

Trabajo Práctico 0:

Ley de Amdahl

Ronnie Del Pino Cárdenas, *Padrón 93575*
delpinor@gmail.com

Emiliano Vega, *Padrón 76676*
emiliano.vega@mail.com

Romina Casal, *Padrón 86429*
casal.romina@gmail.com

2do. Cuatrimestre de 2019

86.37 / 66.20 Organización de Computadoras — Práctica Jueves
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Resumen

El presente trabajo práctico nos permitió analizar la performance de un programa a partir de la implementación de una mejora sobre un módulo. Para su análisis se usaron herramientas de análisis de tiempos de ejecución y perfilado (**time y gprof respectivamente**). Además, se aplicaron los conocimientos adquiridos sobre la Ley de Amdahl para el cálculo del SpeedUp.

1. Introducción

A continuación, se realizarán distintos procedimientos con motivo de analizar el rendimiento de al menos dos implementaciones del algoritmo que llamamos "La hormiga artista". El análisis será llevado a cabo sobre un ambiente MIPS usando las herramientas time y gprof del entorno de trabajo y la Ley de Amdahl.

La ley de Amdahl mide cuánto mejora o empeora un sistema al introducir mejoras en un sistema existente dependiendo de la frecuencia de utilización del elemento modificado.

$$SpeedUp = \frac{1}{(1 - Fm) + \frac{Fm}{Am}} \quad (1)$$

Donde:

Fm: La fracción del tiempo de cálculo de la máquina original que pueda utilizarse para aprovechar la mejora.

Am: La optimización lograda por el modo de ejecución mejorado, es decir el factor de mejora que se ha introducido en el subsistema alterado.

2. Proceso de Compilación

Se usó el archivo makefile provisto por la cátedra para generar los ejecutables tanto para crear los perfiles como también para conocer los tiempos de ejecución.

make all: Crea dos ejecutables tp0.if y tp0.tables.

make prof: Crea dos ejecutables, tp0.if_pf y tp0.tables_pf.

Los dos primeros archivos fueron usados para medir los tiempos de ejecución usando la herramienta **time**, mientras que los subsiguientes para el perfilamiento usando la herramienta **gprof**.

Como primer paso ejecutamos las versiones compiladas con sufijo **pf** para conocer el perfilado:

```
# ./tp0_tables_pf -g 1000x10000 -p RGBW -r LLLL -t $((1000 * 1000)) > /dev/null
```

Una vez terminada la ejecución, usamos el siguiente comando para conocer el perfilado del programa:

```
# gprof tp0_tables_pf gmon.out
```

A continuación se muestran los resultados de perfilado plano para este caso de prueba presentados en orden decreciente tomando en cuenta el porcentaje de tiempo total del programa que se dedicó a una función. Estos reportes muestran el tiempo de ejecución y la cantidad de llamadas.

```
Each sample counts as 0.01 seconds.
% cumulative self      self      total
time seconds seconds calls  s/call  s/call  name
47.96      5.11      5.11      1      5.11    7.18  grid_out
22.71      7.53      2.42      1      2.42    2.42  make_grid
19.61      9.62      2.09 101000000      0.00    0.00  colour_at
 3.43      9.99      0.37 1000000      0.00    0.00  paint_at
 2.53     10.26      0.27      1      0.27    1.03  paint
 1.27     10.39      0.14 1000000      0.00    0.00  move_forward
 0.52     10.45      0.06 1000000      0.00    0.00  new_orientation
 0.47     10.50      0.05 1000000      0.00    0.00  rule_for_colour
 0.38     10.54      0.04 1000000      0.00    0.00  next_colour
 0.33     10.57      0.04 250000      0.00    0.00  step_west
 0.23     10.60      0.03 250000      0.00    0.00  step_east
 0.23     10.62      0.03 250000      0.00    0.00  step_north
 0.14     10.64      0.02      0      0.00    0.00  frame_dummy
 0.09     10.65      0.01      1      0.01    0.01  make_palette
 0.09     10.66      0.01      1      0.01    0.01  make_rules
 0.05     10.66      0.01 250000      0.00    0.00  step_south
 0.00     10.66      0.00      9      0.00    0.00  get_colour
 0.00     10.66      0.00      5      0.00    0.00  xalloc
 0.00     10.66      0.00      2      0.00    0.00  atoui32
 0.00     10.66      0.00      1      0.00    0.00  destroy_grid
 0.00     10.66      0.00      1      0.00    0.00  destroy_palette
 0.00     10.66      0.00      1      0.00    0.00  make_ant
 0.00     10.66      0.00      1      0.00    0.00  make_grid_handler
```

Es importante mencionar que en el reporte se aclara que el periodo de muestra es de 0.01 segundos por lo que un valor relativamente similar o menor a este se podría considerar no fiable.

También se muestra a continuación otro de los reportes hechos por la herramienta donde se puede observar un grafo de llamadas. Este reporte es importante ya que permite visualizar los tiempos de todas las funciones y el listado de funciones llamadas por cada una, sus children's, con sus respectivos tiempos. En este reporte vemos que aunque las funciones no incurrieron en tiempos altos, llamaron a otras funciones que sí lo hicieron.

```
granularity: each sample hit covers 2 byte(s) for 0.09% of 10.66 seconds
```

```
index % time  self  children  called  name
[1]    99.9    0.00   10.65      1/1    <spontaneous>
                    5.11    2.07    1/1    main [1]
                    2.42    0.00    1/1    grid_out [2]
                    0.27    0.76    1/1    make_grid [3]
                    0.01    0.00    1/1    paint [5]
                    0.00    0.00    1/1    make_palette [15]
```

