍHO SOFTWARE PRO VÝPOČTY JÁDROVÝCH ODHADŮ	26

1 Úvod

Pro lokalizaci anomálních lokalit se zvýšenou intenzitou kriminality jsou nejdůležitějším prvkem kvalitní data. Evidence událostí jsou důležitým zdrojem geodat pro statistické a analytické vyhodnocení kriminality a rovněž pro predikci kriminality.

V odborné literatuře byla představena široká škála analytických postupů, které je možné pro identifikaci lokalit se zvýšenou intenzitou kriminality použít.

Nezákladnější přístupy tvoří nástroje prostorové explorační analýzy dat (percentilová mapa, kvartilová mapa apod.) (Anselin et al., 2005). Tyto metody pracují s daty agregovanými do polygonů (pravidelných, nepravidelných). Nad těmito agregovanými daty je pak možné také posuzovat, nakolik se shlukují jednotlivé polygony s vysokými, resp. nízkými hodnotami. K tomuto slouží metody pro hodnocení globální a lokální prostorové autokorelace (LISA – Moranovo I , metody G_i a G_i^* apod.) (Anselin, 1995; Getis, Ord, 1992).

Další metody identifikace anomálních lokalit pracující přímo s bodovými událostmi. Posuzují, zda bodová distribuce deliktů má tendenci se shlukovat či je naopak rozmístěna náhodně. Používají se např. metoda nejbližších sousedů (O'Sullivan, Unwin, 2014), K-funkce (Ripley, 1977) apod.

Hlavní metodou pro identifikaci anomálních lokalit, které bývají často nazývány jako hot spots, je metoda jádrových odhadů (kernel density estimation) či jádrového vyhlazení. Výsledky bývají některými autory označovány také jako „heat maps“. Stejná metoda tvoří také základ této metodiky. Tato metoda je populární pro svou vizuální názornost hlavně v oblasti analýz kriminality. Kriminální data popisující lokality výskytu trestných činů či přestupků jsou však silně různorodá, podobně jako jsou různorodé také jejich jednotlivé třídy. Existuje řada variant této metody, které se liší např. tím, zda se události šíří všemi směry (plošná) nebo jen v určité síti (např. v případě dopravních nehod). Významné rozdíly ale mohou existovat i v rámci jedné metody při použití různého nastavení volitelných parametrů.

Základním nedostatkem při uplatnění této metody však bývá subjektivita v interpretaci výsledků. Stejná podkladová data mohou být zobrazena značně rozdílně jen s využitím rozdílného nastavení metody a způsobu zobrazení. Tuto subjektivitu je vhodné potlačit a poskytnout objektivní výstupy, které podpoří objektivní interpretaci. Z tohoto důvodu je potřeba zvýraznit statisticky významné výsledky. Rozhodnutí, zda je daná lokalita anomální ve smyslu významné odchylky od ostatních, je pak potvrzeno statistickým testováním. Součástí této metodiky je proto také demonstrace testování statistické významnosti výsledků.

V neposlední řadě metodika přináší také návrh finální vizualizace výsledků tak, aby přispívaly k standardní a objektivní interpretaci jejich čtenáři. Vybrané metody rovněž umožňují využít výsledky jádrových odhadů pro hodnocení časového vývoje či pro hodnocení různých tříd událostí v jedné mapě.

2 Cíl metodiky

Cílem metodiky je doporučit standardizovaný postup využívání metody plošných jádrových odhadů pro identifikaci anomálních lokalit kriminality. Postup v jednotlivých krocích umožňuje správně připravit data, nastavit a provést potřebné analýzy a zajistit dosažení vhodného výsledku. Doporučuje použití jednotlivých variant metody, optimalizaci jednotlivých parametrů pro jednorázová i opakovaná řešení. Zaměřuje se na identifikaci a lokalizaci anomálních lokalit se zvýšenou intenzitou trestné činnosti či přestupků. Součástí jsou i doporučení řešení pro zpřesnění interpretace výsledků, které jsou touto metodou získány a to s využitím statistického testování. Metodika doporučuje také různé metody vizualizace výsledků. Je tak pokryt postup práce od převzetí bodově lokalizovaných událostí po zjištění statisticky významných anomálních oblastí, včetně vizualizace zjištěných výsledků.

3 Popis metodiky

Metodika je rozdělena do několika částí, které popisují doporučený postup realizace analýzy. K základním krokům musí patřit předzpracování dat, volba metody, volba nastavení a aplikace jádrového odhadu a nakonec vizualizace výsledků. Další kroky jsou doporučené a závisí na účelu aplikace metody – volba vzorků pro testování, aplikace pro dílčí úlohy a prověřování statistické významnosti výsledků.

Před použitím metody je třeba si ujasnit, co je cílem analýzy a pro jaký účel je tvořena.

Cílem analýzy může být celkové zhodnocení situace v území (dále jen explorativní analýza) nebo nalezení několika nejdůležitějších anomálií (hot spots analýza). Tato metodika se zaměřuje především na identifikaci anomálních míst.

Pokud se analýza neprovádí jednorázově, ale opakovaně, je nutné uvažovat o optimalizaci nebo sjednocení nastavení metody pro všechny části analýzy. Zpravidla je vyžadováno, aby při opakování analýzy z důvodu srovnatelnosti výsledků bylo pokud možno její nastavení stejné. Opakování analýzy může znamenat její opakování na stejném území pro různá časová období nebo opakování pro různé dílčí části celého území, např. aplikace jádrového odhadu na více měst kraje.

Další důležitou otázkou je, zda se zpracovává jeden typ deliktu nebo více. Pokud více typů, je nutné použít stejné nastavení metody? Obecně použití stejného nastavení není nutné, je ale vhodné přihlídnout k dalším částem analýzy či opakované analýzy.

Ve vztahu k volbě metody je důležité si ujasnit, zda je potřebné provést relativizaci výsledného odhadu intenzity výskytu deliktů vůči kauzálním objektům či jevům. Pokud ano, využívají se duální jádrové odhady. Přesto však jejich použití doporučujeme jen ve specifických případech, viz dále.

Dalším aspektem rozhodování je forma výstupu. Někdy je požadován pouze jeden výsledný rastrový obraz pro celé území, v jiných případech je možné jej doplnit o detaily území s jiným nastavením.

Metoda jádrového odhadu není vhodná pro zobrazení rozsáhlých území, ale je vhodnější pro mapy větších měřítek, které zobrazují obce či jejich části. Pro potřeby zobrazit vyšší územní celky či rozsáhlejší území, doporučujeme používat metodu kartogramu zobrazující index kriminality. Rozhodně nedoporučujeme používat metodu jádrového vyhlazení pro celou Českou republiku či pro jednotlivé kraje.

Neexistuje také žádná hranice pro minimální počet událostí v oblasti. Doporučujeme však brát v potaz počet bodů a plochu analyzované oblasti. Pokud je oblast menší, je možné pracovat i s menším počtem událostí. Problém může nastat při analýze např. vražd ve větším městě, který za rok může obsahovat několik záznamů. V takovém případě použití jádrového vyhlazení vůbec nedoporučujeme.

3.1 Předzpracování dat

Základní podmínkou pro kvalitní a spolehlivé výsledky jádrového vyhlazení jsou kvalitní data. Tato metodika se zaměřuje na anomální lokality se zvýšenou kriminalitou, kde do výpočtu vstupují bodově lokalizované delikty. Procesy vhodné harmonizace dat jsou popsány v Metodice harmonizace, agregace a anonymizace dat kriminality (Horák, 2015b). V případě deliktů je nutné se zaměřit na správnost a přesnost souřadnicového určení polohy, časové určení (zpravidla se pro zpracování vybírají delikty v určitém časovém intervalu) a tematické určení (zejména správnost a přesnost klasifikace deliktů).

Z hlediska určení polohy deliktů je třeba rozlišit případy, kdy již záznam deliktu obsahuje souřadnice, od těch, kde je poloha vyjádřena pouze adresou či jiným referencováním. Za nejlepší určení polohy je považována situace, kdy je událost zaměřena s využitím globálních navigačních satelitních systémů (např. GPS), nebo jsou souřadnice konkrétního místa spáchání identifikována s využitím georeferencované mapy (topografická mapa, ortofoto mapa apod.). I zde se ale doporučuje vybrat malý vzorek dat a porovnat zápis textového referencování (zápis adresy a jiného určení polohy) s uvedenými souřadnicemi např. na podložené mapě či snímku. Cílem je ověřit, jaká je úroveň chyb (nepřesnosti) a jaká je případná potřeba provedení úprav např. nezávislého geokódování některých případů.

