

# MODELI S PROSTORSKO OMEJITVIJO ZA OCENJEVANJE GOSTOT SUPERPOPULACIJ

## SPATIALLY EXPLICIT MODELING OF SUPERPOPULATION DENSITY

ROMAN LUŠTRIK

21. marec 2013

### Kazalo

<b>1 Znanstveno področje na katerega se nanaša predlagana tema doktorske disertacije</b>	<b>1</b>
<b>2 Prikaz dosedanjih raziskovanj opredeljenega raziskovalnega problema</b>	<b>1</b>
<b>3 Raziskovalne hipoteze</b>	<b>3</b>
<b>4 Metode raziskovanja</b>	<b>3</b>
<b>5 Pričakovani rezultati in prispevek disertacije k razvoju znanosti</b>	<b>4</b>

### **1 Znanstveno področje na katerega se nanaša predlagana tema doktorske disertacije**

V ekologiji je v raziskavah v povezavi z živalskimi populacijami ocena velikosti populacije pomembno izhodišče. S pomočjo modelov ulova in ponovnega ulova lahko k štetju pristopimo na statističen način. Ker smo pri štetju navadno prostorsko omejeni, bomo v tem delu raziskali možnost vključitve prostorske omejitve pri oceni številčnosti in ocenjevanju velikosti območja superpopulacij. Tako bomo prispevali k boljšemu poznavanju ocenjevanja številčnosti in gostot ter poznavanju učinka roba. Rešitve bodo zanimive za raziskovalce v ekologiji in varstveni biologiji.

## 2 Prikaz dosedanjih raziskovanj opredeljenega raziskovalnega problema

Kot populacijo si predstavljamo osebkke, ki pripadajo isti vrsti in naseljujejo določen prostor v določenem času (Krebs, 2001). Populacije so umeščene v prostor, nanje pa vplivajo abiotski in biotski dejavniki. Poznavanje velikosti populacije je ključno za upravljanje s populacijo (s čimer se ukvarja t.i. varstvena biologija). Številčnost (navadno jo označimo z  $\hat{N}$ ) pogosto ocenjujemo s pomočjo modelov ulova in ponovnega ulova. Pri tej metodi osebek označimo, nato pa spremljamo njegovo ulovljivost (verjetnost, da bomo osebek zaznali) (Williams *et al.*, 2002).

Za ocenjevanje velikosti populacij so uporabni modeli za zaprte populacije (t.i. *closed population capture-recapture models*, Cooch & White (2012)), saj so ti modeli bolj praktični za uporabo. Da bodo cenilke parametrov za te modele nepristranske, morajo med vzorčenjem veljati tri predpostavke: prostorska in demografska zaprtost populacije (ang. *closure*), enako verjetna ulovljivost in, da so oznake osebkov zanesljive. Za naše potrebe bomo predpostavili zaprto populacijo. Zaprtost populacije se v praksi rešuje z vzorčenjem v relativno kratkem časovnem obdobju in dovolj velikem območju vzorčenja. Zaradi zanesljivosti določitve osebkov z molekularnimi metodami lahko predpostavimo zanesljivost oznak (Waits & Paetkau (2005)). V tem delu bomo podrobneje preučili predpostavko o enako verjetni ulovljivosti.

Vzorčenja v študijah so navadno omejene finančno, časovno ali fizično na določeno območje (npr. mejo rezervata ali državno mejo). Zaradi velikosti vzorčenega območja nekateri osebkki prehajajo rob vzorčenega območja, kar ima za posledico kršenje predpostavke o zaprtosti populacije. Drugače rečeno, vzorčeno območje in domači okoliš osebkov se lahko le delno prekrivata. Zaradi prehajanja roba se verjetnost ulovljivosti spremeni, saj osebek ni vedno na voljo za ulov. Kendall (1999) je pokazal, da je za populacije, ki prehajajo rob vzorčenega območja naključno,  $E(\hat{p}_i) = \tau_i p_i$ , kjer je  $\tau_i$  verjetnost, da vzorčimo osebek  $i$  iz superpopulacije v danem odlovnem intervalu in  $p_i$  ulovljivost.

