

ČASOVNA EKSTRAPOLACIJA RADARSKIH ODBOJEV IZ OZRAČJA

TIME EXTRAPOLATION OF WEATHER RADAR ECHOES

Anton ZGONC¹
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 1. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Kratkoročne napovedi radarskih slik lahko dobimo iz zaporednih radarskih slik, ki si sledijo na največ pol ure. Vektorje premikov delov slike izračunamo s korelacijsko metodo TREC. Primerjali smo več kriterijev podobnosti med deli obeh slik. Izkaže se, da je namesto korelacijskega koeficienta, ki se običajno uporablja, bolj primeren kriterij povprečna absolutna razlika med deloma slik ali drugi sorodni kriteriji. Zelo odstopajoče vektorje smo nadomestili s povprečjem najbližjih sosedov, nato pa sem z variacijsko tehniko COTREC zgladil polje premikov tako, da zadošča plitvi kontinuitetni enačbi. Ekstrapolirana polja radarskih odbojev dobimo z vzvratno časovno integracijo trajektorij vzdolž hitrostnega polja, za katerega predpostavmo, da se ne spreminja s časom. Točkovne vrednosti radarskih odbojev so enostavno advektirane.

SUMMARY

Short-term forecasts for radar echo patterns can be obtained from consecutive radar images taken about half an hour apart or preferably less. Calculation of motion vectors is made by a cross-correlation method (TREC). Several criteria for similarity of boxes of both images are compared. The cross-correlation coefficient, which is commonly used, turns out to be inferior to some other criteria such as the mean absolute difference between boxes. A variational technique with constraint to fulfil the shallow continuity equation (COTREC) is used to smooth the motion vector field and to eliminate noisy vectors. Extrapolated radar echo patterns are then obtained by backward-time integration of trajectory lines over motion vector field that is assumed to be constant in time. The values of radar echoes are simply advected.

¹ Anton Zgonc, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tone.zgonc@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 UVOD

Radarske slike se merijo na tipično 5-30 minut. Pri tem je očitno, da se zlasti ob stratiformnih padavinskih situacijah padavinski sistemi radarskih odbojnosti premikajo, gledano iz slike v sliko, pri tem pa se bolj ali manj spreminjajo. Časovna skala stratiformnih procesov je okoli 6 ur, zato pričakujemo, da bi lahko nekako do tega časa vnaprej predvidevali gibanja stratiformnih sistemov na radarskih slikah. Časovna skala konvektivnih procesov je bistveno krajša, okoli 30 minut. Pri tem se močno razlikujejo različni tipi konvekcije. Tako se najhitreje spreminja termična konvekcija (v diplomu poimenovava kot lokalna konvekcija), tudi hitreje kot v pol ure. Frontalna konvekcija je precej vezana na stratiformni sistem, ki jo je povzročil, zato ima časovno skalo nekje vmes med 30 min in nekaj ur. Enako velja za organizirano konvekcijo, to je sistem selic, ki zaradi vetrovnega striženja v višinah vzdržuje samega sebe in se giblje približno v smeri splošnega vetra.

Ideja je preizkusiti eno od novejših in sorazmerno preprostih metod za prepoznavanje in sledenje premikov padavinskih sistemov na radarskih slikah, to je COTREC (Li, Schmidt in Joss 1995). Med izdelavo programja se je pokazalo, da lahko metodo izboljšamo z delno modifikacijo.

Uporabili smo radarske slike arhiva RC Lisca 1990-98. Radar an Lisci slabo pokriva alpska in dinarska gorata območja, zato je delovno območje področje 100x100 km okoli radarja. Celotna radarska slika ima sicer dimenzije 200x200 km.

