.UBAfiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA

Técnicas de Programación Concurrente I

Modelo Fork Join

Ing. Pablo A. Deymonnaz
pdeymon@fi.uba.ar

Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires

.UBAfiuba FACULTAD DE INGENIERÍA

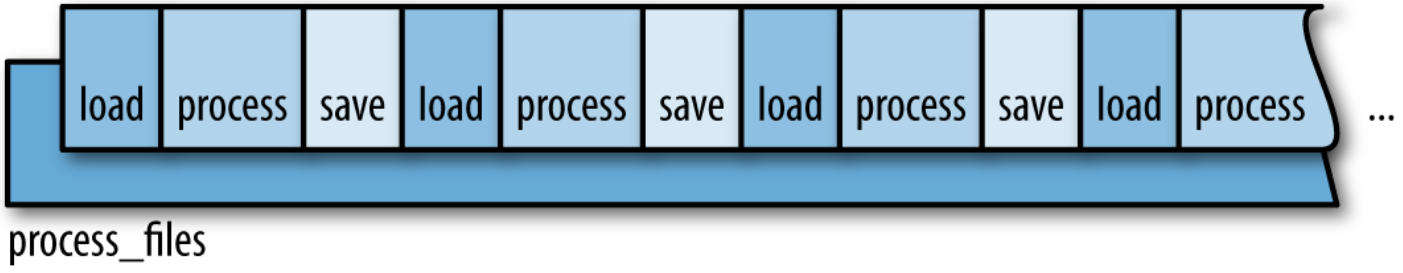
Índice

Procesamiento Secuencial

Ejemplo de procesamiento secuencial clásico:

```
fn process_files(filenames: Vec<String>)
-> io::Result<()> {
  for document in filenames {
    let text = load(&document)?; // leer un archivo
    let results = process(text); // realizar el computo
    save(&document, results)?; // escribir resultados
  }
  Ok(())
}
```

Cada ronda es independiente de la otra => podemos paralelizar



Índice

Fork Join

Fork-join: estilo de paralelización donde el cómputo (*task*) es partido en sub-cómputos menores (*subtasks*). Los resultados de estos se unen (*join*) para construir la solución al cómputo inicial.

Para un conjunto de problemas donde las tareas son independientes => se pueden paralelizar