Pokud přímé určení polohy souřadnicemi chybí, je nutné provést geokódování záznamů. Základní postupy jsou popsány v Metodice harmonizace, agregace a anonymizace dat kriminality (Horák, 2015b). Zejména lokalizovaná data nesmějí obsahovat systematické chyby, tedy např. chybějící lokalizace událostí v konkrétních ulicích či konkrétních objektech. Dalším příkladem systematické chyby jsou špatně přiřazené názvy ulic či objektů ke své prostorové reprezentaci. Častým problémem je rovněž různá podrobnost adresních údajů k objektům, kdy chybí číslo popisné či jiný údaj, který místo jednoznačně identifikuje. Událost může být lokalizována také názvem rozsáhlého objektu (nákupní centrum, areál podniku, hřbitov apod.), který je však reprezentován jediným bodem (např. těžištěm). Dle přístupu k řešení těchto systematických chyb mohou vznikat rozdílné výsledky. Pokud jsou body lokalizovány na jedno místo (centroid nákupního centra, střed ulice, střed městské části atd.), tak zde vznikají umělé shluky, které mylně identifikují lokalitu jako anomální. V těchto případech doporučujeme používat náhodné rozmístění událostí podél/uvnitř lokalizovaného objektu.

Při vyhodnocení výsledku se využívají informace o způsobu a přesnosti geokódování, které jednotlivé programy poskytují, ať již kvantitativně či formou textového vysvětlení.

Kvalitní geokódování je důležité také v případě relativizace dat (duální jádrové odhady). Pokud se např. pracuje s vloupáním do objektů, tak je potřeba pracovat jen s událostmi, které jsou geokódovány na přesné adresní místo. V opačném případě mohou vznikat anomální oblasti s vysokou intenzitou vloupání do objektů, ačkoliv v daném místě není žádný objekt (např. v parku).

3.2 Volba metody

V prvním kroku je nutno posoudit, zda se lokalizované události mohou vyskytovat v celé ploše území, či je jejich výskyt omezen pouze na jisté části území. I když je zřejmé, že řada deliktů je vázána pouze na určitý typ prostředí, v současnosti umíme rozlišit pouze jádrové odhady plošné (2D) a jednorozměrné (1D), modelující výskyt pouze na liniích.

V rámci metodiky se zaměřujeme jen na plošné jádrové odhady (dále jen jádrový odhad), tedy účinek vyhlazovací funkce se šíří všemi směry stejně z místa události. V případě bodově lokalizovaných událostí, které se mohou vyskytovat jen na linii, je třeba použít liniových jádrových odhadů, které jsou popsány v Ivan, Tesla (2015), Bíl et al. (2013).

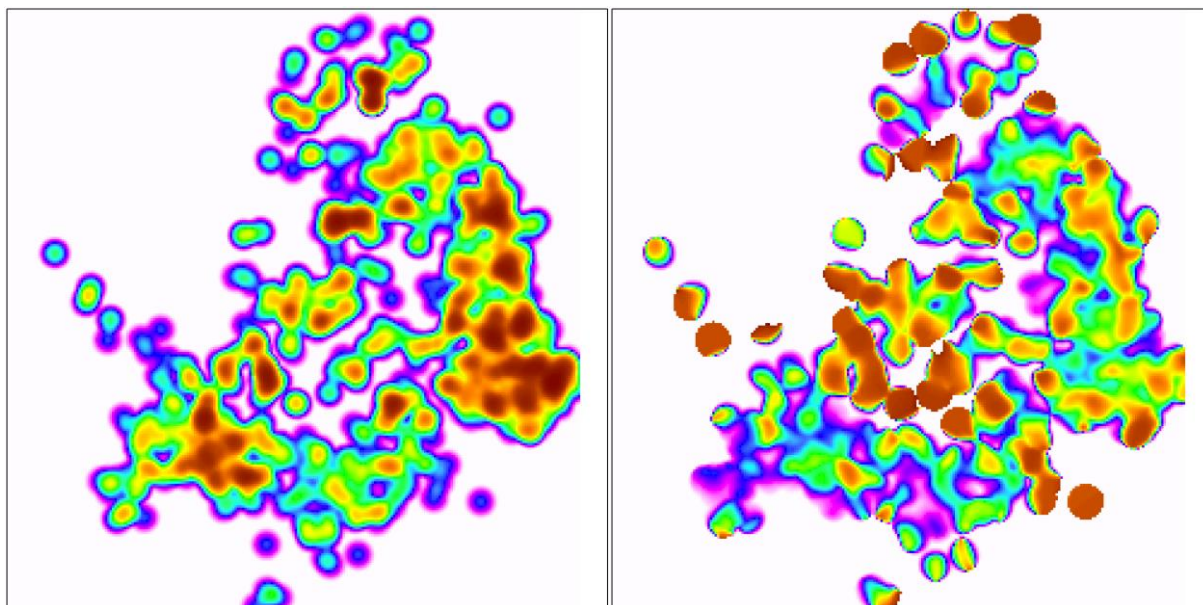
Teoretické principy jádrových odhadů jsou detailně popsány v odborné literatuře (O'Sullivan, Unwin, 2014; Chainey and Ratcliffe, 2005; Eck et al., 2005 apod.). Obecně metoda jádrových odhadů přiřazuje každému bodu v mapě odhad intenzity na základě vzdálenosti k ostatním událostem. Nemůžeme však tuto intenzitu počítat pro každý bod, jelikož těch je nekonečně mnoho a tak je analyzované území proloženo čtvercovým gridem a intenzity jsou počítány pro centroidy jednotlivých buněk.

Detailní nastavení metody záleží nejdříve na volbě metody, kterou je pro odhad vhodné využít. Rozhodujeme se podle aspektů uvedených v úvodu kapitoly.

V prvním kroku je potřeba vybrat jednoduchý nebo duální jádrový odhad. Jednoduchý jádrový odhad se využívá v případě, kdy chceme pracovat s absolutními výskyty událostí. Tedy zajímá nás jejich absolutní intenzita v oblasti. Do výpočtu vstupují jen bodově lokalizované události. Tuto metodu preferujeme pro tvorbu jádrových odhadů.

Duální jádrový odhad poskytuje odhad relativní intenzity výskytu deliktů vůči jinému jevu. Typicky jsou to situace, kdy výskyt deliktů je determinován výskytem určitých objektů, které podmiňují nebo silně přitahují konkrétní typy deliktů, tj. existují v území skryté vztahy, které chceme pomocí duálního odhadu demaskovat. Data pro tento postup je však problematické získat. Typ a zdroj referenčních dat závisí na typu deliktu, který je hodnocen. Obecně mezi hlavní typy referenčních dat řadíme data o počtu obyvatel a počtu bytů či objektů. Mohou však být použita i jiná data o lokalizaci škol, hypermarketů, barů a jiných bodů zájmu, které úzce souvisí či přímo podmiňují výskyt určitého typu událostí. Jako potenciální zdroje těchto dat doporučujeme Registr sčítacích obvodů a budov (Český statistický úřad) nebo Registr územní identifikace, adres a nemovitostí (Český úřad zeměměřičský a katastrální) a další oficiální registry či seznamy. Dle typu deliktů se liší také definování počtu obyvatel. V případě deliktů, které se vztahují na obyvatele bytů (neplacení výživného, domácí násilí, přestupky proti občanskému soužití apod.), může být definován jako počet residentů, kdy můžeme využít data ze sčítání lidu, domů a bytů či z Registru obyvatel. Častěji je však vhodnější využít data o aktuálně přítomném obyvatelstvu, které se v dané lokalitě vyskytuje. V současnosti jsou nejvíce využívaným zdrojem těchto dat záznamy od operátorů mobilních GSM sítí. Tím budou pokryty také oblasti, kde trvale žije minimum lidí, ale jejich denní výskyt je vysoký – např. nádraží, náměstí, kulturní památky – a podobně vysoký je také nápad trestné činnosti či přestupků.

V případě duálního jádrového odhadu se realizují dva odhady, jejichž výsledky se následně dělí. Obě nastavení by měla být stejná, aby bylo dosaženo korektních výsledků. Doporučujeme použít stejný dosah i tvar funkce.



Obrázek 1 – Jednoduché (vlevo) a duální jádrové odhady (vpravo)

Dále je nutné volit mezi jádrovým odhadem s fixním nastavením dosahu a adaptivním nastavováním dosahu. Fixní používá 1 velikost dosahu (resp. šířku pásma), zatímco adaptivní ji mění podle lokální situace. Adaptivní jádrový odhad mění dosah podle hustoty okolních bodů (čím větší hustota bodů, tím menší šířka pásma, aby více vynikly lokální variance). Důležitá je v tomto případě vlastní implementace této metody. Postup s využitím geometrického průměru fixních pilotních jádrových odhadů doporučuje Bailey, Gattrell (1995). Variantu s úpravou dosahu podle hustoty bodů implementovanou v CrimeStat však na základě zkušeností nedoporučujeme používat.