2 SLEDENJE RADARSKIM ODBOJNOSTIM

Za sledenje odbojnosti na zaporednih radarskih slikah uporabimo metodo TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation), prvič omenjeno v Rinehart in Garvey (1978). Metoda deluje na principu iskanja parov najpodobnejših območij na prvi in drugi radarski sliki. Območji sta enakih velikosti, le da območje na prvi sliki pustimo na izbrani lokaciji, na drugi sliki pa prečesemo vso okolico, dokler ne najdemo najpodobnejšega. Primerjamo ju s kriteriji za podobnost. V literaturi, ki je bila na voljo, so za kriterij podobnosti uporabljali korelacijski koeficient. Med izdelavo programja se je pokazalo, da ta kriterij ne razločuje dobro med podobnimi si območji. Preizkusil sem še druge kriterije, opisane v Pavešić (1992):

$$\begin{aligned} \text{metrika Manhattan} \quad & -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -|\mathbf{a} - \mathbf{b}| \\ \text{evklidska metrika} \quad & -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -|\mathbf{a} - \mathbf{b}|^{1/2} \\ \text{metrika Minkowskega} \quad & -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -|\mathbf{a} - \mathbf{b}|^{1/s} \\ \text{korelacijski koeficient} \quad & r(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{(\mathbf{a} - \bar{\mathbf{a}})(\mathbf{b} - \bar{\mathbf{b}})}{\sqrt{|\mathbf{a} - \bar{\mathbf{a}}|^2 \cdot |\mathbf{b} - \bar{\mathbf{b}}|^2}} \\ \text{metrika Canberra} \quad & -d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -\left(\frac{|\mathbf{a} - \mathbf{b}|}{|\mathbf{a}| + |\mathbf{b}|} \right) \end{aligned}$$

Tu so \mathbf{a} , \mathbf{b} kvadratni območji radarske slike velikosti $N \times N$ točk, nepregledne povprečene vsote nad istoležnimi točkami dveh območij pa so označene z

$$\overline{f(\mathbf{a}, \mathbf{b})} = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N f(a_{i,j}, b_{i,j})$$

Metrike imajo negativen predznak zato, ker je podobnost definirana tako, da večja vrednost pomeni večjo podobnost. Metrika manhattan ter evklidska metrika sta poseben primer metrike Minkowskega. Uporabili smo tudi korensko metriko, to je metriko Minkowskega s parametrom $s = 1/2$.

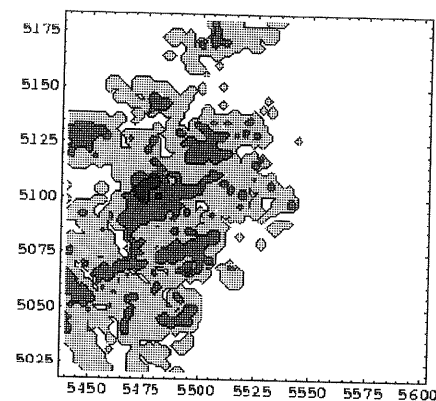
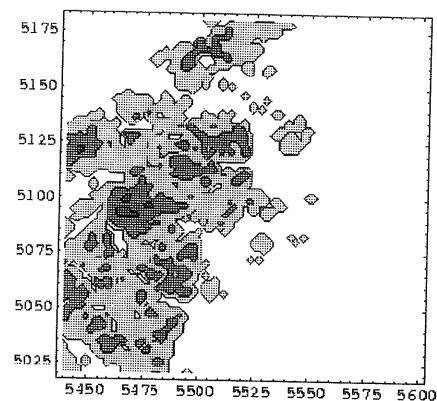
Razlika med njimi je v tem, kako favorizirajo velika odstopanja med istoležnimi točkami. To prihaja vedno bolj do izraza, če npr. parameter s večamo. V limitnem primeru, ko gre čez vse meje, dobimo metriko Čebiševa, pri kateri nastopa samo največja od vseh absolutnih razlik parov istoležnih točk. Ker so radarske meritve obremenjene tudi s točkovnimi napakami, nam taki kriteriji podobnosti ne služijo dobro. Majhne vrednosti s , se pravi od $1/2$ do 2 pa so dale enaka polja premikov. Korelacijski koeficient tudi preveč favorizira večja točkovna odstopanja, zato tudi ni primerna izbira. Posebej zanimiva je metrika Canberra, saj povprečuje normirane absolutne razlike istoležnih točk. Verjetno bi se dobro obnesla za konvektivne situacije, kjer podobne oblike rastejo in odmirajo v času.