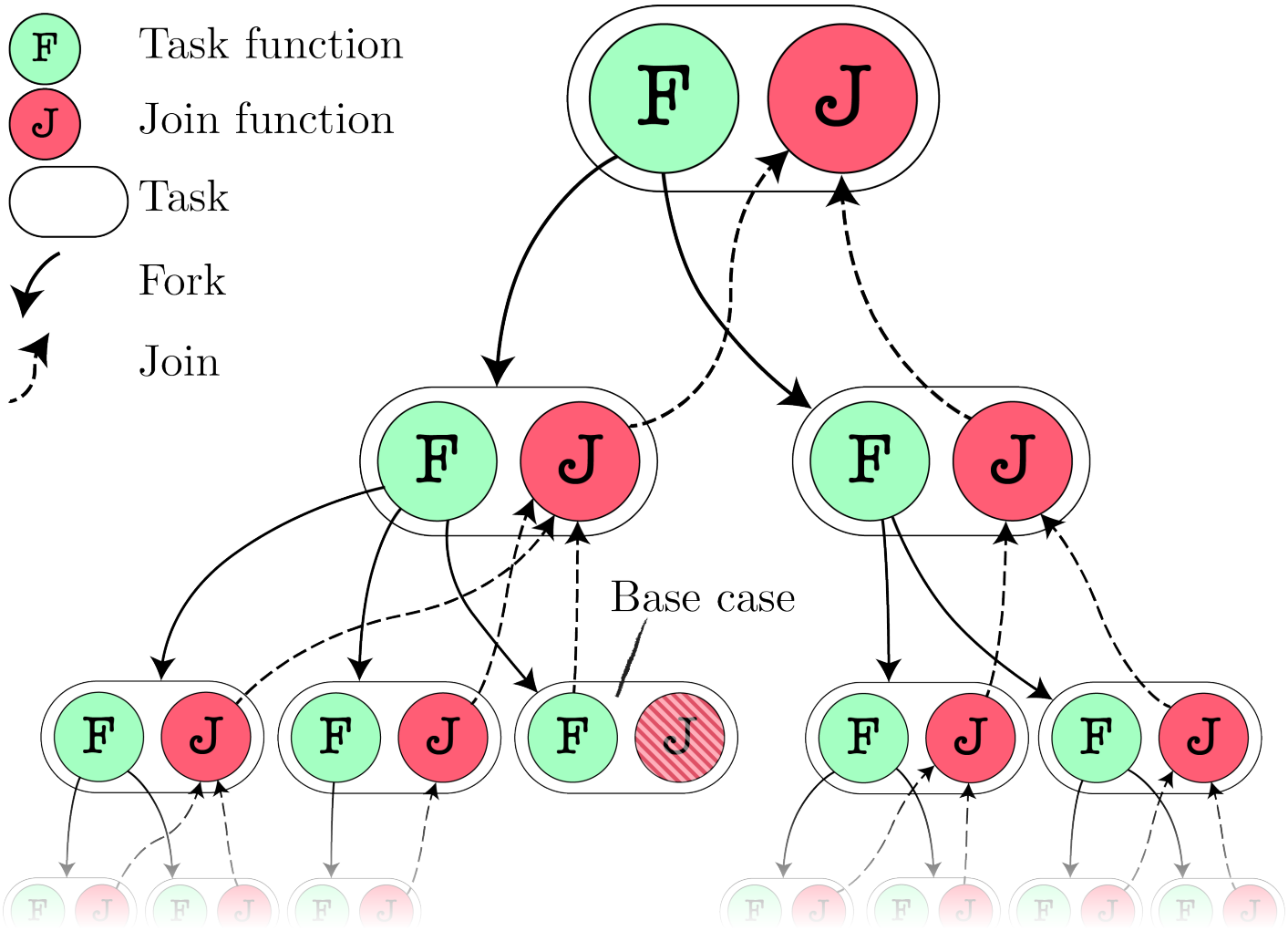
Partir el cómputo se realiza en general de forma recursiva: los sub-cómputos son independientes $\rightarrow$ el cómputo se puede realizar en paralelo.

Las sub-tareas se pueden crear en cualquier momento de la ejecución de la tarea.

Las tareas no deben bloquearse, excepto para esperar el final de las subtareas.

Las tareas son cómputos y se pueden sub-dividir en sub-cómputos que son tareas en sí mismas que pueden aplicar recursivamente el mismo criterio y seguir sub-dividiéndose.
Los resultados de la división de las sub-tareas se unen con la fase de join que tiene como resultado la solución al cómputo inicial.
La división se puede realizar en cualquier momento de la solución del problema.

