Node.js

Home Page del corso: http://lia.disi.unibo.it/Courses/twt2021-info/
Versione elettronica: 4.03.Node.js.pdf
Versione elettronica: 4.03.Node.js-2p.pdf

Verso nuovi modelli, più asincroni, più scalabili, …

Verso nuovi modelli, non solo per applicazioni Web, più asincroni, più scalabili, …

Esempio notevole: Node.js

- Idea centrale di supporto efficiente a I/O asincrono non-bloccante
- Tecnologia server-side
- NON utilizzo di thread/processi dedicati
- Maggiore scalabilità
- Verso esasperazione del concetto di «server stateless»

Node.js

- **Necessario server-side un runtime environment JavaScript che ospiti Google Chrome V8 engine**
  - Soluzione server-side per JavaScript
  - Codice JavaScript compilato, buona efficienza runtime
- **Progettato per estrema concorrenza e scalabilità**
  - Senza thread o processi dedicati, definiti ad esempio a livello di applicazione
- **SEMPRE NON bloccante, persino per chiamate I/O-oriented**

3

Node.js

- **Event Loop**
  - Al posto di thread, usa un event loop con stack
  - Riduce fortemente overhead di context switching
- **Usa il framework CommonJS**
  - Leggermente più "simile" a un vero linguaggio di programmazione OO

4

Perché usare event loop e I/O asincrono?

Ordini di grandezza tipici al giorno d'oggi…

Operation	CPU Cycles
L1	**3** cycles
L2	**14** cycles
RAM	**250** cycles
DISK	**41 000 000** cycles
NETWORK	**240 000 000** cyles

TABLE FROM RYAN DAHL'S 2009.11.08 PRESENTATION ON NODE.JS
HTTPS://NODEJS.ORG/JSCONF.PDF

5

5

Thread vs. Event-driven

Thread	Asynchronous Event-driven
Blocca applicazione/richieste con listener-worker thread	Un solo thread, che fa ripetutamente fetching di eventi da una coda
Usa modello incoming-request	Usa una coda di eventi e processa eventi presenti
Multithreaded server potrebbe bloccare una richiesta che coinvolge eventi multipli	Salva stato e passa poi a processare il prossimo evento in coda
Usa context switching	No contention e NO context switch
Usa ambienti multithreading in cui listener e worker thread spesso acquisiscono incoming-request lock	Usa framework con meccanismi per cosiddetto I/O asincrono (callback, NO poll/select, O_NONBLOCK)

6

6

Thread vs. Eventi

Threads versus Events

```
request = readRequest(socket);
reply = processRequest(request);
sendReply(socket, reply);
```

Implementation:

Thread switching (i.e. blocking) and a scheduler

```
startRequest(socket);
listen("requestAvail", processRequest);
listen("processDone", sendReplyToSock);
```

Implementation:

Event queue processing

7

Thread vs. Eventi usando Callback

```
request = readRequest(socket);
reply = processRequest(request);
sendReply(socket, reply);
```

Implementation:

Thread switching (i.e. blocking) and a scheduler

```
readRequest(socket, function(request) {
   processRequest(request,
       function (reply) {
         sendReply(socket, reply);
        });
});
```

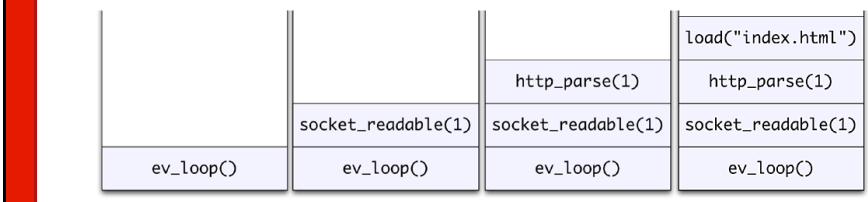
Implementation:

