Práctica 2. Paralelización con OpenMP

Computación de Altas Prestaciones

Carlos García Sánchez

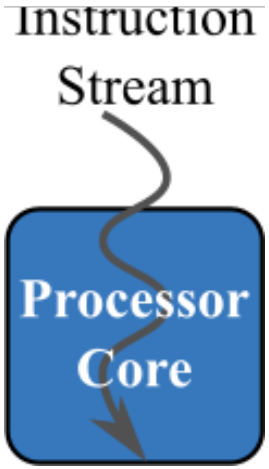
19 de octubre de 2022

- "Intel Xeon Phi Processor High Performance Programming: Knights Landing Edition", James Jeffers, James Reinders, Avinash Sodani
- Youtube https://www.youtube.com/watch?v=sELW6-3roAc&ab_channel=Danysoft

Outline

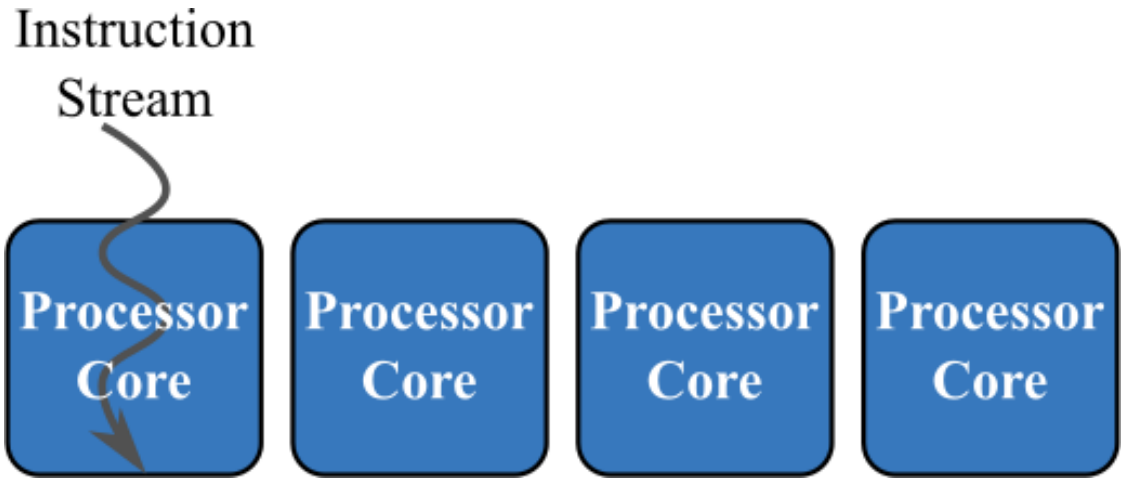
Secuencial vs Paralelo

- Aplicación secuencial en sistema con un único core



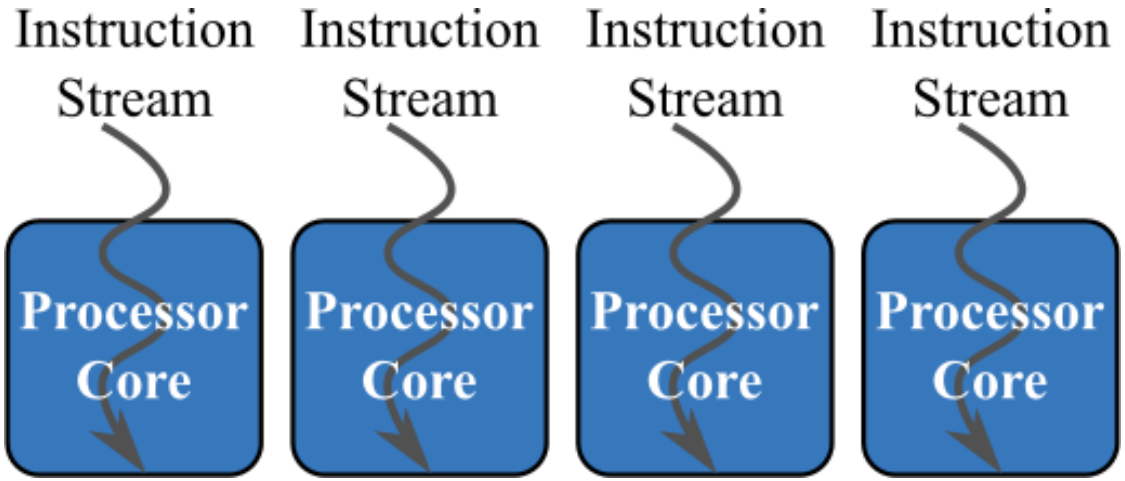
Secuencial vs Paralelo

- Aplicación secuencial en sistema con varios cores



Secuencial vs Paralelo

- Aplicación paralela en sistema con varios cores

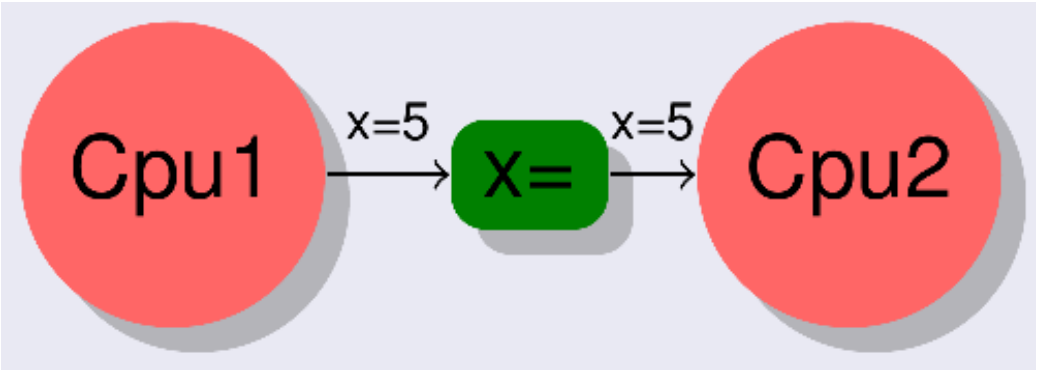


Modelos de memoria Sist. Paralelos

- Memoria compartida vs Memoria Distribuida

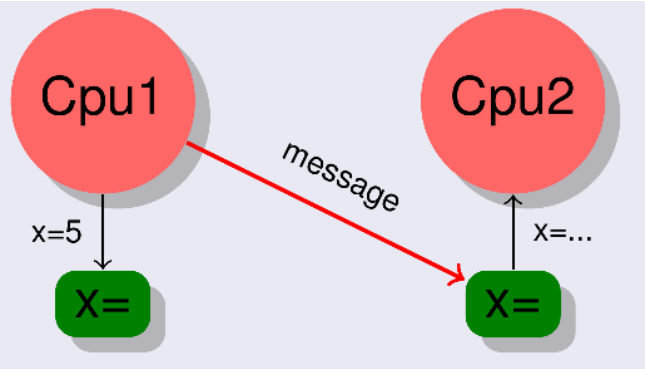
Modelos de memoria compartida

- Memoria es compartida por todos los procesadores: se permite el uso de **hilos**
- Existen mecanismos de comunicación y sincronización a través de la memoria compartida



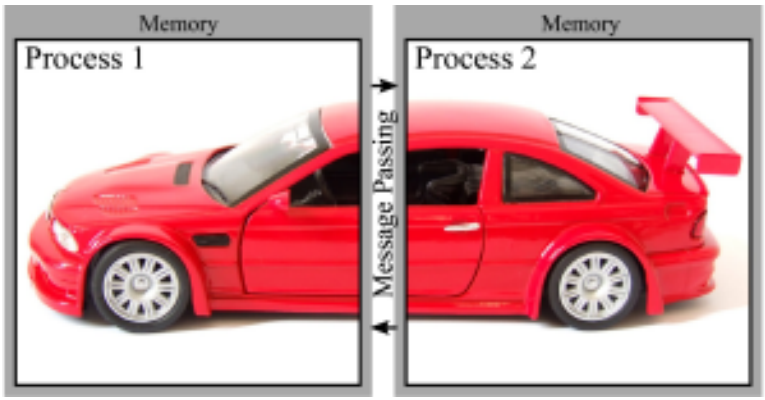
Modelos de memoria distribuida

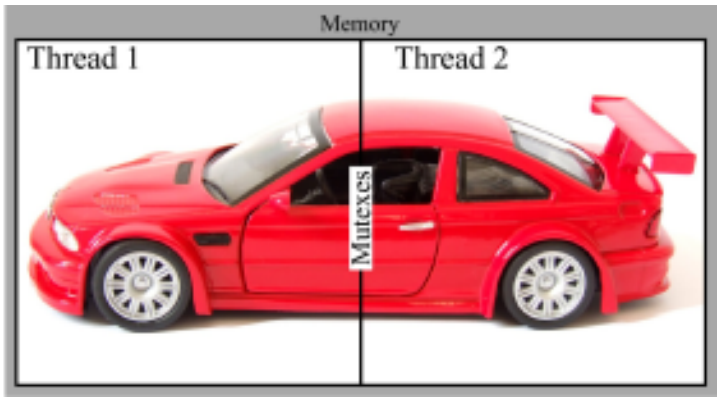
- Cada proceso tiene su propio espacio de direcciones de memoria
  - Ese espacio de memoria no es accesible por otros **procesos**
- La comunicación y sincronización se lleva a cabo explicitamente mediante mensajes



Modelos de memoria compartida vs distribuida

- Hilos (**OpenMP**) vs procesos (**MPI**)





OpenMP

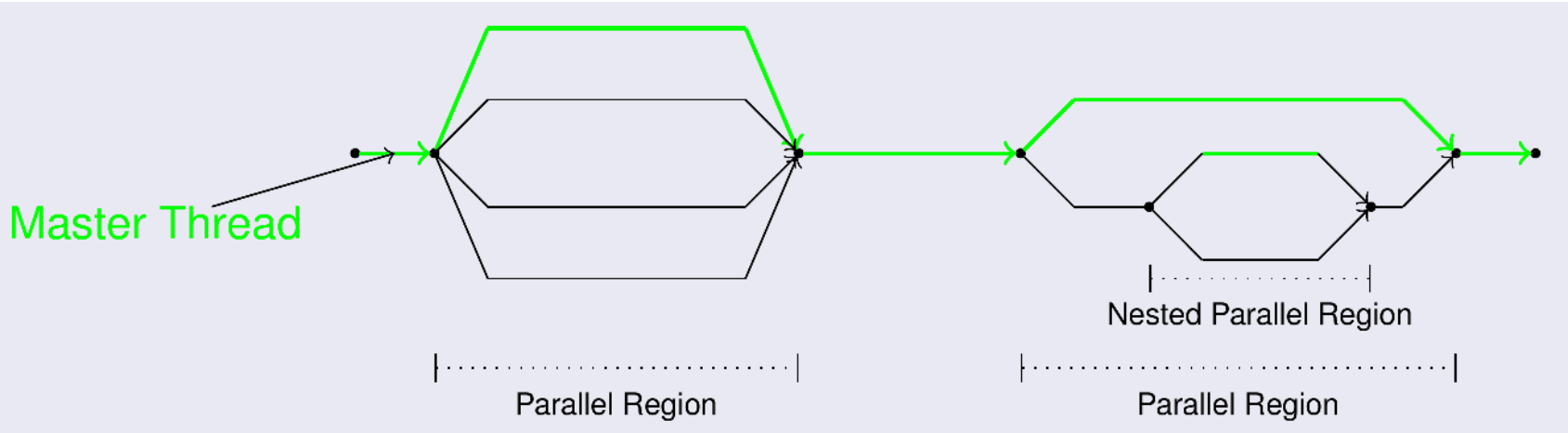
- OpenMP explota el **paralelismo mediante hilos/threads**
- Un hilo es entidad más pequeña de procesamiento
  - Más liviano que un proceso
- Habitualmente, un número de hilos se pueden mapear sobre una máquina multiprocesador/core