3.3 Volba vzorků dat pro testování nastavení

Při opakování jádrových odhadů v případě různých časových řezů, různých území, či různých deliktů, nemusí být nutné provádět u všech testování nastavení metody. Vznikají rozsáhlé soubory a počet kombinací (s variantami nastavení) může být příliš velký. V takovém případě je vhodné vybrat vzorky dat pro hledání vhodného nastavení metody.

Při výběru vzorků dat je třeba vybrat krajní situace. Typicky minimální a maximální počet událostí v časové řadě, období výrazných změn v distribuci deliktů v území. Pokud posuzujeme různé části území, může být vhodné vybrat krajní varianty či reprezentativní varianty podle distribuce vypočtené hustoty událostí.

V případě pokračování časové řady z předchozího vyhodnocení je třeba ověřit, zda je dříve použité nastavení nadále vhodné. Nastavení měníme jen v případě zjištění závažných problémů; současně je třeba zvážit, zda není potřebné s novým nastavením zpracovat i dřívější data.

3.4 Volba nastavení

V rámci metodiky se zaměříme na nastavení jednotlivých parametrů pro potřeby mapování kriminality a hledání anomálních lokalit.

Vyhlazovací funkce

Jedním z parametrů, který je potřeba nastavit, a který ovlivňuje výsledek jádrových odhadů, je typ použité vyhlazovací funkce. Ačkoliv významnější vliv má dosah (Levine, 2010), tak rovněž typ funkce je potřeba volit zodpovědně. Metoda jádrového vyhlazení je implementována v různých programech a tomu odpovídá také možnost volby vyhlazovací funkce. V nabídce programů se uvádí šest různých vyhlazovacích funkcí (Horák, 2015a): normální (normal), rovnoměrná (uniform), kvartická (quartic, spherical), kuželová (triangular, conic), kvadratická (Epanechnikov, paraboloid, quadratic) a záporná exponenciální (exponential).

Normální funkce nemá definovaný dosah, prostupuje tak celým územím a každý střed buňky výsledného gridu získává hodnotu z každé události. V případě map kriminality není tato funkce příliš využitelná a nedoporučujeme ji používat. I velice vzdálená událost by měla vliv na jinou událost. Výsledné mapy jsou hodně vyhlazené a nejsou patrné lokální anomálie.

V případě rovnoměrné funkce každý bod ovlivňuje své okolí stejnou hodnotou váhy až do vzdálenosti dosahu. Tato funkce se hodí především pro události, které obecně mohou nastat se stejnou pravděpodobností v určité oblasti. Mezi vhodné typy trestných činů patří vloupání do aut na parkovišti, vloupání do bytů na sídlišti apod. Pro obecnější či agregované typy událostí však tento typ funkce nedoporučujeme, resp. doporučujeme ho používat jen výjimečně.

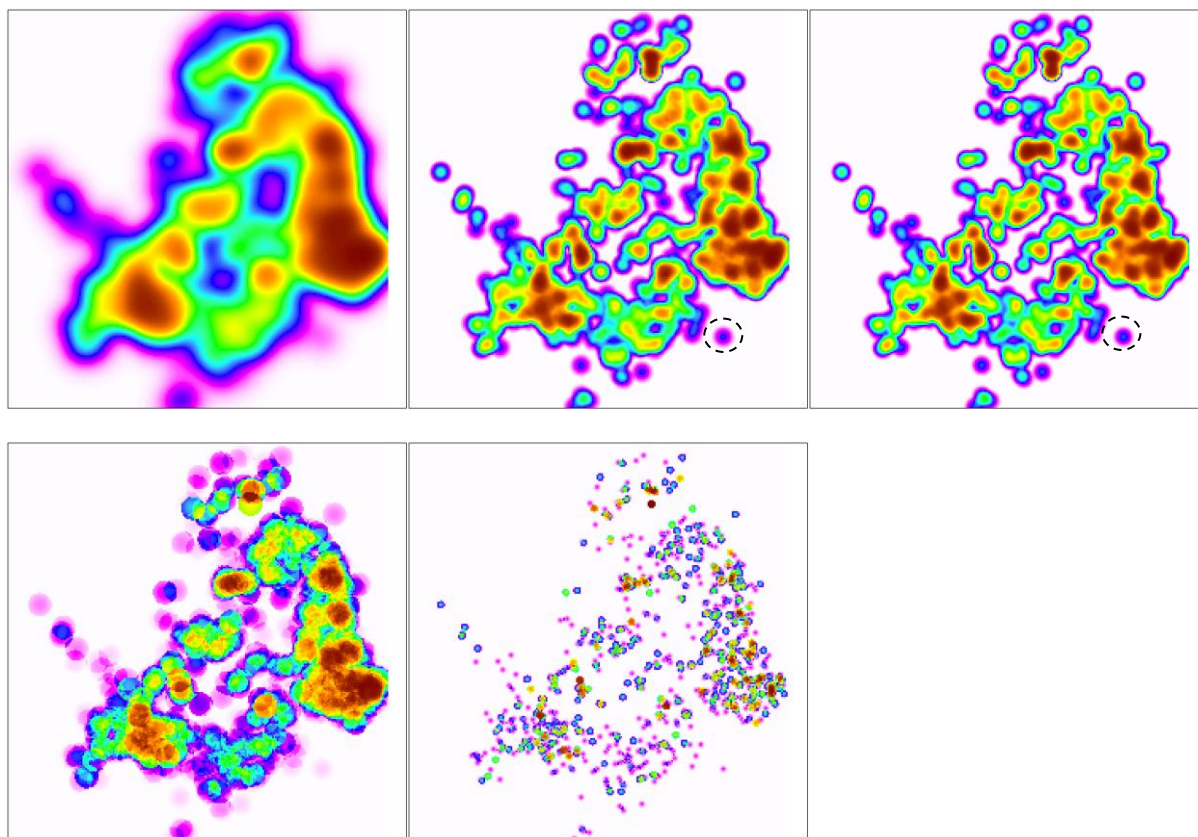
Kvartická funkce tvoří určitý zlatý střed mezi představenými funkcemi. Je svým tvarem velice podobná normální distribuci, ale je více pozvolně klesající v počátcích a má fixní dosah. Tato funkce je vhodná pro většinu typu trestných činů a přestupků. Tuto funkci doporučujeme používat jako univerzální variantu.

Kuželová distribuce má největší vliv nad vlastní událostí a následně lineárně klesá k hranici dosahu. Oproti kvartické funkci je zásadní rozdíl v rychlosti poklesu, který je razantnější. Tato funkce může být využita pro stejné typy událostí jako v případě kvartické funkce, ale také pro více lokální typy, např. krádeže na osobách. Rozdíly oproti kvartické funkci nejsou významné.

Kvadratická funkce má širší průběh jádra než kvartická funkce, ale rozdíly proti kvartické funkci nejsou velké. Používá se v různých programech, jako často doporučované nastavení.

Záporná exponenciální distribuce je výrazně odlišná od předchozích. Má největší vliv nad konkrétní událostí a následně váha prudce klesá k hranici dosahu. V případě této funkce je pokles velice markantní. Tato funkce je tak vhodná především pro pouze lokálně se vyskytující typy událostí, např. zanedbání povinné výživy. U podobných případů je však často problém s nízkou četností událostí.

V literatuře tomuto aspektu nastavení není věnováno příliš prostoru a nejčastěji se využívá kvartická funkce, kterou také doporučujeme používat. Pokud není k dispozici, doporučujeme kvadratickou nebo kuželovou vyhlazovací funkci. Využití záporné exponenciální funkce s malými hodnotami dosahu doporučujeme pouze ve specifických výše uvedených situacích pro zdůraznění lokálního charakteru událostí.



Obrázek 2 – Vliv typu vyhlazovací funkce na výsledek jádrového odhadu (shora a zleva postupně: normální, kuželová, kvartická, negativně exponenciální 150 m a 50 m)

Pokud se metoda jádrového odhadu používá opakovaně (různý čas, území, detaily z jednoho území) a mají se výsledky mezi sebou srovnávat, je vhodné ponechat stejnou vyhlazovací funkci a měnit (pokud je to nezbytně nutné) pouze dosah.

Velikost buňky

Výsledek jádrového vyhlazování je grid a je tedy nezbytné správně zvolit jeho prostorové rozlišení. Velikost buňky tohoto gridu ovlivňuje získané výsledky z pohledu detailnosti a také velikosti souboru. Velikost buňky nehraje na přesnost výsledků tak důležitou roli, jako další dva parametry (Chainey, 2013).

V literatuře se doporučuje pro stanovení velikosti buňky vyjít z hodnoty, která odpovídá délce kratší hrany minimálního ohraničujícího obdélníku vydělené hodnotou 150 (např. Ratcliffe, 2004, Chainey, 2013).

