



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Scuola di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Software Engineering for Embedded Systems  
Project work

# Real-time Scheduling Simulator

*Edoardo Sarri*

7173337

Data

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
1.1	Capacità . . . . .	4
1.2	Utilizzo . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Analisi</b>	<b>6</b>
2.1	Componenti . . . . .	6
2.1.1	Task . . . . .	6
2.1.2	Chunk . . . . .	6
2.1.3	Taskset . . . . .	6
2.1.4	Risorse . . . . .	6
2.1.5	CPU . . . . .	6
2.1.6	Scheduler . . . . .	6
2.1.7	Protocollo di accesso alle risorse . . . . .	7
2.2	Class diagram . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Implementazione</b>	<b>8</b>
3.1	Scheduler . . . . .	8
3.1.1	Rate Monotonic . . . . .	8
3.1.2	Test . . . . .	9
3.2	Resource Access Protocol . . . . .	10
3.2.1	Priority Ceiling Protocol . . . . .	10
3.3	Fault injection . . . . .	11
3.4	Utilità . . . . .	11
3.4.1	Loggin . . . . .	11
3.4.2	Clock . . . . .	11
3.4.3	Sampling dei tempi . . . . .	12
3.4.4	Eccezioni . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Dubbi</b>	<b>13</b>
4.1	Domande . . . . .	13

# Elenco delle figure

2.1	Class diagram. . . . .	7
3.1	Sequence Diagram RM . . . . .	9

# 1 Introduzione

Il progetto vuole modellare e implementare un sistema in Java che permetta di generare tracce di un'esecuzione a partire dalla definizione di un taskset con o senza risorse da usare in mutua esclusione. Le eventuali risorse sono gestite da un protocollo di accesso alle risorse.

Ogni traccia è definita come una sequenza di coppie  $\langle \text{tempo}, \text{evento} \rangle$ , dove un *evento* può essere: rilascio di un job di un task; acquisizione/rilascio di un semaforo da parte di un job di un task; completamento di un chunk; completamento di un job di un task.

## 1.1 Capacità

A partire da un taskset, il sistema ha le capacità di:

- Generare la traccia di esecuzione del taskset schedulato tramite un dato algoritmo di scheduling (i.e., Rate Monotonic e Earliest Deadline First) e ed un eventuale protocollo di accesso alle risorse (i.e., Priority Ceiling Protocol).
- Rilevare eventuali deadline miss. Se al termine del proprio periodo, un task non ha completato un tutti i chunk di cui è composto allora il sistema lo evidenzia e si arresta.
- Introdurre e rilevare un additional execution time in un chunk. Questo modella un tempo di computazione di un chunk maggiore (o minore) di quello che ci aspettiamo, cioè maggiore del WCET.

## 1.2 Utilizzo

Nei prossimi punti vediamo degli accorgimenti che sono utili per far utilizzare il sistema nel modo corretto.

- Gli elementi del sistema, come chunk, task, taskset, scheduler e protocollo di accesso alle risorse, devono essere definiti all'interno del main. Una volta definito tutto si deve chiamare il metodo `schedule` sullo scheduler.
- Il tempo all'interno del sistema è statico. Per questo motivo si suggerisce di chiamare `schedule` una volta ogni esecuzione del main.

- Qualunque tempo si richiesto per inizializzare gli oggetti (e.g., execution time, periodo, overhrad dell'execution time del task) devono essere campionati tramite un'implementazione di `Sample`. Un tale oggetto deve essere passato al metodo statico `sample` del wrapper `SampleDuration`. Oltre alle distribuzioni introdotte da Sirio è presente anche l'implementazione `ConstantSampler`, che definisce un campionamento costante.
- I tempi devono essere passati al sistema e letti da esso in milli secondi. Il sistema li gestisce in nanosecondi per avere un'alta precisione.

## 2 Analisi

In questo capitolo analizziamo la struttura del progetto, partendo dai suoi componenti e definendo la loro relazione.

### 2.1 Componenti

#### 2.1.1 Task

Un task è definito da: un insieme di Chunk; una deadline; una priorità nominale e dinamica; un pattern di rilascio.

Non ci interessa definire un activation time perché vogliamo considerare il caso pessimo: l'activation time sarà uguale per tutti i task e coinciderà con l'istante iniziale.