Fork Join

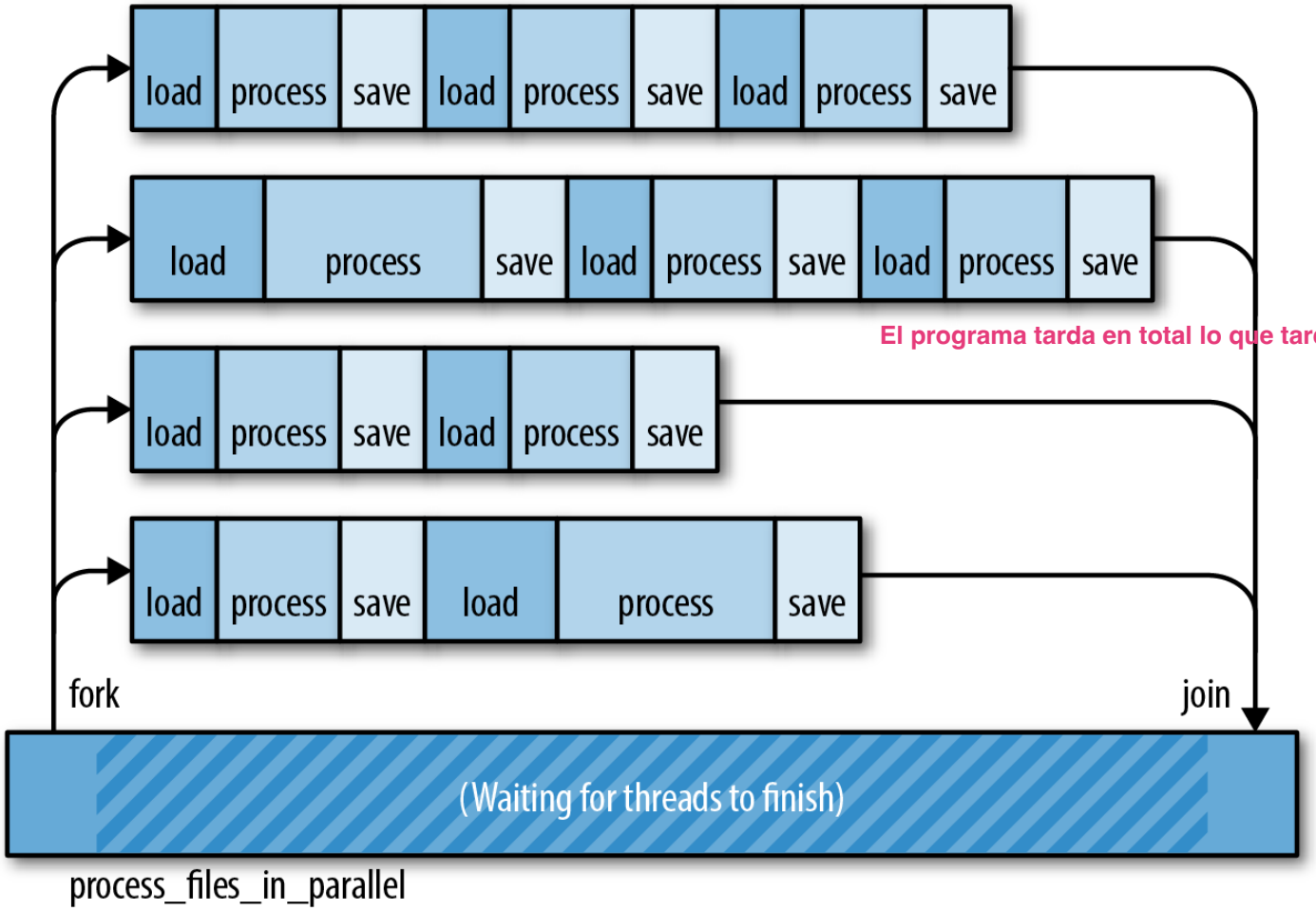


Fork Join

Asegura concurrencia sin condiciones de carrera. No hay hilos de ejecución compitiendo por el acceso de un recurso.
El resultado del cómputo es determinísitico sin importar cómo actúe el scheduler. Los threads son aislados por lo que no dependen entre sí y no se altera el resultado final (independiente de cuál termine antes y cuál después).
Se puede calcular la PERFORMANCE (en cuánto tiempo se ejecuta el programa) —> cuánto tarda en ejecutarse con fork-join y cuánto tarda del modo tradicional sin concurrencia.

- Modelo de concurrencia sin condiciones de carrera.
- Los programas *fork-join* son *determinísticos*, los threads están aislados. El programa produce el mismo resultado independientemente de las diferencias de velocidad de los threads.
- Performance: en el caso ideal $t_{secuencial}/N_{threads}$
  Puede variar por diferencias en el tamaño de una tareas, y porque se debe realizar procesamiento para hacer la **combinación** de los resultados individuales.
- Desventaja: requiere que las unidades de trabajo (tareas) sean *aisladas*.

