

Εργασία του Μαθήματος :

Παράλληλα Συστήματα - Παράλληλα
Υπολογιστικά Συστήματα

Υλοποιήθηκε από τους:

Γιώργος Μανδηλαράς 1115201200097

Θοδωρής Μανδηλαράς 1115201200098

Table of Contents

Παράλληλα Συστήματα - Παράλληλα Υπολογιστικά Συστήματα.....	1
MPI.....	3
Εκτέλεση.....	3
Μεταγλώττιση.....	4
Περιγραφή λειτουργίας.....	4
Μετρήσεις και επιδόσεις.....	6
Δείγματα χρήσης του mpiP.....	13
Υβριδικό MPI/ OpenMP.....	19
Εκτέλεση.....	19
Μεταγλώττιση.....	19
Περιγραφή λειτουργίας.....	19
Μετρήσεις και επιδόσεις.....	19
CUDA.....	26
Εκτέλεση.....	26
Μεταγλώττιση.....	26
Περιγραφή λειτουργίας.....	26

MPI

Εκτέλεση

```
mpiexec -f <machines_file> -n <number of processes> ./convolution -i <image_file> -x  
<dimension_x> -y <dimension_y> -p <partition> -t <filename_of_produced_image> -c -r -print
```

- i <image_file> : Το αρχείο εικόνα στο οποίο επιθυμείτε να εκτελέσετε συνέλιξη. Αν δεν δοθεί τότε θα χρησιμοποιηθεί το images/waterfall_grey_1920_2520.raw. (Προαιρετικό)
- x <dimension_x> : Ο αριθμός των γραμμών που θα έχει ο πίνακας (η εικόνα). Αν δεν δοθεί τότε το dimension_x θα αρχικοποιηθεί με την τιμή 1920.(Προαιρετικό)
- y <dimension_y>: Ο αριθμός των στηλών που θα έχει ο πίνακας (η εικόνα). Αν δεν δοθεί τότε το dimension_y θα αρχικοποιηθεί με την τιμή 2520.(Προαιρετικό)
- p <partition> : Θα μεταβάλει το μέγεθος του πίνακα σύμφωνα με την τιμή partition. Προτεινόμενες τιμές: 0.25, 0.5, 2, 3. Αυξάνει/Συρρικνώνει τον πίνακα με βάση την διαγώνιο. Αν δεν δοθεί συγκεκριμένη τιμή τότε δίνεται η τιμή 1. (Προαιρετικό)
- t <filename_of_produced_image>:
Το αρχείο (path) στο οποίο θα αποθηκευτεί την παραγόμενη εικόνα. Δεν χρειάζεται να δοθεί η επέκταση “.raw” , και αν δεν συγκεκριμενοποιηθεί τότε θα αποθηκευτεί στο “produced_images/MPI_produced.raw”. (Προαιρετικό)
- c : Πρέπει να δοθεί υποχρεωτικά σε περίπτωση που η εικόνα είναι πολύχρωμη, έτσι ώστε να πάρει σωστά τα bytes για κάθε χρωματικό κανάλι.
- r : Ο πίνακας θα αρχικοποιηθεί με τυχαίες τιμές αντί με τις τιμές κάποιας εικόνας. (Προαιρετικό)
- print : Για να εκτυπωθεί ο πίνακας στο τέλος της συνέλιξης.(Προαιρετικό)

Μεταγλώττιση

Έχουμε δημιουργήσει Makefile και η μεταγλώττιση γίνεται μέσω της εντολής make all.

Κάνοντας `make mpip` γίνεται μεταγλώττιση συμπεριλαμβανόμενος των βιβλιοθηκών που χρειάζονται για το `mpip`.