Paralelismo explícito

- OpenMP es un paradigma de programación explícito (no automático)
- Expresado mediante **directivas**
- Utiliza modelo **fork-join**

Modelo de ejecución

- Modelo **fork-join**
  - El hilo *master* crea un conjunto de hilos que acaban al finalizar la región paralela
  - Los hilos pueden colaborar



Compilador OpenMP

- En esta práctica vamos a utilizar el compilador de Intel (ICC/ICX)
- Herramienta de Monitorización (ADVISOR y VTUNE)
- Están disponibles activando las variables de entorno

Terminal #1

```
user@lab:~ $ source /opt/intel/oneapi/setvars.sh

:: initializing oneAPI environment ...
   bash: BASH_VERSION = 4.4.20(1)-release
   args: Using "$@" for setvars.sh arguments:
:: advisor -- latest
:: ccl -- latest
:: clck -- latest
:: compiler -- latest
:: dal -- latest
:: debugger -- latest
:: dev-utilities -- latest
:: dnnl -- latest
:: dpcpp-ct -- latest
:: dpl -- latest
:: inspector -- latest
:: intelpython -- latest
:: ipp -- latest
:: ippcp -- latest
:: ipp -- latest
:: itac -- latest
:: mkl -- latest
:: mpi -- latest
:: tbb -- latest
:: vpl -- latest
:: vtune -- latest
:: oneAPI environment initialized ::
```

Actualización del repo

- Recordamos que en su momento clonamos el repositorio de las prácticas con en comando **git clone**
- Ahora actualizaremos el contenido del repositorio con el comando **git pull** y los códigos estarán disponbles enla carpeta **lab2**

Terminal #1

```
user@lab:~ $ git pull
remote: Enumerating objects: 19, done.
remote: Counting objects: 100% (19/19), done.
remote: Compressing objects: 100% (12/12), done.
remote: Total 15 (delta 2), reused 15 (delta 2), pack-reused 0
Unpacking objects: 100% (15/15), done.
From https://github.com/garsanca/CAP
   9c5324c..ac5dea3  main       -> origin/main
Updating 9c5324c..ac5dea3
Fast-forward
 README.md                                  |   9 +-
 figures/parallel_processor_parallel_code.png | Bin 0 -> 46832 bytes
 src/lab2/HelloWorld/hello.c                |  22 ++
....
```

Hello World

- Imprime el ID del hilo y el número de procesadores disponibles

hello.c

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

int main(){

   // This code is executed by 1 thread
   printf("OpenMP with %d max threads\n", omp_get_max_threads () );
   printf("OpenMP with %d procs available\n", omp_get_num_procs () );

   #pragma omp parallel
   {
   // This code is executed in parallel
   // by multiple threads
   printf("Hello World from thread %d of %d threads\n",
       omp_get_thread_num(), omp_get_num_threads() );
   }
}
```

Hello World

Terminal #1

```
user@lab:~ $ icc -o hello.icc hello.c -qopenmp -qopt-report
user@lab:~ $ more hello.optrpt

...
Begin optimization report for: main()

    Report from: OpenMP optimizations [openmp]

OpenMP Construct at hello.c(12,2)
remark #16201: OpenMP DEFINED REGION WAS PARALLELIZED

...
```

Hello World

Terminal #1

```
user@lab:~ $ export OMP_NUM_THREADS=3
user@lab:~ $ ./hello.icc
OpenMP with 3 max threads
OpenMP with 4 procs available
Hello World from thread 0 of 3 threads
Hello World from thread 1 of 3 threads
Hello World from thread 2 of 3 threads
```

Trabajo Compartido

- El ejemplo determina la lista de números primos desde 1-*número entrada*
  - **i** es primo si no tiene divisores $(2, i/2)$
  - `#define DEBUG` visualiza la lista de primos

prime.c

```
//#pragma omp parallel...
for (i=2; i<n; i++)
{
    not_flag = 0;
    j=2;
    while(j<=i/2 && !not_flag)
    {
        if(i%j==0) // not prime
            not_flag=1;
        j++;
    }
    if (j>=i/2 && !not_flag)
        primes[++k] = i;
}
```

Trabajo Compartido

- Iteraciones del bucle **i** potencialmente paralelas
  - Iteraciones independientes

A tener en cuenta

- Uso de variables: privadas, compartidas.... ect
- Variable `++k` es el índice de la lista de números primos
  - Posible carrera: problema **read&update&write**
  - Solución: `#omp critical`
  - Lista desordenada: implementar un *sort(primes)*

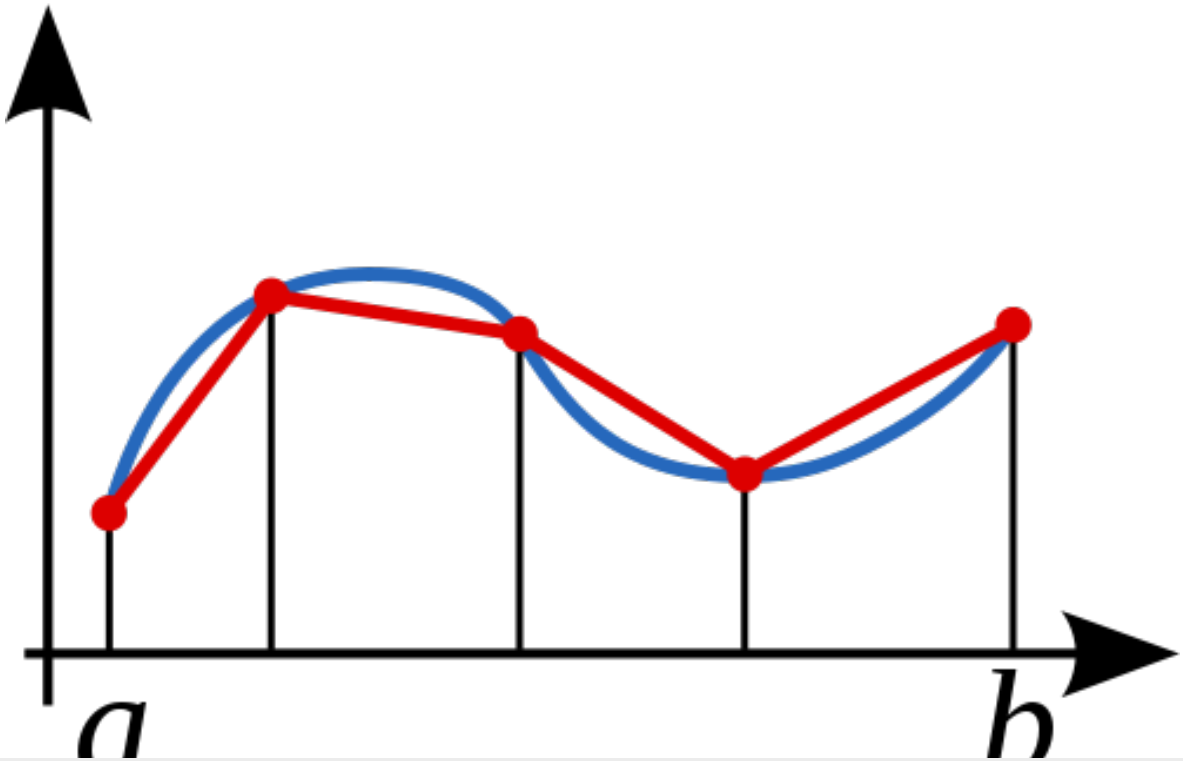
Trabajo Compartido

Clausula `schedule`

- *STATIC*
- *STATIC, chunk*
- *DYNAMIC[, chunk]*
- *GUIDED[, chunk]*
- *AUTO*

Condiciones de Carrera

- Cálculo de la integral mediante el método del trapecio
  - Area del trapecio $S = \frac{1}{2}(f(a') + f(b')) * h$
  - Integral como suma de trapecios: $\int_a^b f(x)\partial x = \sum \frac{f(a')+f(b')}{2} h$



Condiciones de Carrera

- Podemos destacar **dos tipos tareas**:
  - Cálculo de areas de cada trapecio individual
  - Acumulación de trapecios (*integral*) donde potencialmente pueden aparecer condiciones de carrera

trap.c

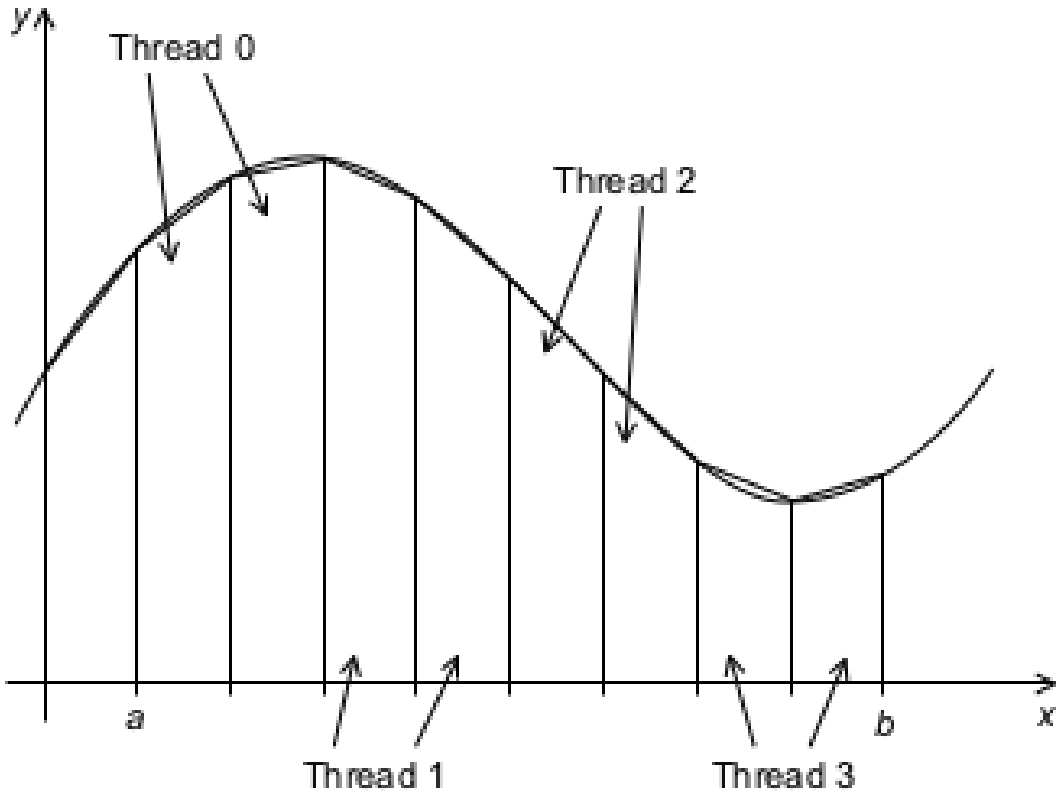
```
double Trap(double a, double b, int n, double h) {
   double integral, area;
   int k;

