Java tečaj

6. dio
Višedretvenost

Višedretvenost

- Svaki pokrenuti “program” za operacijski sustav predstavlja jedan **proces**
- proces ima svoj memorijski prostor, zauzete resurse (npr. datoteke), te niz **dretvi**
- **Dretva** – virtualni procesor koji izvršava niz instrukcija

Višedretvenost

- Operacijski sustav svakom **procesu** prilikom pokretanja stvara jednu dretvu – dretvu koja započinje izvođenje metode “main”
- U Javi za rad s dretvama postoji razred **Thread**
- Dretve se logički grupiraju u hijerarhijske skupove dretvi: **ThreadGroup**

Višedretvenost

- Razred **`Thread`** ima niz statičkih metoda
  - `Thread currentThread();`
    vraća objekt koji predstavlja dretvu koja izvršava taj poziv
  - `void sleep(long interval);`
    trenutnu dretvu šalje na spavanje u trajanju *interval*

Višedretvenost

- Razred **`Thread`** ima niz ne-statičkih metoda
  - `ThreadGroup getThreadGroup();`
    vraća grupu kojoj dretva pripada
  - `String getName();`
    vraća ime dretve
  - `int getPriority();`
    vraća prioritet dretve

Višedretvenost

- Razred **`Thread`** ima niz ne-statičkih metoda
  - `boolean isAlive();`
    vraća indikaciju je li dretva "živa"
  - `boolean isDaemon();`
    vraća indikaciju je li dretva demon
  - `void join();`
    trenutna dretva čeka da ta dretva umre (nikada ne zove dretva nad sobom)

Višedretvenost

- Razred **`Thread`** ima niz ne-statičkih metoda
  - `void start();`
    pokreće izvršavanje dretve
  - `void stop(); / void suspend();`
    trajno/privremeno zaustavljanje dretve (ne koristiti! Ozbiljno!)
  - `void yield();`
    pušta neku drugu dretvu da se izvršava

Višedretvenost

- Primjer:

  ispis svih dretvi java procesa

  `ispisDretvi.java`

- Koliko se dretvi pokreće kod pokretanja procesa?

Pokretanje novih dretvi

- Pokretanje novih dretvi – tipično kroz nativne funkcije operacijskog sustava
- Kako je Java platformski neovisna, sve oko dretvi je apstrahirano, a konkretne "implementacije" nudi JVM
- Java nudi dva načina pokretanja dretvi
  - *Nasljeđivanjem razreda Thread (rijeđe)*
  - *Predavanjem "izvršivog" objekta Thread-u*

Pokretanje novih dretvi

- Pristup 1: OO "Okvirna metoda"

  Napisati novi razred koji nasljeđuje razred Thread, i definira metodu `void run();`

- *Dretva1.java, PokretacDretve1.java*

Pokretanje novih dretvi

```
public class Dretva1 extends Thread {
  @Override
  public void run() {
    System.out.println("Hello from new thread!");
  }
}


public class PokretacDretve1 {
  public static void main(String[] args) {
    Dretva1 dretva = new Dretva1();
    dretva.start();
  }
}
```

Pokretanje novih dretvi

- Pristup 2: OO "Strategija"

  Napisati novi razred koji implementira sučelje `Runnable` (i time definira metodu:)
  `void run();`

- *Dretva2.java, PokretacDretve2.java*

Pokretanje novih dretvi

```
public class Dretva2 implements Runnable {
   public void run() {
     System.out.println("Hello from new thread!");
   }
}


public class PokretacDretve2 {
   public static void main(String[] args) {
     Thread dretva = new Thread(new Dretva2());
     dretva.start();
   }
}
```

Pokretanje novih dretvi

- Napomena:

  Nikako prilikom stvaranja ne zvati metodu `run()` dretve!

- Zašto?

Pokretanje novih dretvi: primjer

- Napisati program koji će pokrenuti novu dretvu koja će uvećati brojač za zadani broj puta.
  Glavna dretva treba sačekati da dretva "radnik" završi, i potom ispisati rezultat uvećavanja.

pokretanjeDretve.java

Pokretanje novih dretvi

```
public class PokretanjeDretve {

   private static int brojac = 0;

   public static void main(String[] args)
                     throws InterruptedException {
       ...
   }

   public static class PosaoDretve
                     implements Runnable {
       ...
   }
}
```