Na základě praktických zkušeností ale doporučujeme použít menší velikost, která umožní sledovat výsledky s větším prostorovým detailem. Pro území měst a obcí

doporučujeme používat podle plochy obce maximální velikost buňky 50 metrů. Při větší velikosti buňky se již pro vizuální posouzení skryjí lokální anomálie. Jako minimální velikost doporučujeme 10 metrů. Pokud by se však analyzovalo malé území, jako např. prostor nákupního centra, pak může být velikost buňky mnohem menší (i 1 metr).

Dosah (šířka pásma)

Pro výsledky jádrových odhadů je klíčová především volba dosahu vyhlazovací funkce. Neexistuje žádné obecné pravidlo, jak určit nejvhodnější hodnotu dosahu. Vždy záleží na prostorové distribuci bodů, typu události a měřítku.

Je nutné zvážit také cíle a účel analýzy, zejména to, zda má být výsledkem zmapování vývoje území (explorativní analýza) nebo identifikace několika nejzávažnějších anomálií (hot spots analýza). V prvním případě je důležitá plynulost vývoje v území a proto se volí větší hodnota dosahu. Ve druhém případě stačí identifikovat několik jader; doporučuje se zvolit kratší dosah a následně výsledek jádrového odhadu upravit postprocessingem, resp. vhodným způsobem vizualizace. Konkrétní doporučení pak může být pro stejné území a typ deliktu např. dosah 150 m pro první situaci a 100 m se zobrazením posledního decilu pro druhou situaci.

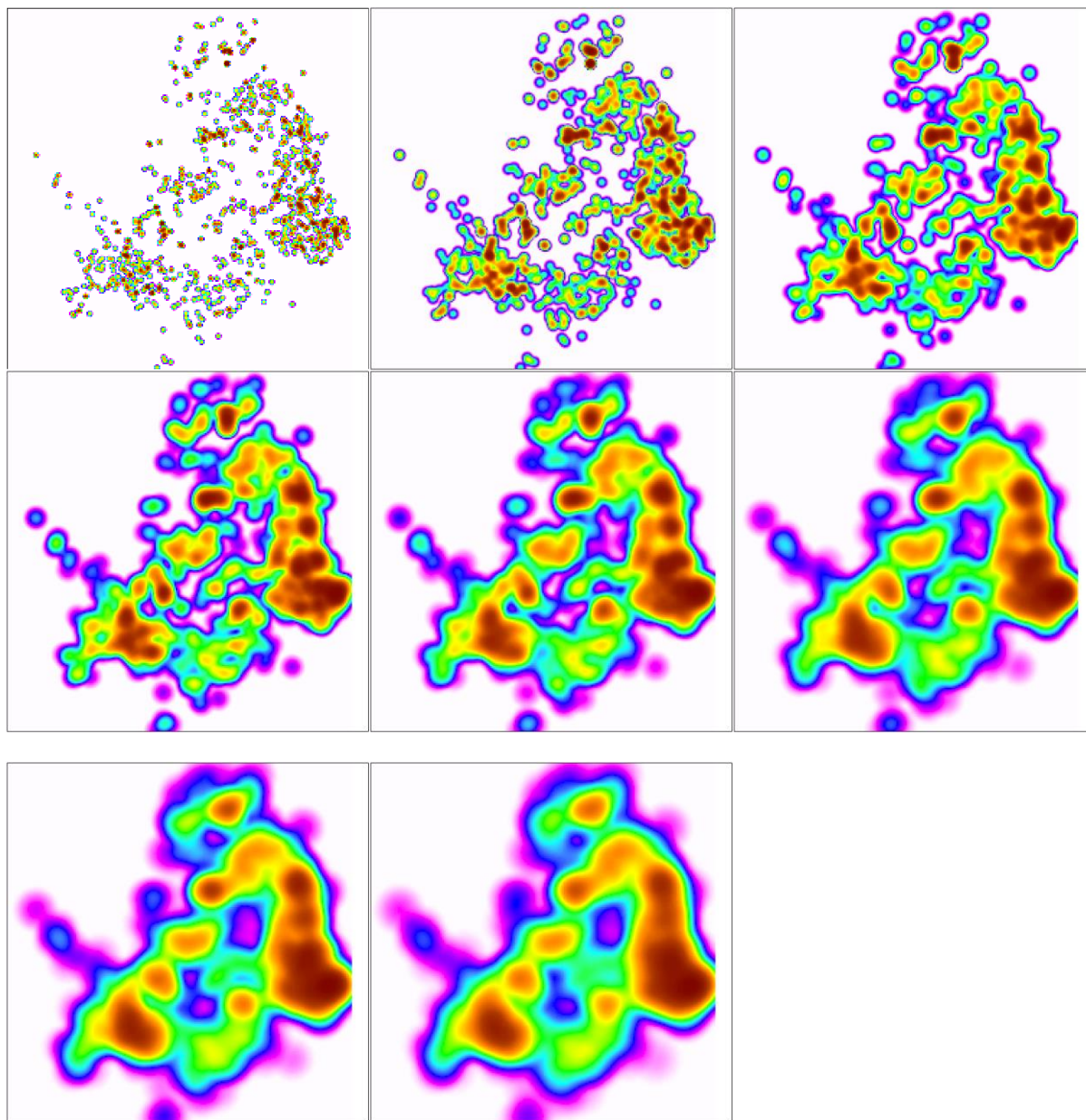
Obecně se také doporučuje při návrhu vyhlazovací funkce a velikosti dosahu zvážit podstatu kriminálního deliktu a jak velký vliv může mít incident na místo svého výskytu a jakým způsobem a do jaké vzdálenosti ovlivňuje své okolí.

Pro optimalizaci dosahu je vhodné využít postupů citlivostní analýzy. To v praxi znamená postupně měnit buď typ využití vyhlazovací funkce, nebo její dosah a sledovat ovlivnění získaných výsledků těmito změnami. Názorný příklad použití této metody poskytuje práce Inspektora (2011). Ve všech případech záleží více na zkušenostech analytika a jeho úsudku. Jako výchozí dosah doporučujeme nastavit hodnotu, která je vyšší než průměrná vzdálenost mezi dvěma nejbližšími událostmi, případně větší než průměrná vzdálenost mezi párem nejbližších referenčních objektů. Chainey (2011) doporučuje pro nastavení dosahu použít pětinasobek velikosti buňky, který je však podle našich zkušeností příliš velký.

Zjištěná výchozí hodnota dosahu bude pravděpodobně vytvářet zvýšenou intenzitu kolem každé události a dále bude existovat malý počet shluků s vyšší intenzitou deliktů spáchaných na stejném místě. Zejména pro hodnocení vývoje celého území (explorativní analýza) by byl takový výsledek nedostatečný a proto se přistupuje k optimalizaci dosahu. Hodnoty dosahu se postupně zvětšují a s tím také poroste hodnota intenzity v dalších buňkách, protože se budou vzájemně sčítat váhy událostí ve větších vzdálenostech. Doporučujeme postupovat po násobcích výchozího nastavení dosahu a vizuálně posuzovat výsledek. Tedy v případě, že výchozí nastavení dosahu je 50 metrů, tak postupně testovat hodnoty 100, 150, 200, 250, 300, 350 a 400 metrů. Je nutné si stanovit určité maximum, za které již nemá smysl jít. Tato hodnota odpovídá polovině předpokládaného maximálního rozměru společně posuzované lokality. Například v případě vloupání to může být dosah 400 metrů, za kterým již jednotlivá vloupání nebudeme považovat za příslušná ke stejné lokalitě.

Problematická může být situace, kdy je v území málo událostí, které jsou rozptýlené ve větším území a vytváří samostatné oblasti. V tomto případě doporučujeme používat dostatečně velký fixní dosah. Pokud je počet událostí velmi nízký, je vhodné použít jádrové vyhlazení jediné v případě, kdy je malá i analyzovaná oblast.

Výsledky těchto analýz je možné porovnat na obrázcích níže, kdy byly postupně testovány jednotlivé fixní dosahy při použití kvartické funkce a velikosti buňky 20 metrů.



Obrázek 3 – Výsledek jádrového odhadu s rozdílnými hodnotami dosahu (zleva: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 m)

Někteří autoři (Chainey et al., 2008) pro posouzení optimální hodnoty vyhlazovací funkce a dosahu doporučují použití PAI (prediction accuracy index), který má být určen pro kvantifikaci, která z metod či nastavení konkrétní metody je vhodnější a přesnější. Je definován jako

$$PAI = \frac{\left(\frac{n}{N}\right) * 100}{\left(\frac{a}{A}\right) * 100}$$

kde n je počet událostí v anomálních oblastech, N je počet událostí v celém území, a je plocha anomálních oblastí a A je celková plocha celé oblasti. Pokud jsou všechny události v anomálních oblastech, pak je hodnota indexu PAI rovna 1. Stejný výsledek je také v případě, kdy se podíl událostí vyskytuje ve stejném podílu plochy. Pokud 25 % událostí spadá do poloviny analyzované plochy, je hodnota PAI rovna 0,5 apod. Obecně platí, že čím větší podíl událostí spadá do menší anomální oblasti, tím je vyšší hodnota PAI . Pro výpočet podílu plochy a událostí v anomálních oblastech je potřeba určit hranici této anomální oblasti, přičemž doporučujeme využít poslední kvintil (Chainey et al., 2008) nebo decil.