   integral = 0.0;
   for (k = 1; k <= n; k++) {
      area = h*(f(a+k*h)+f(a+(k-1)*h))/2.0;
      integral+=area;
   }

   return integral;
} /* Trap */
```

Condiciones de Carrera

Versiones

- `atomic`
- `critical`
- `paralel for`
  - `reduction`

Condiciones de Carrera

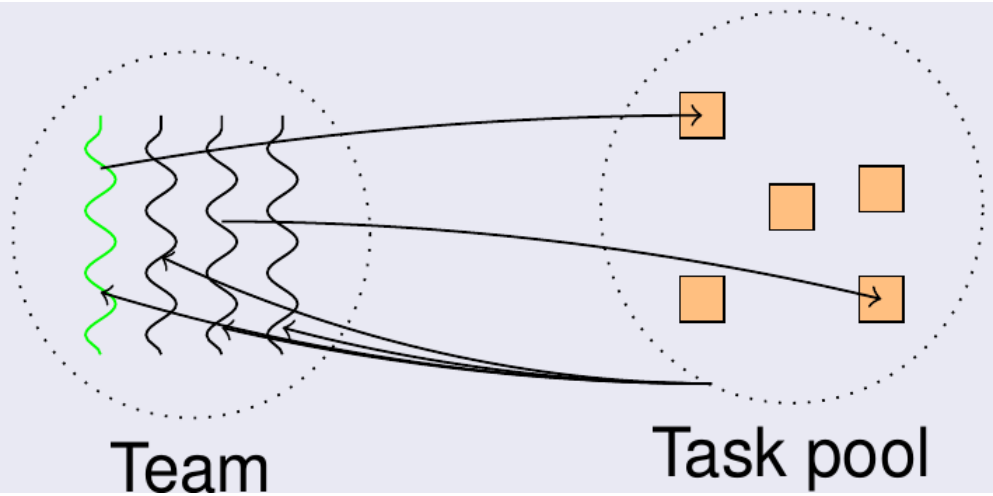


Condiciones de Carrera

trap_atomic.c

```
double Trap(double a, double b, int n, double h) {
    double integral, area, integral_thread;
    int k;

    int id, nths, n_per_thread, k_init_thread, k_end_thread;

    #pragma omp parallel private(...) firstprivate(...) shared(integral)
    {
    id  = ...
    nths = ...
    n_per_thread = n/nths;

    k_init_thread = ...
    k_end_thread = ...

    integral = 0.0;
    for (k = k_init_thread; k <= k_end_thread; k++) {
        area = h*(f(a+k*h)+f(a+(k-1)*h))/2.0;
        integral_thread+=area;
    }

    #pragma omp critical
    {integral += integral_thread;}

    }

    return integral;
}
```

Tareas



¿Que es un tarea en OpenMP?

- Tareas = unidades de trabajo (ejecución puede diferirse)
- Las tareas se componen de:
  - código para ejecutar y datos
- Hilos pueden **cooperar** para ejecutarlas

Tareas

- Sucesión de Fibonacci

Fibonacci

$$\begin{aligned} f_0 &= 0 \\ f_1 &= 1 \\ f_n &= f_{n-1} + f_{n-2} \end{aligned} \tag{1}$$

Tareas OMP

fibo.c

```
long comp_fib_numbers(int n)
{
    long fnm1, fnm2, fn;

    fnm1 = comp_fib_numbers(n-1);
    fnm2 = comp_fib_numbers(n-2);
    fn = fnm1 + fnm2;

    return(fn);
}


int main(int argc, char* argv[]) {
    ....
    fibo = comp_fib_numbers(n);
    ...
} /* main */
```

Tareas OMP

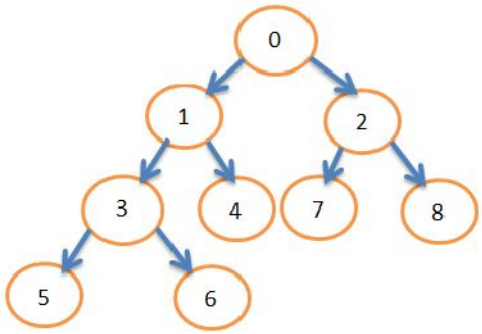
fibo_task.c

```
long comp_fib_numbers(int n)
{
    long fnm1, fnm2, fn;
    if ( n == 0 || n == 1 ) return(1);
    if ( n<20 ) return(comp_fib_numbers(n-1) +comp_fib_numbers(n-2));

    #pragma omp task...
    {fnm1 = comp_fib_numbers(n-1);}
    #pragma omp task...
    {fnm2 = comp_fib_numbers(n-2);}
    #pragma omp...
    fn = fnm1 + fnm2;

    return(fn);
}


int main(int argc, char* argv[]) {
    ....
#pragma omp parallel
{
    #pragma omp single
    fibo = comp_fib_numbers(n);
}
    ...
} /* main */
```

Tareas OMP

fibo_task.c

```
long comp_fib_numbers(int n)
{
    long fnm1, fnm2, fn;
    if ( n == 0 || n == 1 ) return(1);
    if ( n<20 ) return(comp_fib_numbers(n-1) +comp_fib_numbers(n-2));

    #pragma omp task...
    {fnm1 = comp_fib_numbers(n-1);}
    #pragma omp task...
    {fnm2 = comp_fib_numbers(n-2);}
    #pragma omp...
    fn = fnm1 + fnm2;

    return(fn);
}
```



Multiplicaciones Matrices

- Empleo de la herramienta de perfilado Intel-VTune[1]
- $C_{NM} = A_{NK} * B_{KM}$
  - Sin ningún paralelismo
  - Tamaño definido con `#define NUM 1024` en *multiply.h*
- 5 versiones

multiply0.c

```
for(i=0; i<msize; i++) {
    for(j=0; j<msize; j++) {
        for(k=0; k<msize; k++) {
            c[i][j] = c[i][j] + a[i][k] * b[k][j];
        }
    }
}
```

[1] Real-Time Fluid Dynamics for Games

Multiplicaciones Matrices

- Versión 1: OpenMP
  - `#define MULTIPLY multiply1` en *multiply.h*

multiply1.c

```
// Basic parallel implementation
#pragma omp parallel for
for(i=0; i<msize; i++) {
    for(j=0; j<msize; j++) {
        for(k=0; k<msize; k++) {
            c[i][j] = c[i][j] + a[i][k] * b[k][j];
        }
    }
}
```

Multiplicaciones Matrices

- Versión 2: OpenMP multi-bucle
  - `#define MULTIPLY multiply2` en *multiply.h*

multiply2.c

```
#pragma omp parallel for collapse (2)
for(i=0; i<msize; i++) {
    for(k=0; k<msize; k++) {
        for(j=0; j<msize; j++) {
            c[i][j] = c[i][j] + a[i][k] * b[k][j];
        }
    }
}
```

Multiplicaciones Matrices

- Versión 3: OpenMP multi-bucle y vectorización
  - `#define MULTIPLY multiply3` en *multiply.h*

multiply3.c

```
#pragma omp parallel for collapse (2)
for(i=0; i<msize; i++) {
    for(k=0; k<msize; k++) {
        #pragma ivdep
        for(j=0; j<msize; j++) {
            c[i][j] = c[i][j] + a[i][k] * b[k][j];
        }
    }
}
```

Multiplicaciones Matrices

- Versión 4: OpenMP multi-bucle, vectorización y desenrrollado
  - `#define MULTIPLY multiply4` en *multiply.h*

multiply4.c

```
#pragma omp parallel for collapse (2)
for(i=0; i<msize; i++) {
    for(k=0; k<msize; k++) {
        #pragma unroll(8)
        #pragma ivdep
        for(j=0; j<msize; j++) {
            c[i][j] = c[i][j] + a[i][k] * b[k][j];
        }
    }
}
```

Multiplicaciones Matrices

- Versión 5: uso de librerías
  - BLAS (Basic Linear Algebra Subroutine)
  - Operación GEMM:
    - C $= \alpha$ op (A) op (B) $+ \beta$ C
    - α y β son escalares
    - $A_{m \times k}$, $B_{k \times n}$ y $C_{n \times n}$ en (row-major)
  - `#define MULTIPLY multiply5` en *multiply.h*

multiply5.c

```
double alpha = 1.0, beta = 0.;
cblas_dgemm(CblasRowMajor,CblasNoTrans,CblasNoTrans,
    NUM,NUM,NUM,alpha,
    (const double *)b,NUM,(const double *)a,NUM,beta,
    (double*)c,NUM);
```

Ecuación del calor

- La ecuación del calor (ec. difusión) es un problema comúnmente utilizado en los tutoriales de computación paralela

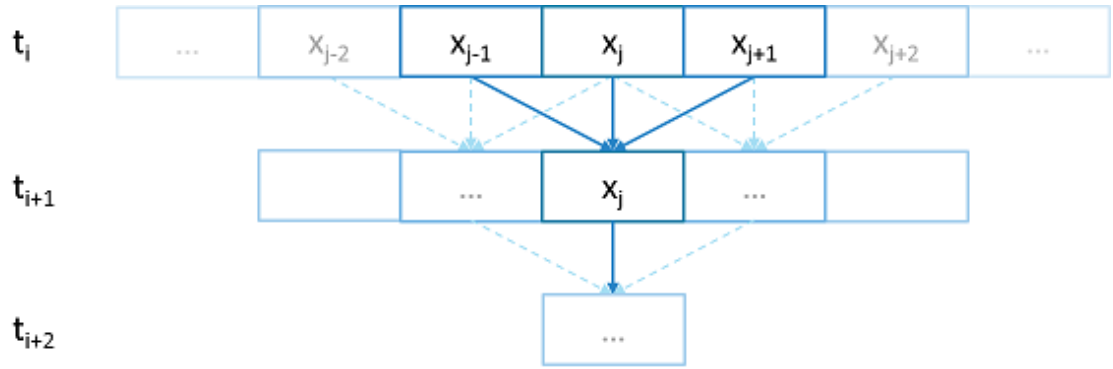
$$\frac{\delta u}{\delta t} = \alpha \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} \tag{2}$$

- donde $u(x, t)$ es la función a resolver dependiente de las coordenadas x y del tiempo t, α es el coeficiente de difusión
  - Para resolverla matemáticamente se procede a discretizar: la función se "expresa en un espacio acotado" mediante un mallado (grid) donde se aproxima $u(x_i, t_n)$ para cada punto el mallado

Ecuación del calor

- La ecuación del calor (ec. difusión)
  - donde $u(x,t)$ es la función a resolver
  - Para resolverla matemáticamente se procede a discretizar: la función se "expresa en un espacio acotado" mediante un mallado (grid) donde se aproxima $u(x_i, t_n)$ para cada punto el mallado

$$\frac{\delta u(x_i,t_n)}{\delta t} = \alpha \frac{\delta^2 u(x_i,t_n)}{\delta x^2} \tag{3}$$



Ecuación del calor

- La ecuación del calor (ec. difusión)
  - El siguiente paso es reemplazar la derivadas parciales por aproximaciones: diferencias finitas
  - La ec. calor en 1D

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = \alpha \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_i^n}{\Delta x^2} \tag{4}$$

Ecuación del calor

- **Resumiendo**: la ecuación del calor es un problema comúnmente utilizado en los tutoriales de computación paralela
  - Consiste en la resolución de un sistema de ecuaciones aplicando el concepto de discretización
    - Los métodos de discretización más comunes son de primer grado de Euler
  - Utilizado en computación paralela por el número elevado de celdas que hay que "resolver" simultáneamente
  - Código extraido del Advanced Computing in Europe (PRACE)

Ecuación del calor

- **Resumiendo**: la ecuación del calor-2D se resuelve discretizando cada punto con stencil de 5

$$c_t = c_{t-1} + \alpha\,\Delta t\left(\frac{l_{t-1} - 2c_{t-1} + r_{t-1}}{\Delta x^2} + \frac{d_{t-1} - 2c_{t-1} + u_{t-1}}{\Delta y^2}\right)$$

step_heat2D.c

