

Sveučilište u Rijeci  
ODJEL ZA INFORMATIKU  
Ulica Radmile Matejčić 2, Rijeka  
Akademska 2019/2020. godina

## PARALELNO PROGRAMIRANJE NA HETEROGENIM SUSTAVIMA

Studij: Preddiplomski studij informatike  
Godina i semestar: 3. godina, 5. semestar

Web stranice predmeta: <https://lab.miletic.net/hr/nastava/kolegiji/PPHS/> <https://moodle.srce.hr/2019-2020/>

ECTS bodovi: 5

Nastavno opterećenje: 2 + 2

### Nositelj predmeta:

izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić

E-mail: [bkovacic@inf.uniri.hr](mailto:bkovacic@inf.uniri.hr)

Web stranica: <https://portal.uniri.hr/portfelj/1506>

Ured: Ulica Radmile Matejčić 2, O-414

Vrijeme konzultacija: utorkom od 10 do 12 sati ili po dogovoru e-mailom

### Asistent:

v. pred. dr. sc. Vedran Miletić

E-mail: [vmiletic@inf.uniri.hr](mailto:vmiletic@inf.uniri.hr)

Web stranica: <https://vedran.miletic.net/>

Ured: Ulica Radmile Matejčić 2, O-520

Vrijeme konzultacija: utorkom od 12 do 14 sati ili po dogovoru e-mailom

# PARALELNO PROGRAMIRANJE NA HETEROGENIM SUSTAVIMA

## Razvijanje općih i specifičnih kompetencija (znanja i vještina)

- usvajanje temeljnih znanja o načinu rada grafičkog procesora kod izvođenja računskih operacija opće namjene
- usvajanje tehnika paralelnog programiranja na heterogenim sustavima, što se intenzivno primjenjuje kod proračuna u prirodnim i tehničkim znanostima, obradi slika u medicini, baratanju digitalnim multimedijским sadržajem i drugdje

## Korespondentnost i korelativnost programa

Preduvjet za upis predmeta *Paralelno programiranje na heterogenim sustavima* je položen ispit iz predmeta *Operacijski sustavi 2*.

Pored navedenog, ovaj predmet tematski i problemski nasljeđuje i predmet *Algoritmi i strukture podataka*, a pojedinim temama prethodi predmetu *Računalna grafika*. Predmet je povezan i s predmetom *Numerička matematika*.

## Okvirni sadržaj predmeta

Osnovne ideje višejezgrenosti, paralelnog programiranja i primjeri primjene. Programski jezici za paralelno programiranje na heterogenim sustavima. Osnovne programske strukture, tipovi podataka, operatori i funkcije.

Hardverska arhitektura heterogenih sustava. Platforme, uređaji i konteksti. Prijenos podataka između memorije različitih uređaja. Događaji, obavijesti i sinkronizacija. Analiza performansi koda i otklanjanje grešaka u kodu.

Modeli konkurentnosti i izvođenja programskih naredbi. Obrada slika. Implementacija programskog jezika za paralelno programiranje na osnovnim i grafičkim procesorima.

Studijski slučajevi stvarnih algoritama: redukcija i sortiranje, algoritmi na matricama, obrada slika, konvolucija, obrada videa, histogram, simulacija višečestičnih sustava, generiranje slučajnih brojeva, kriptosalgoritmi.

Implementiranje vlastitih algoritama. Ekstenzije programskih jezika za paralelno programiranje. Mogućnosti primjene heterogenog računanja na webu. Mogućnosti primjene u ubrzanju prikaza računalne grafike.

## Oblici provođenja nastave i način provjere znanja

Predavanja, vježbe, samostalni zadaci, konzultacije.

## Popis literature potrebne za studij i polaganje ispita

1. Hwu, W. Heterogeneous system architecture: a new compute platform infrastructure. (Elsevier, 2015).
2. Kirk, D. B. & Hwu, W. W. Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach. (Elsevier, 2016).
3. ROCm documentation. Dostupno na: <https://rocm-documentation.readthedocs.io/>
4. CUDA C Programming Guide. (NVIDIA, 2019). Dostupno na: <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/>
5. Skripte, prezentacije i ostali materijali za učenje dostupni u e-kolegiju.