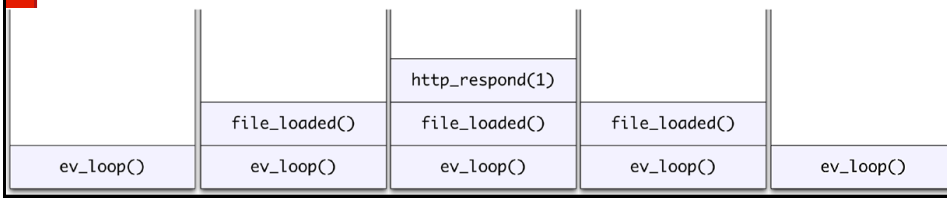
Event queue processing

8

Possibile esempio di Event Loop

- Arriva una richiesta per "index.html"
- Dopo aver processato primo stack di eventi, ev_loop è idle
- Caricamento di file da disco scatena nuovi eventi





9

Possibile esempio di Event Loop

- Come lavora event loop
- Esempio di lettura da socket

Inner loop

```
while (true) {
   if (!eventQueue.notEmpty()) {
      eventQueue.pop().call();
   }
}
```

Never wait/block in event handler . Example `readRequest(socket);`

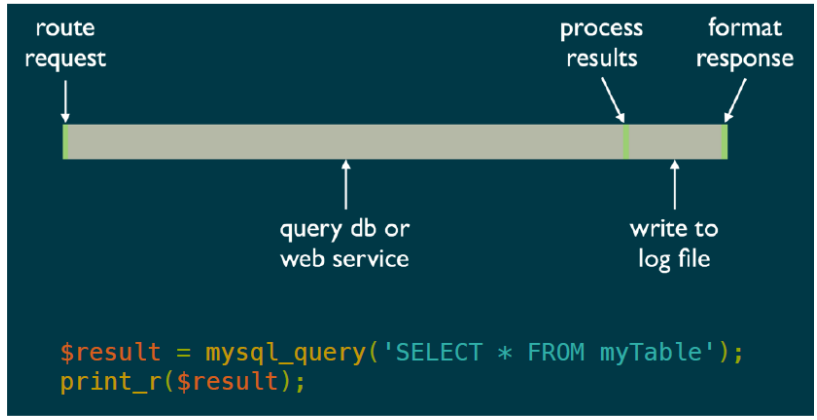
1. `launchReadRequest(socket);` // Returns immediately
2. When read finishes: `eventQueue.push(readDoneEventHandler);`

10

10

Operazioni I/O sincrone…

In molti linguaggi di prog e framework tradizionali, operazioni I/O sono bloccanti: bloccano il progresso di un thread in attesa di lettura da hard drive o da rete, ad esempio…



11

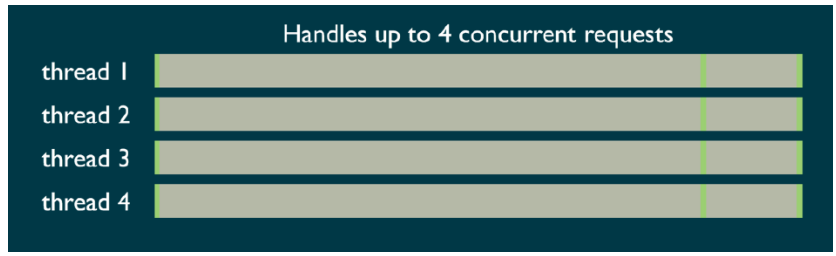
11

I/O bloccante e multi-threading

In caso di I/O bloccante, un server "tradizionale" usa multi-threading per limitare l'attesa

- Thread pool
- Un thread per connessione

Ma comunque ogni thread passa maggior parte del tempo in attesa di I/O
Andare verso altissimi numeri di thread introduce overhead di context switching e significativo uso di memoria