```
for (unsigned int y = 1; y < N-1; ++y) {
     for (unsigned int x = 1; x < N-1; ++x) {
         next[y*N+x] = current[y*N+x] + a * dt *
             ((current[y*N+x+1] - 2.0*current[y*N+x] + current[y*N+x
                 -1])/dx2 +
              (current[(y+1)*N+x] - 2.0*current[y*N+x] + current[(y-1)*
                  N+x])/dy2);
     }
 }
```

Ecuación del calor

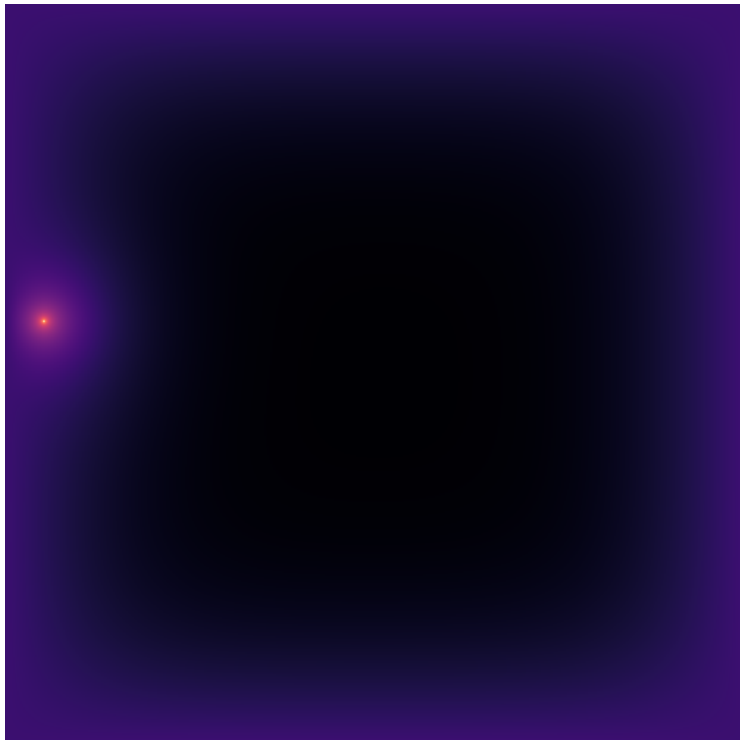
- Inicializa con un valor rand las coordenadas de la fuente de calor: `source_x, source_y`
- Inicializa las condiciones de contorno
- Ejecución del bucle principal `(it < MAX_ITERATIONS) && (t_diff > MIN_DELTA)`
- Salida en fichero .png que muestra el calor en una placa 2D

heat.c

```
for (unsigned int it = 0; (it < MAX_ITERATIONS) && (t_diff >
     MIN_DELTA); ++it) {
    step(source_x, source_y, current, next);
    t_diff = diff(current, next);
    if(it%(MAX_ITERATIONS/10)==0){
       printf("%u: %f\n", it, t_diff);
    }