Gibanje osebkka lahko poenostavimo s funkcijo, ki opisuje verjetnost nahajanja v določeni točki domačega okoliša. Osi  $x$  in  $y$  predstavljata položaj glede na zemljepisno širino oz. dolžino, os  $z$  pa verjetnost nahajanja v dani točki. Ocena gostote populacije bo nepristranska, če bodo imeli vsi osebkki v vzorčenem območju  $\tau = 1$ . Če imajo nekateri osebkki  $\tau < 1$ , bo ocena pristranska. Pristranskost parametrov zaradi prehajanja meje vzorčenega območja imenujemo tudi *učinek roba*.

Učinek roba je že dolgo znan problem (Efford, 2004). Prvič se v literaturi z njim ukvarja Dice (1938, 1941), ki predlaga, da se vzorčeno območje poveča za polmer domačega okoliša. To razširjeno področje gostuje superpopulacijo, ki jo vzorčimo. Dosedanje raziskave s področja metod ulova in ponovnega ulova se osredotočajo predvsem na vzorčenje s pomočjo pasti na mreži ali situ (pregled teh metod najdemo v Williams *et al.* (2002), poglavje 14). Dela, ki se ukvarjajo s popravljanjem učinka roba, navadno uporabljajo ta način lova (Parmenter *et al.*, 2003).

Prvi prispevek, ki predpostavlja heterogeno ulovljivost posameznega osebkka, so objavili Otis *et al.* (1978), vendar so že v tem delu predvideni zapleti, saj je potrebno ocenjevati veliko število parametrov. Število parametrov lahko zmanj-

šamo tako, da predpostavimo nekaj “tipov” osebkov. Na primer, take, ki so stalno prisotni v vzorčenem območju in take, ki občasno prehajajo rob vzorčnega območja. Miller *et al.* (2005) predstavijo model, ki po naravi ni prostorski, izrabi pa dejstvo, da je bilo v enem odlovnem intervalu za posamezen osebek zabeleženih več vzorcev. S heterogenostjo ulovljivosti se ukvarjajo še Burnham & Overton (1978), Chao (1988) in Pledger (2005).

Z razvojem genetike in GPS tehnologije je možno “odloviti” osebek tudi s pomočjo neinvazivnih genetskih vzorcev, za kar so razvili modele, ki vključujejo prostorsko komponento (angl. *spatially explicit models*). Tako dobimo (grob) predstavo o gibanju živali (lahko samo z enim odlovnim intervalom). Ker modeli izrabljajo prostorsko informacijo je mogoče oceniti velikost območja, kjer se nahaja superpopulacija, kar je ključen podatek za zanesljivo računanje populacijske gostote (Gardner *et al.*, 2009; Royle *et al.*, 2011; Efford, 2011; Borchers, 2012; Royle *et al.*, 2013). Od teh sta metodi avtorjev Royle *et al.* (2011) in Efford (2011) primerni za podatke, ki niso vezani na odlov s pomočjo pasti, kar bo pomembno za naše delo.

### 3 Raziskovalne hipoteze

Royle *et al.* (2011) so pokazali, da novejši modeli ulova in ponovnega ulova z vključevanjem prostorske komponente izboljšajo oceno ulovljivosti, hkrati pa ocenijo velikost območja superpopulacije. Klasični modeli omogočajo ocenjevanje velikosti superpopulacije, a jim manjka še prostorska dimenzija. Statistiko, ki opiše pojavljanje posameznega osebkov v prostoru (domačem okolišu) glede na vzorčeno območje, lahko uporabimo kot individualno kovariato v klasičnih modelih, ki to podpirajo.

Pričakujemo, da bomo z upoštevanjem prostorske komponente (kot individualno kovariato, ki do neke mere opiše gibanje osebkov) izboljšali oceno velikosti populacije. Z upoštevanjem dodatne informacije o gibanju bomo izboljšali oceno ulovljivosti, saj bomo vključili eno od pomembnih komponent, ki vplivajo na zaznavnost ( $\tau$ ) in ulovljivost ( $p$ ) osebkov. S pomočjo poznavanja gibanja povprečnega osebkov pričakujemo, da bomo lahko ocenili velikost območja, na katerem se zadržuje superpopulacija. Z upoštevanjem teh popravkov pričakujemo, da bomo lahko bolj pravilno ocenili populacijsko gostoto.

