

Kako znati o budućem vremenu i klimi: numerički modeli za prognozu vremena i klime

Branko Grisogono

AMGI Geofizički odsjek, PMF, Sveuč. u Zagrebu, Horvatovac bb, Zagreb

Uvod

Cilj predavanja i ovog teksta je na da jednostavan način približi prognoziranje vremena i klime. Prognoza se danas najčešće radi numeričkim tro-dimenzionalnim (3D), nelinearnim modelima (NWP=Numerical Weather Prediction). Evo prvo nekoliko činjenica. Prvo, geofizička (dakle i meteorološka) mjerenja, sa svojim pogreškama su "prerijetka" u prostoru i vremenu. Mi živimo u našoj laboratoriji (atmosfera i more) čije je početno stanje nedovoljno poznato. Drugo, NWP i klimatski modeli ne mogu razlučiti u prostoru i vremenu sve relevantne fizikalne procese (za to bi trebala rezolucija od barem 1 cm i 1 s). I treće, atmosfera i more su, unatoč jake determinističke komponente, kaotični.

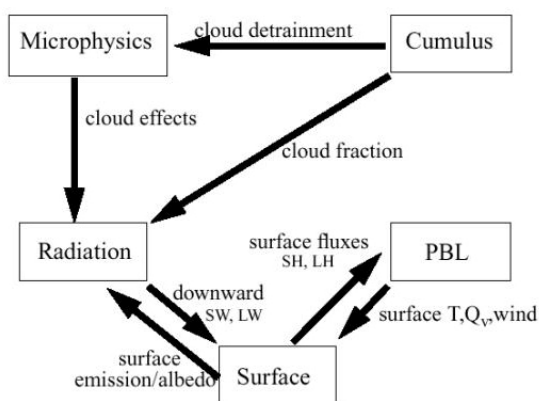
Ponašanje atmosfere određuje niz fizikalnih zakona koji govore kako se zrak giba, grije i hladi, te o ulozi vode u tome. Taj set osnovnih jednažbi se ne može ni približno riješiti analitički, već se rješava numerički, a ta su rješenja uvijek, nužno, samo približna. U principu, ako poznamo početno i rubno stanje atmosfere, spomenutim se setom nelinearnih osnovnih parcijalnih diferencijalnih jednažbi može to početno stanje projicirati na budućnost, tj. dati prognoza. Od 30-tak 'slide-ova' za usmenu prezentaciju, ovdje će se detaljnije diskutirati 4 slike.

Modeli

NWP (kraći račun i finija rezolucija) i klimatski modeli su u biti slični. Najčešće računaju konačnim razlikama po visini i u vremenu, i spektralno po horizontali. Rezolucija im se danas stalno poboljšava, a time se i stalno mijenjaju osnovne pretpostavke tih modela (npr. da li su hidrostatski ili ne, da li filtriraju zvučne valove ili ne, itd.). Današnji NWP modeli koriste računske korake $dx \sim dy \sim 10\text{km}$, $20\text{m} < z < 500\text{m}$ i $dt \sim 1\text{min}$. Klimatski modeli danas obično imaju $dx \sim dy \sim 150\text{km}$, $200\text{m} < z < 2\text{km}$ i $dt \sim 3\text{h}$. Najveće su im razlike obično u tzv. parametrizacijama, tj. u tretiranju procesa koji nisu eksplicitno razlučeni mrežom modela («podskalni procesi») a ipak imaju relativno značajan utjecaj na konačan rezultat.

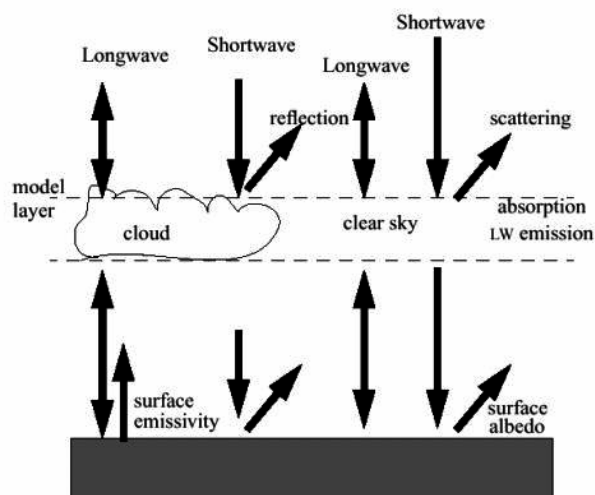
Interactions among physics schemes

Direct Interactions of Parameterizations



Slika 7-1: Shematski prikaz direktnih međudjelovanja fizikalnih schema parametrizacije u numeričkim prognostičkim modelima. 'Najjača' je bilanca energije tla, zatim zračenje i turbulentni procesi u atmosferskom graničnom sloju (PBL) te konvektivna naoblaka i mikrofizika čestica u zraku.