Fork Join



El programa tarda en total lo que tarda la tarea más larga

Work stealing

Tiene como objetivo mejorar la carga de tareas entre hilos de ejecución. Propone que el tiepo práctico sea lo más parecido al ideal —> puede ocurrir que un thread termine su trabajo y siga esperando a que otros terminen. Lo que propone el algoritmo es que el thread que terminó, le saque trabajo al que sigue ocupado.
Se almacenan las tareas en una cola, cuando un thread termina la ejecución de una, agrega las sub-tareas al final de la cola. Para ejecutar toma la tarea siguiente del final de la cola. El thread que se quedó sin trabajo (finalizó su ejecución) elije al azar algún thread del sistema y accede al inicio de la cola para robar la tarea, la coloca en su cola y funciona como si esa tarea le haya sido asignada. Las tareas de menor nivel van a ser más chicas que las de mayor nivel. Cuando un thread agarre una tarea del principio va a tener menos interacción con el resto de los threads porque es más probable que esa tarea sea más larga y necesite más tiempo de ejecución. La idea es minimizar la interacción entre threads. Una vez que un thread roba una tarea, todas las tareas generadas le pertenecen.

Algoritmo usado para hacer scheduling de tareas entre threads.

Work stealing (Robo de trabajo): worker threads inactivos roban trabajo a threads ocupados, para realizar balanceo de carga.

- Cada thread tiene su propia cola de dos extremos (deque) donde almacena las tareas listas por ejecutar.
- Cuando un thread termina la ejecución de una tarea, coloca las subtareas creadas al final de la cola.
- Luego, toma la siguiente tarea para ser ejecutada del final de la cola.
- Si la cola está vacía, y el thread no tiene más trabajo, tratar de *robar* tareas del inicio de una cola de otro thread (random).

Work stealing (II)

Ventajas:

Minimiza la sincronización entre threads

- Los worker threads se comunican solamente cuando lo necesitan $\rightarrow$ menor necesidad de sincronización.
- La implementación de la cola *deque* agrega bajo overhead de sincronización.

Índice

Standard Library

```
fn process_files_in_parallel(filenames: Vec<String>)
-> io::Result<()> {
  const NTHREADS: usize = 8;
  let worklists = split_vec_into_chunks(filenames, NTHREADS)
  let mut thread_handles = vec![];
  for worklist in worklists {
    thread_handles.push(
      std::thread::spawn(move || process_files(worklist))
    );
  }
  for handle in thread_handles {
    handle.join().unwrap()?;
  }
  Ok(())
}
```

Rayon

Implementa fork-join y work-stealing

Rayon es una biblioteca muy popular, creada por Niko Matsakis, implementa el modelo fork join de 2 formas.

- Realizar dos tareas en paralelo:

  ```
  let (v1, v2) = rayon::join(fn1, fn2);
  ```