| | | | | | |
|-------|------|------|------|---------------------|------------------------|
| | | 0.01 | 0.00 | 1/1 | make_rules [16] |
| | | 0.00 | 0.00 | 2/2 | atoi32 [20] |
| | | 0.00 | 0.00 | 2/5 | xalloc [19] |
| | | 0.00 | 0.00 | 1/9 | get_colour [18] |
| | | 0.00 | 0.00 | 1/1 | make_ant [23] |
| | | 0.00 | 0.00 | 1/1 | destroy_palette [22] |
| | | 0.00 | 0.00 | 1/1 | destroy_grid [21] |
| ----- | | | | | |
| | | 5.11 | 2.07 | 1/1 | main [1] |
| [2] | 67.3 | 5.11 | 2.07 | 1 | grid_out [2] |
| | | 2.07 | 0.00 | 100000000/101000000 | colour_at [4] |
| ----- | | | | | |
| | | 2.42 | 0.00 | 1/1 | main [1] |
| [3] | 22.7 | 2.42 | 0.00 | 1 | make_grid [3] |
| | | 0.00 | 0.00 | 1/5 | xalloc [19] |
| | | 0.00 | 0.00 | 1/1 | make_grid_handler [24] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.02 | 0.00 | 1000000/101000000 | paint [5] |
| | | 2.07 | 0.00 | 100000000/101000000 | grid_out [2] |
| [4] | 19.6 | 2.09 | 0.00 | 101000000 | colour_at [4] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.27 | 0.76 | 1/1 | main [1] |
| [5] | 9.6 | 0.27 | 0.76 | 1 | paint [5] |
| | | 0.37 | 0.00 | 1000000/1000000 | paint_at [6] |
| | | 0.14 | 0.09 | 1000000/1000000 | move_forward [7] |
| | | 0.06 | 0.00 | 1000000/1000000 | new_orientation [8] |
| | | 0.05 | 0.00 | 1000000/1000000 | rule_for_colour [9] |
| | | 0.04 | 0.00 | 1000000/1000000 | next_colour [10] |
| | | 0.02 | 0.00 | 1000000/101000000 | colour_at [4] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.37 | 0.00 | 1000000/1000000 | paint [5] |
| [6] | 3.4 | 0.37 | 0.00 | 1000000 | paint_at [6] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.14 | 0.09 | 1000000/1000000 | paint [5] |
| [7] | 2.1 | 0.14 | 0.09 | 1000000 | move_forward [7] |
| | | 0.04 | 0.00 | 250000/250000 | step_west [11] |
| | | 0.03 | 0.00 | 250000/250000 | step_north [13] |
| | | 0.03 | 0.00 | 250000/250000 | step_east [12] |
| | | 0.01 | 0.00 | 250000/250000 | step_south [17] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.06 | 0.00 | 1000000/1000000 | paint [5] |
| [8] | 0.5 | 0.06 | 0.00 | 1000000 | new_orientation [8] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.05 | 0.00 | 1000000/1000000 | paint [5] |
| [9] | 0.5 | 0.05 | 0.00 | 1000000 | rule_for_colour [9] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.04 | 0.00 | 1000000/1000000 | paint [5] |
| [10] | 0.4 | 0.04 | 0.00 | 1000000 | next_colour [10] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.04 | 0.00 | 250000/250000 | move_forward [7] |
| [11] | 0.3 | 0.04 | 0.00 | 250000 | step_west [11] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.03 | 0.00 | 250000/250000 | move_forward [7] |
| [12] | 0.2 | 0.03 | 0.00 | 250000 | step_east [12] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.03 | 0.00 | 250000/250000 | move_forward [7] |
| [13] | 0.2 | 0.03 | 0.00 | 250000 | step_north [13] |
| ----- | | | | | |
| | | | | | <spontaneous> |
| [14] | 0.1 | 0.02 | 0.00 | | frame_dummy [14] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.01 | 0.00 | 1/1 | main [1] |
| [15] | 0.1 | 0.01 | 0.00 | 1 | make_palette [15] |
| | | 0.00 | 0.00 | 4/9 | get_colour [18] |
| | | 0.00 | 0.00 | 1/5 | xalloc [19] |
| ----- | | | | | |
| | | 0.01 | 0.00 | 1/1 | main [1] |
| [16] | 0.1 | 0.01 | 0.00 | 1 | make_rules [16] |
| | | 0.00 | 0.00 | 4/9 | get_colour [18] |

A modo de ejemplo, en el índice [2] cuando se analiza a llamada a la función **grid_out** hecha por la función **main**, gran parte del tiempo es consumido por la función hija **colour_at** y no tanto por la función en sí misma.

3. Desarrollo

En primer lugar nos planteamos la necesidad de probar muchas ejecuciones modificando los parámetros del programa. Se realizaron 10 ejecuciones con los mismos parámetros para sacar una media del tiempo de ejecución.

Para el caso del programa en la versión **tp0.if** y con el parámetro cantidad de iteraciones en 200 millones se obtuvieron los siguientes resultados:

Grilla de 1x1: 64 segundos promedio.

Grilla de 100x100: 70 segundos promedio.

Grilla de 1000x1000: 74 segundos promedio.

Grilla de 10000x10000: 452 segundos promedio.

Luego se realizaron las mismas pruebas, es decir con 200 millones de iteraciones con el programa en su versión **tp0.tables** donde se obtuvieron:

Grilla de 1x1: 75 segundos promedio.

Grilla de 100x100: 77 segundos promedio.

Grilla de 1000x1000: 82 segundos promedio.

Grilla de 10000x10000: 465 segundos promedio.