Pokretanje novih dretvi

```
public class PokretanjeDretve {

   public static void main(String[] args) throws
   InterruptedException {
       System.out.println("Brojac: "+brojac+".");

       PosaoDretve posao =
                   new PosaoDretve(500);
       Thread thread = new Thread(posao, "radnik");
       thread.start();
       thread.join();

       System.out.println("Brojac: "+brojac+".");
   }
}
```

Pokretanje novih dretvi

```
public static class PosaoDretve implements Runnable {
     private int brojUvecavanja;

     public PosaoDretve(int brojUvecavanja) {
            this.brojUvecavanja = brojUvecavanja;
     }

     public void run() {
            obaviPosao();
     }

     private void obaviPosao() {
            for(int i=0; i<brojUvecavanja; i++) {
                   brojac++;
            }
     }
}
```

Pokretanje novih dretvi: primjer

- Rezultat?
- Potencijalni problem:
  - Dretva `main` može sadržaj varijable brojac zapamtiti u *cache*-u i prilikom ispisa ne pogledati u memoriju koje je stvarno stanje (što je promijenila druga dretva)
  - Pokušati s ključnom riječi `volatile`

Pokretanje novih dretvi

```
public class PokretanjeDretve {

   private static volatile int brojac = 0;

   public static void main(String[] args)
                     throws InterruptedException {
       ...
   }

   public static class PosaoDretve
                     implements Runnable {
       ...
   }
}
```

Volatile

- Ključna riječ **volatile**
  - naređuje dretvi (zapravo kompajleru koji generira kod) da vrijednost varijable ne smije držati u lokalnoj memoriji (npr. u registru) jer neka druga dretva može promijeniti tu vrijednost
  - pri svakom pristupu efektivno se radi sinkronizacija svih lokalnih kopija sa sadržajem glavne memorije

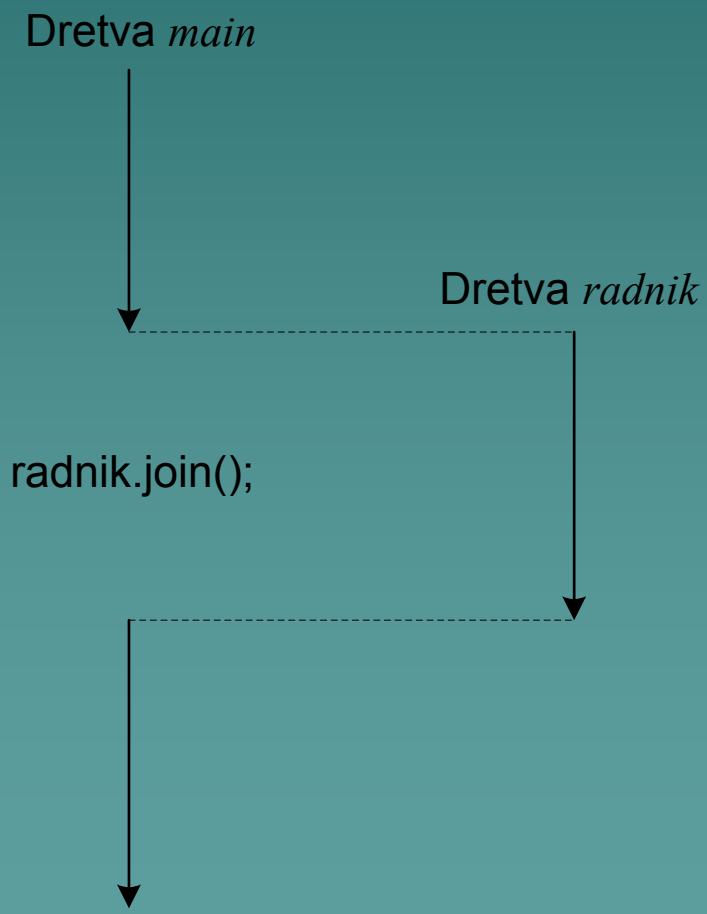
Volatile

- Kada koristiti `volatile`?
  - Tipično kao `boolean` zastavicu kojom jedna dretva javlja drugoj da ova treba prestati s radom
  - Zašto je bez `volatile` ovo opasno:

```
boolean stopMe = false;
public void doStuff() {
  while(!stopMe) {
    …
  }
}
```

Pokretanje novih dretvi: primjer

- Thread.join() – čekanje na dretvu



Pokretanje novih dretvi: primjer

- Napisati program koji će pokrenuti 5 novih dretvi koje će uvećati brojač za zadani broj puta.
  Glavna dretva treba sačekati da sve dretve "radnici" završe, i potom ispisati rezultat uvećavanja.