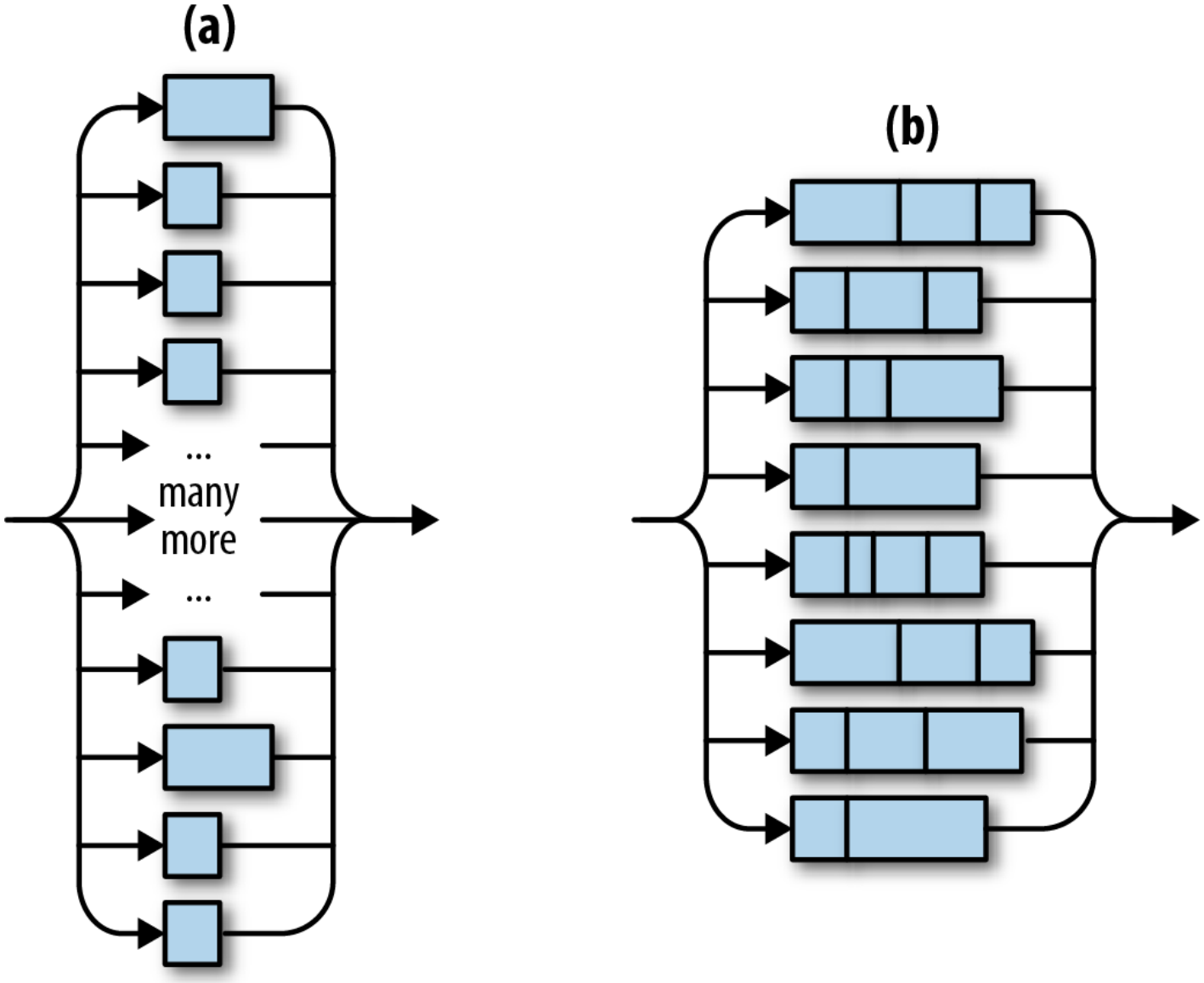
  invoca a *fn1* y *fn2* y retorna una tupla con ambos resultados.

- Realizar **N** tareas en paralelo:

  ```
  giant_vector.par_iter().for_each(|value| {
    do_thing_with_value(value);
  });
  ```

  El método **.par_iter()** crear un iterador *ParallelIterator* similar a los iteradores de Rust. Rayon maneja los threads y ditribuye el trabajo.

Rayon (II)



Rayon (III)

Desde afuera, **Rayon** parece crear una tarea por elemento del vector.
Internamente, crea un worker thread por núcleo de CPU.
Implementa: *Work stealing*.
Los métodos `.reduce()` y `.reduce_with()` se usan para combinar los resultados.

```
use rayon::prelude::*;

let s = ['a', 'b', 'c', 'd', 'e']
  .par_iter()
  .map(|c: &char| format!("{}", c))
  .reduce(|| String::new(),
    |mut a: String, b: String|
      { a.push_str(&b); a });

assert_eq!(s, "abcde");
```

Crossbeam

Crossbeam es un crate de concurrencia muy utilizado, provee estructuras de datos y funciones para concurrencia y paralelismo.
crossbeam::scope crea un nuevo entorno de thread que garantiza que los threads terminan antes de retornar el closure que se le pasa como argumento a esta función.
Todos los threads que no fueron manualmente esperados (*join*), son esperados antes de que finalice la invocación de la función.
Si todos terminan exitosamente, se retorna **Ok**, si alguno ejecutó panic, se retorna **Err**.

Como sabemos cuándo termina un thread, recuperamos el ownership.

Bibliografía

- **Programming Rust: Fast, Safe Systems Development**, 1st Edition, Jim Blandy, Jason Orendorff. 2017.
- **Parallelization in Rust with fork-join and friends.** Creating the ForkJoin framework, Master's thesis in Computer Science and Engineering. Linus Färnstrand
- **The Rust Programming Language**, *https://doc.rust-lang.org/book/*
- Documentación de los crates **Rayon** y **Crossbeam**.