#### 2.1.2 Chunk

Un chunk, cioè una computazione atomica del task. È definito da: una distribuzione del tempo di esecuzione previsto e un tempo di esecuzione effettivo; un'eventuale richiesta di risorse da usare in mutua esclusione (da acquisire prima dell'esecuzione e rilasciare subito dopo).

#### 2.1.3 Taskset

È un insieme di task. È l'oggetto principale gestito dallo scheduler.

#### 2.1.4 Risorse

Sono le risorse da utilizzare in mutua esclusione. Ogni risorsa è gestita da un semaforo binario, quindi può essere posseduta da un solo task alla volta.

#### 2.1.5 CPU

È l'unità di elaborazione. Supponiamo essere unica.

#### 2.1.6 Scheduler

È il componente che assegna un task al processore. Sono stati implementati Rate Monotonic (RM) e Earliest Deadline First (EDF).

### 2.1.7 Protocollo di accesso alle risorse

È il meccanismo che garantisce la mutua esclusione di una risorsa. È stato implementato Priority Ceiling Protocol (PCP).

## 2.2 Class diagram

Per capire meglio la struttura del progetto, analizziamo il diagramma delle classi in Figura 2.1.

In questo modello sono definiti solo i campi che definiscono i vari componenti; per chiarezza del sistema non sono stati infatti introdotti gli oggetti necessari all'implementazione.

