

MODELI S PROSTORSKO OMEJITVIJO ZA OCENJEVANJE GOSTOTE SUPERPOPULACIJE

SPATIALLY EXPLICIT MODELING OF SUPERPOPULATION DENSITY

ROMAN LUŠTRIK

14. februar 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 iz biostatistike lahko v to 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 superpopulacija. Tako bomo prispevali k boljšemu poznavanju ocenjevanju 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 smatramo 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 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.

En sklop metod za ocenjevanje velikosti populacije so metode ulova in ponovnega ulova (Williams *et al.*, 2002) v vzorčnem območju. Pri tej metodi osebek označimo, nato pa spremljamo ulovljivostjo (verjetnost, da bomo osebek zaznali).

Za ocenjevanje velikosti populacij so uporabni modeli za zaprte populacije (t.i. *closed population capture-recapture models* sensu 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, da je populacija zaprta. Zaprtost se v praksi rešuje z vzorčenjem v relativno kratkem časovnem obdobju in dovolj velikem vzorčenem območju. Predpostavimo lahko zanesljivost oznak (glej Waits & Paetkau (2005)). V tem delu se 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). Ker težko zagotavljamo dovolj veliko območje za vzorčenje celotne populacije, nekateri osebki prehajali rob vzorčenega območja. Drugače rečeno, vzorčeno območje in njihov okoliš se le delno prekrivajo. Zaradi prehajanja 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, ko je osebek znotraj vzorčenega območja.

Če si predstavljamo osebek kot ploskovni pojav, je to ploščina domačega okoliša (oz. volumen, če gledamo kot tridimenzionalen pojav, kjer je z os verjetnost nahajanja v dani točki), ki se nahaja znotraj vzorčenega območja. Ocena bo nepristranska, če bodo imele vse v modelu vključene živali $\tau = 1$. Če imajo nekateri osebki $\tau < 1$, bo ocena pristranska. Osebki, ki živijo na robu vzorčenega območja, in domačega okoliša nimajo v celoti v vzorčenem območju, in ker prehajajo rob, imajo $\tau < 1$. 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 predstavljala superpopulacijo, ki je dejanski predmet vzorčenja. Dosedanje raziskave s področja metod ulova in ponovnega ulova so se osredotočale predvsem na vzorčenje s pomočjo pasti na mreži ali situ (pregled teh metod je v Williams *et al.* (2002) v poglavju 14) in tudi dela, ki se ukvarjajo s popravljanjem učinka roba sledijo tej postavitvi (Parmenter *et al.*, 2003).

Nekateri poizkušajo rešiti problem neenake ulovljivosti s pomočjo modeliranja heterogenosti ulovljivosti. Prvi prispevek, ki predpostavlja heterogeno ulovljivost posameznega osebk, 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. Poglobljen pregled literature, ki se ukvarja s heterogenostjo ulovljivosti najdemo v 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) predstav 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

Pokazali so, da novejši modeli ulova in ponovnega ulova z vključevanjem prostorske komponente izboljšajo oceno ulovljivosti, hkrati pa ocenijo velikost območja superpopulacije (Royle *et al.*, 2011). Klasični modeli omogočajo ocenjevanje velikosti superpopulacije, a jim manjka še prostorska dimenzija. Statistiko, ki opiše pojavljanje posameznega osebkov v domačem okolju, lahko uporabimo kot individualno kovariato, ki jo vključimo v klasične modele, ki podpirajo individualne kovariate. Pričakujemo, da tako izboljšamo ocene ulovljivosti, saj bomo vključili eno od pomembnih komponent, ki vplivajo na zaznavnost (τ) in ulovljivost (p) osebkov. S pomočjo poznavanja gibanja povprečnega osebkov bomo lahko ocenili tudi prispevno območje, na katerem se zadržuje superpopulacija.

4 Metode raziskovanja

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

Prva je, da na podlagi parametričnega modela predpostavimo verjetnost pojavljanja osebkov na določeni točki znotraj svojega domačega okolja. V ta namen lahko uporabimo na primer pol-normalno ali inverzno-normalno porazdelitev (bivariatno normalna porazdelitev).

Druga možnost je neparametrična. Na podlagi parnih razdalj točk osebkov, ki imajo vsaj dve vzorčni točki, izračunamo empirično porazdelitveno funkcijo prehojenih razdalj, ki jo uporabimo za računanje verjetnosti nahajanja osebkov v dani točki domačega okolja. Tako dobimo preko prehojenih razdalj krivuljo verjetnosti pojavljanja za “povprečen” osebek. Vzorčne točke za izračun hodnih razdalj lahko dobimo tudi s komplementarnimi metodami, npr. GPS-GSM

telemetrijo (po potrebi točke redčimo sensu [Royle *et al.* \(2013\)](#)).

Ta statistika odraža prekrivanje domačega okoliša osebkov z vzorčenim območjem in pove nekaž o prispevku h gostoti osebkov znotraj vzorčenega območja. To lahko smatramo 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 tako, da jih bomo vključili v modele, ki primarno niso prostorski. Za primerjavo bomo analizirali podatke še z novjšimi modeli, ki vključujejo prostorsko komponentno.

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 osebkovi, 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 Akaikovega informacijskega kriterija (AICc) ([Akaïke, 1974](#); [Burnham & Anderson, 2002](#)). Za boljšo zanesljivost dobljenih rezultatov bomo simulacije poglali mnogokrat. Simulacije bodo sprogramirane v programskem jeziku R, simulacije pa bodo po potrebi poganjane na visoko zmogljivem računalniškem sestavu. V pomoč nam bodo tudi orodja za modele s prostorsko omejitvijo ([Borchers, 2012](#); [Gopalaswamy *et al.*, 2012](#)).

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 novjšim modelom, ki imajo prostorsko komponentno vgrajeno. S poznavanjem gibanja osebkov bomo lahko še 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.