Problémem však je, že hodnoty PAI klesají s rostoucí hodnotou dosahu, přičemž pokles není lineární, ale postupně se snižuje. Platí, že nejvyšší hodnotu PAI má vždy nejnižší hodnota dosahu.

Pro nalezení optimálního dosahu proto nelze PAI doporučit. Jeho využití je vhodné pro porovnání přesnosti vymezení anomálních lokalit s využitím různých metod.

Hledání vhodné hodnoty dosahu se může výrazně zjednodušit, pokud předpokládáme možnost využití více výstupů, kdy se zobrazí celé území s vyšší hodnotou dosahu, která je vhodná pro sledování kontinuálního vývoje intenzity deliktů v území, a následně jednotlivé části (detaily) s kratším dosahem. Pro výběr konkrétního dosahu v prvním kroku vybereme dosah, při kterém je možné v mapě identifikovat několik lokalit se zvýšenou intenzitou výskytu událostí. V druhém kroku pak zacílíme přímo na dané lokality a použijeme menší dosahy, aby byly rozlišeny konkrétní rozdíly v daných lokalitách.

Kromě fixního dosahu je možné využít také **adaptivní dosah**. Ten upravuje velikost dosahu podle lokální situace. V některých systémech (např. CrimeStat) je implementován tak, že se upravuje podle minimálního počtu událostí. Adaptivní pásmo je vhodné používat zejména pro různorodý prostorový vzor, speciálně jen v ojedinělých případech kombinace hustě koncentrovaných událostí s velkým množstvím událostí ve větších vzdálenostech.

Výhodnost adaptivního dosahu můžeme demonstrovat na teoretickém příkladu vloupání do domů a bytů. V centru města a na sídlištích, kde je hustá koncentrace bytů, bude také vysoká intenzita vloupání. Nicméně v oblastech rodinných domů nebo v řidší zástavbě na okraji města je hustota domů nižší a tak v případě použití fixního dosahu není možné identifikovat vyšší intenzitu při porovnání s centrem města. A to i v případě, že by byly vykradeny všechny domy v ulici, jelikož každá událost má kolem sebe několik desítek či stovek metrů tvořených volným prostorem (zahradou) mezi domy.

Použití adaptivního dosahu je tedy omezené jen na situace, kdy chceme identifikovat anomální lokality v řídko osídleném území a to ještě za podmínky, že lokalita obsahuje větší počet událostí než je počet bodů definovaný pro adaptivní odhad. Fixní dosah tyto shluky identifikuje, ale adaptivní nikoliv. Pokud by bylo pro adaptivní odhad použito méně bodů, tak

by sice byl daný shluk identifikován, ale s ním také velké množství dalších drobných oblastí, které jsou jinak spojeny v několik větších shluků.

Platí, že pro většinu situací je vhodnější a plně dostačující použití fixního jádrového odhadu.

3.5 Zpracování všech dílčích úloh podle optimálního nastavení

V případě analýzy pro zpracování dílčích částí je výsledkem předchozí optimalizace nalezení vhodného nastavení parametrů pro celou sadu dílčích úloh (jednotlivých časových řezů, místních lokalit, detailů apod.). V některých případech je výsledkem spíše sjednocené než optimální nastavení.

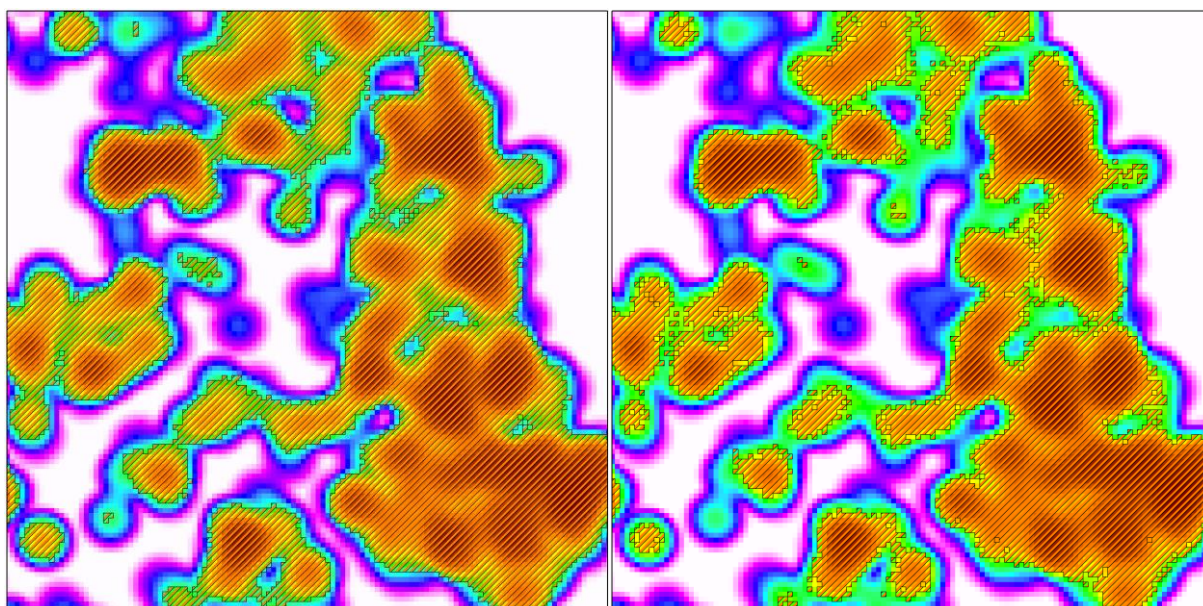
V následujícím kroku se provede aplikace metody podle tohoto společného nastavení na všech dílčích úlohách.

Je nezbytné kontrolovat, zda není nutné v případě výsledků jednotlivých úloh kromě jednotného nastavení použít pro zlepšení interpretace ještě doplňkové zpracování s jiným nastavením.

3.6 Prověření statistické významnosti

Výstupem jádrových odhadů je grid s intenzitami událostí. Tento výstup sám o sobě neposkytuje informaci o výskytu statisticky významných oblastí a jeho interpretace je velmi subjektivní. To patří k hlavní nevýhodě jádrového vyhlazení. Doporučujeme tento výstup dále analyzovat a určit statisticky významné anomální oblasti. Zřejmě nejpoužívanějším postupem pro hodnocení výsledků jádrových odhadů je G_i^* index (Chainey, Ratcliffe, 2005). Z výstupu pak určíme shluky na různých hladinách významnosti (např. 95 %, 99 %, 99,9 %).

Pro výpočet G_i^* doporučujeme použít topologické okolí definované pohybem královny prvního řádu (tedy 8 sousedních buněk). Doporučujeme zobrazit jen statisticky významné výsledky na hladině významnosti nejméně 95 %. Následně hranici těchto významných shluků zobrazit spolu s výsledky jádrového vyhlazení a vyznačit v tomto výstupu hranice těchto statisticky významných anomálních oblastí. Finální výsledky na mapách níže zobrazují statistické výsledky na hladině významnosti 95 % (vlevo) a 99 % (vpravo).