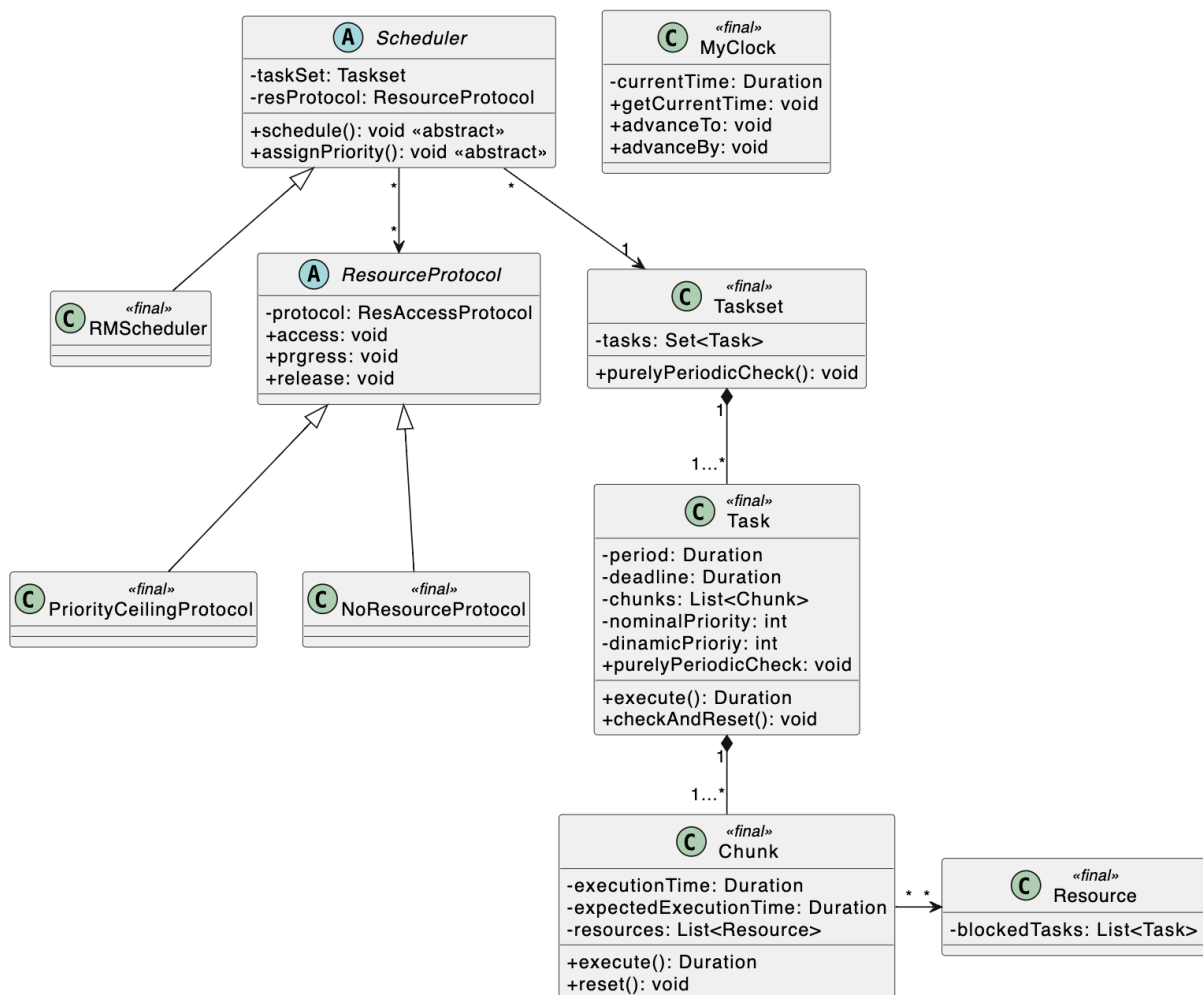


Figura 2.1: Class diagram.

## 3 Implementazione

L'implementazione deve rappresentare una simulazione deterministica. Per questo motivo non sono stati usati tread (oggetti Java Thread).

### 3.1 Scheduler

Ogni possibile implementazione di un algoritmo di scheduling è un'estensione della classe Scheduler. Questo permette di definire i comportamenti comuni a tutti gli scheduler e di astrarre future implementazioni.

Per l'implementazione, oltre a ciò che definisce uno scheduler (i.e., taskSet e l'eventuale protocollo di accesso alle risorse), è stato necessario mantenere una lista di task pronti readyTask e una di task bloccati blockedTask. Inoltre è necessario mantenere un riferimento all'ultimo task che è andato in esecuzione.

Nella classe base sono presenti, oltre che ai classici getter e setter, anche i metodi fondamentali che ogni sotto classe deve implementare: schedule che definisce la politica di scheduling; assignPriority che definisce come assegnare la priorità ai task.

Quando uno scheduler viene creato oltre a assegnare il taskset e il protocollo di accesso alle risorse, viene chiamato assignPriority, e vengono inizializzate le strutture relative al protocollo. La scelta di fare questo assegnamento qua e non nella classe dedicata al protocollo è dovuta alle dipendenze: per come è stato implementato l'oggetto principale (e anche l'ultimo che deve essere istanziato) è lo scheduler, e quindi è il protocollo si basa su di esso.

#### 3.1.1 Rate Monotonic

Descriviamo brevemente l'idea di implementazione di RM. Per semplificare l'ordine con cui i vari componenti interagiscono è stato definito il sequence diagram in Figura 3.1.

Dopo aver chiamato il costruttore della superclasse, RM valuta se tutti i task che compongono il taskset sono puramente periodici, cioè se hanno stesso periodo e deadline relativa.

La simulazione di scheduling si basa su due strutture principali:

- taskReady

Ospita i task che si contendono l'accesso alla CPU. È stata implementata tramite un