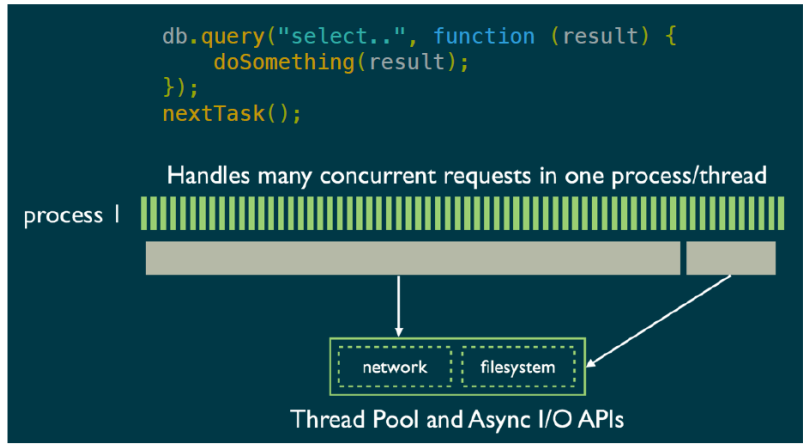


12

12

Node.js, single-thread e non-blocking I/O

Node.js usa un approccio single-thread non-blocking I/O: ogni funzione che fa operazioni I/O viene gestita in modo asincrono non-bloccante tramite callback

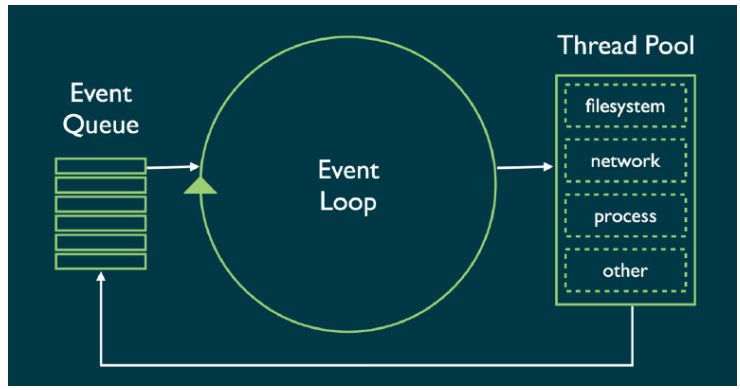


13

13

Attenzione a task CPU intensive!

- Utilizzando un thread singolo con un event loop, Node.js supporta decine di migliaia di connessioni concorrenti, senza costo di context switching
- **Task nell'event loop devono eseguire velocemente per NON bloccare la coda: attenzione a task CPU intensive**



14

14

Non-blocking I/O

- **Il servitore non compie nessuna altra operazione se non di I/O**
  - Infatti, applicazioni JavaScript (di scripting in generale) in attesa su richieste I/O tendono a degradare significativamente performance
- Per evitare blocking, **Node.js utilizza stessa natura event driven di JavaScript, associando callback alla ricezione di richieste I/O**
- **Script Node.js in attesa su I/O NON sprecano molte risorse** (popped off dallo stack automaticamente quando il loro codice non-I/O related termina la sua esecuzione)

15

15

Node.js in a nutshell

- **Utilizzo dello stesso JavaScript engine sia lato browser che servitore**
  - Ovviamente senza bisogno di DOM lato server
- **Gestione eventi su una coda degli eventi**
  - Ogni operazione esegue come una chiamata dall'event loop
- **Uso di interfaccia ad eventi per ogni operazione di SO**
  - Wrapping di tutte le chiamate bloccanti di SO (I/O su file e socket/network)
- **Uso di sistema di moduli (import/export)**
  - Moduli specializzati per il supporto a data management efficiente

16

16

Quando usare Node.js?

- Node.js è particolarm adatto alla creazione di Web server e strumenti di networking vari
- Uso di una collezione di moduli che realizzano varie **funzionalità core:** per file system I/O, per networking, per funzioni crittografiche, per gestione stream di dati, ecc.
- Insiemi di moduli (framework) per velocizzare lo sviluppo di applicazioni Web, come Express.js

- Non solo server-side (come già visto nell'esercitazione su React): diversi strumenti per sviluppo frontend e associate DevOps

17

17

Esempio di uso di Node.js in server-side script PHP

Anche integrato in altri framework per il Web e non solo, ad esempio PHP

```
<?php
$result = mysql_query('SELECT * FROM ...');
while($r = mysql_fetch_array($result)){
    // Do something
}

// Wait for query processing to finish...
?>

<script type="text/javascript">
mysql.query('SELECT * FROM ...', function (err, result, fields){
        // Do something
    });

// Don't wait, just continue executing
</script>
```