    float * swap = current;
    current = next;
    next = swap;
}
```

Ecuación del calor

- Tras 20000 iteraciones



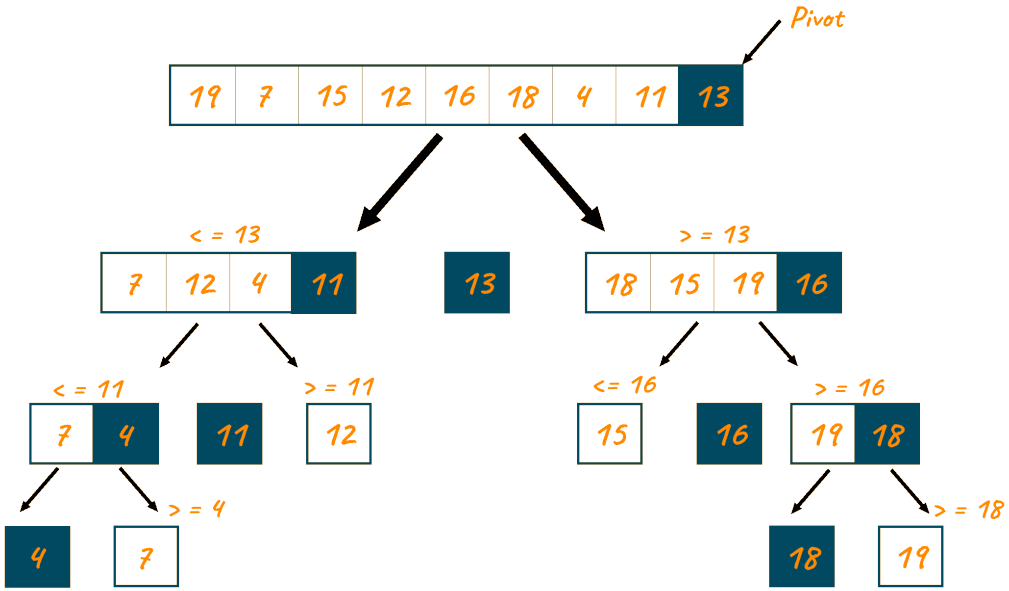
Ecuación del calor

- Tareas a considerar:
  1. Paralelizar el código **heat2d** con el paradigma OpenMP
  2. Presta especial atención a la función **step** y **diff**
  3. Se recomienda utilizar la herramienta Intel vTune para encontrar los cuellos de botella y evaluar la escalabilidad de la paralelización OpenMP
  4. No olvides que puedes combinar paralelismo del tipo SIMD con paralelismo multi-hilos en los cores

Quicksort

- Algoritmo de ordenación basado en el concepto divide y vencerás
  1. Elegir un elemento al que llamaremos pivote.
  2. Mover los demás elementos de la lista a cada lado del pivote
     - La lista inicial está separada en dos sublistas: con elementos menores y mayores al pivote
  3. Repetir el proceso de forma recursiva para cada sublista

Quicksort


Pivot
19 7 15 12 16 18 4 11 13
< = 13
7 12 4 11
13
> = 13
18 15 19 16
< = 11
7 4
11
> = 11
12
<= 16
15
16
> = 16
19 18
> = 4
4
7
> = 18
18
19

Quicksort

- Tareas a considerar
  1. Paralelizar el código con el paradigma OpenMP
  2. El proceso recursivo tiene bastante similitudes con el cálculo de la sucesión de Fibonacci
     - Paralelización de tareas recomendable
  3. La variable `debug=1` muestra por pantalla la lista ordenada

Fluidos para juegos

- Implementación de dinámica de fluidos como resolutor de ecuaciones para motores de juegos [2]

Ecuaciones

1. $\frac{\delta u}{\delta t} = -(u \cdot \nabla)u + \nu \nabla^2 u + f$
2. $\frac{\delta \rho}{\delta t} = -(u \cdot \nabla)\rho + \kappa \nabla^2 \rho + S$

- Donde u corresponde a la velocidad y ρ al movimiento de la densidad repecto a la velocidad

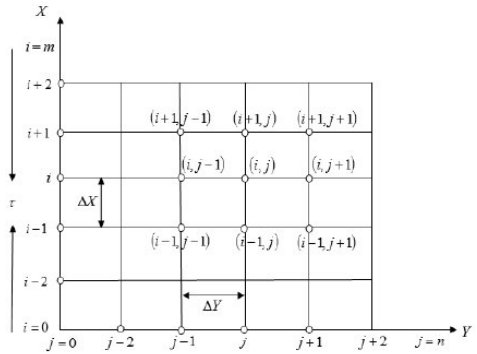
[2] Real-Time Fluid Dynamics for Games.
https://www.youtube.com/watch?v=UM3VFnHBiOU

Fluidos para juegos

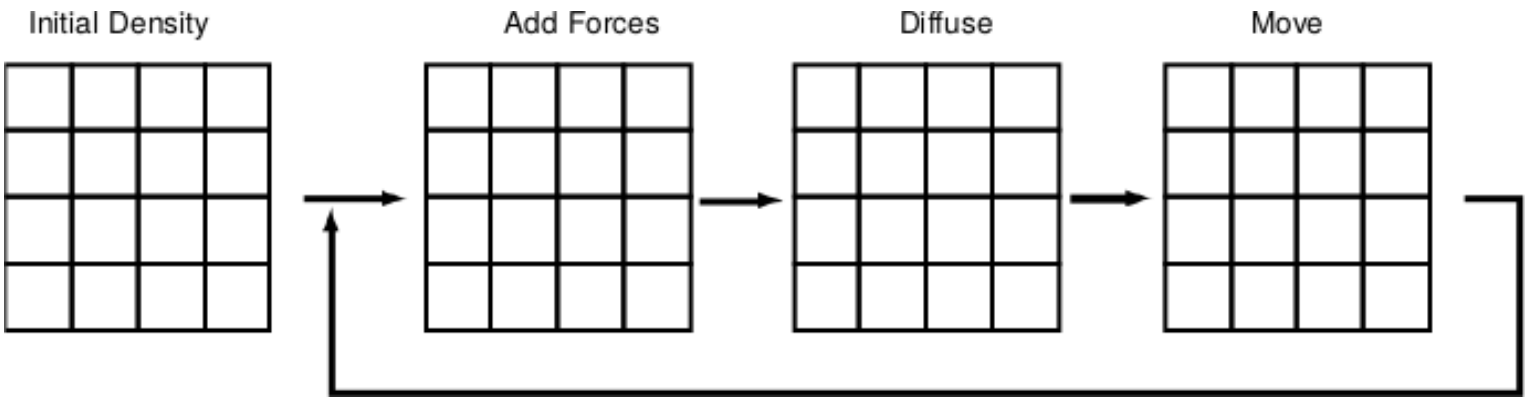
- Matemáticamente, el estado de un fluido en un instante de tiempo determinado se modela como un vector de velocidad: una función que asigna un vector de velocidad a cada punto del espacio
  - Ej: aire de radiador en una habitación, ciculará ascendentemente debido al aumento de calor
- El campo velocidad no es visualmente interesante hasta que se produce movimiento de objetos: como particulas de humo, polvo o las hojas

Fluidos para juegos

- El modelo se basa en el fluido que recorre una caja, por lo que se modelará como un espacio mediante diferencias finitas
  - `u[size]`, `v[size]`, `u_prev[size]`, `v_prev[size]` representan las velocidades en una malla de tamaño `size=(N+2)*(N+2)`
  - `dens[size]`, `dens_prev[size]` corresponde a la densidad del fluido
  - Acceso a las cordenadas se realiza con macro `#define IX(i,j) ((i)+(N+2)*j)`

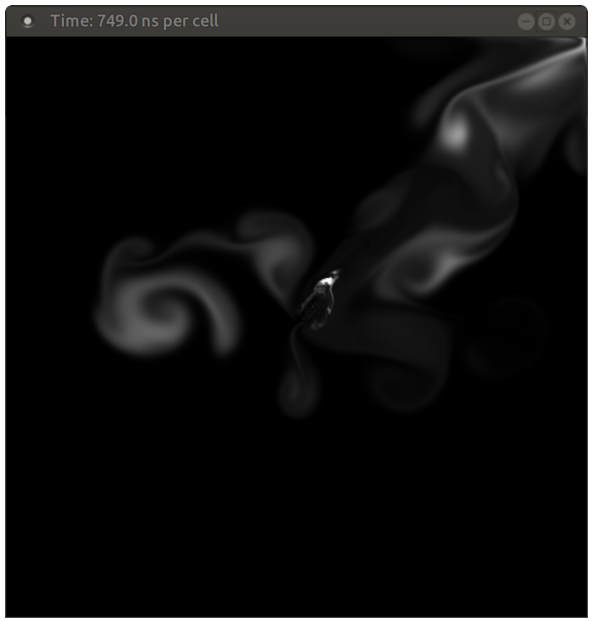


Fluidos para juegos



Fluidos para juegos

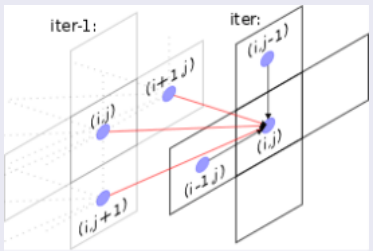
- Exiten dos ejecutables: **demo** y **headless**
  - **demo** es simulación gráfica (*botón derecho del ratón* añade densidad, *izquierdo* velocidad al fluido, *v* muestra velocidades y *c* inicializa simulación)
  - **headless** realiza 2048 iteraciones



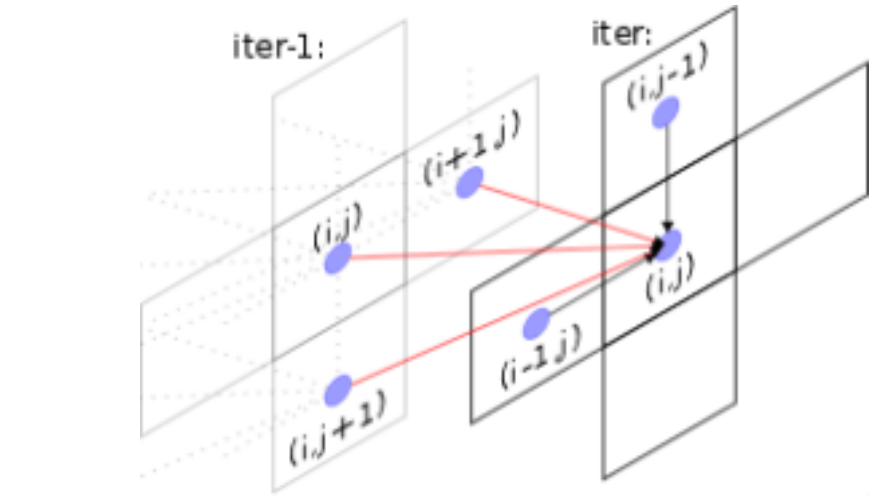
Fluidos para juegos

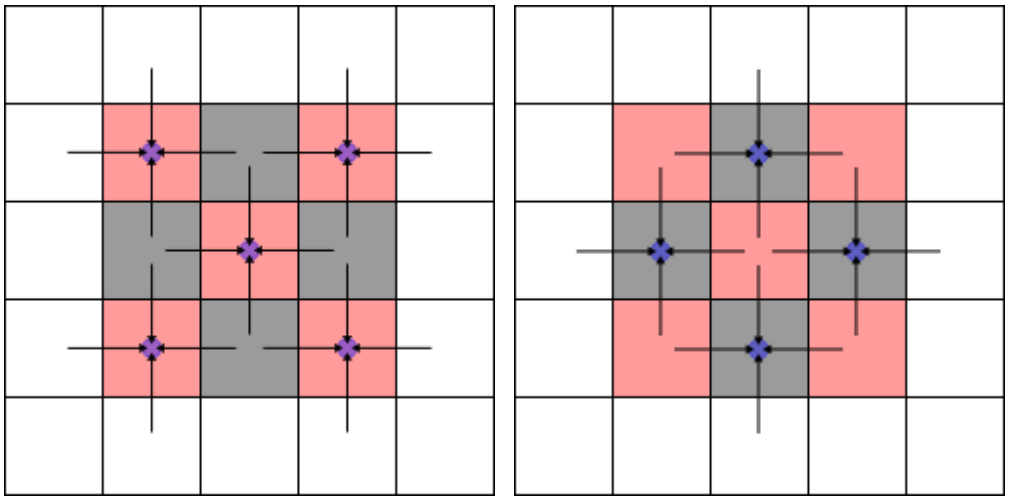
Optimizaciones

- Vectorización (recordad bucles independientes, accesos alineados, accesos consecutivos...)
- Paralelización: conveniente en bucles externos
- Función `lin_solve` del fichero *solver.c* resuelve las ecuaciones aplicando el método numérico Gauss-Seidel (más complicado su paralelización), conviene resolverlo aplicando el método Jacobi (paralelización evidente) o en su defecto un red-black



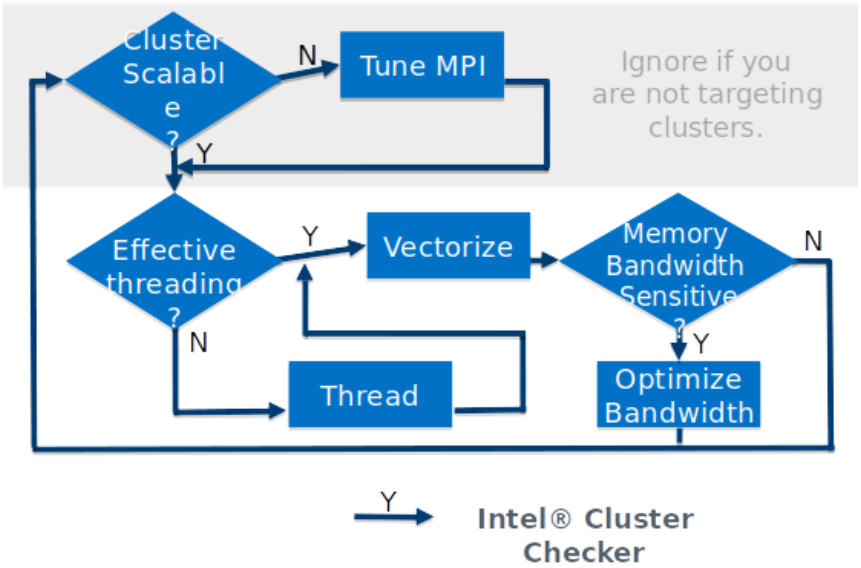
Fluidos para juegos





Herramientas de profiler

- El proceso de paralelización se puede considerar un proceso iterativo



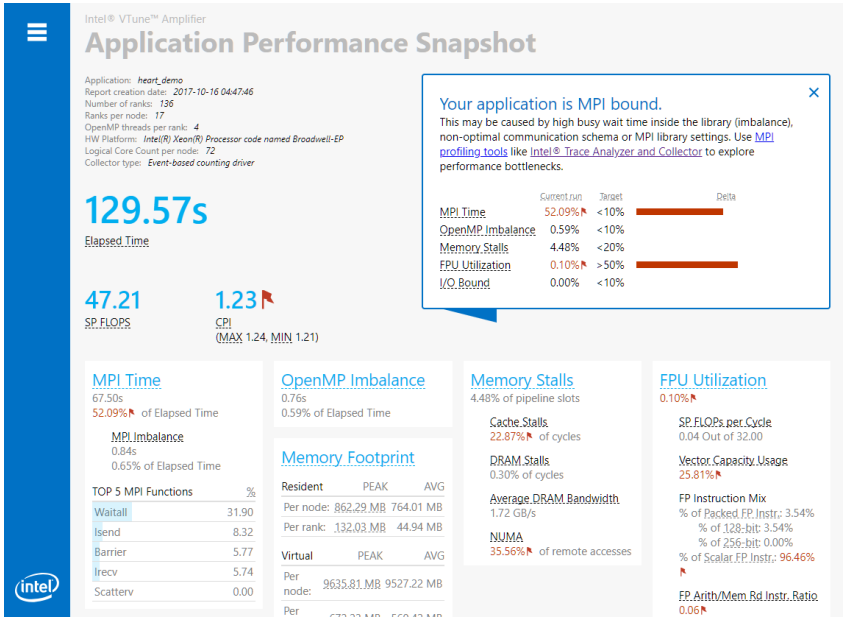
Intel APS-Application Performance Snapshot

- Vista rápida de algunos aspectos importantes en las aplicaciones de cómputo intensivo
  - Uso de MPI o OpenMP
  - Utilización de CPU
  - Acceso de memoria eficientes
  - Vectorización
  - E/S
  - Huella de la memoria

Intel APS-Application Performance Snapshot

- Fácil y rápido (vista rápida)
  - Haz un test en lo que tardas en preparer un café
  - Toda la información de un vistazo
- MPI + OpenMP + Memory + Floating Point
  - Soporta implementaciones MPI comunes
  - Intel® MPI, MPICH, OpenMPI y Cray MPI
- Novedades de version 2020
  - Diagnostico de comunicaciones
  - Tiempos en altos anchos de banda, no solamente édia

Intel APS-Application Performance Snapshot

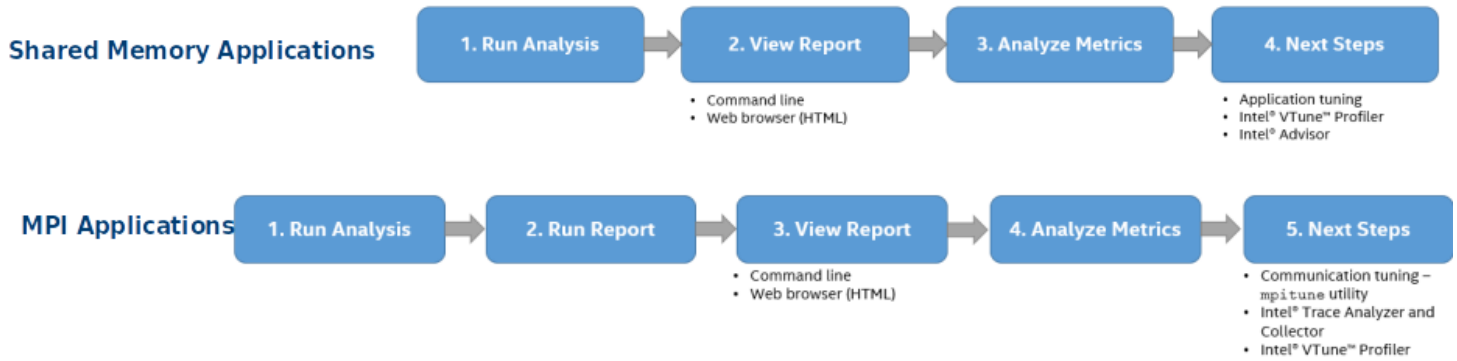


* Free download:

intel.com/performance-snapshot

Intel APS-Application Performance Snapshot

- Para ejecutar:
  - **aps my_app app_parameters**
  - Genera report HTML



Intel VTune

- Intel® VTune™ Profiler
- Como mejorar el rendimiento con varios análisis
  - Hotspots
  - Threading Efficiency
  - Microarchitecture
  - Memory Access

Intel VTune

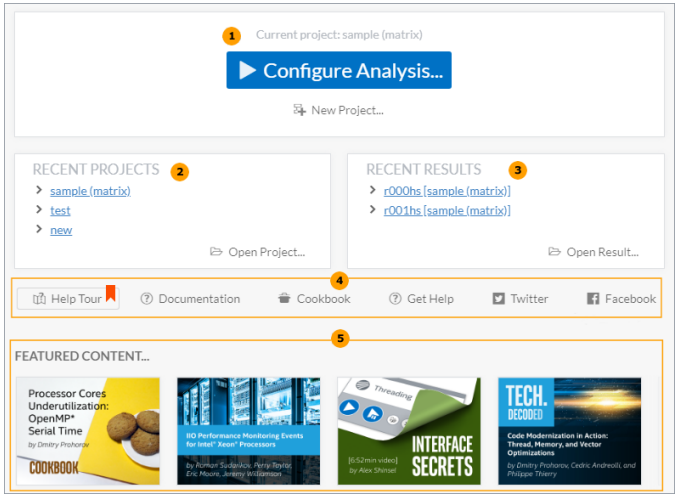
- Variables de entorno

Terminal #1