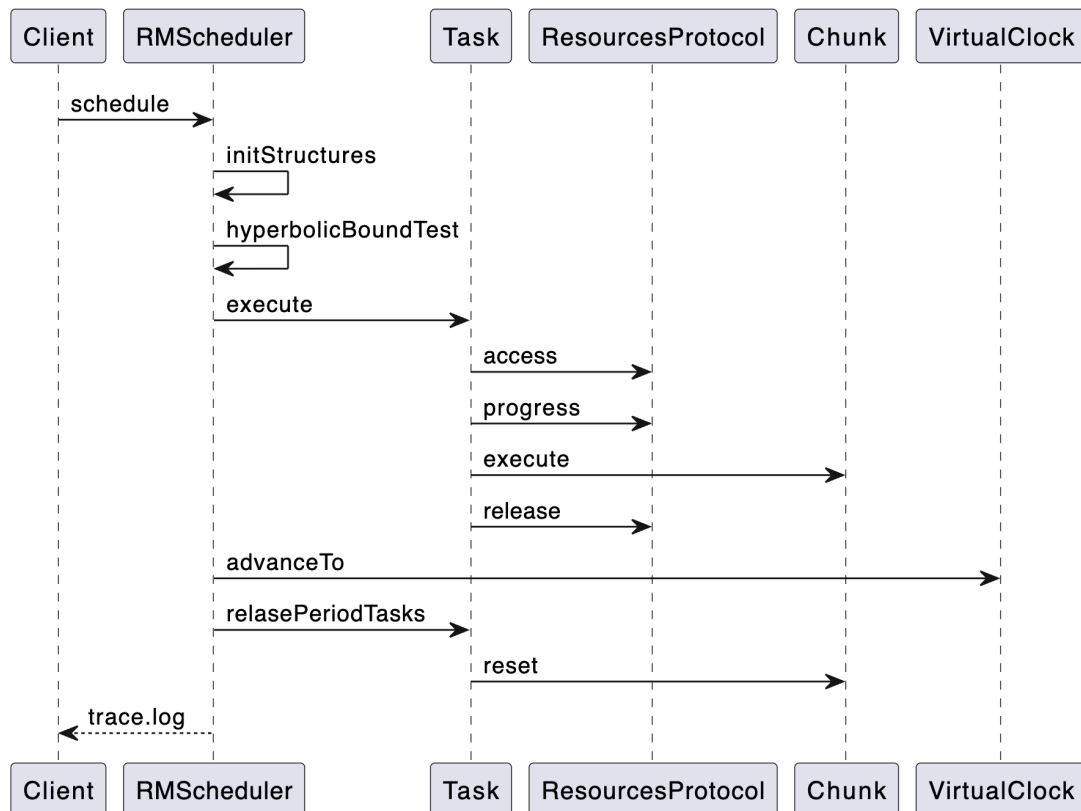


Figura 3.1: Sequence Diagram RM

Treeset e al suo interno si mantiene un'ordinamento inverso rispetto alla durata del periodo dei vari task: task con periodo inferiore ha una priorità maggiore.

- **events**

Gestisce gli eventi rilevanti per lo scheduler, cioè i momenti in cui deve valutare se i task che hanno terminato il periodo hanno superato la deadline oppure se devono essere rilasciati nuovamente. Nell'intervallo tra un periodo e il successivo infatti lo scheduler non fa altro che mandare in esecuzione uno dopo l'altro il task a priorità maggiore. Gli eventi sono l'unione ordinata dei multipli di ciascun periodo fino al minimo comune multiplo dei periodi oppure fino a 10 volte il periodo maggiore (per semplicità del caso sia molto oneroso generare questa lista).

Il metodo `schedule` poi delega la gestione dei chunk di ogni task alla classe `Task`, la quale a sua volta rimanda alla classe `Chunk` la loro esecuzione (i.e. il logging).

### 3.1.2 Test

Consideriamo situazioni diverse:

- **Schedulabile, senza risorse**

Il test esegue l'hyperbolic bound test che passa; siccome il test è sufficiente sap-

priamo che la sua accettazione ci assicura che il taskset sia schedulabile da RM. A questo punto oltre a verificare che schedulare il taskset non sollevi un'eccezione, è stata valutata a mano la sequenza di tracce generata.

- Non schedulabile, senza risorse  
È stato preso in questo caso un taskset con fattore di utilizzo maggiore di 1: in questo modo sicuramente la schedulabilità non deve passare. Dopo aver verificato che l'hyperbolic test non passi, verifichiamo che vengano sollevate le corrette eccezioni.
- Schedulabile e non schedulabile, con risorse  
Sono state presi dei task generati tramite chatGPT. Ci siamo accertati che quello generato dal modello di OpenAI rispetti quanto detto verificando il sollevamento o meno di eccezioni. Potrebbero essere implementati i test di schedulabilità estesi per risolvere questo problema.

## 3.2 Resource Access Protocol

Ogni implementazione di un protocollo di accesso alle risorse deve estendere la classe `ResourceProtocol`.

L'idea iniziale era di implementare il concetto astratto di protocollo di accesso tramite un'interfaccia, ma vista la necessità di mantenere un riferimento allora scheduler nel protocollo si è introdotto questo campo nella classe base.

I metodi definiti da questa classe astratta sono le operazioni che devono essere svolte da un protocollo di questo tipo: deve gestire la fase di accesso, progresso e rilascio. Definisce anche il metodo `initStructures` che ha il compito di inizializzare le strutture dati usate dal protocollo.

Oltre a questi metodi è dichiarato un metodo `initStructures` che inizializza le strutture necessarie al protocollo.

### 3.2.1 Priority Ceiling Protocol

Tralasciando quello che fanno i metodi di accesso, progresso e rilascio, che riflettono quanto ci dice la teoria, in questa classe le strutture usate sono prevalentemente due:

- `ceiling`  
È una mappa che associa ad ogni risorsa il suo ceiling, cioè la massima priorità nominale dei task che usano quella risorsa.
- `busyResources`  
È una lista delle risorse che sono occupate da un qualche task.