Περιγραφή λειτουργίας

Αρχικά, με βάση τα δεδομένα που παίρνουμε από το `command line` υπολογίζουμε το μέγεθος που θα έχουν οι υποπίνακες των διεργασιών, ο αριθμός των διεργασιών θα πρέπει να χωρίζει τον αρχικό πίνακα σε ίσα `blocks` για όλες τις διεργασίες. Στην συνέχεια, αν δεν έχει δοθεί `-r` (για αρχικοποίηση πίνακα με τυχαίες τιμές), διαβάζουμε τα δεδομένα της εικόνας και τα αποθηκεύουμε σε ένα `char**` και έπειτα αρχικοποιούμε τον `global` πίνακα μας με βάση αυτόν τον πίνακα. Στην περίπτωση που η εικόνα είναι πολύχρωμη, έχει δοθεί `-c` (απαραίτητο), τότε αρχικοποιούνται 3 `global` πίνακες όπου ο καθένας περιέχει τα `bytes` του κάθε χρωματικού καναλιού, και υπολογίζεται η συνέλιξη για κάθε έναν από αυτούς ξεχωριστά. Στο τέλος συνδυάζονται καταλλήλως και παράγουν την τελική εικόνα. Στην περίπτωση που έχει δοθεί τιμή `-p <partition_value>` τότε υπολογίζονται οι νέες τιμές του `global` πίνακα όπου γεμίζει καταλλήλως. Αν `partition_value < 1` τότε επιλέγονται στοιχεία με βήμα `1/partition_value` αλλιώς αν `partition_value > 1` τότε ο `global` πίνακας για κάθε τιμή της εικόνας θα την περιέχει `partition_value*partition_value` φορές.

Πχ Για `partition_value = 0.5` και πίνακα εικόνας

0	1	2	3	ο global πίνακας θα περιέχει	0	2
4	5	6	7		8	10
8	9	10	11			
12	13	14	15			

Πχ Για `partition_value = 2` και πίνακα εικόνας

0	1	ο global πίνακας θα περιέχει	0	0	1	1
2	3		0	0	1	1
			2	2	3	3
			2	2	3	3

Αν έχει δοθεί `-r` τότε ο `global` πίνακας αρχικοποιείται με τυχαίες τιμές. Στην συνέχεια δημιουργούμε καρτεσιανές τοπολογίες και καλούμε την συνάρτηση που θα εφαρμόσει την συνέλιξη, `convolution`.

Η συνάρτηση `convolution` αρχικά κάνει τον `global` πίνακα `scatter` σε `blocks` και κάθε διεργασία εξακριβώνει ποιος είναι ο `top`, `bot`, `left`, `right`, `top-left`, `top-right`, `bot-left`, `bot-right` της. Στην περίπτωση που βρίσκεται σε οριακή θέση ορίζει μια συγκεκριμένη (αναλόγως την θέση της) `bool` μεταβλητή σε `true` και βάζει στο αντίστοιχο `rank` `MPI_PROC_NULL`. Επίσης δημιουργούμε ένα `datatype column` το οποίο το χρησιμοποιούμε για την αποστολή στηλών. Χρησιμοποιούμε `MPI_Barrier` πριν ξεκινήσει το `loop` της συνέλιξης και ξεκινάμε να μετράμε τον χρόνο.

Στο `loop` της συνέλιξης η κάθε διεργασία αρχικά στέλνει στις υπόλοιπες τις ακριανές της τιμές, με την χρήση `MPI_Isend`, και στην συνέχεια υπολογίζει τις τιμές των εσωτερικών κελιών. Έπειτα κάνουμε `dynamic receiving` με την χρήση των `MPI_Irecv` και `MPI_TEST`, όπου στην ουσία κάνουμε `receive` από `MPI_ANY_SOURCE` και κάθε φορά αναλόγως την τιμή του αποστολέα υπολογίζουμε τις κατάλληλες οριακές πλευρές. Χρησιμοποιούμε κάποιες `bool` μεταβλητές για να ξέρουμε αν υπάρχουν οι τιμές των γειτόνων, στην περίπτωση που δεν υπάρχουν χρησιμοποιούμε την τιμή του εκάστοτε

σημείου που υπολογίζουμε. Στην συνέχεια περιμένουμε με την χρήση του MPI_Wait για να βεβαιωθούμε πως τα μηνύματα μας έχουν σταλθεί επιτυχώς.