## Popis literature koja se preporučuje kao dopunska

1. Kaeli, D. R., Mistry, P., Schaa, D. & Zhang, D. P. Heterogeneous Computing with OpenCL 2.0. (Elsevier/Morgan Kaufmann, 2015).
2. OpenCL Overview. (Khronos Group, 2017). Dostupno na: <https://www.khronos.org/opencl/>
3. Advanced Micro Devices. "RDNA 1.0" Instruction Set Architecture, Reference Guide. (AMD Developer Central, 2019). Dostupno na: [https://gpuopen.com/wp-content/uploads/2019/08/RDNA\\_Shader\\_ISA\\_7July2019.pdf](https://gpuopen.com/wp-content/uploads/2019/08/RDNA_Shader_ISA_7July2019.pdf)

4. Advanced Micro Devices. "Vega" Instruction Set Architecture, Reference Guide. (AMD Developer Central, 2017). Dostupno na:  
[https://developer.amd.com/wordpress/media/2017/08/Vega\\_Shader\\_ISA\\_28July2017.pdf](https://developer.amd.com/wordpress/media/2017/08/Vega_Shader_ISA_28July2017.pdf)
5. Advanced Micro Devices. OpenCL Programming Guide, Revision 2.7. (AMD Developer Central, 2013). Dostupno na:  
[https://developer.amd.com/wordpress/media/2013/07/AMD\\_Accelerated\\_Parallel\\_Processing\\_OpenCL\\_Programming\\_Guide-rev-2.7.pdf](https://developer.amd.com/wordpress/media/2013/07/AMD_Accelerated_Parallel_Processing_OpenCL_Programming_Guide-rev-2.7.pdf)
6. Advanced Micro Devices. OpenCL Optimization Guide. (AMD Developer Central, 2015). Dostupno na:  
[https://developer.amd.com/wordpress/media/2013/12/AMD\\_OpenCL\\_Programming\\_Optimization\\_Guide2.pdf](https://developer.amd.com/wordpress/media/2013/12/AMD_OpenCL_Programming_Optimization_Guide2.pdf)
7. Advanced Micro Devices. OpenCL User Guide. (AMD Developer Central, 2015). Dostupno na:  
[https://developer.amd.com/wordpress/media/2013/12/AMD\\_OpenCL\\_Programming\\_User\\_Guide2.pdf](https://developer.amd.com/wordpress/media/2013/12/AMD_OpenCL_Programming_User_Guide2.pdf)
8. LLVM documentation. Dostupno na: <https://llvm.org/docs/>

### **Način praćenja kvalitete i uspješnosti izvedbe predmeta**

Kroz ustrojeni sustav osiguranja kvalitete Odjela za informatiku.

### **Mogućnost izvođenja na stranom jeziku**

Ima (engleski).

R. BR.	OČEKIVANI ISHODI
1.	objasniti vezu višejezgrenosti i paralelnog programiranja
2.	navesti primjere paralelnih algoritama i često korištenih programskih struktura
3.	objasniti pojam heterogenog sustava
4.	opisati hardversku arhitekturu heterogenih sustava i njezinu softversku reprezentaciju
5.	navesti razlike u načinu rada osnovnih i grafičkih procesora
6.	objasniti pojam paralelizabilnosti algoritma i prepoznati to svojstvo kod konkretnih algoritama
7.	implementirati jednostavnije paralelne algoritme i strukture podataka
8.	primijeniti stečena znanja kod implementacije paralelnih algoritama za rješavanje stvarnih problema

## AKTIVNOSTI I OCJENJIVANJE STUDENATA

VRSTA AKTIVNOSTI	ECTS	ISHODI UČENJA	SPECIFIČNA AKTIVNOST	METODA PROCJENJIVANJA	BODOVI MAX.
Pohađanje nastave	1	1–8	Prisutnost studenata	Popisivanje (evidencija)	0
Pisani ispit	1	1–6	Dva kolokvija	0–20 bodova za svaki kolokvij, ovisno o stupnju točnosti i potpunosti	40
Kontinuirana provjera znanja	1	7–8	Dvije kontrolne zadaće	0–15 bodova za svaku kontrolnu zadaću, ovisno o stupnju točnosti i potpunosti	30
Projekt	2	7–8	Dizajn, implementacija i prezentacija paralelnog algoritma	30 bodova prema definiranim kriterijima	30
<b>UKUPNO</b>	<b>5</b>				<b>100</b>

## Obveze i vrednovanje studenata

### Pohađanje nastave

Pohađanje nastave je obavezno i nastavnik vodi evidenciju pohađanja za svakoga studenta.