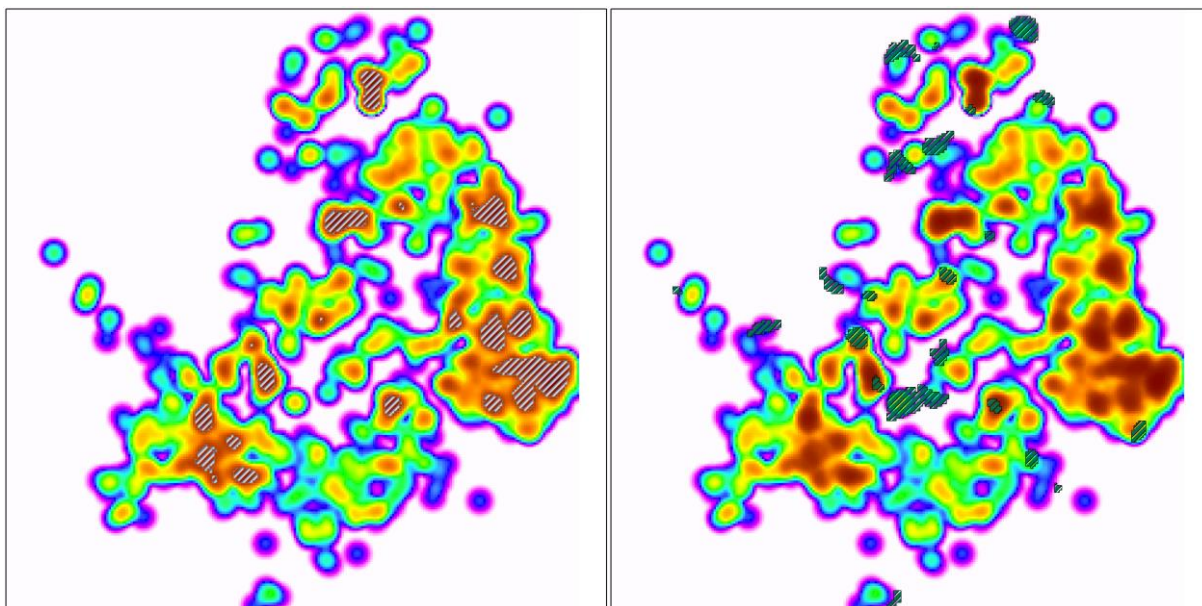


Obrázek 4 – Jádrové odhady s vyznačenými (šrafou) statisticky významnými anomálními oblastmi 95 % (vlevo) a 99 % (vpravo)

V obrázcích výše však není identifikováno jen několik oblastí pro zacílení aktivit, jak doporučujeme. Proto je vhodné testovat statistickou významnost jen na nejvyšších hodnotách. Doporučujeme kombinovaný postup, kdy z výsledku jádrového vyhlazení vybereme jen 20 % nejvyšších hodnot (může být také méně i více) a z těchto hodnot vybereme jen statisticky významné výsledky metodou G_i^* . Ve finální vizualizaci (obrázek níže vlevo) pak zobrazíme celkový výsledek, ve kterém vyznačíme statisticky významné výsledky pro 20 % nejvyšších hodnot.

Rovněž výsledky duálního jádrového vyhlazení mohou být analogicky zpracovány.

Doporučujeme také kombinovat výsledky jednoduchého a duálního vyhlazení. Na obrázku níže (vpravo) je vidět výstup, kdy jsou vícebarevnou metodou zobrazeny výsledky jednoduchého vyhlazení a šrafovanou ohraničenou plochou pak statisticky významné výsledky pro duální jádrové vyhlazení.

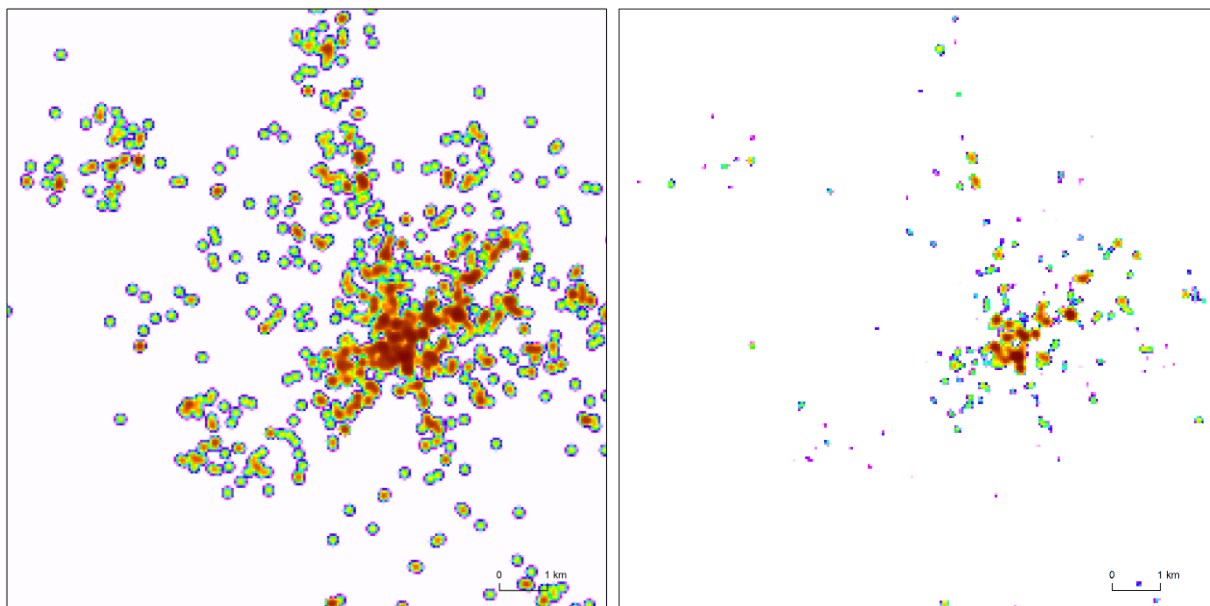


Obrázek 5 – Jádrové odhady s vyznačenými statisticky významnými anomálními oblastmi (20 % nejvyšších intenzit, vlevo) a kombinace se statisticky významnými výsledky duálního jádrového odhadu (vpravo)

3.7 Další postprocessing a vizualizace

V rámci postprocesingu můžeme dále ovlivnit výsledek zpracování dodatečnými výběry, jejich zpracováním a samozřejmě vhodnou formou vizualizace.

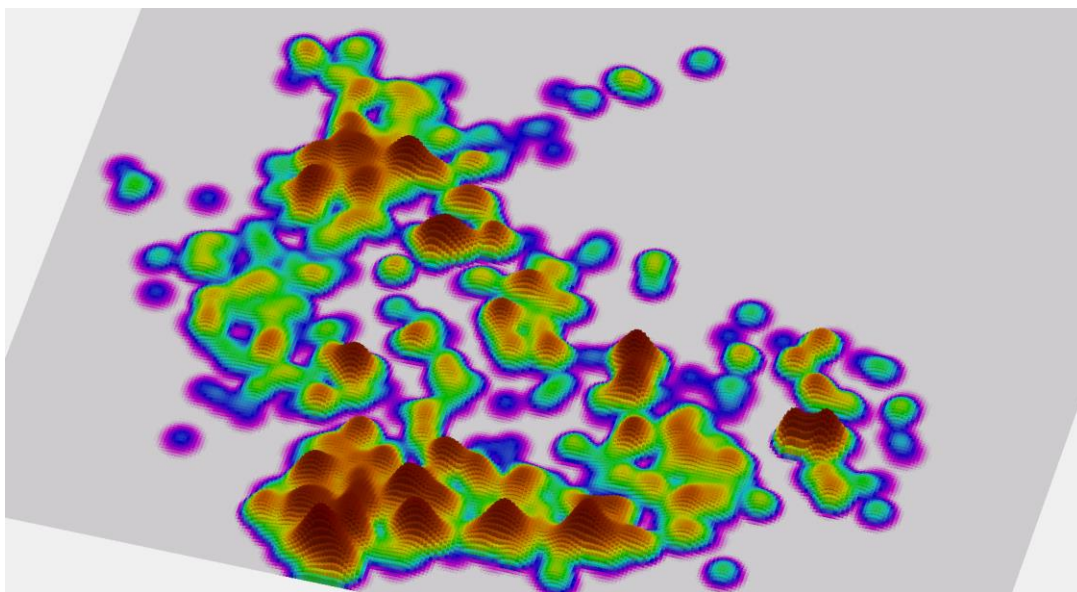
V situaci, kdy potřebujeme identifikovat jen několik anomálií vysokých hodnot, doporučujeme využít následujícího postupu, kdy se provede zobrazení buněk pouze s nejvyššími intenzitami, čímž zdůrazníme jen opravdu významné anomální oblasti. Nejedná se o statistickou metodu, která by ověřovala statistickou významnost. Pro vizuální identifikaci je však dostatečná. Pro tento postup je nutné zvolit určité procento nejvyšších hodnot. Konkrétní procento však není možné stanovit univerzálně. Pro nejběžnější příklady doporučujeme zobrazit 10 % nejvyšších hodnot (viz spodní dva příklady). V určitých mimořádných případech je potřeba toto procento zvýšit. Mezi tyto případy patří nejčastěji situace, kdy jsou události koncentrovány převážně do několika málo lokalit (např. obchodní centra), ale cílem je zobrazit i další ne tak významné anomální lokality.



