



CCD technika

Dekonvolúció: tapasztalatok a MAXIM programmal

A Meteor 2003. novemberi számában jelent meg a Határfényesség című cikk, melynek utolsó gondolata az volt, hogy egy kép zaja csökkenthető, a csillagok és a diffúz felületek rajzossága visszaállítható (ma már egyre kevésbé) különleges módszerekkel. Ezen módszerek egyikéről, és annak egyszerű gyakorlati alkalmazásáról szól ez a cikk.

A légkörön keresztül dolgozó megfigyelő két problémával szembesül, ami „megkészeríti az asztroéletét”. A képeken a csillagok nem pontszerűen jelennek meg, mert a légkör folyamatos mozgása (seeing) a csillagokat kisebb korongokká keni el. Ez a jelenség a finom rajzolatú felületeket (pl. galaxisok spirálkarjai) is összemossa. A másik nagy ellenség a zaj; hiszen ha egy halvány felület rajzolatát még akár elmosódva is, de úgy-ahogy látnánk, a CCD-ben detektált zajban ez a „maszat” már nagyon könnyen elveszik.

Az első hatás kiküszöbölésére találták ki a dekonvolúció nevű eljárást. Ez korai formájában (Richardson–Lucy-algoritmus) elsősorban a nagyon jó jel/zaj viszonyú képek „rajzosságának” visszaállítását célozta meg. A bemenő adat maga a kép, és egy csillag képe, amely mutatja a képen jelen lévő elmosódást. Később kiderült, hogy az RL-algoritmus tulajdonképpen csak igen kevés esetben alkalmazható eredményesen, és általában egészen csúnya képeket is elő lehet vele állítani. Különösen így van ez akkor, ha a kép zajszintje eleve nagy. Ekkor az az algoritmus, amely mintegy összenyomja az elmosódott csillagkorongokat egy apró pontba, az el nem hanyagolható zajjal is megpróbálja ezt megtenni – az eredmény gyakran egy csúnya és foltos kép, amin esetleg kevesebb látszik, mint az eredeti képen.

Azóta egyéb eljárásokat találtak, olyan sokat, hogy ezek részletezése megérne pár egyetemi előadást. Van olyan algoritmus, amelyhez tudni kell, hogy épp egy galaxis képét akarjuk dekonvolálni, és meg kell tanítani a programnak, hogy egy galaxis általában hogy néz ki. Olyan is van, amelyik úgy dolgozik, hogy még azt sem kell neki elmondani, hogy hogyan néz ki egy elmosódott csillag képe, ő maga kitalálja, hogy milyen a távcső PSF-je („point spread function”, pontkiszélesedési függvény, azaz a távcső pontszerű objektumról előállított képe). Az új eljárások előnye, hogy a képen lévő zajt próbálják különválasztani az információtól; a zajt megpróbálják eltávolítani, a képet pedig visszaállítani az „elkenődés” előtti állapotra.

A hangsúly tehát kissé áttevődött a „végtelen jó felbontású” kép elkészítésének igényétől a tiszta, zajtalanított kép visszanyerésére. (A végtelen jó felbontású kép már matematikailag is lehetetlenség.)

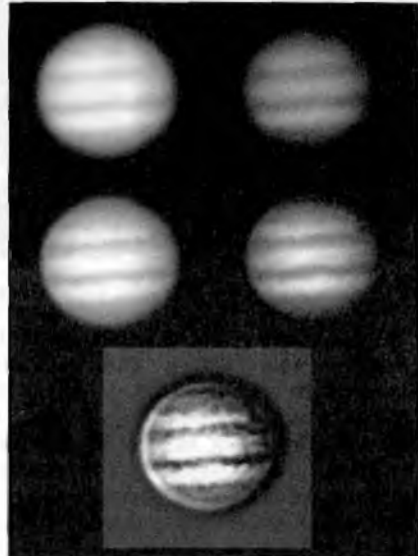
Ezek közül az eljárások közül a maximum entrópia módszerek (ME) igen kedveltek. Ez a módszer olyan kiindulási képeket keres, amelyet a PSF-fel elmosva, és az ismert mértékű zajt hozzákeverve valószínű, hogy megkapjuk azt a képet, amit épp mértünk. Ezek a kiindulási képek így, tehát a mérés szempontjából, elvileg egyenrangúak, és valahogyan választani kell közülük egy „igazit”; az ME eljárás pontosan ezt teszi. A lehetséges rekonstrukciókból azt fogadja el, amelynek az információtartalma minimális. (Ezt jelenti a neve is, hiszen ekkor a kép Shanon-féle információs entrópiája maximális.) Úgy is mondhatjuk, hogy a legsimább megoldást választjuk ki, tehát amelyben elvileg legkevesebb a zaj, és az egyéb, nem az eredeti képből származó, véletlenszerű információk hatása. Matematikailag tehát az egész képre kiszámított egyetlen számot, a $C = S + l \cdot rms$ mennyiséget kell minimalizálni, ahol rms az elmosott próbakép és az észlelt kép közti eltérések négyzetösszege, S az entrópia (a Shanon-féle, vagy másmilyen, ha az jobban illik a feladathoz), l pedig egy paraméter, amit a zaj és egyéb tényezők ismeretében kell megválasztani. Ha l végtelen, a RL-algoritmust kapjuk vissza, ha $l = 0$, akkor a megoldás egy teljesen sima, szürke felület. A jó rekonstrukció valahol a kettő között van.