Predavanja i vježbe se izvode u bloku od po 2 sata prema rasporedu.

Osim prisustvovanja klasičnoj nastavi na predavanjima i vježbama studenti su dužni koristiti **sustav za učenje Merlin** (<https://moodle.srce.hr/2019-2020/>).

### Pisani ispit

Tijekom semestra pisat će se dva kolokvija koji će uključivati pitanja iz gradiva predavanja i na svakom od njih student će moći skupiti maksimalno 20 bodova. Bodovi ostvareni na kolokviju pretvaraju se u ocjenske ako je student točno odgovorio na barem 50% pitanja.

### Kontinuirana provjera znanja

Tijekom semestra pisat će se dvije kontrolne zadaće koje će uključivati praktične zadatke iz gradiva vježbi i na svakom od njih student će moći skupiti maksimalno 15 bodova. Bodovi ostvareni na kontrolnoj zadaći pretvaraju se u ocjenske ako je student točno riješio barem 50% zadataka.

## Projekt

Tijekom semestra studenti će u grupama po dvoje ili troje odabrati projekt koji će izraditi, predati prije završetka semestra i obraniti usmenim putem. Projekt se sastoji se od izrade programskog koda koji rješava određeni problem i pripadne dokumentacije. Vrednovat će se točnost i potpunost predanog programskog koda i pripadne dokumentacije te opis načina rješavanja danog problema. Da bi student mogao pristupiti usmenoj obrani projekta, mora barem jednom doći na konzultacije s djelomično izrađenim projektom.

## Ocjena iz kolegija

### Završni ispit

Kontinuiranim radom tijekom semestra na prethodno opisani način studenti mogu ostvariti svih 100 ocjenskih bodova. Završnog ispita nema.

Studenti koji su skupili najmanje 50 ocjenskih bodova dobivaju konačnu ocjenu.

Student koji je zadovoljio uvjet za dobivanje konačne ocjene ispit prijavljuje za ispitni rok. Na ispitnom roku se samo vrši upis dobivene ocjene.

### Konačna ocjena

Donosi se na osnovu zbroja svih bodova prikupljenih tijekom izvođenja nastave prema sljedećoj skali:

- A – 90%–100% (ekvivalent: izvrstan 5)
- B – 75%–89,9% (ekvivalent: vrlo dobar 4)
- C – 60%–74,9% (ekvivalent: dobar 3)
- D – 50%–59,9% (ekvivalent: dovoljan 2)
- F – 0%–49,9% (ekvivalent: nedovoljan 1)

### Ispitni rokovi

Redoviti:

- 4. veljače 2020.
- 18. veljače 2020.

Izvanredni:

- 31. ožujka 2020.
- 8. rujna 2020.

**RASPORED NASTAVE – zimski (I) semestar ak. godine 2019./2020.**

Nastava će se na predmetu odvijati u zimskom semestru prema sljedećem rasporedu:

- predavanja: **srijeda 8:15–9:45, prostorija O-358**
- vježbe: **srijeda 14:15–15:45, prostorija O-359**