Illustration of Free Atmosphere Radiation Processes



Slika 7-2: Prikaz zračenja u slobodnoj atmosferi (iznad PBLa). Tlo i oblaci igraju bitne uloge u bilanci kratkovalnog i dugovalnog zračenja.

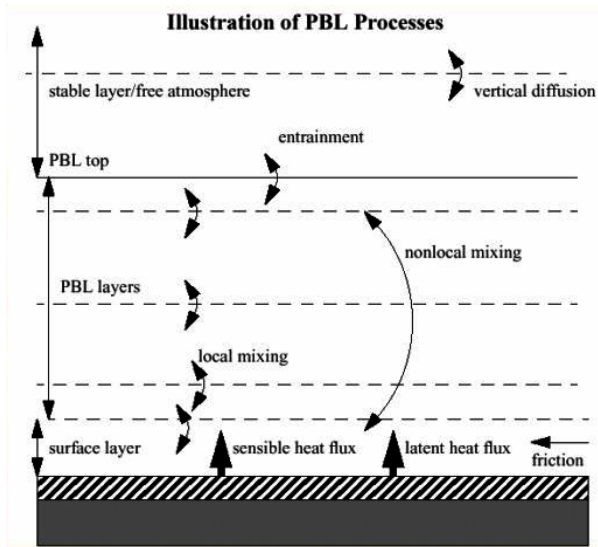
Parametrizacije

Podskalni se procesi uzimaju u obzir statistički i to je bit svake parametrizacije. Slika 7-1 prikazuje kako različite parametrizacije djeluju u jednom NWP ili klimatskom modelu. Formuliranje parametrizacije nije jednoznačno, tj. ono ovisi o rezoluciji, o planiranoj brzini računala, duljini integracije prognostičkog modela, te o (ne)detaljnem poznavanju parametriziranih procesa. Naime, jedno je parametrizirati zračenje (Slika 7-2) ili možda kondenzaciju i stvaranje oborine, a drugo je parametrizirati turbulentciju – principalno neriješen problem fizike. Turbulencija je karakteristična za donji dio atmosfere, tzv. granični sloj (stalno pod utjecajem podloge - trenja i grijanja/hladjenja), i tu pristupamo problemu praktično, tj. inženjerski – da račun radi! Svodimo problem turbulentnog strujanja na a) problem rezolucije, i b) analogiju miješanja zraka i slobodnog puta molekule (tj. koliko se dugo ili daleko molekula 'sjeća' svojeg identiteta). Slikovito je to prikazano na Slici 7-3. Tako je i bio uveden pojam karakteristične duljine miješanja za turbulentne vrtloge. Ostale parametrizacije se odnose na bilancu energije tla, mikrofiziku oblaka, oborine, magle, itd.

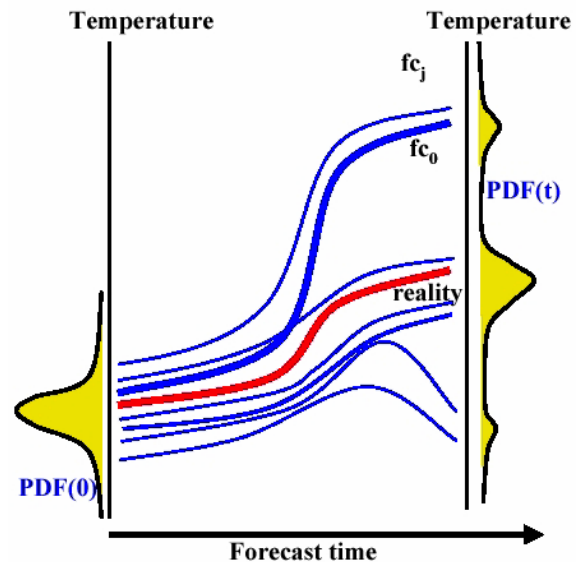
Asimilacija podataka

Asimilacija izmjerenih podataka je barem podjednako važan čimbenik NWP i klimatskih modela kao i spomenute parametrizacije. Motrenja i mjerenja daju trenutno stanje atmosfere i mora, ali to je nekompletna slika svijeta. Ona su neregularna u prostoru i vremenu (barem za modele), imaju drugačiju prirodu pogrešaka no modeli, i

