

**PARALELIZACIJA I PROGRAMSKA IMPLEMENTACIJA  
ALGORITMA ZA IZRAČUNAVANJE MAPA  
GRAVITACIONIH MIKROSOČIVA**

T. S. JAKŠIĆ

*Matematički institut SANU, Kneza Mihaila 36, 11000 Beograd, Srbija  
E-mail: tatjana@mi.sanu.ac.rs*

**Abstract.** Mape gravitacionih mikrosočiva su matrice čiji elementi predstavljaju vrednosti pojačanja inteziteta svetlosti koja se kreće ka nama iz nekog udaljenog pozadinskog izvora. Ove mape se generišu na osnovu slučajnog rasporeda zvezda u ravni sočiva od kojih svaka pojačava svetlost emitovanu iz pozadinskog izvora i savija je pod određenim uglom (Jovanović et al 2008).

Program za generisanje mapa gravitacionih mikrosočiva, namenjen za izvršavanje na jednoprocorskim računarima, za određene vrednosti ulaznih parametara zahteva puno procesorskog vremena. Zahvaljujući međusobno nezavisnim računarskim delovima programa, a pomoću biblioteke za prosleđivanje poruka MPI (Message Passing Interface), program je modifikovan za paralelno izvršavanje na klasteru Matematičkog instituta Srpske Akademije Nauka i Umetnosti (SANU) i tako značajno ubrzan proces generisanja mapa gravitacionih mikrosočiva (Quinn, 2003). Ovim je postignuto ubrzanje od 10 do 40 puta, u zavisnosti od veličine mape i vrednosti ostalih ulaznih parametara koji utiču na rad paralelnog programa, a rezultati su predstavljeni u master radu.

## 1. UVOD

Gravitaciona sočiva su masivna nebeska tela čije gravitaciono polje savija zrake svetlosti koji prolaze pored njih, a koji potiču od nekog pozadinskog izvora. Savijanje svetlosti zavisi od mase sočiva, bez obzira da li se radi o tamnoj ili vidljivoj materiji. Stoga je efekat gravitacionih sočiva moćan alat za određivanje mase astronomskih tela nezavisno od tipa materije (Schneider et al. 2006, Kayser et al 1986).

Efekat gravitacionih sočiva u astronomiji se modeluje pomoću numeričkih simulacija. Poznato je da je projektovanje i implementacija numeričkih simulacija u velikom broju slučajeva složen problem čije rešavanje zahteva dobro opremljene računare. U takvim situacijama izvršavanje na jednoprocorskim računarima može isuviše dugo da traje, zbog čega se odgovarajući numerički algoritmi modifikuju za rad na specijalnim (paralelnim) arhitekturama računarskih sistema.

U uvodnom delu master rada se osvrćemo na različite tipove računarskih arhitektura i njihov razvoj kroz istoriju, kao i na razvoj softverskih paketa za paralelne računare. Pregled istorijskog razvoja nam objašnjava zašto je došlo do stvaranja različitih vrsta softvera i operativnih sistema za paralelne računarske sisteme, čime

čitaocima želimo da ponudimo neka od rešenja za paralelizaciju svojih programa. U nastavku rada je dat uvod u teoriju gravitacionih sočiva u okviru kojeg je objašnjeno šta su gravitaciona sočiva, koji tipovi sočiva postoje i izvedene su jednačine za ugao savijanja zraka svetlosti u blizini nekog gravitacionog sočiva. Na kraju rada su predstavljeni rezultati istraživanja rada paralelne implementacije programa za generisanje mapa gravitacionih mikrosočiva.

## 2. PARALELIZACIJA I PROGRAMSKA IMPLEMENTACIJA

Za postojeći sekvencijalni program razvili smo paralelnu verziju koda za generisanje mapa gravitacionih mikrosočiva. Za paralelni računarski sistem je upotrebljen klaster “Matematički Institut - SANU” koji se sastoji od 17 nezavisnih čvorova, od kojih jedan na serveru IBM x3650 predstavlja *upravljački čvor*, a ostalih 16 čvorova su IBM HS21 BladeCenter *računarski čvorovi* i oni zapravo čine HPC klaster. Ovaj klaster radi pod Red Hat Enterprise Linux 5 operativnim sistemom za Intel x86\_64 arhitekturu.

Naša implementacija koristi *kolektivnu komunikaciju* između procesora. Ona omogućuje grupi procesa da međusobno saraduju u cilju distribucije i sakupljanja podataka među procesorima. Redukcija je jedna od ovakvih operacija i u našem programu smo iskoristili funkciju MPI\_Reduce koja podržava kolektivnu komunikaciju.