  ParalelnoUvecavanje.java

Pokretanje novih dretvi

```
public class ParalelnoUvecavanje {

   private static volatile long brojac = 0;
   private static int ZELJENI_BROJ_DRETVI = 5;

   public static void main(String[] args)
                     throws InterruptedException {
       ...
   }

   public static class PosaoDretve
                     implements Runnable {
       ...
   }
}
```

Pokretanje novih dretvi

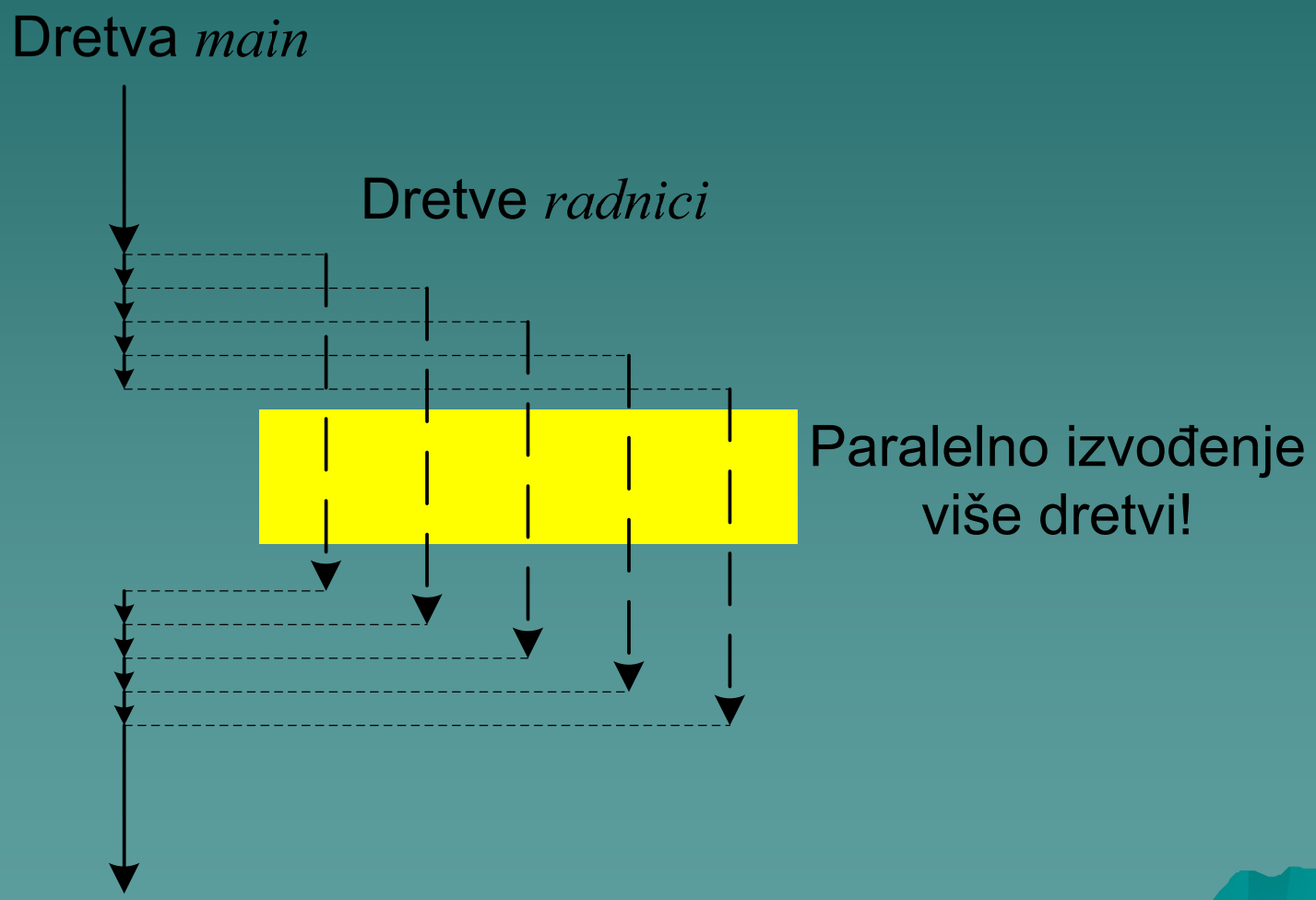
```
public static void main(String[] args)
                              throws InterruptedException {
    PosaoDretve posao = new PosaoDretve(1000000);

    Thread[] dretve = new Thread[ZELJENI_BROJ_DRETVI];

    for(int i=0; i<dretve.length; i++) {
          dretve[i] = new Thread(posao);
          dretve[i].start();
    }

    for(int i=0; i<dretve.length; i++) {
          dretve[i].join();
    }
    System.out.println("Brojac: "+brojac+".");
}
```

Pokretanje novih dretvi: primjer



Pokretanje novih dretvi: primjer

- Je li rezultat izvođenja u skladu s očekivanjima?
- Objasnite!