konačno, nerijetko se mjere veličine što nisu direktno varijable (polja) modela. Tu su ponekad modeli u prednosti jer daju na dinamički konzistentan način polja koja je vrlo teško precizno rutinski mjeriti (gustoća zraka ili vode i vertikalna brzina). Što više, NWP modeli se koriste za procesiranje mjerenja i motrenja za dobijanje potpunijeg stanja atmosfere i mora, tj. slike svijeta. Dakle, asimilacija podataka je danas puno više no "pretprocesiranje" modela.



Slika 7-3: Prikaz procesa miješanja u PBLu. Tlo djeluje trenjem, grijanjem i hladjenjem na (ne)lokalno miješanje. Procesima uvlačenja/izvlačenja (entrainment/detrainment) zraka PBL međudjeluje sa slobodnom atmosferom.



Slika 7-4: Schematski prikaz prognoze gustoće vjerojatnosti (PDF) određene atmosferske temperature metodom ansambl-prognoze.

Kaos atmosfere

Modeli su osjetljivi na male razlike u početnim poljima. Buduće stanje atmosfere, tj. prognoza, odnosno buduća slika svijeta, može se jako razlikovati nakon, recimo 120h, a za vrlo male početne razlike u meteorološkim ulaznim poljima. Danas se to rješava računanjem statistike na većem broju uvjetno sličnih prognoza, tzv. ansambl-prognozom, Slika 7-4. Najčešće se to radi tako da se jedan te isti model pokreće za 50-100 slučajeva s malo početno-poremećenim ulaznim poljima. Dakle, ansambl-prognozama tretiramo prognoznost, tj. prediktabilnost atmosfere, koja, poput turbulencije, ovisi o samom strujanju (jaka 3D nelinearnost). Takodjer, mogu se pokretati različiti modeli s istim ulaznim podacima.

Ostali aspekti modeliranja vremena i klime se ne završavaju na gore spomenutom. Modeli mogu biti različito povezani s oceanografskim, hidrološkim, biološkim ili ekonomskim modelima, itd. Mnogobrojne primjene zahtijevaju različite vrste tzv. 'postprocesiranja' rezultata modela. Na primjer, određeni broj sunčanih sati s temperaturom iznad 10°C nije posebno zanimljiv u meteorologiji ili klimatologiji, ali

može biti važan parametar u poljoprivredi. Puno sličnih slučajeva ima i u prometu, građevini, itd.

Zaključak

Prikazan je kratki pregled osnovnih principa rada numeričkih prognostičkih modela vremena i klime. Vrlo različiti i brojni fizikalni procesi trebaju biti modelirani: neki su razlučeni, a neki ne. Nerazlučeni procesi su parametrizirani. Diskutirana je inicijalizacija modela, rubni i početni uvjeti, te eventualno združivanje različitih modela. Napomenute su glavne razlike između modela za prognozu vremena odnosno klime (rezolucija, duljina integracije, vrste parametrizacijskog paketa). Od 30tak 'slide-ova' pripremljenih za usmenu prezentaciju, u ovom tekstu se detaljno diskutiraju 4 slike.

Literatura

- [1] Grisogono, B., 1995: A view on a part of the cooperation in atmospheric physics between the USA and Croatia. *USA-Croatia scientific cooperation 1963-1993*. HAZU (Urednik: Vladimir Paar, 559 str.) 101-103. Školska knjiga, Zagreb.
- [2] Holton, J.R., 1992: *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press, 3. izdanje, San Diego, USA, 511 str.
- [3] Rogers, D.P., E.C. Dorman, K.A. Edvards, I.M. Brooks, W.K. Melville, S.D. Burk, W.T. Thompson, T. Holt, L.M. Strom, M. Tjernstrom, B. Grisogono, J.M. Bane, W.A.Nuss, B.M. Morley and A.J. Schanot, 1998: Highlights of Coastal Waves 1996, *Bul. Am. Meteorol. Soc.* **79**, 1307-1326.