```
user@lab:~ $ export INTEL_STUDIO_PATH=/usr/local/intel_parallel_studio_xe_cluster/
user@lab:~ $ source $INTEL_STUDIO_PATH/vtune_amplifier/amplxe-vars.sh
```

- La Herramienta Intel Vtune Amplier nos permite realizar un perfilado de la aplicación paralela para detectar posibles mejoras
  - Lanzamiento herramienta gráfica amplxe-gui, más moderno **vtune-gui**
  - Lanzamiento por línea de comandos amplxe-cl,más moderno **vtune-collect**

Intel VTune: comienzo



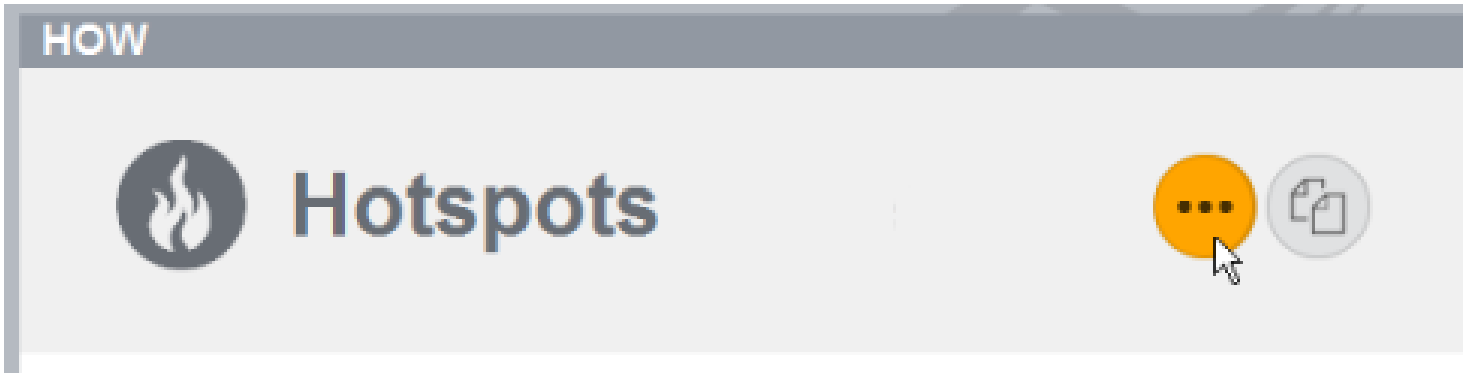
1. Proyecto actual con el análisis de configuración (*New Project*)
2. Proyectos recientes
3. Resultados recientes
4. Recursos y documentación online
5. Artículos de y últimas noticias

Intel VTune: Opciones de análisis

- Hotspots
  - Utilización de CPU
- Memory Consumption:
  - Consumo de memoria (malloc-free) en cada rutina
- Microarchitecure Exploration:
  - Analiza cuellos de botella que afectan al rendimiento
  - Contadores HW
- Memory Access
  - Identifica los accesos a jerarquía memoria (NUMA, DRAM, L2...)

Intel VTune: Análisis

- Más info en Intel-VTune[3] y vídeo [4]
- A la hora de crear el proyecto con *New Project* seleccionar *Local Host* para analizar en el equipo local
  - Introducir el ejecutable (*path*) y primer análisis *Hotspots*



[3] https://software.intel.com/en-us/vtune

[4] https://software.intel.com/en-us/videos/introduction-to-intel-vtune-amplifier

Intel VTune: Análisis Hotspots

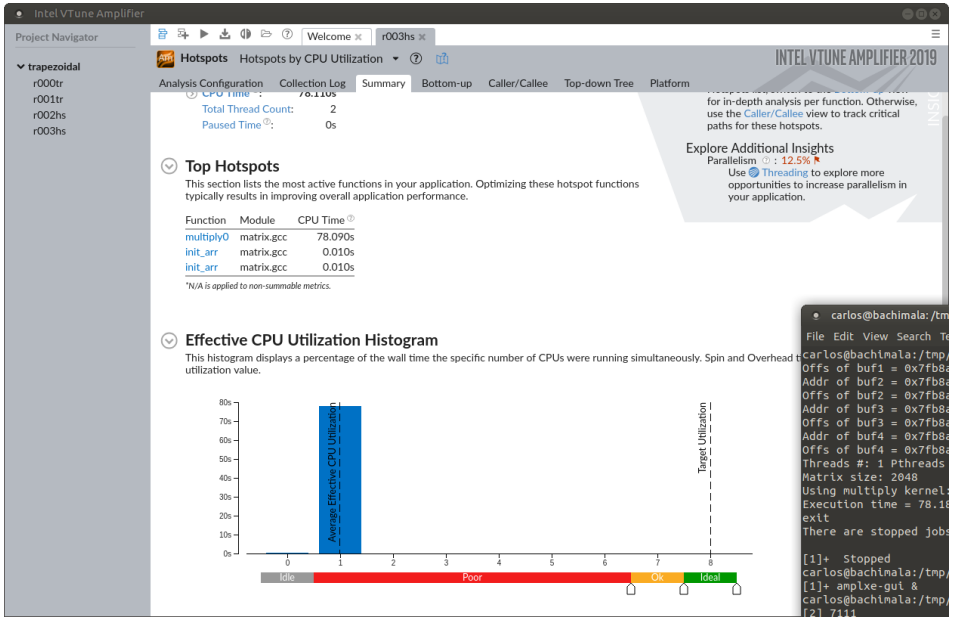
- *Hotspots* dirigido a la optimización de software y conocer dónde pasa tiempo la aplicación: **analizar la eficiencia**
- Incluye los análisis:
  - *Hotspots* para identificar las funciones más costosas y muestra la actividad de cada hilo
  - *Memory consuption* para analizar el consumo de memoria: caches y RAM

Intel VTune: Parallelism Analysis

- Tipos de análisis para aplicaciones sensibles en cómputo: análisis general del rendimiento
- Incluye los análisis:
  - *Threading*: muestra balanceo de trabajo entre hilos y puntos de sincronización
