

STATISTIČNA NAPOVED TEMPERATURE S KALMAN BUCYJEVIM FILTRIM

USE OF KALMAN BUCY FILTER FOR THE STATISTICAL TEMPERATURE FORECASTS

Gregor GREGORIČ^{1*}
(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 13. julija 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

V delu je opisana uporaba poenostavljenega Kalmanovega filtra za statistično korekcijo modelskih napovedi. Metoda je bila uporabljena na napovedih temperature na višini 2 m z modelom ECMWF. Metoda v povprečju praktično odstrani sistematično napako; rezultati so boljši v točkah, kjer so napovedi zaradi kompleksne okolice (in posledično slabše interpolacije) manj zanesljive.

SUMMARY

The use of Kalman Bucy filtering for adaptive statistical interpretation (correction) of numerical meteorological forecasts is discussed. The method is simplification of Kalman filter equations; identity is used as forecast model and observation operator is introduced through empirical linear relations. The method was applied on ECMWF 2 m temperature forecasts. Results show large reduction of systematic error on one year average. The benefit is larger in points with complex surroundings since horizontal interpolation is worse there.

¹ Gregor Gregorič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, gregor.gregoric@uni-lj.si.

* To temo je naprej razvijala do uporabe Jasna Vehovar: HMZ, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, jasna.vehovar@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

Numerični modeli so danes daleč najpomembnejše orodje za napovedovanje vremena. Prognostikom omogočajo vpogled v trenutno in v bodoča stanja atmosfere. Še pred nekaj leti je napoved vremena temeljila predvsem na rezultatih globalnega modela, danes so na voljo prognostična polja modelov v mezo- α in mezo- β skali. Šibka točka modelskih sistemov pa ostaja zajemanje (asimilacija) merskih podatkov. Trenutno pri nas potekajo raziskave o možnostih asimilacije podatkov v numerični model, tako da lahko v prihodnosti pričakujemo napredek na tem področju.

Drug način kombinacije merskih in modelskih podatkov predstavljajo statistične metode. Tradicionalni pristop vsebuje npr. multiple regresije, izračunane za posamezne mesece ali letne čase (Cegnar 1987). Na podoben način je mogoče uporabiti tudi Kalmanov filter.

2 KALMANOV FILTER

Kalmanov filter je l. 1960 razvil madžarsko-ameriški statistik R. E. Kalman za potrebe navigacijske kontrole ameriškega vesoljskega programa. Gre za sistem enačb, ki na podlagi prognostičnega modela in preslikave iz modelskega v merski prostor (če je le-ta potrebna, če torej ne merimo neposredno modelskih spremenljivk) omogoča izračun evolucije ocene napake prognostičnih spremenljivk in tudi (ko so dostopne meritve) analizo prognostičnih spremenljivk hkrati z analizo ocen njihovih napak. Enačbe same v tem prispevku niso predstavljene, dostopne so v literaturi (Daley 1991, Likar 1992, Gregorič 1994). Če so prognostične enačbe linearne, je konstrukcija filtra dokaj preprosta. Če pa gre za kompleksen, nelinearen sistem prognostičnih enačb (kakršni so numerični modeli) pa je konstrukcija enačb filtra precej zapletena in računsko zahtevna; terja namreč izdelavo ti. adjungiranega modela. V tem smislu lahko trenutno zelo aktualno področje – štiridimenzionalno variacijsko asimilacijo podatkov – obravnavamo kot del Kalmanovega filtra.

2.1 Uporaba Kalmanovega filtra za statistično napoved

Kalmanov filter za statistično napoved (oziroma, pravilneje, za statistično popravljanje modelskih napovedi) precej poenostavimo (Persson 1990). Namesto prognostičnega modela uporabimo identično preslikavo, saj ne poznamo nobene teoretične ali empirične zveze, ki bi opisovala potek napake numeričnega modela s časom. Namesto meteoroloških spremenljivk kot prognostično spremenljivko y definiramo napako modelske napovedi meteorološke spremenljivke S :

$$y = S_{\text{NAPOVED}} - S_{\text{OPAZOVANJE}}$$

Napako pa napovedujemo s pomočjo empirične linearne zveze:

$$y = x_1 + x_2 S_1 + x_3 S_2 + \dots$$

Prognostične spremenljivke v filtru so torej koeficienti empirične zveze x_1, x_2, \dots, x_n , empirična linearna zveza pa predstavlja okno sistema. S_1 in S_2 sta (poljubni) spremenljivki, ki po pričakovanjih vplivata na napako modelske napovedi spremenljivke S .