18

18

Stili di programmazione: thread vs callback

Threads

```
r1 = step1();
console.log('step1 done', r1);
r2 = step2(r1);
console.log('step2 done', r2);
r3 = step3(r2);
console.log('step3 done', r3);
console.log('All Done!');
```

Works for **non-blocking** calls in both styles

Callbacks

```
step1(function(r1) {
   console.log('step1 done', r1);
   step2(r1, function (r2) {
      console.log('step2 done', r2);
      step3(r2, function (r3) {
         console.log('step3 done',r3);
      });
   });
}):
console.log('All Done!'); // Wrong!
```


19

Stili di programmazione: thread vs callback

Threads

```
r1 = step1();
console.log('step1 done', r1);
r2 = step2(r1);
console.log('step2 done', r2);
r3 = step3(r2);
console.log('step3 done', r3);
console.log('All Done!');
```

Callbacks

```
step1(function(r1) {
   console.log('step1 done', r1);
   step2(r1, function (r2) {
      console.log('step2 done', r2);
      step3(r2, function (r3) {
         console.log('step3 done', r3);
         console.log('All Done!');
      });
   });
});
```


20

Uniformità JavaScript lato cliente e servitore

Uso di JavaScript sia lato cliente che lato servitore

- No "context switch" di linguaggio di programmazione nella mente dei Web developer
- Ma ricordiamoci se stiamo programmando CLIENT O SERVER side…
  - Client-side JavaScript usa ampiamente DOM, tipicamente NO accesso a file o persistent storage
  - Server-side JavaScript lavora prevalentem con file e/o persistent storage, NO DOM

Moduli Node.js

Il core di Node consiste di circa una ventina di moduli, alcuni di più basso livello come per la gestione di eventi e stream, altri di più alto livello come http

```
// Carica il modulo http per creare un http server
var http=require('http');
// Configura HTTP server per rispondere con Hello World
var server=http.createServer(function(request,response) {
response.writeHead(200, {"Content-Type":"text/plain"});
response.end("Hello World\n");
});
// Ascolta su porta 8000
server.listen(8000);
// Scrive un messaggio sulla console terminale
console.log("Server running at http://127.0.0.1:8000/");
```

Moduli Node.js

- Il core di Node è stato progettato per essere piccolo e snello; i moduli che fanno parte del core si focalizzano su protocolli e formati di uso comune
- Per ogni altra cosa, si usa **npm**: chiunque può creare un modulo Node con funzionalità aggiuntive e pubblicarlo in npm

NPM

- Package manager di grande successo/crescita, che Semplifica sharing e riuso di codice JavaScript in forma di moduli
- Preinstallato con distribuzione Node
- Esegue tramite linea di comando e permette di ritrovare moduli dal registry pubblico in http://npmjs.org

Esempio di lettura di file in Node.js

```
var fs = require("fs"); // modulo fs richiesto
// oggetto fs fa da wrapper a chiamate bloccanti sui file
// read() a livello SO è sincrona bloccante mentre
// fs.readFile è non-bloccante
fs.readFile("smallFile", readDoneCallback); // Inizio lettura

function readDoneCallback(error, dataBuffer) {
// convenzione Node per callback: primo argomento è oggetto
// js di errore
if (!error) {
console.log("smallFile contents", dataBuffer.toString());
}
}
```

Listener/Emitter Pattern

- Ovviamente, **listener come funzione da chiamare quando evento associato viene lanciato**
- **Emitter come segnale che un evento è accaduto**
- **L'emissione di un evento causa invocazione di TUTTE le funzioni listener**

```
myEmitter.on('myEvent', function(param1, param2) {
console.log('myEvent occurred with ' + param1 + ' and '
+ param2 + '!');
});
myEmitter.emit('myEvent', 'arg1', 'arg2');
```

- **In seguito a emit, i listener sono invocati in modo sincrono-bloccante e nell'ordine con cui sono stati registrati; no listener, no op**

25

25

Node.js Stream (Flussi)