  - *Compute-intensive Application*: caracterización rendimiento de HPC (punto flotante y la eficiencia de la memoria)

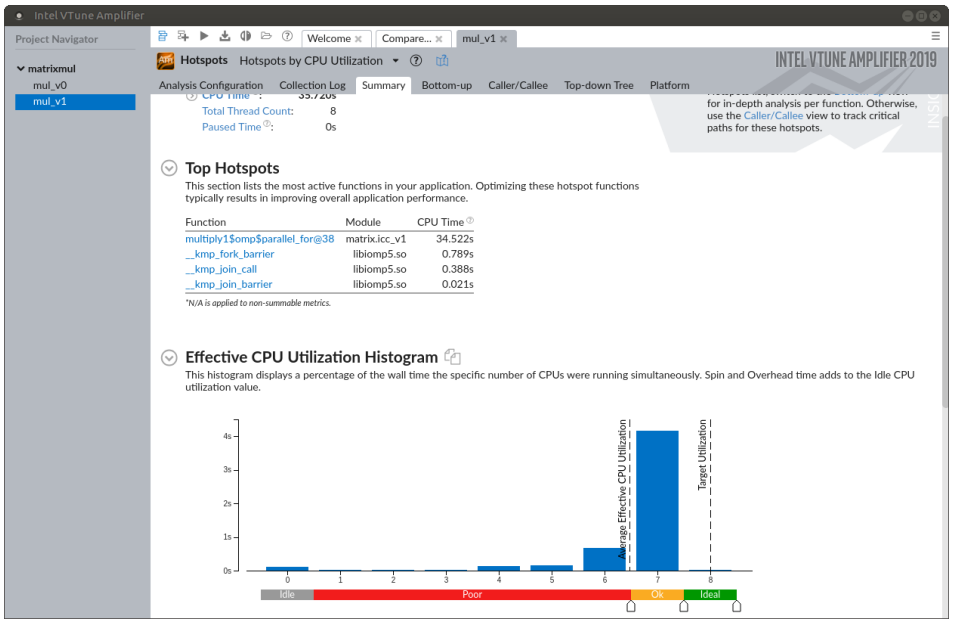
Intel VTune: multiply0

- Sin paralelismo de ningun tipo

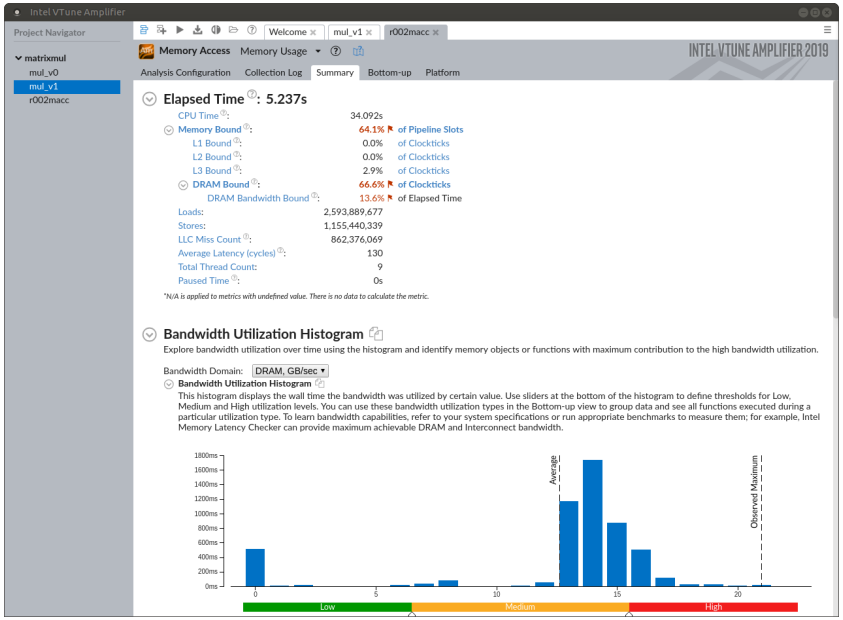


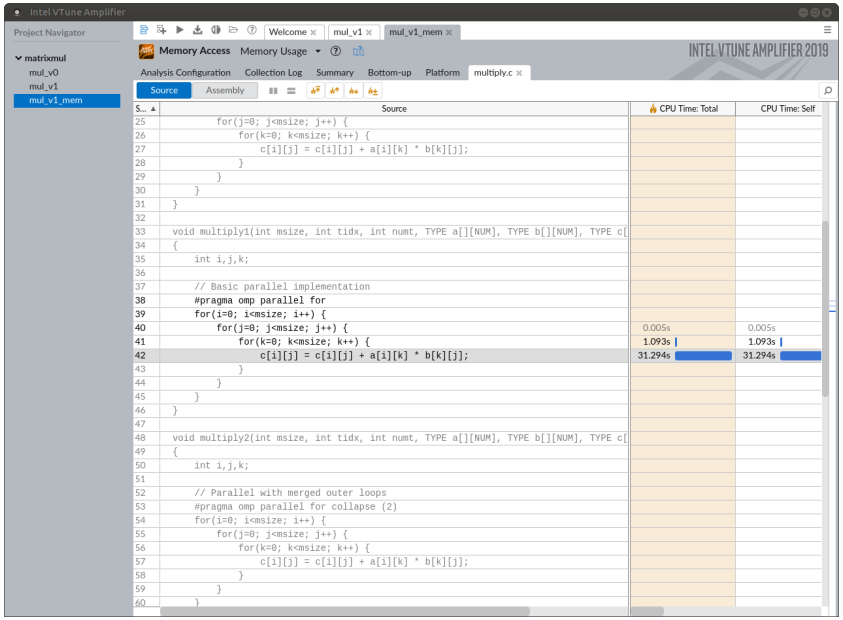
Intel VTune: multiply1

- Más eficiencia paralela (OpenMP), pero gran demanda de memoria



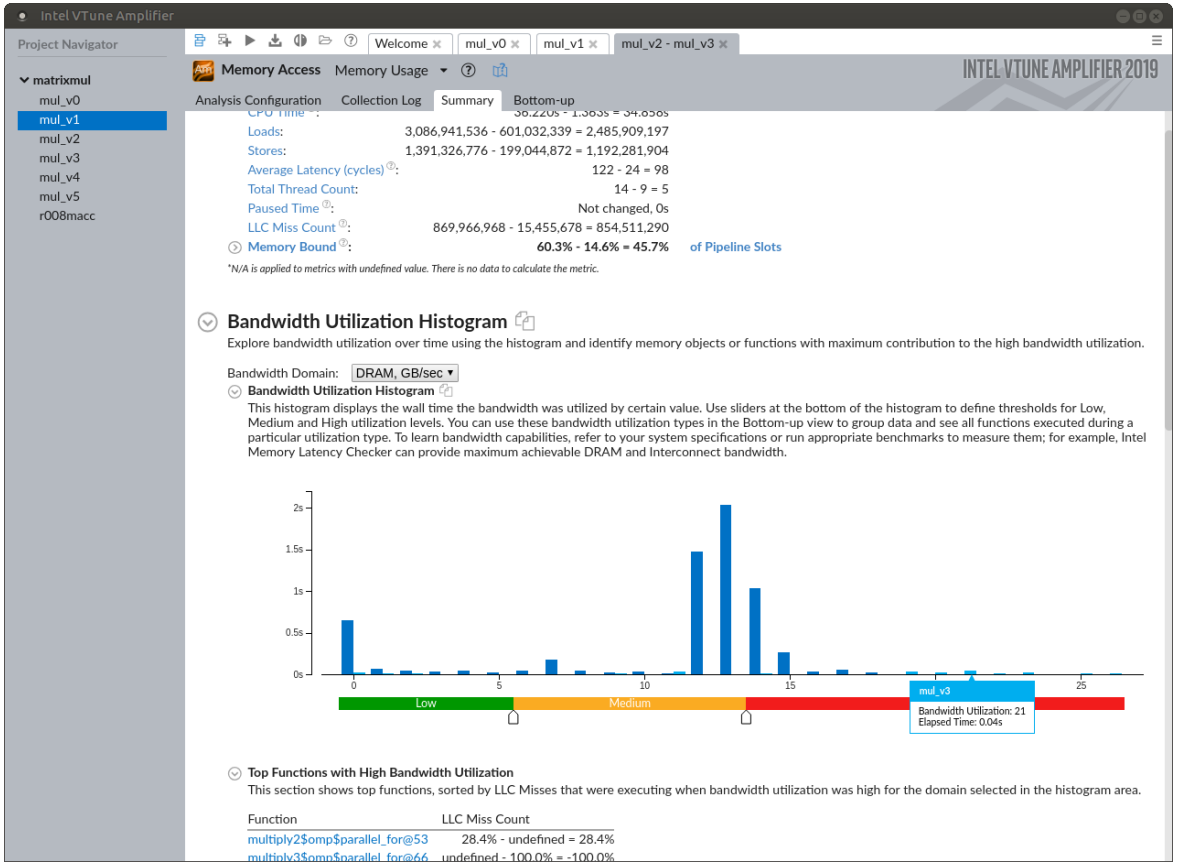
Intel VTune: multiply1





Intel VTune: multiply2 vs multiply3

- **Memory Bound** multiply2: 60 % vs multiply3: 15 %



Intel VTune: Threading Efficiency

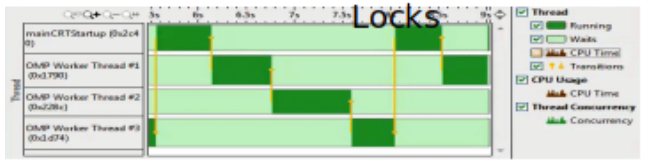
- Permite explorar
  - Wait Time: esperas prologandas por regiones de sincronización
  - Spin y Overhead Time: esperas y sobrecoste asociado al manejo de las regiones paralelas
  - Thread count: tiempo espera debido a sobresubscripción, espera a que los recursos compartidos esten disponibles cuando se ejecutan más hilos lógicos que cores físicos

Intel VTune: Threading Efficiency

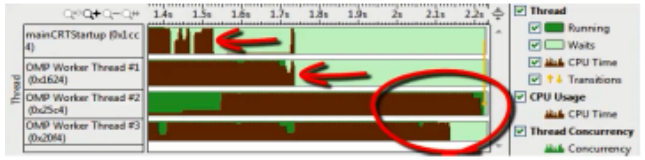
- Problemas asociados al paralelismo
  - Asegurarse que se ejecutan todos los hilos disponibles
  - Problemas comunes a la concurrencia pueden diagnosticarse
  - Análisis para detectar la contención en operaciones tipo Locks/Waits

Intel VTune: Threading Efficiency

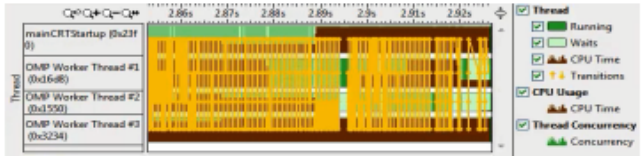
Coarse-Grain Locks



Thread Imbalance

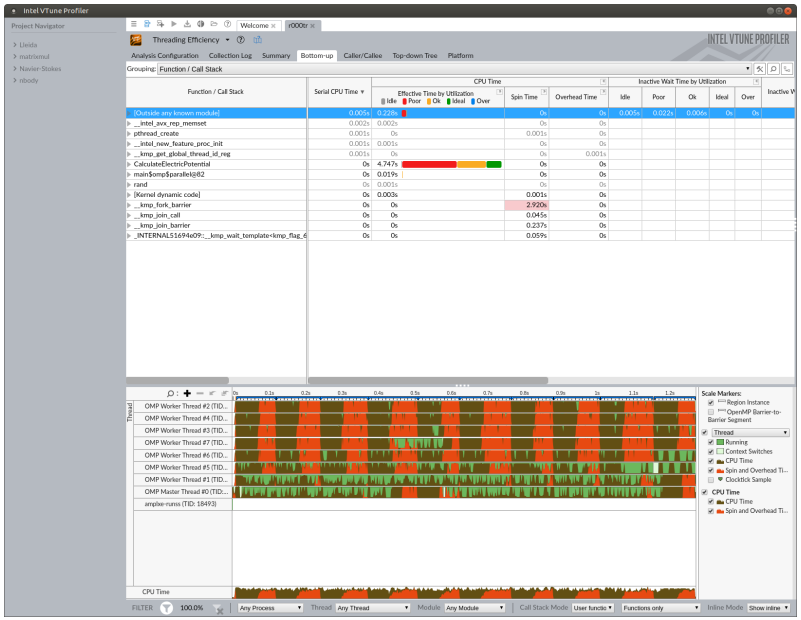


High Lock Contention



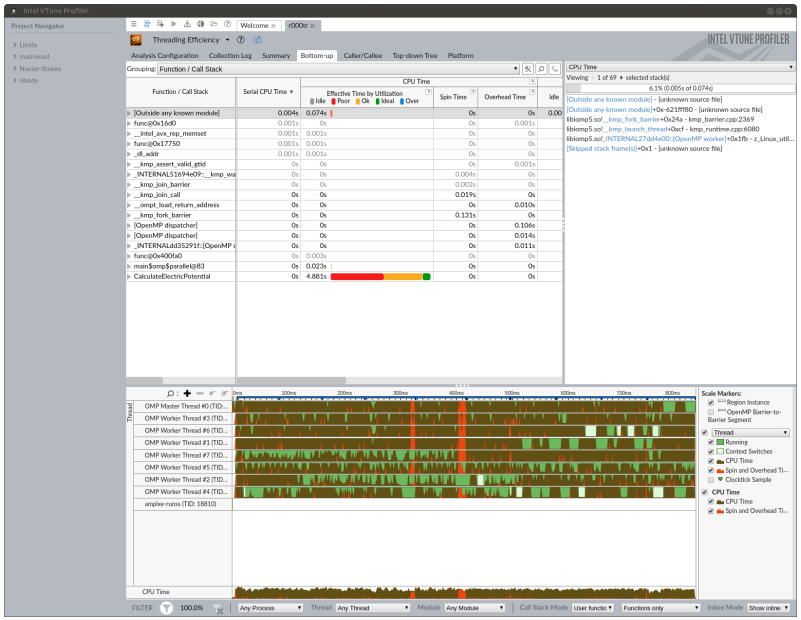
Intel VTune: Threading Efficiency

- Demo:
  - Paralelización bucle **for**
  - schedules: static, dynamic, guided
- Ej: Nbody-coulomb: static



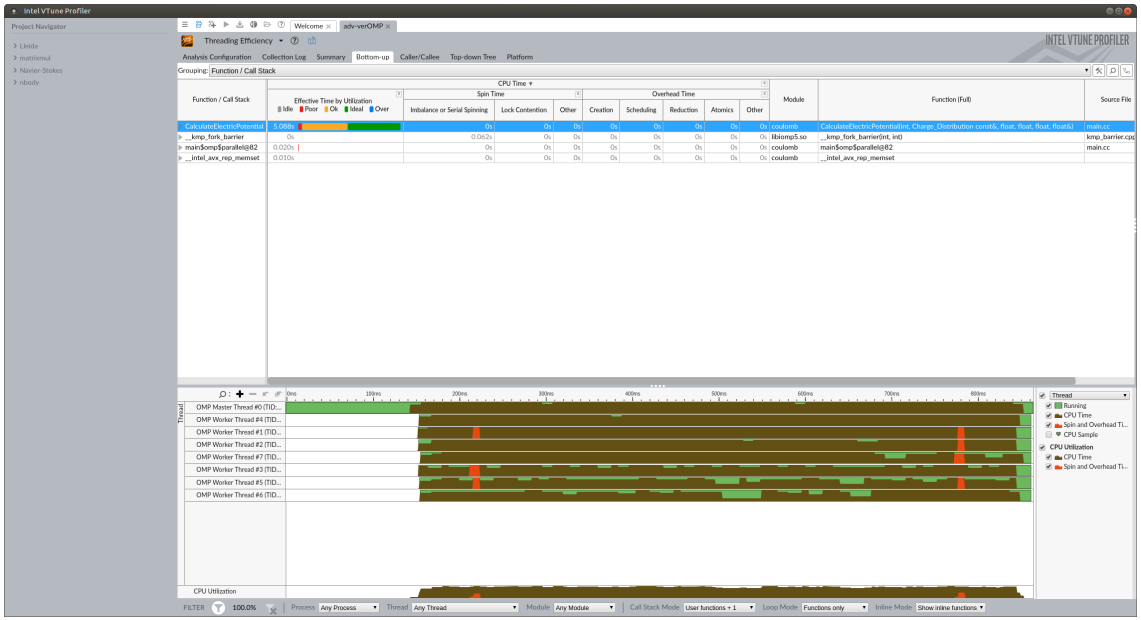
Intel VTune: Threading Efficiency

- Demo:
  - Paralelización bucle **for**
  - schedules: static, dynamic, guided
- Ej: Nbody-coulomb: dynamic



Intel VTune: Threading Efficiency

- Demo:
  - Paralelización bucle **for**
  - schedules: static, dynamic, guided
- Ej: Nbody-coulomb: guided



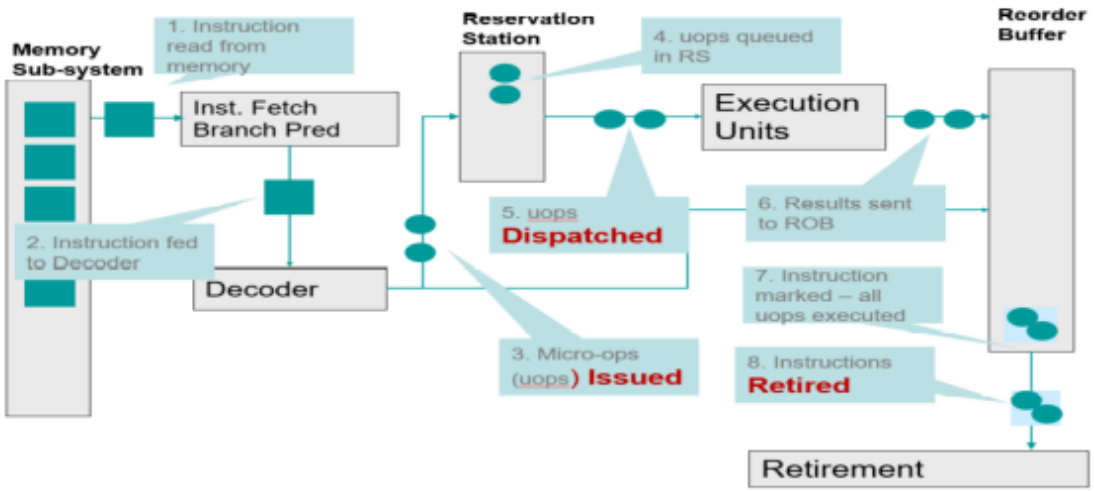