Velja še omeniti podrobnost, ki je v literaturi preskočijo. Pri iskanju najpodobnejšega območja je treba iskalni prostor omejiti. Vsi ti kriteriji vendarle niso tako zanesljivi, da bi zmogli razbrati bistvo iz precej fluktuiranih radarskih slik. Tako omejimo iskanje na tisto razdaljo, do koder bi prišla izredno hitra celica s hitrostjo 30 m/s, po smeri pa na 45° na vsako stran od povprečnega premika celotne slike.

Postopek lahko prilagajamo z izbiro velikosti primerjalnih območij, ločljivostjo polja premikov in izbranim kriterijem podobnosti. Jasno je, da večja območja in redkejša hitrostno polje zgladijo majhne fluktuacije, od nas je odvisno, kaj želimo zanemariti. Tako smo s preskušanjem subjektivno prišli do izbire velikostno območja na 40×40 km, kar je več, kot običajno omenjajo v literaturi (Browning et al. 1982, Bellon in Austin 1978, Rinehart in Garvey 1978), smo pa uporabili drugačne kriterije podobnosti. Pomemben faktor je tudi časovni razmik med slikama. Če sta bližje, je zanesljivost določitve premikov večja, vendar zaradi horizontalne resolucije radarskih slik omejena. Pri resoluciji 2 km in časovni razliki 5 min je hitrost natančna na borih 6.7 m/s, pri razliki 15 min pa 2.2 m/s. Vpliv teh parametrov je detaljno obdelan v Rinehart (1981).

3 HITROSTNO POLJE, ČASOVNA EKSTRAPOLACIJA IN REZULTATI

Na ta način dobimo polje premikov radarske slike, vendar samo na področjih, kjer se nahajajo odbojnosti na prvi sliki. Od tu naprej metodo malo modificiramo. Ker želimo imeti čim boljše hitrostno polje za integracijo trajektorij, na enak način izračunamo tudi premik celotne radarske slike, s katerim smo zapolnili praznine v polju premikov. Za glajenje tako dobljenega polje uporabimo glajenje v brezdivergentno polje z variacijskim principom. Ta metoda se imenuje COTREC (Continuity of TREC vectors), opisana v Li, Schmidt in Joss (1995). Hitrostno polje dobimo z deljenjem premikov s časovno razliko med radarskima slikama. Brezdivergentnost hitrostnega polja nam zagotavlja, da se trajektorije ne bodo sekale.



Slika 1. Prepoznavanje radarskih odbojev pri stratiformni situaciji in vektorji premikov posameznih celic.

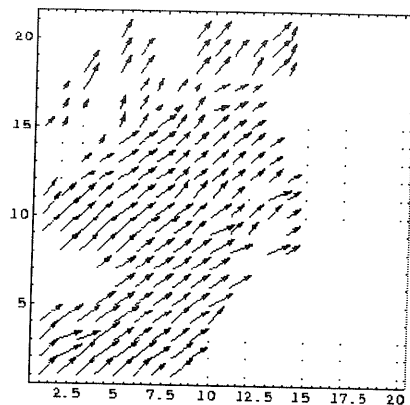
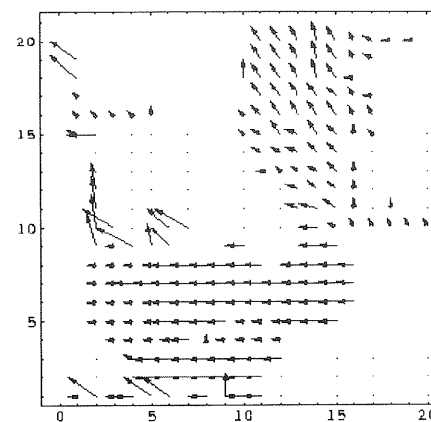


Figure 1. Recognition of radar echoes and the resulting vectors of displacements of precipitation cells.