- Node contiene moduli che producono/consumano flussi di dati (stream)
- Può essere modo utile per strutturare server
  - Network interface ⇔ TCP/IP protocol processing ⇔ HTTP protocol processing ⇔ codice sviluppatore
- Si possono costruire stream anche dinamicamente e aggiungere moduli sul flusso
  - Ad esempio stream.push(Encryption)
  - Network interface ⇔ TCP/IP protocol processing ⇔ Encryption ⇔ HTTP processing
- Readable stream (es: fs.createReadStream)
- Writable stream (es. fs.createWriteStream)
- Duplex stream (es. net.createConnection)
- Transform stream (es. zlib, crypto)

26

26

Leggere File usando Stream

```
var readableStreamEvent =
      fs.createReadStream("bigFile");
readableStreamEvent.on('data', function (chunkBuffer) {
      console.log('got chunk of', chunkBuffer.length,
      'bytes');
});

readableStreamEvent.on('end', function() {
// Lanciato dopo che sono stati letti tutti i datachunk
console.log('got all the data');
});

readableStreamEvent.on('error', function (err) {
console.error('got error', err);
});
```

27

27

Scrivere File usando Stream

```
var writableStreamEvent =
      fs.createWriteStream('outputFile');

writableStreamEvent.on('finish', function () {
console.log('file has been written!');
});

writableStreamEvent.write('Hello world!\n');
writableStreamEvent.end();
```

28

28

TCP Networking in Node.js

- Esiste un modulo di rete Node, chiamato net, che fa da wrapper per le chiamate di rete di SO
- Include anche funzionalità di alto livello, come:

```
var net = require('net');
net.createServer(processTCPconnection).
    listen(4000);
```

- Crea una socket, fa binding su porta 4000 e si mette in stato di listen per connessioni
- Per ogni connessione TCP, invoca la funzione `processTCPconnection`

29

29

Esempio di Server per Chat

```
var clients = []; // Lista di client connessi
function processTCPconnection(socket) {
clients.push(socket); // Aggiunge il cliente alla lista
socket.on('data', function (data) {
      broadcast( "> " + data, socket);
      // invia a tutti i dati ricevuti });
socket.on('end', function () {
clients.splice(clients.indexOf(socket), 1); // remove
socket
}); }
// invia messaggio a tutti i clienti
function broadcast(message, sender) {
clients.forEach(function (client) {
if (client === sender) return;
client.write(message); });
}
```

30

30

Modulo Express

- Express.js è il framework più utilizzato oggi per lo sviluppo di applicazioni Web su Node
- Ispirato e basato sul precedente Sinatra

Principali caratteristiche:

- Focus su high performance
- Diverse opzioni e motori di templating
- Eseguibili per rapida generazione di applicazioni

```
var express=require('express');
var app=express();
app.get('/',function(req,res) {
      res.send('Hello World!'); });
var server=app.listen(3000,function() {
      var host=server.address().address;
      var port=server.address().port;
      console.log('Listening at http://%s:%s',host,port); });
```


Lista di Moduli Disponibili per Node.js

Core Module	Description
http	http module includes classes, methods and events to create Node.js http server.
url	url module includes methods for URL resolution and parsing.
querystring	querystring module includes methods to deal with query string.
path	path module includes methods to deal with file paths.
fs	fs module includes classes, methods, and events to work with file I/O.
util	util module includes utility functions useful for programmers.

Una lista abbastanza completa dei moduli Node.js di maggiore utilizzo è reperibile qui:

https://www.w3schools.com/nodejs/ref_modules.asp

Verso nuovi modelli, più asincroni, più scalabili, …

Esempio notevole: Node.js

- Idea centrale di supporto efficiente a I/O asincrono non-bloccante
- Tecnologia server-side
- NON utilizzo di thread/processi dedicati
- Maggiore scalabilità
- Verso esasperazione del concetto di «server stateless»

Alcuni possibili riferimenti

- http://nodejs.org/
- https://howtonode.org/
- M. Wandschneider, “Node.js: Creare applicazioni web in JavaScript”, Apogeo, 2013
- M. Cantelon, M. Harter, T.J. Holowaychuk, “Node.js in Action”, Manning, 2013
- http://ajaxian.com/archives/google-chrome-chromium-and-v8
- http://news.softpedia.com/news/IE9-RC-vs-Chrome-10-9-vs-Opera-11-vs-Firefox-11-Performance-Comparison-183973.shtml