Luego de esto, usamos la herramienta de perfilado **gprof** cuyos resultados de las 5 pruebas de cada versión del programa se muestran a continuación:

Versión tp0.if.pf:

```
# ./tp0.if.pf -g 1x1 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
29.88 55.87 55.87 1 55.87 181.57 paint
21.71 96.47 40.60 200000000 0.00 0.00 move_forward
16.44 127.21 30.74 200000000 0.00 0.00 rule_for_colour
10.93 147.64 20.43 200000000 0.00 0.00 new_orientation
5.98 158.82 11.18 200000000 0.00 0.00 paint_at
4.50 167.23 8.41 200000001 0.00 0.00 colour_at
4.39 175.44 8.20 200000000 0.00 0.00 decide
3.28 181.57 6.13 200000000 0.00 0.00 next_colour
1.40 184.18 2.61 frame_dummy
0.86 185.79 1.61 1 1.61 1.61 make_rules
0.66 187.03 1.24 1 1.24 1.24 make_palette

# ./tp0.if.pf -g 100x100 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
26.04 66.05 66.05 200000000 0.00 0.00 move_forward
25.26 130.11 64.06 1 64.06 249.86 paint
11.02 158.07 27.96 200000000 0.00 0.00 rule_for_colour
10.90 185.71 27.64 200000000 0.00 0.00 new_orientation
9.53 209.88 24.17 200000000 0.00 0.00 paint_at
9.21 233.24 23.36 200010000 0.00 0.00 colour_at
4.29 244.13 10.89 200000000 0.00 0.00 decide
2.26 249.86 5.74 200000000 0.00 0.00 next_colour
0.58 251.33 1.47 frame_dummy
0.50 252.60 1.27 1 1.27 1.27 make_rules
0.44 253.71 1.12 1 1.12 1.12 make_palette

# ./tp0.if.pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
26.45 45.77 45.77 1 45.77 167.42 paint
20.95 82.01 36.24 200000000 0.00 0.00 move_forward
15.67 109.13 27.12 200000000 0.00 0.00 rule_for_colour
14.11 133.53 24.41 200000000 0.00 0.00 new_orientation
6.18 144.22 10.68 200000000 0.00 0.00 decide
5.92 154.46 10.24 200000000 0.00 0.00 paint_at
4.10 161.56 7.10 201000000 0.00 0.00 colour_at
3.41 167.45 5.89 200000000 0.00 0.00 next_colour
```

```

1.79    170.55    3.10                                frame_dummy
0.72    171.79    1.25                                1    1.25    1.25    make_rules
0.69    172.99    1.20                                1    1.20    1.20    make_palette

# ./tp0_if_pf -g 10000x10000 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
24.80    42.95    42.95    1    42.95    159.37    paint
20.55    78.54    35.59    200000000    0.00    0.00    move_forward
15.32    105.07    26.53    200000000    0.00    0.00    rule_for_colour
13.23    127.99    22.91    200000000    0.00    0.00    new_orientation
6.47    139.19    11.20    200000000    0.00    0.00    decide
5.47    148.67    9.48    200000000    0.00    0.00    paint_at
4.90    157.15    8.48    300000000    0.00    0.00    colour_at
2.91    162.20    5.04    200000000    0.00    0.00    next_colour
1.84    165.38    3.18    1    3.18    6.01    grid_out
1.74    168.38    3.01                                1    3.01    frame_dummy
1.57    171.10    2.72    1    2.72    2.72    make_grid
0.64    172.21    1.11    1    1.11    1.11    make_palette
0.62    173.28    1.07    1    1.07    1.07    make_rules

```

Versión tp0_tables_pf:

```

# ./tp0_tables_pf -g 1x1 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
39.59    80.26    80.26    1    80.26    192.32    paint
11.01    102.58    22.32    200000000    0.00    0.00    move_forward
10.29    123.45    20.87    200000000    0.00    0.00    new_orientation
6.74    137.12    13.67    200000000    0.00    0.00    next_colour
5.71    148.70    11.58    500000000    0.00    0.00    step_east
5.46    159.78    11.08    200000000    0.00    0.00    rule_for_colour
3.98    167.85    8.07    200000000    0.00    0.00    paint_at
3.68    175.31    7.46    500000000    0.00    0.00    step_north
3.43    182.27    6.96    500000000    0.00    0.00    step_west
3.39    189.14    6.87    200000000    0.00    0.00    colour_at
2.91    195.04    5.90    1    5.90    5.90    make_palette
1.56    198.21    3.17    500000000    0.00    0.00    step_south
1.49    201.23    3.02    1    3.02    3.02    make_rules
0.78    202.82    1.59                                frame_dummy

```

```

# ./tp0_tables_pf -g 100x100 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
40.68    97.85    97.85    1    97.85    228.61    paint
10.90    124.07    26.22    200000000    0.00    0.00    new_orientation
10.25    148.73    24.65    200000000    0.00    0.00    move_forward
7.01    165.58    16.85    200000000    0.00    0.00    next_colour
5.67    179.21    13.63    500000000    0.00    0.00    step_east
5.53    192.50    13.29    200000000    0.00    0.00    rule_for_colour
3.73    201.47    8.97    200000000    0.00    0.00    paint_at
3.41    209.67    8.20    500000000    0.00    0.00    step_west
3.39    217.82    8.15    500000000    0.00    0.00    step_north
2.95    224.92    7.10    200010000    0.00    0.00    colour_at
2.85    231.77    6.85    1    6.85    6.85    make_palette
1.53    235.46    3.69    500000000    0.00    0.00    step_south
1.33    238.65    3.20    1    3.20    3.20    make_rules
0.82    240.61    1.96                                frame_dummy