Obrázek 6 – Zobrazení úplných dat a 10 % nejvyšších hodnot

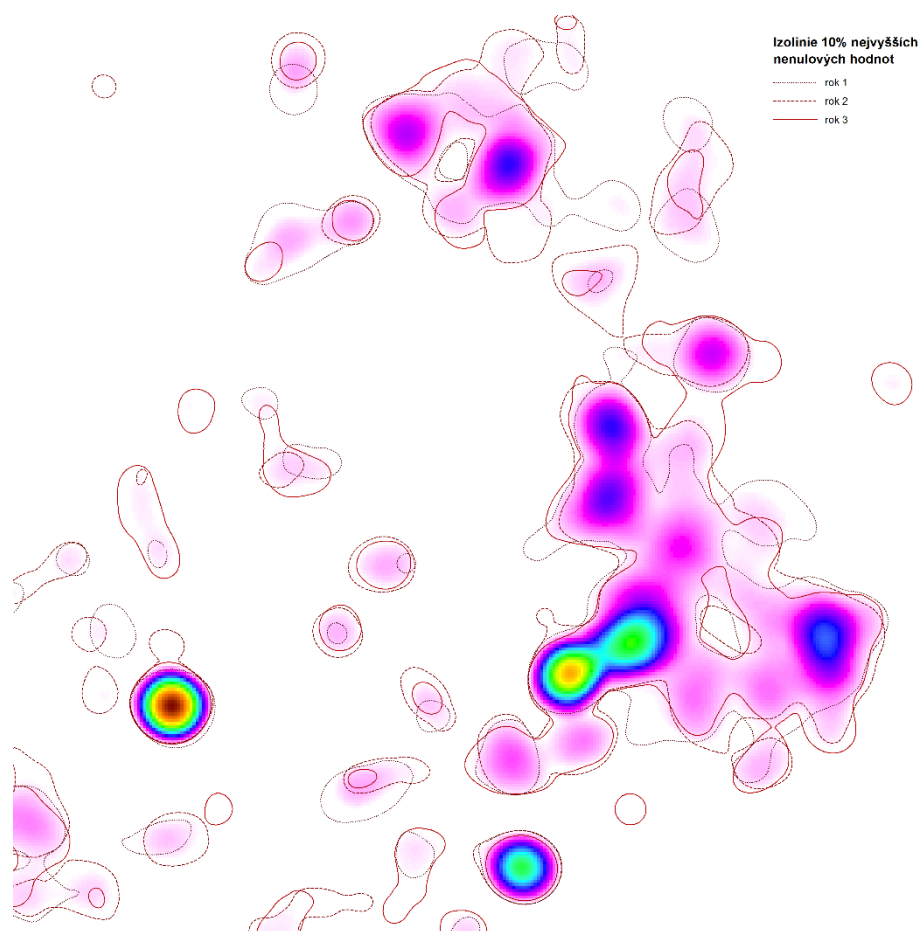
Z hlediska vizualizace doporučujeme tři různé metody zobrazení – vícebarevné, trojrozměrné a izoliniové. Pro běžné zobrazení anomálních lokalit doporučujeme použít vícebarevné zobrazení (podobně jako u map výše). Konkrétně použít vícebarevnou paletu pro zvýraznění jednotlivých hodnot. Použitá paleta používá odstíny modré pro nejnižší hodnoty, přechází dále do odstínů žluté až do odstínů červené pro nejvyšší intenzity. Je možné použít také jednobarevnou škálu, která však nezdůrazňuje rozdíly intenzit tak dobře. Doporučujeme výsledek doplnit také vhodným topografickým podkladem, který ulehčí následnou interpretaci výsledků a hledání dalších souvislostí mezi existencí anomální lokality a daným místem. Podle měřítka mapy doporučujeme použít ortofoto mapu, topografickou mapu, základní mapu apod.

Trojrozměrná vizualizace je efektní možnost prezentace výsledků. Nicméně pro praktické použití je nevhodná z důvodu, kdy jednotlivé vrcholy zakrývají situaci za nimi. Rovněž přidání topografického podkladu je problematické. Tuto možnost vizualizace nedoporučujeme pro běžné použití, ale jen jako doplňující možnost vizualizace k předchozí metodě vícebarevné. Naopak velice vhodná je tato metoda v případě dynamické prezentace, kdy je možnost s územím pohybovat a rotovat úhly pohledu.



Obrázek 7 – Ukázka trojrozměrné vizualizace

Izoliniová metoda je vhodná pro případ, kdy je v jedné mapě porovnáváno více jádrových odhadů na stejném území – časový vývoj (např. Steiner, Glasner, 2015) nebo různé kategorie trestné činnosti. Pokud by byla použita vícebarevné metoda nebo 3D vizualizace, tak by se jednotlivé výsledky překrývaly. Doporučujeme tedy převedení spojitého povrchu na izolinie spojující shodné hodnoty intenzit. Pro vlastní vizualizaci doporučuje použít tu izolinii, která vymezuje 10 % nejvyšších hodnot. Zároveň doporučujeme použít pro jednotlivé linie různé barvy a typ linie. Pokud jsou zobrazovány časové řezy, pak intenzita barvy chronologicky roste, stejně jako se linie postupně vyplňuje.



Obrázek 8 – Ukázka izoliniové metody vizualizace

Nezávisle na použité metodě musí být každý výstup doplněn informacemi o použitém nastavení jádrových odhadů. Vhodným způsobem je zápis metadat ke každému takovému datovému souboru. Musí být uvedena použitá metoda (jednoduchý, duální odhad), použitá vyhlazovací funkce, typ dosahu (fixní, adaptivní), hodnota dosahu (vzdálenost, v případě adaptivního dosahu i počet bodů) a velikost buňky gridu.

4 Srovnání a zdůvodnění novosti postupu metodiky

Autoři si nejsou vědomi existence stejné či podobné metodiky. Proto považují metodiku v podmínkách ČR za novou.

Novost postupu metodiky spočívá v zavedení doporučení, které upravují a standardizují využití metody plošných jádrových odhadů pro identifikaci a lokalizaci anomálií kriminality, rovněž se nově navrhuje postupy optimalizace parametrů a statistického hodnocení významnosti identifikovaných lokalit. Metodika pokrývá ucelený komplexní souhrn doporučených činností od přípravy dat až po vizualizaci výsledků.

Jednotná metodika umožňuje:

- jednotný způsob předzpracování dat,
- standardizovaný postup aplikace plošných jádrových odhadů k identifikaci anomálních lokalit kriminality,
- zajištění srovnatelnosti výsledků analýz prováděných různými subjekty a autory.

5 Uplatnění metodiky

Metodika je určena pro analytické pracovníky, kteří zpracovávají data o kriminalitě s cílem lokalizace anomálních lokalit pro další preventivní a operativní opatření a pro vytváření mapových výstupů s anomálními lokalitami. Metodika slouží především pro zajištění jednotného a objektivního postupu při zpracování dat o kriminalitě s korektním nastavením jádrového vyhlazení, následného vyhodnocení a vizualizací. Je připravená tak, aby ji mohl využít analytik i jen částečně seznámený s problematikou jádrových odhadů.

Metodika je použitelná pro data Policie ČR a také pro data městských a obecních policií, tj. jak pro trestné činy, tak i přestupky. Předpokládá se využití u Policie ČR na krajské a celostátní úrovni a u jakékoliv obecní policie. Podmínkou jsou jen kvalitně geokódovaná data a vhodné programové řešení jádrových odhadů.

6 Seznam použité literatury

- Anselin, L. (1995): Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, Vol. 27, 93–115.
- Anselin, L., Syabri I., Kho Y. (2005). *GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis*. *Geographical Analysis* vol. 38, No. 1, 5-22.
- Bailey, T., Gatrell, A. (1995): *Interactive spatial data analysis*. Essex, Longman Scientific & Technical, 413 s.
- Bíl, M., Andrášik, R., Janoška, Z. (2013): Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 55, 265-273.
- Eck, J. E., Chainey, S. P., Cameron, J. G., Leitner, M., Wilson, R. E. (2005): *Mapping Crime: Understanding Hot Spots*. USA: National Institute of Justice.
- Getis, A., Ord, J. K. (1992): The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, Vol. 24, No. 3, 189–206.
- Horák J. (2015a): *Prostorová analýza dat*. Skripta VŠB-TU Ostrava.
- Horák J. (2015b): *Metodika harmonizace, agregace a anonymizace dat kriminality*. Certifikovaná metodika. VŠB-TU Ostrava, 2015.
- Chainey, S. P., Ratcliffe, J. H. (2005): *GIS and Crime Mapping*. London: Wiley.
- Chainey, S., Tompson, L., Uhlig, S. (2008): The utility of hotspot mapping for predicting spatial patterns of crime. *Security Journal*. 21, 1-2.
- Chainey, S. (2011): Identifying hotspots: an assessment of common techniques. Presentation at the International Crime and Intelligence Analysis Conference November 2011, Manchester, England.
- Chainey, S. (2013): Examining the influence of cell size and bandwidth size on kernel density estimation crime hotspot maps for predicting spatial patterns of crime. *Bulletin of the Geographical Society of Liege*, 60, 7–19.
- Inspektor, T. (2011): *Metody agregace a adjustace geodat pro sledování prostorové segregace na příkladu Ostravy*. Disertační práce, VŠB-TU Ostrava, 2014. 132 stran.
- Ivan, I., Tesla, J. (2015): *Road and intersection accidents: localization of black spots in Ostrava*. *Geografický časopis*, v tisku.
- Levine, N. (2010). *CrimeStat: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations (v 3.3)*. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC. July.
- O'Sullivan, D., Unwin, D. (2014): *Geographic Information Analysis*. John Wiley & Sons, 432.
- Ratcliffe, J. (2004): *HotSpot Detective for MapInfo Helpfile Version 2.0*.
- Ripley, B. D. (1977): Modelling spatial patterns (with discussion). *J. Roy. Statist. Soc. B* 39, 172-212.
- Steiner, F., Glasner, P. (2015): Zkušenosti v oblasti mapování, analýz a predikce kriminality u policie v Rakousku. *Sborník příspěvků – Mapy budoucnosti*, Praha, 2015. http://www.prevencekriminality.cz/evt_file.php?file=838.