Volatile

- Važno: `brojac = brojac+1;` nije atomarna naredba, niti je to `brojac++;` konceptualno:

```
int tmp; // npr. registar procesora
tmp = brojac;
tmp = tmp + 1;
Brojac = tmp;
```

Volatile & CAS

- Posljedica: `read-update-modify` nije višedretveno siguran
- Za jednostavne slučajeve možemo se osloniti na strojnu implementaciju naredbe `CAS` (compare&set) i dakako `volatile` modifikator
- `CAS(expected,new)` sadržaj varijable mijenja atomarno u novi samo ako je stari jednak očekivanoj vrijednosti

Volatile & CAS

```
volatile int brojac = 0;
void incrementBrojac() {
  while(true) {
    int staro = brojac;
    int novo = staro + 1;
    if(CAS(&brojac,staro,novo))
      return;
  }
}
```

Volatile & CAS

- Treba podršku u sklopovlju, no to danas imamo
- Implementacija je dakako JVM-specifična i ovisi o platformi na kojoj se izvodi
- Apstrakcija oko toga (raspoloživa programerima) su atomički omotači oko `volatile` varijabli, paket `java.util.concurrent.atomic`

Volatile & CAS

- Raspoloživo:

`AtomicBoolean`

`AtomicInteger` & `AtomicIntegerArray`

`AtomicLong` & `AtomicLongArray`

`AtomicReference` & `AtomicReferenceArray`

i još ponešto...