```

```

# ./tp0_tables_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
40.33    85.18    85.18    1    85.18    200.09    paint
11.16    108.75    23.56    200000000    0.00    0.00    move_forward
9.75    129.35    20.60    200000000    0.00    0.00    new_orientation
6.78    143.66    14.31    200000000    0.00    0.00    next_colour
5.71    155.72    12.06    500000000    0.00    0.00    step_east
5.24    166.79    11.07    200000000    0.00    0.00    rule_for_colour
4.24    175.75    8.96    200000000    0.00    0.00    paint_at
3.57    183.29    7.54    500000000    0.00    0.00    step_north
3.26    190.17    6.88    500000000    0.00    0.00    step_west
3.14    196.81    6.64    201000000    0.00    0.00    colour_at
2.88    202.90    6.09    1    6.09    6.09    make_palette
1.62    206.32    3.42    1    3.42    3.42    make_rules
1.57    209.63    3.32    500000000    0.00    0.00    step_south
0.76    211.24    1.61                                frame_dummy

```

```

# ./tp0_tables_pf -g 10000x10000 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
36.69    76.71    76.71    1    76.71    189.08    paint
10.99    99.68    22.97    200000000    0.00    0.00    move_forward

```

| | | | | | | |
|------|--------|-------|-----------|------|------|-----------------|
| 9.59 | 119.73 | 20.04 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | new_orientation |
| 6.90 | 134.16 | 14.43 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | next_colour |
| 5.59 | 145.85 | 11.69 | 500000000 | 0.00 | 0.00 | step_east |
| 5.36 | 157.06 | 11.20 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | rule_for_colour |
| 4.31 | 166.08 | 9.02 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | paint_at |
| 3.95 | 174.32 | 8.25 | 300000000 | 0.00 | 0.00 | colour_at |
| 3.65 | 181.95 | 7.63 | 500000000 | 0.00 | 0.00 | step_north |
| 3.12 | 188.47 | 6.52 | 500000000 | 0.00 | 0.00 | step_west |
| 3.02 | 194.79 | 6.32 | 1 | 6.32 | 6.32 | make_palette |
| 1.70 | 198.35 | 3.56 | 1 | 3.56 | 6.31 | grid_out |
| 1.65 | 201.79 | 3.44 | 1 | 3.44 | 3.44 | make_rules |
| 1.61 | 205.15 | 3.36 | 500000000 | 0.00 | 0.00 | step_south |
| 1.16 | 207.58 | 2.43 | 1 | 2.43 | 2.43 | make_grid |
| 0.75 | 209.15 | 1.57 | | | | frame_dummy |

De estos resultados se puede apreciar que, para un número de iteraciones grande(200 millones) el porcentaje de tiempo consumido por la función **paint** es medianamente constante. Hay un incremento de tiempo de ejecución debido al mayor uso de memoria ya que al usar la función **calloc()**, aparte de reservar un bloque de memoria, lo inicializa. Esto trae como consecuencia un mayor tiempo de ejecución.

Además, se realizaron las mismas cantidades de pruebas pero esta vez con un valor de grilla constante de **1000x1000** y aumentando la cantidad de iteraciones:

Versión tp0_if_pf:

```
# ./tp0_if_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((10 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls ms/call ms/call name
16.67 0.04 0.04 1 40.01 175.07 paint
12.50 0.07 0.03 1200000 0.00 0.00 colour_at
12.50 0.10 0.03 200000 0.00 0.00 move_forward
12.50 0.13 0.03 200000 0.00 0.00 new_orientation
12.50 0.16 0.03 200000 0.00 0.00 rule_for_colour
8.34 0.18 0.02 200000 0.00 0.00 decide
8.34 0.20 0.02 200000 0.00 0.00 paint_at
8.34 0.22 0.02 1 20.01 45.02 grid_out
8.34 0.24 0.02 1 20.01 20.01 make_grid
```

```
# ./tp0_if_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((100 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
24.47 0.34 0.34 1 0.34 1.28 paint
22.31 0.65 0.31 2000000 0.00 0.00 move_forward
15.83 0.87 0.22 2000000 0.00 0.00 rule_for_colour
11.16 1.03 0.16 2000000 0.00 0.00 new_orientation
8.64 1.15 0.12 2000000 0.00 0.00 paint_at
5.40 1.22 0.08 2000000 0.00 0.00 decide
4.32 1.28 0.06 3000000 0.00 0.00 colour_at
2.88 1.32 0.04 0.00 0.00 0.00 frame_dummy
1.44 1.34 0.02 2000000 0.00 0.00 next_colour
1.44 1.36 0.02 1 0.02 0.04 grid_out
1.44 1.38 0.02 1 0.02 0.02 make_grid
0.72 1.39 0.01 1 0.01 0.01 make_rules
```

```
# ./tp0_if_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((1000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
26.87 5.21 5.21 1 5.21 18.68 paint
20.37 9.16 3.95 20000000 0.00 0.00 move_forward
16.81 12.42 3.26 20000000 0.00 0.00 rule_for_colour
12.69 14.89 2.46 20000000 0.00 0.00 new_orientation
5.98 16.05 1.16 20000000 0.00 0.00 paint_at
5.67 17.15 1.10 20000000 0.00 0.00 decide
4.51 18.02 0.88 21000000 0.00 0.00 colour_at
3.58 18.72 0.70 20000000 0.00 0.00 next_colour
1.93 19.09 0.38 0.00 0.00 0.00 frame_dummy
0.67 19.22 0.13 1 0.13 0.13 make_rules
0.59 19.34 0.12 1 0.12 0.12 make_palette
0.21 19.38 0.04 1 0.04 0.08 grid_out
```

```
# ./tp0_if_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
28.24 52.99 52.99 1 52.99 181.77 paint
20.70 91.83 38.84 200000000 0.00 0.00 move_forward
15.45 120.82 28.99 200000000 0.00 0.00 rule_for_colour
12.40 144.09 23.27 200000000 0.00 0.00 new_orientation
6.28 155.87 11.78 200000000 0.00 0.00 paint_at
5.62 166.43 10.55 200000000 0.00 0.00 decide
```

| | | | | | | |
|------|--------|------|-----------|------|------|--------------|
| 4.80 | 175.44 | 9.01 | 201000000 | 0.00 | 0.00 | colour_at |
| 3.40 | 181.81 | 6.38 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | next_colour |
| 1.53 | 184.68 | 2.87 | | | | frame_dummy |
| 0.78 | 186.15 | 1.47 | 1 | 1.47 | 1.47 | make_palette |
| 0.78 | 187.61 | 1.46 | 1 | 1.46 | 1.46 | make_rules |