### 4 Metode raziskovanja

Denimo, da imamo za vsak ujet osebek v odlovnem intervalu vsaj en podatek o lokaciji odlova. Več podatkov kot imamo, bolj lahko opišemo velikost in gibanje osebkov v domačem okolišu. Informacijo o lokaciji domačega okoliša in njegove velikosti lahko izkoristimo za generiranje nove statistike. Ker imamo navadno premalo točk, da bi lahko zadovoljivo opisali gibanje osebkov znotraj domačega okoliša, imamo dve možnosti.

Prva je, da na podlagi parametričnega modela predpostavimo verjetnost pojavljanja osebkov na določeni točki znotraj domačega okoliša. V ta namen lahko, med drugimi, uporabimo pol-normalno ali inverzno-normalno porazdelitev (bivariatno normalna porazdelitev). Odstotek prekrivanja domačega okoliša (glede na funkcijo, ki opisuje verjetnost pojavljanja v domačem okolišu) je predmet

preučevanja (individualna kovariata).

Druga možnost je neparametrična. Na podlagi razdalj parov točk osebkov, ki imajo vsaj dve vzorčni točki, izračunamo empirično porazdelitveno funkcijo razdalj. To funkcijo uporabimo za računanje verjetnosti nahajanja osebkov v dani točki domačega okoliša. Vzorčne točke za izračun razdalj lahko dobimo s pomočjo drugih metod, npr. GPS-GSM telemetrijo (po potrebi točke redčimo za zmanjševanje avtokorelacije (Royle *et al.*, 2013)).

Odstotek prekrivanja domačega okoliša osebkov z vzorčenim območjem pove nekaj o prispevku gostoti osebkov v območju vzorčenja in o potencialni ulovljivosti. To lahko uporabimo kot individualno kovariato v katerem izmed modelov ulova in ponovnega ulova, ki temelji na generaliziranih linearnih modelih (npr. Hugginsov model, Schwartz-Arnasonova modifikacija Jolly-Seberjevega modela ipd).

Izračunali bomo različne informacije, ki opisujejo gibanje v domačem okolišu (uporaba različnih predpostavk - krivulj) in preverili njihovo ustreznost kot pokazatelje modifikatorje ulovljivosti tako, da jih bomo vključili v modele, ki primarno niso prostorski. Za primerjavo bomo analizirali podatke še z modeli, ki vključujejo prostorsko komponentno oz. predpostavijo nekaj različnih skupin, ki imajo skupno ulovljivost.

S simulacijami bomo preverili, ali predlagane izračunane kovariate izboljšajo ocene velikosti superpopulacije. Na večjem območju bomo generirali osebkove in jih vzorčili znotraj manjšega območja. Vsi osebki, ki kadarkoli pridejo v stik z vzorčenim območjem pripadajo superpopulaciji. Vzorčili bomo v odlovnih intervalih po eno točko. Ker bomo kontrolirali verjetnost ulovljivosti in poznali število osebkov, ki so na voljo za vzorčenje, bomo lahko preverili zanesljivost naše ocene.

Podatke odlovne zgodovine bomo analizirali s pomočjo programa MARK (oz. vmesnika za R, paket RMark). Zanimalo nas bo, če bo model, kjer vključimo individualno kovariato, boljši od tistega, kjer individualne kovariate ne vključimo (in predpostavljamo homogeno ulovljivost). Modele bomo primerjali s pomočjo popravljenega Akaikevega informacijske kriterija (AICc) (Akaike, 1974; Burnham & Anderson, 2002). Drugi pokazatelj bo odstopanje ocenjene gostote od simulirane. S simulacijami bomo poskušali zaobjeti čim večji parametrski prostor. Simulacije bodo sprogramirane v programskem jeziku R, in bodo po potrebi poganjane na visoko zmogljivem računalniškem sestavu.