Az ME elterjedtsége annak köszönhető, hogy az entrópia-függvény lefutása viszonylag egyszerű, ezért a maximum többlépéses számítással könnyen megkereshető. További előnye, hogy a zaj „okos” kezelése miatt nem nő a zaj a „csillagos égig”, ahogy ezt teszi például a RL-iteráció esetén.

Gyakorlati alkalmazás

A Maxim DL a Diffraction Limited kiváló CCD-képrögzítő és feldolgozó programja. Legújabb változatában fotometriai, szupernóva-kereső, Fourier-manipulációs stb. algoritmusokat találunk, és egy maximum entrópia-dekonvolúciót, ami miniket a leginkább érdekli. Az alábbi tesztekhez az M96 galaxis és a Jupiter képét használtam fel, amit a Szegedi Tudományegyetem másodéves csillagász hallgatói készítettek a csillagászati megfigyelések kurzus alkalmával; a képek 40 cm-es távcsővel és ST-9E CCD-kamerával készültek. Használtam továbbá egy galaxiscsoport képét, amely az SN 2000cs szupernóvát és vidékét ábrázolja. Ezt a képet 2000-ben a Calar Alto-i obszervatóriumban készítették Sárnecky Krisztián, Csák Balázs és e sorok írója.

A programot könnyű használni. A rekonstruálandó képről indulva ki kell választani a háttérzaj-meghatározásnak és a PSF-meghatározásnak az ikonját, ezt manuálisan, automatikusan vagy a kép egy helyére bökve egyszerűen megtehetjük.



A Jupiter 2004. április 21-én. Fent és alatta a nyers és dekonvolált kép, jobbra nemlineáris skálázással; legalul a reziduált láthatjuk

Ezután indul a dekonvolúció, itt már csak a ciklusok számát kell kézzel beírni. Számomra a MAXIM leírásából nem derült ki, hogy milyen ME-eljárással állunk szemben, és nem részletezi az iteráció menetét sem. A főttebb I betűvel nevezett simasági paramétert is a program számítja ki a megadott adatokból, és ezt sem lehet kézzel állítani – pedig legalább kísérletezés szempontjából hasznos lenne.

Ettől függetlenül, első tapasztalataim szerint a képek rekonstrukciója látvány szempontjából gyakran megközelíti azokat a ME dekonvolúciókat, amelyeket a szakirodalomban tárgyalt, egészen professzionális algoritmusokkal nyernek. A képeken a csillagok korongja viszonylag kevésbé keskenyedek, a zaj viszont szépen „elfogy”, így az objektumok rajzossága egyértelműbben jelenik meg.

Itt kell visszautalnom a Határfényesség című cikkre: ezek a rajzolatok nem feltétlenül az égen vannak, akkor sem, ha nagyon határozottan jelennek meg a rekonstruált képen! Lehet, hogy műtermékekkel állunk szemben, amelyeknek a valódiságát az algoritmus „elhitte”, és kihangsúlyozta. A kozmikus sugarakból például kis kóvér, határozott csillagocskát készit az eljárás.