Versión tp0_tables_pf:

```
# ./tp0_tables_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((10 * 20000)) > /dev/null
```

| % | cumulative | self | self | total | | |
|-------|------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| time | seconds | seconds | calls | ms/call | ms/call | name |
| 23.34 | 0.07 | 0.07 | 1 | 70.03 | 78.36 | grid_out |
| 21.68 | 0.14 | 0.07 | 1 | 65.03 | 166.73 | paint |
| 10.00 | 0.17 | 0.03 | 1 | 30.01 | 30.01 | make_grid |
| 8.34 | 0.19 | 0.03 | 200000 | 0.00 | 0.00 | new_orientation |
| 6.67 | 0.21 | 0.02 | 200000 | 0.00 | 0.00 | move_forward |
| 6.67 | 0.23 | 0.02 | 200000 | 0.00 | 0.00 | next_colour |
| 5.00 | 0.25 | 0.02 | 50000 | 0.00 | 0.00 | step_east |
| 3.33 | 0.26 | 0.01 | 1200000 | 0.00 | 0.00 | colour_at |
| 3.33 | 0.27 | 0.01 | 200000 | 0.00 | 0.00 | paint_at |
| 3.33 | 0.28 | 0.01 | 1 | 10.00 | 10.00 | make_palette |
| 3.33 | 0.29 | 0.01 | | | | frame_dummy |
| 1.67 | 0.29 | 0.01 | 200000 | 0.00 | 0.00 | rule_for_colour |
| 1.67 | 0.30 | 0.01 | 50000 | 0.00 | 0.00 | step_north |
| 1.67 | 0.30 | 0.01 | 1 | 5.00 | 5.00 | make_rules |

```
# ./tp0_tables_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((100 * 20000)) > /dev/null
```

| % | cumulative | self | self | total | | |
|-------|------------|---------|---------|--------|--------|-----------------|
| time | seconds | seconds | calls | s/call | s/call | name |
| 35.60 | 0.77 | 0.77 | 1 | 0.77 | 1.95 | paint |
| 10.70 | 1.00 | 0.23 | 2000000 | 0.00 | 0.00 | new_orientation |
| 8.61 | 1.18 | 0.19 | 2000000 | 0.00 | 0.00 | move_forward |
| 6.75 | 1.33 | 0.15 | 500000 | 0.00 | 0.00 | step_east |
| 6.51 | 1.47 | 0.14 | 2000000 | 0.00 | 0.00 | next_colour |
| 4.89 | 1.57 | 0.11 | 2000000 | 0.00 | 0.00 | paint_at |
| 4.65 | 1.67 | 0.10 | 3000000 | 0.00 | 0.00 | colour_at |
| 4.65 | 1.77 | 0.10 | 500000 | 0.00 | 0.00 | step_west |
| 4.42 | 1.87 | 0.10 | 2000000 | 0.00 | 0.00 | rule_for_colour |
| 3.96 | 1.95 | 0.09 | 500000 | 0.00 | 0.00 | step_north |
| 3.26 | 2.02 | 0.07 | 1 | 0.07 | 0.07 | make_palette |
| 1.86 | 2.06 | 0.04 | 1 | 0.04 | 0.07 | grid_out |
| 1.63 | 2.10 | 0.04 | 500000 | 0.00 | 0.00 | step_south |
| 0.93 | 2.12 | 0.02 | 1 | 0.02 | 0.02 | make_grid |
| 0.93 | 2.14 | 0.02 | 1 | 0.02 | 0.02 | make_rules |
| 0.70 | 2.15 | 0.02 | | | | frame_dummy |

```
# ./tp0_tables_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((1000 * 20000)) > /dev/null
```

| % | cumulative | self | self | total | | |
|-------|------------|---------|----------|--------|--------|-----------------|
| time | seconds | seconds | calls | s/call | s/call | name |
| 36.83 | 9.28 | 9.28 | 1 | 9.28 | 23.33 | paint |
| 11.30 | 12.12 | 2.85 | 20000000 | 0.00 | 0.00 | new_orientation |
| 9.81 | 14.60 | 2.47 | 20000000 | 0.00 | 0.00 | move_forward |
| 8.04 | 16.62 | 2.03 | 20000000 | 0.00 | 0.00 | next_colour |
| 6.27 | 18.20 | 1.58 | 20000000 | 0.00 | 0.00 | rule_for_colour |
| 5.26 | 19.53 | 1.33 | 5000000 | 0.00 | 0.00 | step_east |
| 3.71 | 20.46 | 0.94 | 1 | 0.94 | 0.94 | make_palette |
| 3.51 | 21.35 | 0.89 | 20000000 | 0.00 | 0.00 | paint_at |
| 3.47 | 22.22 | 0.88 | 5000000 | 0.00 | 0.00 | step_west |
| 3.34 | 23.06 | 0.84 | 5000000 | 0.00 | 0.00 | step_north |
| 2.76 | 23.76 | 0.70 | 21000000 | 0.00 | 0.00 | colour_at |
| 2.60 | 24.41 | 0.66 | 1 | 0.66 | 0.66 | make_rules |
| 2.12 | 24.95 | 0.54 | 5000000 | 0.00 | 0.00 | step_south |
| 0.79 | 25.15 | 0.20 | | | | frame_dummy |
| 0.12 | 25.18 | 0.03 | 1 | 0.03 | 0.06 | grid_out |
| 0.08 | 25.20 | 0.02 | 1 | 0.02 | 0.02 | make_grid |

```
# time -p ./tp0_tables_pf -g 1000x1000 -p RGBW -r LLLL -t $((10000 * 20000)) > /dev/null
```