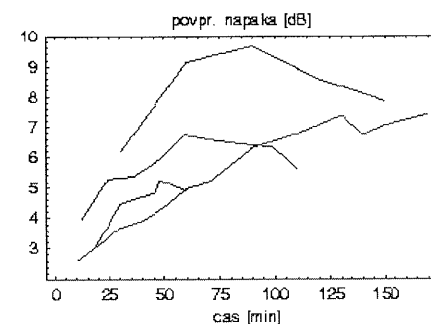
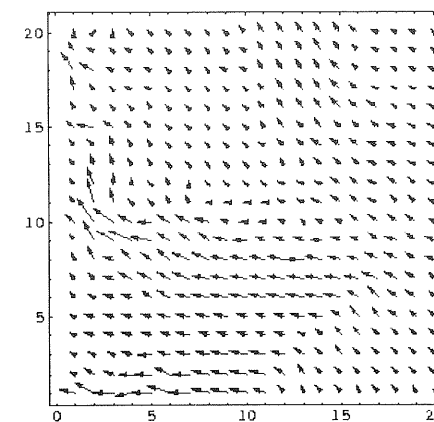
Časovno ekstrapolacijo gibanja radarskih odbojnosti računamo z vzvratno integracijo končnih točk, tako da dobimo njihov začetni položaj na drugi radarski sliki, ki je vzeta kot začetno stanje. To je neke vrste Lagrangeova časovna shema.

Pri tem je privzeto, da se hitrostno polje ne spreminja s časom in da se začetne odbojnosti prenesejo vzdolž trajektorije na končni položaj. Preskusili smo tudi linearno rast oz. odmiranje odbojnosti, a se je izkazala za numerično slabo pogojeno. Razlog je tudi v močno kvantiziranih vrednostih odbojnosti v radarskih podatkih (v razredih po 8 dBZ).

Vzdolž vsake trajektorije upoštevamo trenutno lokalno hitrostno polje, tako da napredujemo s koraki, velikimi 1/10 resolucije hitrostnega polja, pri tem pa se sproti računamo hitrost z interpolacijo najbližjih 4 hitrostnih točk. Kot merilo za uspešnost izberemo povprečno absolutno razliko med ekstrapoliranimi in dejanskimi radarskimi slikami. Kot maksimalno odstopanje vzamemo polovico širine razredov, to je 4 dBZ. Po pričakovanju se je postopek dobro izkazal pri stratiformni situaciji. Omeniti je treba, da je rezultat pokvaril robni efekt, ker pač ni bilo na voljo podatkov iz smeri prihoda stratiformnega oblačnega sistema.



Slika 2. Glajenje hitrostnega polja z metodo COTREC
Figure 2. Smoothing of wind field with the COTREC method



Slika 3. Povprečna napaka (absolutna razlika) pri časovni ekstrapolaciji od spodaj navzgor: stratiformne situacije, frontalne konvekcije, organizirane konvekcije, termične konvekcije.

Figure 3. Average error (absolute difference) of time extrapolation for: a stratiform case (lowest line), a frontal convection case, an organised convection, and a thermal convection case (uppermost line)

LITERATURA

- Browning, K.A. et al. (1982): On the forecasting of frontal rain using a weather radar network. *Monthly Weather Review*, **110**,534-552.
- Bellon, A. in Austin, G.L. (1978): The evaluation of two years of real-time operation of a short-term precipitation forecasting procedure (SHARP). *Journal of Applied Meteorology*, **17**,1178-1187.
- Li, L. Schmidt, W. in Joss, J. (1995): Nowcasting of motion and growth of precipitation with radar over a complex orography. *Journal of Applied Meteorology*, **34**,1286-1300.
- Pavešić, N. (1992): *Razpoznavanje vzorcev*, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana, strani 169-210.
- Rinehart, R.E. (1981): A pattern recognition technique for use with conventional weather radar to determine internal storm motions. *Atmospheric Technology*, pp. 119-134.
- Rinehart, R.E. in Garvey, E.T. (1978): Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, **273**,287-289.