Pokretanje novih dretvi: primjer

- Riješiti primjer paralelnog uvećavanja brojača uporabom razreda `AtomicLong`

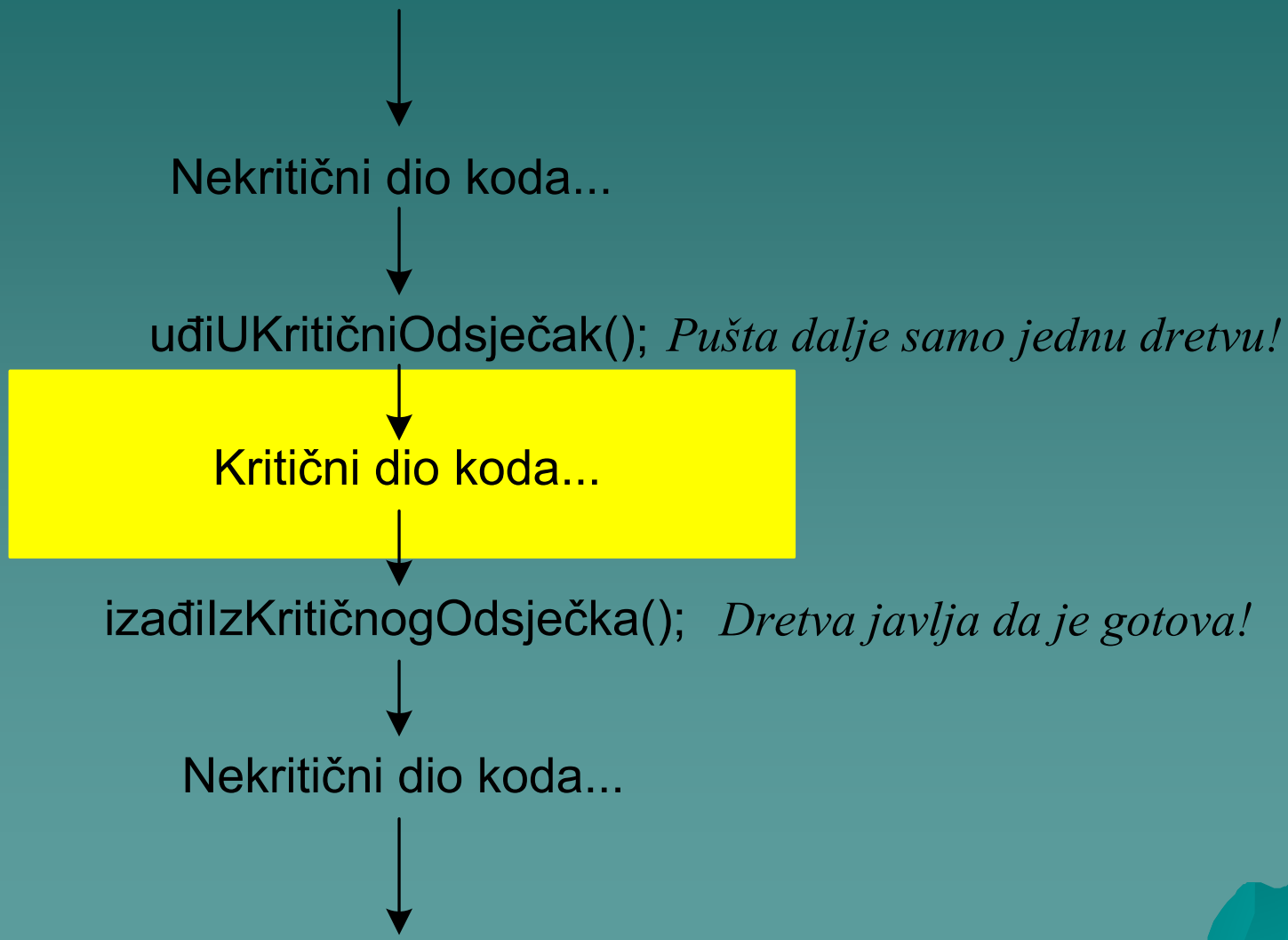
Sinkronizacija: kritični odsječak

- U složenijim situacijama nužno je odgovarajućim sinkronizacijskim mehanizmima osigurati kritične odsječke u kojima se atomarno može mijenjati više podataka!
- *Kritičan odsječak:*
  dio koda koji u jednom trenutku smije izvoditi samo jedna dretva

Sinkronizacija: kritični odsječak

- U kodu se kritični odsječak ograđuje s dvije metode:
  - *uđiUKritičniOdsječak();*
  - *izađiIzKritičnogOdsječka();*

Sinkronizacija: kritični odsječak



Sinkronizacija: kritični odsječak

```
public static class PosaoDretve implements Runnable {
     private int brojUvecavanja;

     public PosaoDretve(int brojUvecavanja) {
            this.brojUvecavanja = brojUvecavanja;
     }

     public void run() {
            obaviPosao();
     }

     private void obaviPosao() {
            for(int i=0; i<brojUvecavanja; i++) {
                   brojac = brojac + 1;
            }
     }
}
```

Kritični odsječak!

Sinkronizacija: kritični odsječak

- U Javi bilo koji objekt može služiti za ostvarivanje kritičnog odsječka
- Važno je samo da sve dretve pri ulasku u kritični odsječak za dopuštenje pitaju ISTI objekt!
- Za najavu kritičnog odsječka Java ima blok `synchronized(objektKontroler) {…}`

Sinkronizacija: kritični odsječak

- `synchronized(objektKontroler) {…}`
- `objektKontroler` u operacijskim sustavima poznat je pod nazivom `mutex` (ili `lock`)
- `PosaoDretve` moramo modificirati tako da uvećavanje stavimo u kritični odsječak, a `mutex` predamo konstruktoru

Sinkronizacija: kritični odsječak

```
public static void main(String[] args)
                              throws InterruptedException {
    Object mutex = new Object();

    PosaoDretve posao = new PosaoDretve(1000000, mutex);

    Thread[] dretve = new Thread[ZELJENI_BROJ_DRETVI];
    for(int i=0; i<dretve.length; i++) {
          dretve[i] = new Thread(posao);
          dretve[i].start();
    }
    for(int i=0; i<dretve.length; i++) {
          dretve[i].join();
    }
    System.out.println("Brojac: "+brojac+".");
}
```

Sinkronizacija: kritični odsječak

```
public static class PosaoDretve implements Runnable {
	private int brojUvecavanja;
	private Object mutex;

	public PosaoDretve(int brojUvecavanja, Object mutex) {
		this.brojUvecavanja = brojUvecavanja;
		this.mutex = mutex;
	}

	public void run() {
		obaviPosao();
	}

	private void obaviPosao() {
		for(int i = 0; i < brojUvecavanja; i++) {
			synchronized(mutex) {
				brojac = brojac + 1;
			}
		}
	}
}
```

Kritični odsječak!