## 5 Pričakovani rezultati in prispevek disertacije k razvoju znanosti

Pričakujemo, da bomo s pomočjo vključevanja individualnih kovariat, ki dajejo podatkom nekakšno prostorsko razsežnost, opisali heterogenost ulovljivosti in izboljšali oceno velikosti populacije. Tako bomo omogočili, da do neke mere modeli, ki prostorske komponente ne vključujejo, izrabijo tudi to informacijo. S poznavanjem gibanja osebkov bomo lahko ocenili velikost območja, ki ga naseljuje superpopulacija. S pomočjo bolj natančnih ocen gostot bodo raziskovalci, upravljalci parkov in lovišč dobili boljši vpogled v populacijo in s tem imeli možnost izboljšanja upravljanja. Rezultati bodo imeli praktičen pomen v ekologiji in varstveni genetiki.

## Literatura

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *Automatic control, IEEE transactions*, **19**, 716–723.
- Borchers, D. 2012. A non-technical overview of spatially explicit capture-recapture. *Journal of ornithology*, **152**, S435–S444.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. 2002. *Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach (2nd ed.)*. Springer-Verlag New York, Inc.
- Burnham, K. P., & Overton, W. S. 1978. Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biometrika*, **65**(3), 625–633.
- Chao, A. 1988. Estimating animal abundance with capture frequency data. *Journal of wildlife management*, **52**(2), 295–300.
- Cooch, E., & White, G. 2012. *Program MARK: A gentle introduction (11th edition)*. 11 edn.
- Dice, L. R. 1938. Some census methods for mammals. *The journal of wildlife management*, **2**(3), 119–130.
- Dice, L. R. 1941. Methods for estimating populations of mammals. *The journal of wildlife management*, **5**(4), 398–407.
- Efford, M. 2004. Density estimation in live-trapping studies. *Oikos*, **106**, 598–610.
- Efford, M. G. 2011. Estimation of population density by spatially explicit capture-recapture analysis of data from area searches. *Ecology*, **92**(12), 2202–2207.
- Gardner, B., Royle, J. A., & Wegan, M. T. 2009. Hierarchical models for estimating density from DNA mark-recapture studies. *Ecology*, **90**(4), 1106–1115.
- Gopalaswamy, A. M., Royle, J. A., Hines, J. E., Singh, P., Jathanna, D., Kumar, N. S., & Karanth, K. U. 2012. Program SPACECAP: software for estimating animal density using spatially explicit capture-recapture models. *Methods in ecology and evolution*, **3**, 1067–1072.
- Kendall, W. L. 1999. Robustness of closed capture-recapture methods to violations of the closure assumption. *Ecology*, **80**(8), 2517–2525.
- Krebs, C. J. 2001. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance (5th ed.)*. Benjamin Cummings (California, USA).
- Miller, C. R., Joyce, P., & Waits, L. 2005. A new method for estimating the size of small populations from genetic mark-recapture data. *Molecular ecology*, **14**, 1991–2005.

- Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G.C., & Anderson, D. R. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife monographs*, **62**, 3–135.
- Parmenter, R. R., Yates, T. L., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Dunnum, J. L., Frankin, A. B., Friggens, M. T., Lubow, B. C., Miller, M., Olson, G. S., Parmenter, C. A., Pollard, J., Rextad, E., Shenk, T. M., Stanley, T. R., & White, G. C. 2003. Small-mammal density estimation: A field comparison of grid-based vs. web-based density estimators. *Ecological monographs*, **73**(1), 1–26.
- Pledger, S. 2005. The performance of mixture models in heterogeneous closed population capture-recapture. *Biometrics*, **61**, 868–876.
- Royle, A. J., Chandler, R. B., Sun, C. C., & Fuller, A. K. 2013. Integrating resource selection information with spatial capture-recapture. *Methods in ecology and evolution*, 1–42.
- Royle, J. A., Kéry, M., & Guélat, J. 2011. Spatial capture-recapture models for search-encounter data. *Methods in ecology and evolution*, 1–10.
- Waits, L. P., & Paetkau, D. 2005. Noninvasive genetic sampling tools for wildlife biologists: a review of applications and recommendations for accurate data collection. *Journal of wildlife management*, **69**(4), 1419–1433.
- Williams, B. K., Nichols, J. D., & Conroy, M. J. 2002. *Analysis and Management of Animal Populations: Modeling, Estimation and Decision Making*. Academic press.