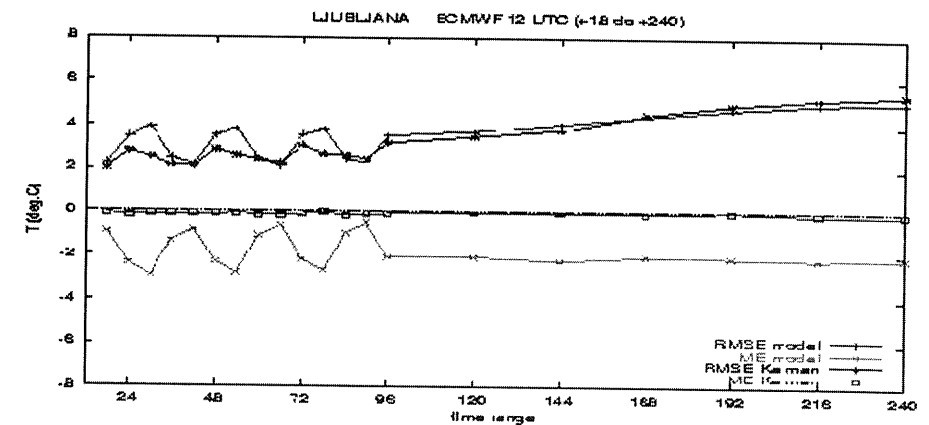
3 STATISTIČNA KOREKCIJA T_{2m} PRI ECMWF MODELU

Za korekcijo napovedi temperature na višini 2m z modelom ECMWF smo se odločili za uporabo dvodimenzionalnega modela napake:

$$y = T_{\text{ECMWF}(2m)} - T_{\text{OPAZOVANJE}} = x_1 + x_2 T_{\text{ECMWF}(2m)}$$

Vpeljava Kalmanovega filtra je pokazala dobre rezultate predvsem tam, kjer so večja odstopanja modelske orografije od dejanske, ter v primerih večje oddaljenosti postaje od modelskih točk. Pomemben dejavnik je tudi fluktuacija višine okoliških točk, iz katerih interpoliramo.

Primerjavo modelskih in s Kalmanovim filtrom popravljenih vrednosti smo naredili za tri postaje: Ljubljano (kotlina), Maribor (ravnina) in Portorož (obala) za leto 1999. Medmrežna razdalja modelskih točk je bila v tem času 1.5×1.5 geografske stopinje. Vrednosti za posamezne postaje so dobljene z interpolacijo iz štirih okoliških točk. Vsem postajam je skupno to, da so povprečne napake (ME) dnevnih temperatur večje od povprečnih napak nočnih temperatur, ter da so vse temperature razen nočnih v Portorožu (dve točki sta na morju!) v povprečju podcenjene.



Slika 1. Potek ME in RMSE za ECMWF napoved T_{2m} ob 12 UTC ter popravljeno modelsko napoved za Ljubljano v letu 1999 za čase napovedi od +18 do +240 ur (Vehovar 2000).
Figure 1. Time evolution of ME and RMSE of ECMWF model and corrected forecast of T_{2m} at 12 UTC for station Ljubljana in 1999 for forecasting time ranges from +18h to +240h (Vehovar 2000).

V poletnem času so modelske napovedi boljše kot v zimskih mesecih, ko nastopajo inverzije (predvsem v kotlinah). Take napake niso sistematične in jih je težko odpraviti, zato precej prispevajo k povečanju napake. Rezultati statistične obdelave so pokazali, da je sistematična napaka z uporabo Kalmanovega filtra v večini odpravljena, prav tako pa je večinoma izboljšana tudi RMSE (koren povprečne kvadratne napake). Izboljšanje je veliko v dnevnih urah (12 UTC, 18 UTC) in manjše v nočnih urah (00 UTC, 06 UTC), ko so modelske napovedi boljše. Dnevni hod napake, ki je zelo očiten pri modelstih statističnih parametroh, je pri Kalmanovih bistveno zmanjšan. Naraščanja napake v prvih treh do štirih dneh napovedi praktično ni opaziti, po četrtem dnevu pa se začne RMSE filtriranih vrednosti približevati modelskemu. RMSE filtriranih podatkov pri Portorožu se za opoldanske

napovedi, kjer so rezultati najboljši, izboljša za 60% v primerjavi z RMSE-jem modelskih podatkov, pri Ljubljani ob istem terminu pa za 40% (slika 1). Najslabše se filter obnese pri Mariboru, ki ima že brez filtra dosti dobre napovedi, saj je blizu mrežne točke in ima majhen razpon višine točk iz katerih interpoliramo.

4 SKLEP

Kalmanov filter je s poenostavitvami mogoče uporabljati tudi za statistično (empirično) popravljanje napovedi numeričnih modelov. S preprostim modelom napake za napoved T_{2m} z modelom ECMWF dosežemo praktično izginotje sistematične napake (slika 1). V povprečju so rezultati torej zelo dobri. Pri uporabi pa je potrebno nekaj pazljivosti, saj ob določenih situacijah (npr. ob spremembi zračne mase v primeru napovedi temperature) filter lahko napoved tudi poslabša. Nadzor prognostika je torej še vedno potreben.

LITERATURA

- Cegnar, T., 1987: *Metoda objektivne prognoze lokalnega vremena v razgibanem reliefu*. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, 86 str.
- Daley, R., 1991: *Atmospheric data analysis*. Cambridge University Press, str. 377-384
- Gregorič, G., 1994: *Statistična napoved minimalne temperature s Kalman Bucyjevim filtrom*. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, 56 str.
- Likar, A., 1992: *Osnove fizikalnih merjenj in merilnih sistemov*. DMFA, Ljubljana, str. 13-45
- Persson, A., 1990: *Kalmanfiltering – a new approach to adaptive statistical interpretation of numerical meteorological forecasts*. ECMWF Newsletter
- Vehovar, J., 2000: osebno sporočilo.