Sinkronizacija: kritični odsječak

- Prilikom uporabe bloka `synchronized` metodu *uđiUKritičniOdsječak();* predstavlja sam ulazak u blok, a metodu *izađiIzKritičnogOdsječka();* izlazak iz bloka

Sinkronizacija: kritični odsječak

- Drugi način osiguravanja kritičnih odsječaka jest proglašavanje čitavih metoda sinkroniziranim

```
private synchronized void metoda() {}
```

- Sinkronizacija se tada obavlja nad samim objektom (`this`) nad kojim je ta metoda pozvana!

Sinkronizacija: kritični odsječak

- Ako je metoda statička, sinkronizaciju radi objekt koji opisuje razred trenutnog objekta (`this.getClass()`)

```
private static synchronized void metoda()
{}
```

Sinkronizacija: kolekcije

- Osnovne izvedbe kolekcija iz Java Collection Framework-a su višedretveno nesigurne: moraju se koristiti jednodretveno
- Za svako sučelje (`Set`, `List`, `Map`) razred `Collections` nudi metodu koja objekt tog sučelja omata u sinkronizirajući *proxy* (Oblikovni obrazac *Proxy*)

Sinkronizacija: kolekcije

- Metode su:
  - `List synchronizedList(List list);`
  - `Set synchronizedSet(Set set);`
  - `Map synchronizedMap(List map);`
- Sinkronizirajući proxy je objekt koji čuva referencu na osnovni objekt i istog je sučelja; sve su mu metode jedan kritični odsječak i u njemu posao delegira sadržanom objektu

Sinkronizacija: kolekcije

- Performanse koje se time dobiju nisu bajne, ali je pristup primjenjiv na proizvoljnu implementaciju kolekcije
- Performantnije implementacije pojedinih kolekcija koje su višedretveno sigurne nalaze se u paketu `java.util.concurrent` (npr. `ConcurrentHashMap`, `CopyOnWriteArrayList`, `ConcurrentLinkedQueue`, …)

Sinkronizacija: monitori

- Često je potrebno ostvariti složenije sinkronizacijske mehanizme, poput kritičnih odsječaka koji se protežu kroz više metoda, binarne ili opće semafore, barijere i sl.
- U operacijskim sustavima uči se da je to moguće ostvariti uporabom **monitora**

Sinkronizacija: monitori

- Monitor je sinkronizacijski mehanizam koji je izgrađen uporabom mutex-a za izgradnju kritičnog odsječka, te uvjetnih varijabli za suspenziju izvršenja dretvi
- Za izradu monitora Java nudi podršku kroz sam razred `Object` (dakle, primjenjivo na svaki objekt)

Sinkronizacija: monitori

- Korisne metode razreda `Object`
  - `public void wait();` (i varijante)
    dretvu koja je ovo pozvala suspendira i stavlja u red čekanja; ta se dretva više ne izvodi
  - `public void notify();`
    budi jednu (neku) dretvu koja čeka u redu čekanja
  - `public void notifyAll();`
    budi sve dretve

Sinkronizacija: monitori

- Metode `wait()`, `notify()` i `notifyAll()` obavezno se moraju pozvati nad objektom koji je dretva prethodno zaključala uporabom ključne riječi `synchronized`.
- Kada se neka dretva probudi, ona prvo ponovno zaključa objekt, pa tek kada to uspije, nastavi s izvođenjem prve linije iza `wait()` gdje je stala

Sinkronizacija: monitori

- Metoda `wait()` u slučaju prijevremenog buđenja izaziva iznimku `InterruptedException`

Sinkronizacija: primjer

- Izgradimo razred `Mutex` koji će imati dvije metode: `udi()` i `izadi()`, a služit će za izgradnju kritičnog odsječka.

Mutex.java

Sinkronizacija: primjer Mutex

```
public class Mutex {

   private boolean netkoJeUnutra = false;

   public void udi() throws InterruptedException {
        synchronized(this) {
                while(netkoJeUnutra) { this.wait(); }
                netkoJeUnutra = true;
        }
   }

   public void izadi() {
        synchronized(this) {
                netkoJeUnutra = false;
                this.notify();
        }
   }
}
```

Sinkronizacija: primjer Mutex

```
public class Uporaba {

   private Mutex mutex;

   public Uporaba(Mutex mutex) {
       this.mutex = mutex;
   }

   public void akcija() throws InterruptedException {
       mutex.udi();
       // ovdje ide kriticni odsjecak…
       mutex.izadi();
   }
}
```

Gdje je potrebna sinkronizacija?

- Tamo gdje više od jedne dretve istovremeno čita i barem jedna dretva nešto mijenja
- Čitav `Collection Framework` je po tom pitanju nesiguran!
- `Swing` korisničko sučelje je također nesigurno

Gdje je potrebna sinkronizacija?