## 3.3 Fault injection

Per implementare il fault injection di un additional execution time in un chunk è stato previsto un altro costruttore che prendesse, oltre ai parametri previsti, anche un `overheadExecutionTime`.

Il motivo per non introdurre una classe che eseguisse l'injection è stato che un chunk nella realtà nasce con il suo execution time e non ci sono altre entità che aumentano quello campionato; il costruttore vuole modellare questa idea.

## 3.4 Utilità

Vediamo la scelta su alcuni componenti di utilità.

### 3.4.1 Login

Per il logging è stato implementato un semplice logging su un file e viene rappresentato come una sequenza di coppie  $\langle \text{evento}, \text{tempo} \rangle$ .

Il file di destinazione delle tracce loggate è `trace.log`.

### 3.4.2 Clock

Il tempo all'interno del sistema è gestito globalmente: ad ogni esecuzione del main il tempo viene resettato. Questa scelta è dovuta al fatto che praticamente tutti gli oggetti devono accedere al clock del sistema; in questo modo si evita di passarlo ogni volta nei vari metodi chiamati a cascata. L'implementazione è stata fatta tramite il pattern Singleton.

A causa della staticità si consiglia di usare eseguire una sola simulazione per esecuzione. C'è la possibilità di resettarlo manualmente (tramite `MyClock.reset()`); questa possibilità è stata introdotta per i test.

Il clock del sistema è rappresentato dalla classe `MyClock`. Questa non fa altro che mantenere il tempo assoluto ed esporre due metodi che permettono di avanzare di un dato intervallo temporale e avanzare fino a un determinato tempo.

Il tempo è gestito tramite oggetti di tipo `Duration`, classe di `java.time` che implementa oggetti immutabili e che permettono una facile gestione del tempo.

In particolare il tempo deve essere considerato dall'utente (i.e., passato in input e restituito poi in output) in millisecondi, ma il sistema lo gestisce tramite i nanosecondi. Questo permette di lavorare con millisecondi frazionari quando si campiona dalle distribuzioni di Sirio.

La stampa all'interno del file di log `trace.log` nel formato corretto è implementata nel metodo `Utils.printCurrentTime`.

### 3.4.3 Sampling dei tempi

Quando si deve definire i tempi che definiscono i vari componenti del sistema, cioè come il periodo, la deadline, l'execution time di un chunk, si usa un campionamento da una data distribuzione.

Le distribuzioni sono implementate dalla libreria *Sirio*; oltre a quelle definite dalla libreria è stata implementata la classe *ConstantSampler*, che permette di gestire tempi costanti, mantenendo l'astrazione della libreria *Sirio*.

I sampler di *Sirio* restituiscono oggetti di tipo *BigDecimal*. Come detto nel paragrafo sopra il sistema gestisce il tempo come oggetti di tipo *Duration*. Per implementare questo meccanismo è stata implementata la classe *SampleDuration*, che preso un *Sampler* restituisce il rispettivo tempo in nanosecondi.

### 3.4.4 Eccezioni

Durante l'esecuzione si possono verificare dei problemi, più o meno previsti. Questi sono gestiti tramite eccezioni; questo permette in futuro di cambiare o aggiungere un comportamento del sistema quando si verificano determinate situazioni.

Le eccezioni implementate e utili sono:

- *DeadlineMissedException*  
Viene sollevata quando un task non rispetta la deadline. Il sistema non la gestisce, ma la propaga fino al main: in questo modo se e quando si verifica questo problema, viene stampata in `trace.log` e la simulazione si arresta.
- *AccessResourceProtocolException*  
Viene sollevata quando un task viene bloccato dal metodo `access` del protocollo di accesso.

# 4 Dubbi

## 4.1 Domande

- Manca EDF con test com RM.
- Generazione lista eventi con multipli. vedi test `generateMultiplesUpToLCM4`.
- PCP con EDF. Quale è la priorità nominale dei task e quindi come definsico il ceiling di un semaforo?

# Bibliografia

- [1] Laura Carnevali. *Appunti slides Software Engineering for Embedded System*.
- [2] *chatGTP*.
- [3] *documentazione Java, oracle*. <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/overview-summary.html>.