## 3. REZULTATI I ZAKLJUČCI

Analiza vremena izvršavanja paralelnog programa (videti Tabelu 1 i Sliku 1) je pokazala da to vreme u velikoj meri zavisi od vrednosti parametara za uvećanje i izduženje (eng. “convergence and shear”) gravitacionih mikrosočiva, kao i od dimenzija mape (npix) i broja zraka po pikselu (nray). Vreme izvršavanja se znatno smanjuje, a odgovarajuće ubrzanje znatno povećava, sa povećanjem broja procesa. To omogućuje da se generišu mape pojačanja gravitacionih mikrosočiva i za one parametre za koje bi odgovarajuće vreme radu sekvencijalnog programa onemogućilo njegovu praktičnu primenu. Ovo možemo videti na primeru za  $nray = 256$  u slučaju mape mikrosočiva za lik A kvazara QSO 2237+0305, koja je prikazana na Slici 2. Iz navedenog možemo zaljučiti da dobijeni rezultati ovog master rada imaju veliki značaj za praktičnu astronomsku primenu.

Table 1: Vremena izvršavanja paralelnog programa (izražena u minutima) na različitom broju procesa (n), za različite vrednosti dimenzije mape pojačanja (npix).

npix	Vreme[ <i>min</i> ]						
	n=1	n=2	n=4	n=8	n=16	n=32	n=64
300	1.44	0.84	0.48	0.37	-	-	-
600	4.82	2.47	1.41	0.77	0.59	0.42	0.00
1000	14.13	7.18	3.68	2.13	1.39	1.03	0.00
2000	53.67	27.07	13.68	7.08	4.15	2.67	1.97
4000	206.17	105.15	53.17	27.28	14.27	8.55	5.77

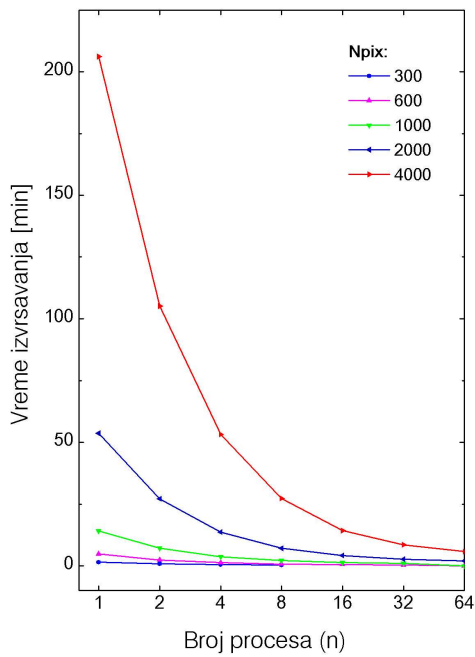


Figure 1: Vreme izvršavanja programa postignuto na  $2^l$  čvorova klastera MISANU za različite dimenzije mape pojačanja (**npix**).

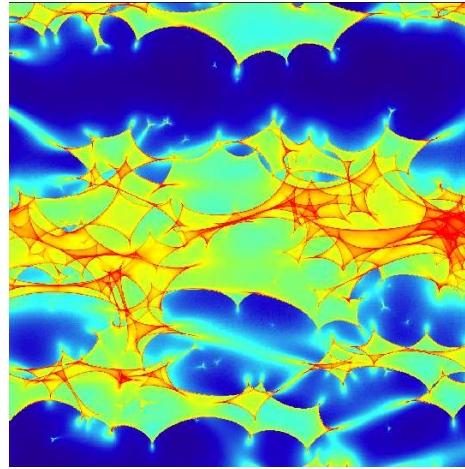


Figure 2: Mapa pojačanja kvazara QSO 2237+0305A dobijena za 256 zraka po pikselu.

## References

- Jovanović, P., Zakharov, A. F., Popović, L. Č. and Petrović, T.: 2008, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **386**, 397.
- Kayser, R., Refsdal, S. and Stabell, R.: 1986, *Astronomy and Astrophysics*, **166**, 36.
- Quinn, Michael J.: 2003, *McGraw-Hill Companies, New York*.
- Schneider, Peter; Kochanek, Christopher S. and Wambsganss, Joachim: 2006, *Springer, Berlin, Heidelberg*.
- Wambsganss, Joachim: 2011, *Microlensing 2000: A New Era of Microlensing Astrophysics*, **239**, 351.