| % | cumulative | self | self | total | | |
|-------|------------|---------|-----------|--------|--------|-----------------|
| time | seconds | seconds | calls | s/call | s/call | name |
| 39.33 | 92.69 | 92.69 | 1 | 92.69 | 223.55 | paint |
| 10.83 | 118.20 | 25.52 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | new_orientation |
| 10.47 | 142.88 | 24.67 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | move_forward |
| 7.54 | 160.64 | 17.76 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | next_colour |
| 5.78 | 174.26 | 13.63 | 50000000 | 0.00 | 0.00 | step_east |
| 5.59 | 187.44 | 13.18 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | rule_for_colour |
| 3.89 | 196.60 | 9.16 | 200000000 | 0.00 | 0.00 | paint_at |
| 3.52 | 204.90 | 8.29 | 50000000 | 0.00 | 0.00 | step_north |
| 3.31 | 212.70 | 7.81 | 50000000 | 0.00 | 0.00 | step_west |
| 3.14 | 220.10 | 7.40 | 201000000 | 0.00 | 0.00 | colour_at |
| 3.02 | 227.22 | 7.12 | 1 | 7.12 | 7.12 | make_palette |
| 1.48 | 230.70 | 3.48 | 50000000 | 0.00 | 0.00 | step_south |
| 1.36 | 233.91 | 3.21 | 1 | 3.21 | 3.21 | make_rules |
| 0.76 | 235.69 | 1.78 | | | | frame_dummy |

Otro de los datos importantes que nos ofrece la herramienta de perfilado es la del árbol de llamadas. En este caso se muestran los resultados de la función **paint** para una grilla de 1000x1000 y 200 millones de iteraciones, siempre para ambas versiones del programa.

Versión tp0_if_pf:

| index | % time | self | children | called | name |
|-------|--------|-------|----------|---------------------|---------------------|
| ----- | | | | | |
| | | 57.82 | 133.00 | 1/1 | main [1] |
| [2] | 97.4 | 57.82 | 133.00 | 1 | paint [2] |
| | | 41.58 | 0.00 | 200000000/200000000 | move_forward [3] |
| | | 23.63 | 10.66 | 200000000/200000000 | new_orientation [4] |
| | | 31.67 | 0.00 | 200000000/200000000 | rule_for_colour [5] |
| | | 10.01 | 0.00 | 200000000/200000000 | paint_at [7] |
| | | 8.57 | 0.00 | 200000000/201000000 | colour_at [8] |
| | | 6.87 | 0.00 | 200000000/200000000 | next_colour [9] |

Versión tp0_tables_pf:

| index | % time | self | children | called | name |
|-------|--------|-------|----------|---------------------|---------------------|
| ----- | | | | | |
| | | 92.82 | 134.17 | 1/1 | main [1] |
| [2] | 94.8 | 92.82 | 134.17 | 1 | paint [2] |
| | | 26.02 | 34.99 | 200000000/200000000 | move_forward [3] |
| | | 27.04 | 0.00 | 200000000/200000000 | new_orientation [4] |
| | | 16.62 | 0.00 | 200000000/200000000 | next_colour [5] |
| | | 13.03 | 0.00 | 200000000/200000000 | rule_for_colour [7] |
| | | 9.18 | 0.00 | 200000000/200000000 | paint_at [8] |
| | | 7.29 | 0.00 | 200000000/201000000 | colour_at [11] |

Donde **index % time** es el porcentaje total que el programa dedicó a esta función, incluidas las llamadas que se hicieron desde la misma.

Con estos valores se puede calcular el SpeedUp de la función **paint** usando la definición de la Ley de Amdahl.

Donde:

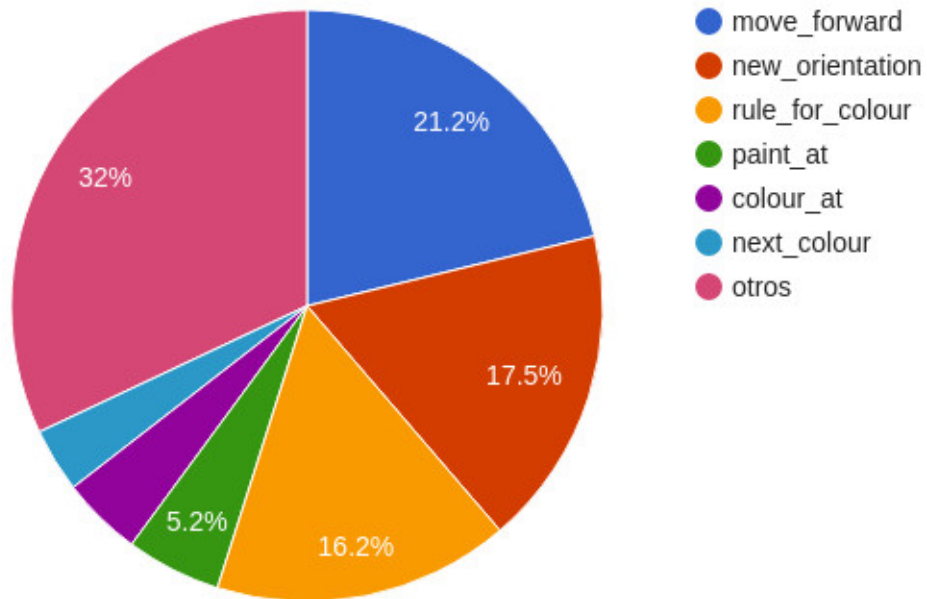
k = 0.974 representa 97.4 % de la ejecución del programa.

s = La relación entre el tiempo anterior y el actual debido a la optimización. En este caso desde los 440.3 segundos hasta los 428.5 segundos.