Tj.	Datum	Vrijeme	Prostor	Tema	Nastava	Izvođač
1.	2. listopada 2019.	8:15–9:45	O-358	Uvod. Pojam i osnovne ideje računanja na grafičkim procesorima	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
1.	2. listopada 2019.	14:15–15:45	O-359	Razvoj programa na platformi ROCm (CUDA). Biblioteke rocPRIM i rocRAND (cuRAND)	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
2.	9. listopada 2019.	8:15–9:45	O-358	Povijest razvoja grafike i računanja na grafičkim procesorima	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
2.	9. listopada 2019.	14:15–15:45	online	Arhitektura platforme ROCm (CUDA)	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
3.	16. listopada 2019.	8:15–9:45	O-358	Paralelizam zasnovan na podacima. Struktura programa. Množenje matrica	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
3.	16. listopada 2019.	14:15–15:45	O-359	Biblioteka rocBLAS (cuBLAS)	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
4.	23. listopada 2019.	8:15–9:45	O-358	Memorije uređaja i prijenos podataka. Zrna i višenitni rad	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
4.	23. listopada 2019.	14:15–15:45	O-359	Biblioteka rocSPARSE (cuSPARSE) i rocALUTION	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
5.	30. listopada 2019.	8:15–9:45	O-358	Indeksi blokova i niti. Redanje izvođenja zrna	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
5.	30. listopada 2019.	14:15–15:45	O-359	Biblioteke rocSOLVER (cuSOLVER) i rocFFT (cuFFT)	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
6.	6. studeni 2019.	8:15–9:45	O-358	Tipovi memorija. Tehnike za smanjenje korištenja globalne memorije	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
6.	6. studeni 2019.	14:15–17:45	O-359	<b>1. kontrolna zadaća</b>	I	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
7.	13. studeni 2019.	8:15–9:45	O-358	Memorija kao ograničavajući faktor kod paralelizacije. Tehnike za poboljšanje performansi	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
7.	13. studeni 2019.	14:15–15:45	O-359	Biblioteka hipBLAS i hipSPARSE	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
8.	20. studeni 2019.	8:15–9:45	O-358	Dinamičko partitioniranje resursa. Pretpreuzimanje podataka. Granularnosti niti	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
8.	20. studeni 2019.	14:15–15:45	O-359	Biblioteka hipCUB (CUB)	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
9.	27. studeni 2019.	14:00	online	<b>Objavljene ponudene teme projekata</b>	Z	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
9.	27. studeni 2019.	8:15–9:45	O-358	<b>1. kolokvij</b>	I	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić

## Paralelno programiranje na heterogenim sustavima

Tj.	Datum	Vrijeme	Prostor	Tema	Nastava	Izvođač
9.	27. studeni 2019.	14:15–15:45	O-359	Dokumentiranje programa razvijenih na platformi ROCm	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
10.	4. prosinca 2019.	8:15–9:45	O-358	Problemi računanja s pomičnim zarezom: preciznost i zaokruživanje brojeva	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
10.	4. prosinca 2019.	14:15–15:45	O-359	Biblioteke hipDNN (cuDNN) i Tensorflow	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
11.	11. prosinca 2019.	14:00	online	<b>Rok za odabir teme projekta</b>	Z	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
11.	11. prosinca 2019.	8:15–9:45	O-358	Studijski slučajevi: obrada slika magnetske rezonance te vizualizacija i analiza molekula	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
11.	11. prosinca 2019.	14:15–15:45	O-359	Mjerenje performansi izvođenja programa na platformi ROCm	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
12.	18. prosinca 2019.	8:15–9:45	O-358	Paralelno programiranje i računsko razmišljanje	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
12.	18. prosinca 2019.	14:15–17:45	O-359	<b>2. kontrolna zadaća</b>	I	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
13.	8. siječnja 2020.	8:15–9:45	O-358	Programiranje aplikacija za heterogena superračunala	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
13.	8. siječnja 2020.	14:15–15:45	O-359	Prevođenje OpenCL C koda u LLVM-ovu srednju reprezentaciju	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
14.	15. siječnja 2020.	8:15–9:45	O-358	Pogled u budućnost: evolucija heterogenih arhitektura i programskih okruženja	P	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
14.	15. siječnja 2020.	14:15–15:45	O-359	Prevođenje LLVM-ove srednje reprezentacije u strojni kod za mikroarhitekture GCN i RDNA	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
15.	22. siječnja 2020.	8:15–9:45	O-358	<b>2. kolokvij</b>	I	izv. prof. dr. sc. Božidar Kovačić
15.	22. siječnja 2020.	14:15–15:45	O-359	LLVM-ovi analitički i transformacijski prolazi kod prevođenja koda	V	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić
16.	29. siječnja 2020.	14:00	online	<b>Rok za predaju projekta</b>	Z	v. pred. dr. sc. Vedran Miletić

P – predavanja

V – vježbe

I – pisani ili usmeni ispit, kontinuirana provjera znanja

Z – samostalni zadaci (praktični rad, projekt)