- Uočimo da nije uvijek nužno garantirati ekskluzivan pristup (samo jedna dretva u jednom trenutku)
- Primjerice, podatke neke liste istovremeno može pretraživati čitav niz dretvi u svrhu čitanja
- Ali kada jedna dretva želi nešto izmijeniti, tada treba ekskluzivno pravo nad listom

Gdje je potrebna sinkronizacija?

- Kako bi se olakšao rad s dretvama, u Javi postoji niz gotovih rješenja
- `java.util.Collections` nudi za sve kolekcije metodu `synchronizedXYZ` koja prima kolekciju a vraća sinkroniziranu verziju iste (`wrapper objekt`)

Gdje je potrebna sinkronizacija?

- Na raspolaganju je razred java.util.concurrent (od Jave 5.0)
  - *Implementacije paralelnih kolekcija*
  - *Implementacije sinkronizacijskih mehanizama poput Lock-ova, ReadWriteLock-ova, Semaphore-a, Barrier-a i sl.*
  - *Implementacije ThreadPool-ova*
  - *Implemetacije blokirajućih redova (princip proizvođači/potrošači)*

Tipična uporaba višedretvenosti

- I/O operacije (diskovi)
- Mrežne aplikacije (socket-i)
- Dugotrajuće operacije
- Paralelizacija posla na višeprocesorskim sustavima (ubrzanje!)
- Pozadinski poslovi (logiranje, provjere, …)

Tipična uporaba višedretvenosti

- Mi ćemo se s višedretvenosti upoznati kod:
  - Izrade korisničkog sučelja u Swingu
  - Izrade poslužitelja i klijenta koji komuniciraju na prijenosnom sloju (TCP, UDP protokoli)
  - Obrade HTTP zahtjeva pomoću Java Servlet tehnologije
  - …

Deadlock

- Na kraju, treba još spomenti jedan od čestih problema koji nastaju u višedretvenim aplikacijama: potpuni zastoj (odnosno **deadlock**)

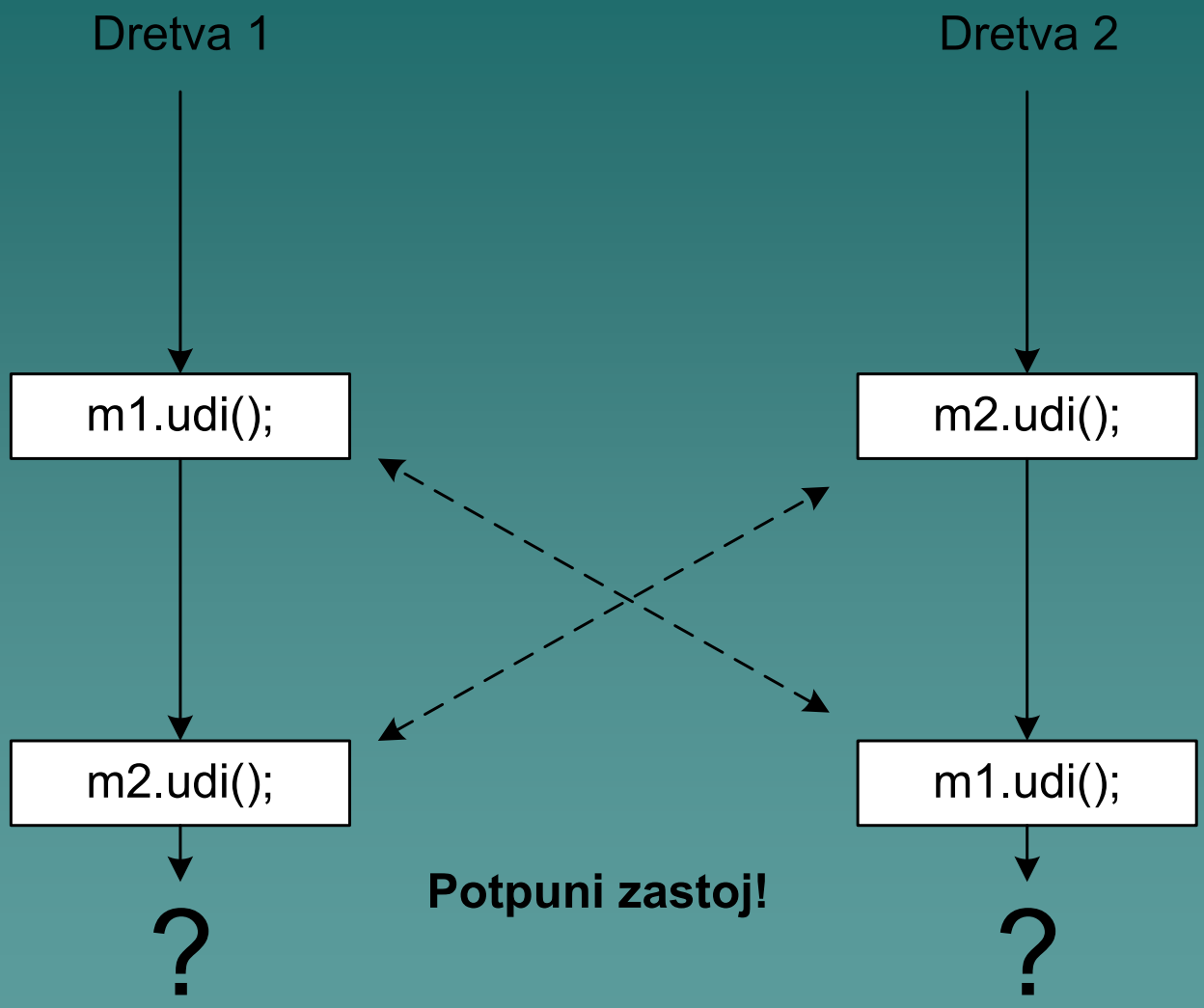
Sinkronizacija: primjer Mutex

```
public class Primjer {
   private Mutex m1;
   private Mutex m2;
   public obrada1() {
    m1.udi();
    m2.udi();
    // posao …
    m1.izadi();
    m2.izadi();
   }
   public obrada2() {
    m2.udi();
    m1.udi();
    // posao …
    m2.izadi();
    m1.izadi();
   }
}
```