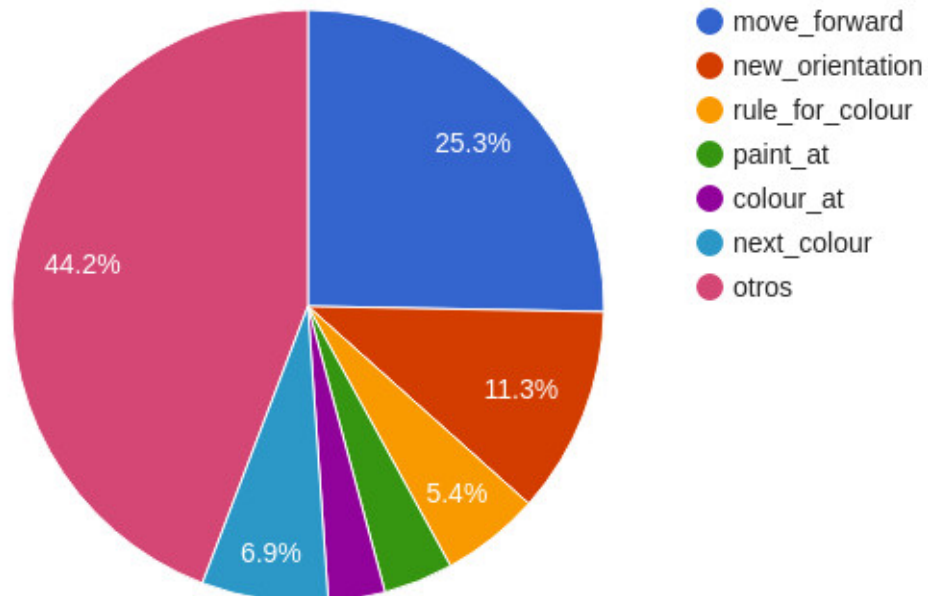
$$\begin{aligned}
 SpeedUp &= \frac{1}{(1 - k) + \frac{k}{s}} \\
 &= \frac{1}{(1 - 0,974) + \frac{0,974}{1,027}} \\
 &= 1,026
 \end{aligned}$$

A partir del siguiente gráfico vamos a calcular los SpeedUp locales de todas las funciones, nos referimos a las funciones que son llamadas por la función **paint**. También se muestra una tabla de tiempos de ejecución sin y con las optimizaciones hechas.

Funciones sin optimización



Funciones con optimización



| Función | Tiempo(s): tp0_if | Tiempo(s): tp0_tables |
|-----------------|-------------------|-----------------------|
| move_forward | 95.8 | 115.2 |
| new_orientation | 79.1 | 51.1 |
| rule_for_colour | 73.2 | 24.4 |
| paint_at | 23.5 | 17.1 |
| colour_at | 19.9 | 14 |
| next_colour | 15.8 | 31.2 |

Calculamos los Speedup para las funciones llamadas dentro de la función **paint**:

move_forward:

$$\begin{aligned} SpeedUp &= \frac{1}{(1 - 0,212) + \frac{0,212}{0,83}} \\ &= 0,96 \end{aligned}$$

new_orientation:

$$\begin{aligned} SpeedUp &= \frac{1}{(1 - 0,175) + \frac{0,175}{1,55}} \\ &= 1,07 \end{aligned}$$

rule_for_colour:

$$\begin{aligned} SpeedUp &= \frac{1}{(1 - 0,162) + \frac{0,162}{3}} \\ &= 1,12 \end{aligned}$$

paint_at:

$$\begin{aligned} SpeedUp &= \frac{1}{(1 - 0,052) + \frac{0,052}{1,37}} \\ &= 1,014 \end{aligned}$$

colour_at:

$$\begin{aligned} SpeedUp &= \frac{1}{(1 - 0,044) + \frac{0,044}{1,42}} \\ &= 1,013 \end{aligned}$$

next_colour:

$$\begin{aligned} SpeedUp &= \frac{1}{(1 - 0,035) + \frac{0,035}{0,51}} \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta los seis módulos, el SpeedUp total calculado es de **1.026**.

4. Conclusión

Si bien se esperaba tener una mejora en los tiempos de ejecución del programa no se lograron grandes mejoras, de hecho el programa en general tuvo una menor performance. Como se puede observar en los reportes para la misma cantidad de grillas e iteraciones (altas), los tiempos con la versión "mejorada" del programa fueron levemente mayores para todos los casos de prueba. Al incrementar la cantidad de grillas se logra una menor performance debido a la función **xalloc** que, además de reservar el bloque de memoria, inicializa el bloque.

La función **new_orientation** mejora debido a que se usa un arreglo en vez de un **switch...case** que es menos eficiente, en contraposición con la función **move_forward** que empeora debido a que se reemplaza un **switch...case** por un arreglo y agrega llamadas a funciones que a su vez agregan nuevas llamadas. La función **rule_for_color** presenta una leve mejora debido a que no se realiza una validación (**if...else**) como en la versión original.

La función **paint** mejora levemente, de acuerdo a los cálculos un 2.6 %.

Referencias

- [1] La Universidad de Pensilvania.
<http://www.cse.psu.edu/~pdm12/cmpsc311-f16/>.
- [2] Profiling and Timing Code .
<https://jakevdp.github.io/PythonDataScienceHandbook/01.07-timing-and-profiling.html>.
- [3] C to MIPS compiler .
<http://reliant.colab.duke.edu/c2mips/>.