7 Seznam publikací předcházejících metodice

- Horák J. (2015): Prostorová analýza dat. Skripta VŠB-TU Ostrava.
- Horák J., Ivan I., Inspektor T., Kovář J., Návrátová M., Ohanka J. (2011): Kriminalita v Ostravě. In Hruška-Tvrđý et al.: „Industriální město v postindustriální společnosti, 4. díl, závěrečná monografie“. ACCENDO – Centrum pro vědu a výzkum o.p.s. 12/2011, 1. vydání, Ostrava, ISBN 978-80-904810-3-9. S. 128-154. 27 stran.
- Horák J., Ivan I., Návrátová M., Inspektor T. (2012): Analýza kriminality v Ostravě v roce 2010-2011. Závěrečná zpráva k HS 548103. Ostrava, 188 stran.
- Horák J., Ivan I., Ohanka J., Návrátová M. (2011): Analýza kriminality v Ostravě v roce 2009. Závěrečná zpráva k HS 548103. Ostrava, 134 stran.
- Inspektor, T. (2011): Metody agregace a adjustace geodat pro sledování prostorové segregace na příkladu Ostravy. Disertační práce, VŠB-TU Ostrava, 2014. 132 stran.
- Inspektor, T., Ivan, I., Horák, J. (2014): Mapping and Monitoring Unemployment Hot Spots towards Identification of Socially Excluded Localities: case study of Ostrava. Journal of Maps, vol. 10, No. 1, 35-46. ISSN 1744-5647. DOI: 10.1080/17445647.2013.847806
- Ivan, I.; Horák, J. (2012): Analýza kriminality v Ostravě. In Sborník GIS Ostrava 2012 - Současné výzvy geoinformatiky, 7 stran. ISBN 978-80-248-2792-6. ISSN 1213-239X.
- Ivan I., Horák J., Návrátová M., Inspektor T. (2013): Prostorová analýza kriminality v Ostravě 2009-2011. In sborník GIS Ostrava 2013, Ostrava.
- Ivan, I., Tesla, J. (2015): Road and intersection accidents: localization of black spots in Ostrava. Geografický časopis, v tisku.

8 Vysvětlení použitých pojmů

Pojem	Vysvětlení
Delikt	trestný čin nebo přešůpek, evidovaný příslušnými bezpečnostními složkami v jejich informačních systémech
Místo deliktu	místo spáchání nebo místo následku deliktu
Obecní policie	obecní či městské policie, zřízené dle zákona č. 553/1991 Sb. o obecní policii v aktuálním znění
prostorová autokorelace	závislost hodnot jevu v jednotlivých místech na hodnotách téhož jevu v blízkých místech
prostorová explorační analýza dat	Souhrn metod zjišťujících základní prostorové charakteristiky sady dat
percentilová mapa	mapa s rozdělením hodnot dle procentuálních četností (1 %, 9 %, 40 %, 40 %, 9 %, 1 %)
kvartilová mapa	mapa s rozdělením hodnot do kvartilů
kartogram	kartografická metoda plošným způsobem zobrazující relativní data v územních celcích

9 Seznam zkratk

Zkratka	Vysvětlení
GPS	Global Positioning System; americký systém GNSS
LISA	Local Indicators of Spatial Association; statistiky pro hodnocení existence lokálních shluků

10 Příloha: Příklady aplikačního software pro výpočty jádrových odhadů

Název	Verze	Výrobce	Licence	Forma výstupu	URL	absolutní kernel	duální kernel	vyhlazovací funkce	dosah	velikost buňky	jiné
CrimeStat IV	4.02	Ned Levine & Associates	zdarma pro nekomerční účely	Rastr (.dat formát) i vektor (shp, mif, jiné ASCII)	http://nedlevine.com/	ano	ano	výběr z 5	fixní a adaptivní	ano	Specializace na analýzy kriminality
ArcGIS Desktop	10.3.	ESRI	placená	rastr	http://desktop.arcgis.com/en/	ano	ne	Jen kvadratická	Pouze fixní	ano	
GeoMedia	2015	Hexagon	placená	rastr	http://www.hexagongeospatial.com/products/producer-suite/geomedia	ano	ne	Lze volit	fixní a adaptivní	ne	
MapInfo Pro - Desktop GIS	15.2	Pitney Bowes Software	placená	rastr	http://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html	ano		výběr ze 6	fixní a adaptivní	ano	
Map Modeller	8.0	Cadcorp	placená		http://www.cadcorp.com/products/desktop/map-			Lze volit	ano	ano	Zaměřeno na analýzy

					modeller						kriminality
QGIS	2.12.1	QGIS	zdarma	Lze volit, přednastaven GeoTIFF	http://www.qgis.org/en/site/	ano		Lze volit	ano	ano	
GRASS GIS	7.1	GRASS Development Team	zdarma	rastr	https://grass.osgeo.org/	ano	ne	výběr ze 7	fixní	ano	Nutnost programování, resp. znalost kódu
R statistics	3.2.3	CRAN	zdarma		https://www.r-project.org/	ano		bivariate normal kernel	fixní		Nutnost programování, resp. znalost kódu

Poznámky:

CrimeStat IV - nabízí nejkompaktnější implementaci umožňující volbu jak mezi všemi běžnými druhy kernelů, jak adaptivním a fixním pásmem, tak i výpočet duálního odhadu. Nad rámec běžným možnostem umožňuje u výstupu zvolit kromě absolutních hustot, i hustoty relativní a pravděpodobnost výskytu jevu v buňce. Detailní manuál je k dispozici zde: <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/242960-242995.pdf>.

GeoMedia Desktop - jádrové vyhlazování se nachází v extenzi Grid v menu Interpolation jako nástroj Density. Nástroj obsahuje většinu podstatných nastavení – adaptivní pásmo, typ kernelu, možnost počítat vážený jádrový odhad. Není zde řešen dosah kernelu, ten je zcela závislý na sousedech. V praxi se tak počítá pouze adaptivní kernel.

Nevhodně je řešena volba velikosti buňky, která se nevolí explicitně, ale specifikuje se, na jakou plochu se jádrové vyhlazování počítá (ve výchozím nastavení km²). Nastavení velikosti buňky tak není přímo dostupné z nástroje, ale musí se provést při vytvoření gridu.

Více informací je k dispozici zde:
<https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/book#!book;uri=d697ac1e302b4bce1d79722e4e4261b0;breadcrumb=42352cc5c9c8eb9183e92459d8d2d1bc-d0a63eb115b26f5d1158b8f258e71116-e4999e6d1c6b9ec914ae8c09bdcf64ed-9444623f310854853c184badcf67864c>

ArcGIS - implementuje jádrové vyhlazování v nástroji Kernel Density v toolboxu Spatial Analyst. Nástroj neobsahuje možnost nastavení adaptivního pásma a má k dispozici pouze kvadratický typ kernelu. Více informací k tomu jak fungují jádrové odhady v prostředí ArcGIS je popsáno zde: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>.

MapInfo Pro - Desktop GIS - funkce pro jádrové vyhlazování je k dispozici v extenzi VerticalMapper. Detailní popis extenze je k dispozici zde: http://reference.mapinfo.com/software/vertical_mapper/english/3_7/VerticalMapperUserGuide.pdf.

MapViewer – zřejmě disponuje jistou formou jádrových odhadů, ale o programu nejsou k dispozici dostatečné informace.

Map Modeller - popis implementace jádrového vyhlazování v tomto softwaru je k dispozici zde: http://www.cadcorp.com/files/uploads/resource-files/ps_hot_spot_mapping_using_kde.pdf. K dispozici je video návod na jejich kanálu na YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=T7wcY3qVcVc>.

QGIS - další info je k dispozici zde: <http://www.digital-geography.com/create-point-density-raster-in-qgis/#.VmftTtLhC9I>

GRASS GIS - manuál a popis je k dispozici zde: <https://grass.osgeo.org/grass71/manuals/v.kernel.html>

R statistics - ve funkci *kde2d* v balíku MASS. Více zde: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/MASS/html/kde2d.html>