Intel VTune: Microachitecture

- **Microarchitecture analysis Group** introduce un tipo de análisis que ayuda a estimar los motivos de las ineficiencias en los procesadores modernos
  - *Microarchitecture Exploration* ayuda a identificar los problemas más communes que afectan al rendimiento de la aplicación. Se puede considerer este análisis como punto de partida al analísis a nivel hw
  - *Memory Access* mide una serie de métricas para identificar accesos a los diferentes niveles de la jerarquía de memoria (como por ejemplo en arquitecturas NUMA)

Intel VTune: Microachitecture

- Una vez completado el análisis **Hotspots** para conocer ineficiencias en tu código...
  - Se recomienda efectuar el análisis Microarchitecture Exploration analysis para comprender como las ineficiencias se manifiestan en el uso del pipeline del core
  - VTune Profiler recolecta una lista complete de eventos hw
  - Calcula unas métricas predefinidas = identifica a nivel hw problemas asociados a ineficiencias

Intel VTune: Microachitecture

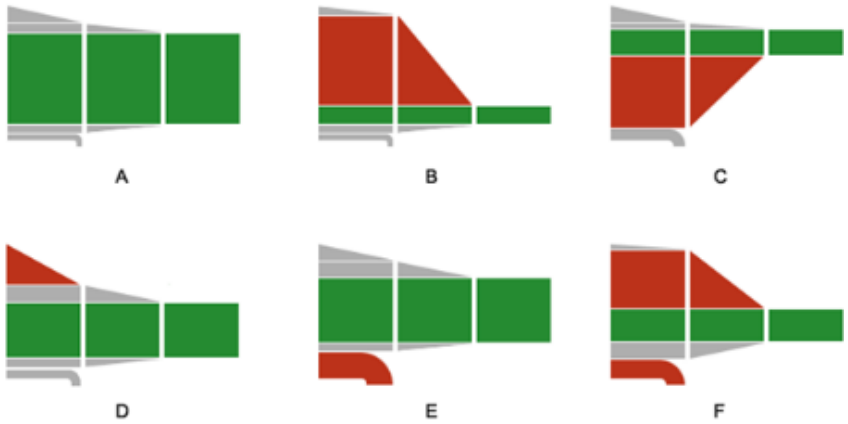


Intel VTune: Microachitecture

- Backend bound
- Uops posibles que no se puede lanzar al Fetch+Dec
- Retiring
- Uops completadas (1uop/cycle)
- Bad speculation
- Uops especuladas de forma incorrecta y no “retiradas”
- Backend bound
- Uops completadas, pero no 1 por ciclo (fallos cache)

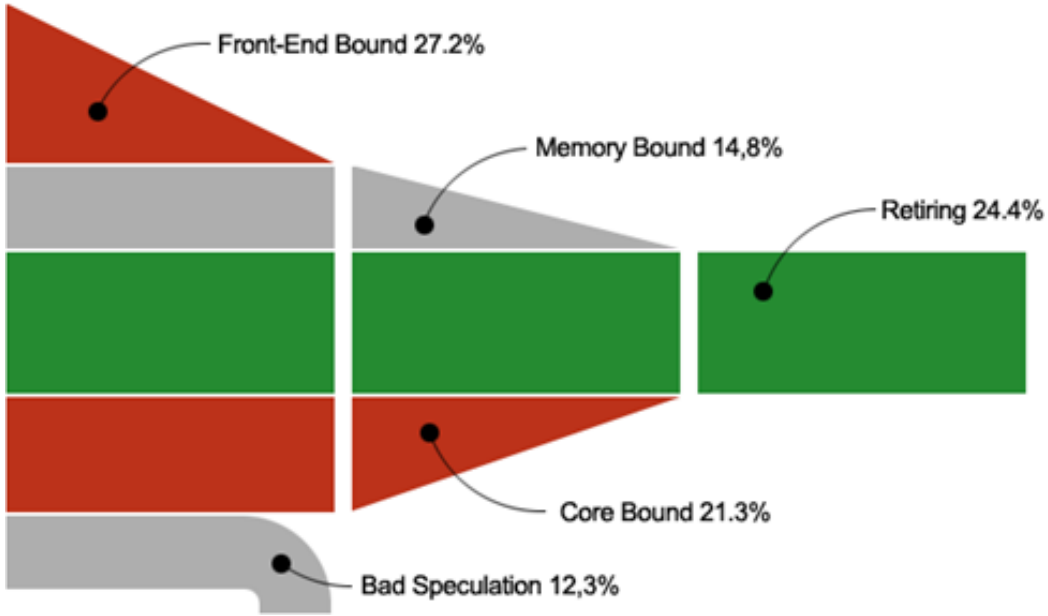
Intel VTune: Microachitecture

- A: sin problemas reseñables
- B: Memory bound
- C: Core bound
- D: Front End bound
- E: fallos en la especulación (por ejemplo *branch misprediction*)
- F: combinación de problemas relacionados con Memoria y mala Especulación



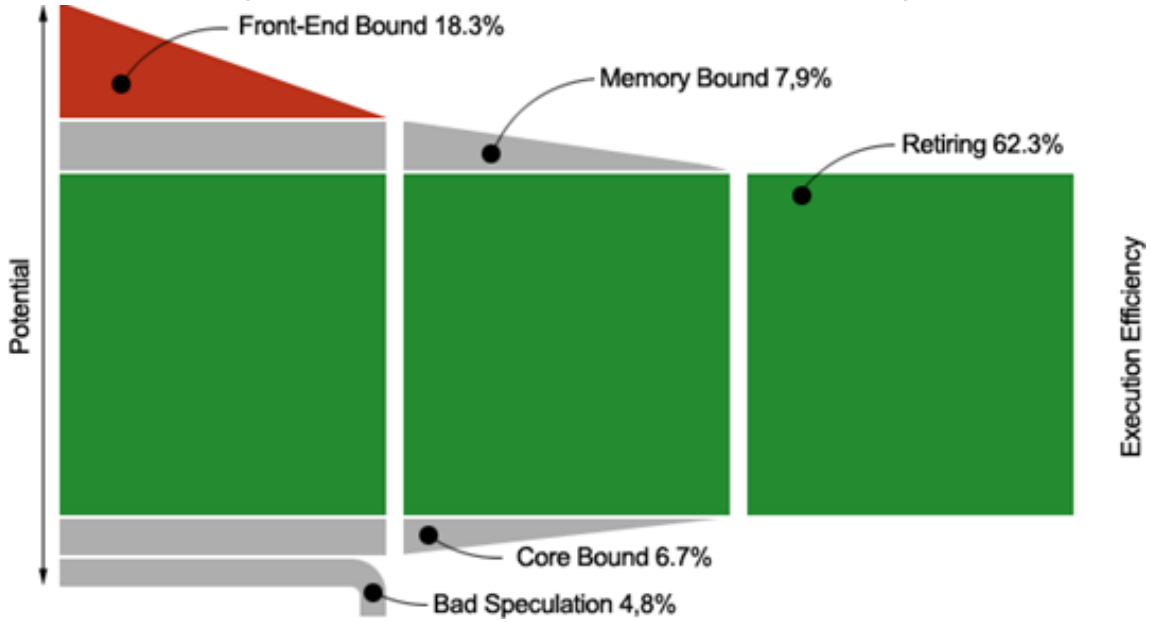
Intel VTune: Microachitecture

- Ejemplo 1
  - Pipe presenta problemas significativos en Front-End Bound y Core Bound issues limitando la eficiencia global al 24.4 %



Intel VTune: Microachitecture

- Ejemplo 2
  - Buena Eficiencia con algún problema en el Front-End (instrucciones independientes)



Intel VTune: Microachitecture