Deadlock

- Dretva 1 zove metodu `obradi1()`, dretva 2 metodu `obradi2()`
- Naime, obje dretve moraju zaključati oba `mutex`-a prije no što mogu nastaviti s poslom
- Gdje je problem?

Deadlock



Deadlock

- U ovom slučaju, rješenje je vrlo jednostavno – `mutexi` se uvijek moraju zaključavati istim redosljedom!

Primjer paralelizacije

- Ubrzanje "drobljenja" brojeva
- Generator Mandelbrotovog fraktala

```
package hr.fer.zemris.java.tecaj_06.fractals;

public interface IFractalProducer {
   public void produce(
    double reMin, double reMax, double imMin, double imMax,
    int width, int height, long requestNo,
    IFractalResultObserver observer
   );
}
```

Primjer paralelizacije

- Ubrzanje "drobljenja" brojeva
- Generator Mandelbrotovog fraktala

```
package hr.fer.zemris.java.tecaj_06.fractals;

public interface IFractalResultObserver {
   public void acceptResult(
     short[] data, short limit, long requestVersion
   );
}

FractalViewer.show(IFractalProducer prod);
```

Primjer paralelizacije

1. Implementirati `IFractalGenerator` koji slijedno odradi čitav posao
2. Implementirati računanje različitih područja slike kroz različite dretve; stvoriti

   `Runtime.getRuntime().availableProcessors()`

   dretvi i toliko poslova

Primjer paralelizacije

3. Kao (2) samo napraviti više manjih poslova jer poslovi različito traju; poslove ugurati u: `BlockingQueue<X>` (koristiti `LinkedBlockingQueue`, `.put/.add`, `.take`)
4. Osloniti se na `concurrent` paket; poslove modelirati s `Callable`, koristiti `Executors` razred i `pool` dretvi.

Napomene

- Kod pristupa 3 moramo osmisliti način na koji dretvama-radnicima reći kada da završe izvođenje kako bi ih glavna dretva dočekala
  - Koristi se tehnika poznata kao *Thread-poisoning*: nakon svih poslova ubaci se još toliko "posebnih" poslova koliko ima dretvi; svaki radnik kada dobije takav posao odmah prekida s radom

Napomene

- Kod pristupa 4 posao moramo izvesti iz razreda `ForkJoinTask`
  - Još jednostavnije je posao izvesti iz podrazreda `RecursiveAction` koji u metodi `compute()` posao računa direktno ako je dovoljno mali ili ga rekurzivno dijeli u podposlove koje dalje paralelizira metodom `invokeAll(…)`
  - Sve započinje predajom velikog posla bazenu metodom `invoke(posao)`.