Parte I

Apéndice

A. Enunciado original

Trabajo práctico 0: Ley de Amdahl

1. Introducción

En la clase del 22/8 se presentaron las herramientas necesarias para compilar, depurar y ejecutar programas en un ambiente MIPS. Asimismo se describieron los fundamentos de la Ley de Amdahl¹, y como puede ser usada para estimar y medir los alcances de una mejora a un proceso.

Este trabajo práctico consiste en estudiar la performance de una implementación de la Hormiga de Langton que denominaremos 'La hormiga artista'.

2. La hormiga artista

Como parte de los recursos a utilizar en este trabajo práctico, se provee un número de implementaciones del problema. Para todos los casos, se deben especificar los siguientes parámetros

- Las dimensiones de la grilla
- La paleta de colores a utilizar
- Un conjunto de reglas para realizar las rotaciones
- La cantidad de movimientos a realizar

A su vez, se pueden especificar las siguientes opciones de compilación para generar distintas versiones

- `USE_COL_MAJOR` Al momento de imprimir el estado de la grilla, la misma es recorrida 'por columnas'
- `USE_TABLES` Las acciones de rotar y moverse hacia adelante se realizan en funciones independientes
- `SANITY_CHECK` El programa se detiene en caso de que no se cumpla alguna condición

En particular, consideramos relevante las versiones expuestas en 2.1.

¹También expuesta en la clase teórica del lunes 26/8

2.1. Implementación

Como primer paso, se pueden generar dos versiones distintas del programa, variando la implementación de la siguiente función:

```
void*
paint(void *artist_ant, void *gridfn, colour_fn next_colour,
      rule_fn next_rotation, uint64_t iterations);
```

Se presume que la versión base demora mas tiempo en ejecutar que la alternativa -compilada con la opción `USE_TABLES`- puede completar la cantidad especificada de iteraciones en menos tiempo. Para comprobar si esta afirmación es cierta, utilizaremos las herramientas `time` y `gprof`.

2.2. Ejemplos

Listamos las opciones utilizando el comando `--help`

```
./tp0_if --help
./tp0_if -g <grid_spec> -p <colour_spec> -r <rule_spec> -t <n>
-g --grid: wxh
-p --palette: Combination of RGBYNW
-r --rules: Combination of LR
-t --times: Iterations. If negative, it's complement will be used.
-o --outfile: output file. Defaults to stdout.
-h --help: Print this message and exit
-v --verbose: Version number
```

Compile with `-DSANITY_CHECK` to enable runtime checks

Compile with `-DUSE_TABLES` to execute ant operations in separate functions

Compile with `-DUSE_COL_MAJOR` to traverse the grid in column-major order

Medimos el tiempo en ejecutar diez mil operaciones en la menor grilla posible, y repetimos escalando la cantidad de operaciones

```
time -p ./tp0_if -g 1x1 -p RGBW -r LLLL -t ((10 * 1000)) > /dev/null
real 0.10
user 0.06
sys 0.02
```

```
time -p ./tp0_if -g 1x1 -p RGBW -r LLLL -t $((100 * 1000)) > /dev/null
real 0.18
user 0.15
sys 0.02
```

```
time -p ./tp0_if -g 1x1 -p RGBW -r LLLL -t $((1000 * 1000)) > /dev/null
real 1.41
user 1.20
sys 0.01
```

Repetimos, con una grilla significativamente mas grande

```
time ./tp0_if -g 1024x1024 -p RGBW -r LLLL -t $((10 * 1000)) > /dev/null

real 0m3.611s
user 0m3.072s
sys 0m0.032s

time ./tp0_if -g 1024x1024 -p RGBW -r LLLL -t $((100 * 1000)) > /dev/null

real 0m3.178s
user 0m2.784s
sys 0m0.012s

time ./tp0_if -g 1024x1024 -p RGBW -r LLLL -t $((1000 * 1000)) > /dev/null

real 0m3.414s
user 0m2.976s
sys 0m0.028s
```

3. Objetivos

Tal como se menciona arriba, se disponen de dos implementaciones de la versión `paint`. El objetivo del trabajo práctico estudiar cuál es el máximo *Speed Up* posible al optimizar dicha función, para después luego contrastar esta hipótesis con las mediciones realizadas sobre la nueva implementación.

Se espera que los siguientes puntos estén incluidos en el análisis del problema

- ¿Cómo varía el tiempo de ejecución a medida que se cambian los parámetros del programa?
- ¿Durante qué proporción de tiempo se puede aplicar la mejora?
- ¿Cuál es el máximo *Speed Up* posible?
- Análisis realizado con `gprof`
- Mediciones relevantes realizadas con `time`
- Comparaciones del tiempo de ejecución con distintos parámetros
- Cálculo del *Speed Up* global y local

4. Recursos

- Hormiga de Langton: https://es.wikipedia.org/wiki/Hormiga_de_Langton
- Formato PPM: <http://netpbm.sourceforge.net/doc/ppm.html>
- Imagemagick <https://imagemagick.org/index.php>
- GProf guía rápida https://web.eecs.umich.edu/~sugih/pointers/gprof_quick.html
- Manual gprof <https://linux.die.net/man/1/gprof>

5. Condiciones de entrega

5.1. Fechas de entrega

- 5/9/2019
- 19/9/2019
- Carátula especificando los datos y contacto de los integrantes del grupo (dirección de correo electrónico, *handle* de slack, ubicación del repositorio de código)
- Decisiones relevantes sobre la implementación y resolución
- Conclusiones con fundamentos reales
- Casos de prueba documentados
- Código fuente, si aplica
- Este enunciado