

MODELI S PROSTORSKO OMEJITVIJO ZA OCENJEVANJE GOSTOT SUPERPOPULACIJ

SPATIALLY EXPLICIT MODELING OF SUPERPOPULATION DENSITY

ROMAN LUŠTRIK

21. marec 2013

Kazalo

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

1 Znanstveno področje na katerega se nanaša predlagana tema doktorske disertacije

V ekologiji je pogosto kamen spotike zanesljivo štetje osebkov. S pomočjo modelov ulova in ponovnega ulova lahko v oceno vnesemo še statistično negotovost štetja. 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 osebe, 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 pri trajnostnem odvzemu osebkov iz populacije (npr. zaradi potreb lova) ali pa za zagotavljanje številčnosti osebkov nad mejo, ki še omogoča obstoj populacije (s čimer se ukvarja t.i. varstvena biologija). Številčnost (navadno jo označimo z \hat{N}) je parameter, ki ga pogosto ocenjujemo s pomočjo modelov ulova in ponovnega ulova.

Pri metodah ulova in ponovnega ulova osebek označimo, nato pa spremljamo ulovljivostjo (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)). 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 vzorčenem območju. 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 osebki prehajajo rob vzorčenega območja, kar ima za posledico kršenje predpostavke o zaprtosti populacije. Drugače rečeno, vzorčeno območje in domač 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 τ_i verjetnost, da vzorčimo osebek i iz superpopulacije v danem odlovnem intervalu in p_i ulovljivost.

Gibanje osebkov si lahko predstavljamo kot ploskev oz. prostornina, če gledamo kot tridimenzionalen pojav. Osi x in y predstavljata premik glede na zemljepisno širino oz. dolžino, os z pa verjetnost nahajanja v dani točki. Ocena gostote populacije bo nepristranska, če bodo imeli vsi osebki v vzorčenem območju $\tau = 1$. Če imajo nekateri osebki $\tau < 1$, 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 vzorčenemu območju doda eno polovico domačega okoliša. To razširjeno področje naj bi predstavljalo 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, sledijo tej postavitvi (Parmenter *et al.*, 2003).

Prvi prispevek, ki predpostavlja heterogeno ulovljivost posameznega osebkov, so objavili Otis *et al.* (1978), vendar so že v tem delu predvideni zapleti, saj je potrebno pri tem ocenjevati veliko število parametrov. Število parametrov lahko zmanjšamo tako, da predpostavimo nekaj "tipov" osebkov, npr. take, ki so stalno prisotni v vzorčenem območju in take, ki občasno prehajajo rob vzorčenega 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 o nahajanju osebkov, 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.

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) izboljšali oceno velikosti populacije. Z upoštevanjem dodatne informacije o gibanju bomo izboljšamo oceno ulovljivosti, saj bomo vključili eno od pomembnih komponent, ki vplivajo na zaznavnost (τ) in ulovljivost (p) osebkov. S pomočjo poznavanja gibanja povprečnega osebkov pričakujemo, da bomo lahko ocenili prispevno območje, 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 točki odlova. Več točk kot imamo, bolje lahko opišemo velikost in pojavljanje 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).

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 komplementarnih metod, npr. GPS-GSM telemetrijo (po potrebi točke redčimo za zmanjševanje avtokorelacije Royle *et al.* (2013)).

Ta statistika odraža prekrivanje domačega okoliša osebkov z vzorčenim območjem in pove nekaj o prispevku h gostoti osebkov znotraj vzorčenega območja 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 prostorske informacije (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 (v izogib popačenja zaradi "stene"). 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, simulacije pa 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 modele, ki ne vključujejo prostorske komponente, postavili ob bok novejšim modelom, ki imajo prostorsko komponentno vgrajeno. S poznavanjem gibanja osebkov bomo lahko ocenili velikost prispevnega območja, ki ga naseljuje superpopulacija. S pomočjo bolj natančnih ocen gostot bodo dobili raziskovalci in upravljalci parkov in lovišč boljši vpogled v populacijo in s tem izboljšali upravljanje. 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.