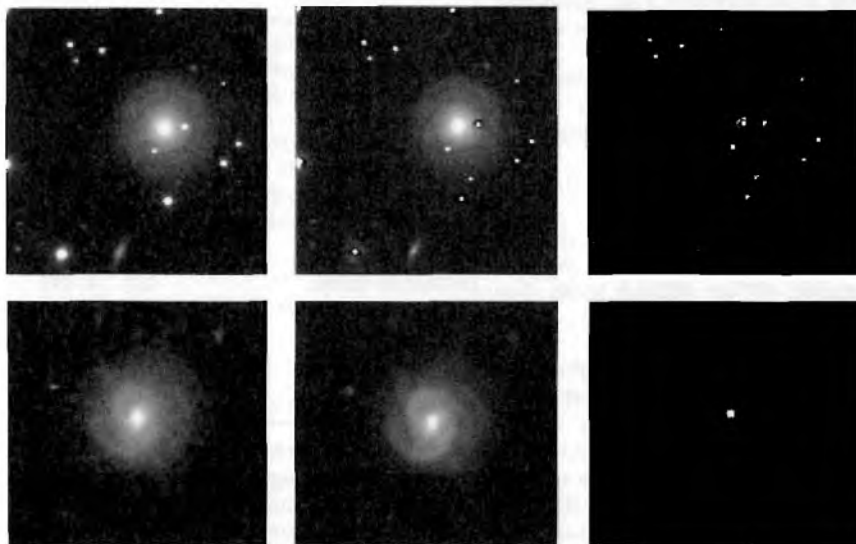
A Jupiterhez a PSF-et az Io képéből vettem. Jól látható, hogy a rekonstrukció után sokkal rajzosabb lesz a felület, megjelenik az éppen beforduló Nagy Vörös Folt, és a sávok finom részletei is. Nincs jelen az a hamis, túlzott kontúrozottság, amit a RL-algoritmusokkal olyan könnyen elő lehet állítani. Sajnos a használt műszer felbontása nem alkalmas ennél apróbb részletek megpillantására, jó lenne ezt a programot diffrakcióhatárolt mintavételezésű CCD-képen is kipróbálni!



Az M96 a szegedi csillagász hallgatók képen

A galaxisoknál változó eredményeket lehet elérni. A jobb jel/zaj viszonytal mintavételezett Calar Alto-i galaxisok egészen meggyőző rajzossággal mutatkoznak a rekonstrukción, a spirálkarok foltjainak és kuszálódásának látványában sokat segít a módszer. A zajosabb M96 kép esetében nem ilyen jók a tapasztalatok, a halvány felület megfoltosodik, és bár a zaj csökken, nem igazán lesz jobb a kép, mint volt. A felület foltossága leginkább a RL-eljárásokra emlékeztet, bár a zaj kétségtelenül nem szökik az egekbe. A reziduális képeken úgy találtam, hogy a MAXIM algoritmusai valamiért nem őrzi meg a fluxust. A dekonvolált galaxis képéből levonva az eredetit, sem a csillagok, sem a galaxisok nem nullázódnak ki. A csillagok reziduálja néha sötét gyűrűben fényes folt (ahogy lennie kell), általában azonban egy sötét korong; a galaxisok halvány karjaiban is 3–5%-os negatív kép látszik a reziduálon. Ez azt jelenti, hogy a galaxis fényének egy részét zajnak nyilvánítja az eljárás; ezért kiterjedt objektumok vizsgálatára (pl. üstökös kómaprofilok) a MAXIM nem alkalmas.

Még azt hiányoltam, hogy nem lehet a dekonvolált képet nagyobb felbontásban kérni, mint a bemenőt. A jó dekonvolúciós algoritmus a nagyfrekvenciás tartomány helyreállításával lehetővé tenné, hogy pl. az 1–1,3 pixel félértékszélességű képekből egy olyan készüljön, amely az eredeti kétszeres méretében is „értelmes” marad. Klasszikusan ez aluldefiniált probléma, mert több ismeretlen (a nagyobb kép képpontjai) van az illesztésben, mint bemenő adat (a kisebb kép pontjai + a PSF), azonban a ME módszer elegánsan kezeli ezt a problémát is, épp a simasági feltétel bevezetésével, ezért ez elvileg teljesen lehetséges lenne. A szakirodalmi rekonstrukciók általában élnek is a jobb felbontású újramintavételezés lehetőségével.



**Galaxisok, dekonvolúció és reziduálok az 1,23 méteres Calar Alto-i távcsővel.
Az alsó kép kétszeres nagyításban mutatja a látómező egy kisebb galaxisát**

Összefoglalásul elmondhatjuk, hogy a MAXIM nagyon hasznos program. Az egyéb hasznosságoktól eltekintve is, a benne lévő ME algoritmus alkalmas arra, hogy bolygók, fényesebb ködös felületek képét a valósághoz meglehetősen közelítő módon kozmetikázzuk vele, és még szebb „zsánerképeket” nyerhessünk. Sajnos a részletek iránt érdeklődő nehezen látja át ez alapján az ME-eljárás lényegét, mert az algoritmus fekete doboz, és egy valamilyen egyszerűsítő lépés miatt a MAXIM által használt módszer nem őrzi meg a fluxusokat. Professzionális célra egy ennél feltehetően bonyolultabb és mindenképpen ismert algoritmusú programot kell használnunk, ám a MAXIM is kiválóan használható a legtöbb, amatőr csillagászatban felmerülő kvalitatív megfigyelési célra.

Szeretném megköszönni Kereszty Zsoltnak, hogy felhívta a figyelmemet erre a programra.

SZABÓ M. GYULA