Ανα 10 επαναλήψεις ελέγχουμε αν έχουν γίνει αλλαγές στους πίνακες μετά την εφαρμογή της συνέλιξης. Τον έλεγχο ομοιότητας των πινάκων τον πραγματοποιούμε με την χρήση της συνάρτησης isEqual_Grid, η οποία επιστρέφει 0 αν οι πίνακες είναι ίδιοι. Στην συνέχεια αθροίζουμε τα αποτελέσματα των isEqual_Grid όλων των διεργασιών με την χρήση των MPI_Reduce και MPI_SUM και το αποτέλεσμα το κάνουμε broadcast σε όλες τις διεργασίες με την χρήση της MPI_Bcast. Αν η τιμή που θα λάβουν από την MPI_Bcast είναι 0 τότε σημαίνει πως σε όλες τις διεργασίες η isEqual_Grid επέστρεψε 0 (που σημαίνει πως δεν υπήρξαν διαφορές μεταξύ των πινάκων), οπότε σταματάμε τις επαναλήψεις μιας και συνέλιξη έχει συγκλίνει σε κάποιες τιμές. Σε περίπτωση που δεν έχει συγκλίνει και δεν σταματάνε οι επαναλήψεις, κάνουμε swap τους pointers του καινούριου πίνακα με του παλιού, με σκοπό να αποφύγουμε τις αντιγραφές ολόκληρων των πινάκων.

Όταν σταματήσουν οι επαναλήψεις σταματάμε το χρονόμετρο, κάνουμε gather τους υποπίνακες στον global, και επιστρέφουμε στην main, όπου εκεί δημιουργούμε την παραγόμενη εικόνα και εκτυπώνουμε κάποιες πληροφορίες.

Αναφορές

- Ενέργειες όπως η ανάγνωση του αρχείου, η δημιουργία του global πίνακα και η δημιουργία και εγγραφή της παραγόμενης εικόνας δεν έχουν παραλληλοποιηθεί.
- Διαχειριζόμαστε τα δεδομένα της εικόνας ως float, μιας και το φίλτρο μπορεί να περιέχει μη ακέραιους αριθμούς, και στο τέλος τα μετατρέπουμε σε int.

Μετρήσεις και επιδόσεις

----- waterfall_grey_1920_2520.raw-----

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 22.78016 sec
Processes: 1

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 6.15207 sec
Processes: 4

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.71916 sec

Processes: 9

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.80450 sec
Processes: 16

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 0.86534 sec
Processes: 25

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 0.62318 sec
Processes: 36

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.83998 sec
Processes: 64

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.44805 sec
Processes: 100

Mε -p 0.5

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 960x1260
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 0.62255 sec
Processes: 9

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 960x1260
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 0.28842 sec
Processes: 25

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 960x1260
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 0.18187 sec
Processes: 36

Mε -p 2

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 3840x5040

Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.42303 sec
Processes: 36

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 3840x5040
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.34287 sec
Processes: 100

----- waterfall_1920_2520.raw -----

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300 300 300
Colorfull : YES
Duration of Convolution: 19.70667 sec
Processes: 4

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300 300 300
Colorfull : YES
Duration of Convolution: 7.29073 sec
Processes: 9

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300 300 300
Colorfull : YES
Duration of Convolution: 3.91760 sec
Processes: 16

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300 300 300
Colorfull : YES
Duration of Convolution: 2.64964 sec
Processes: 25

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300 300 300
Colorfull : YES
Duration of Convolution: 1.85604 sec
Processes: 36

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300 300 300
Colorfull : YES
Duration of Convolution: 4.58003 sec
Processes: 64

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300 300 300
Colorfull : YES
Duration of Convolution: 4.40907 sec

Processes: 100

Με -p 0.25

Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 480x630

Repetitions: 300 300 300

Colorfull : YES

Duration of Convolution: 0.24833 sec

Processes: 25

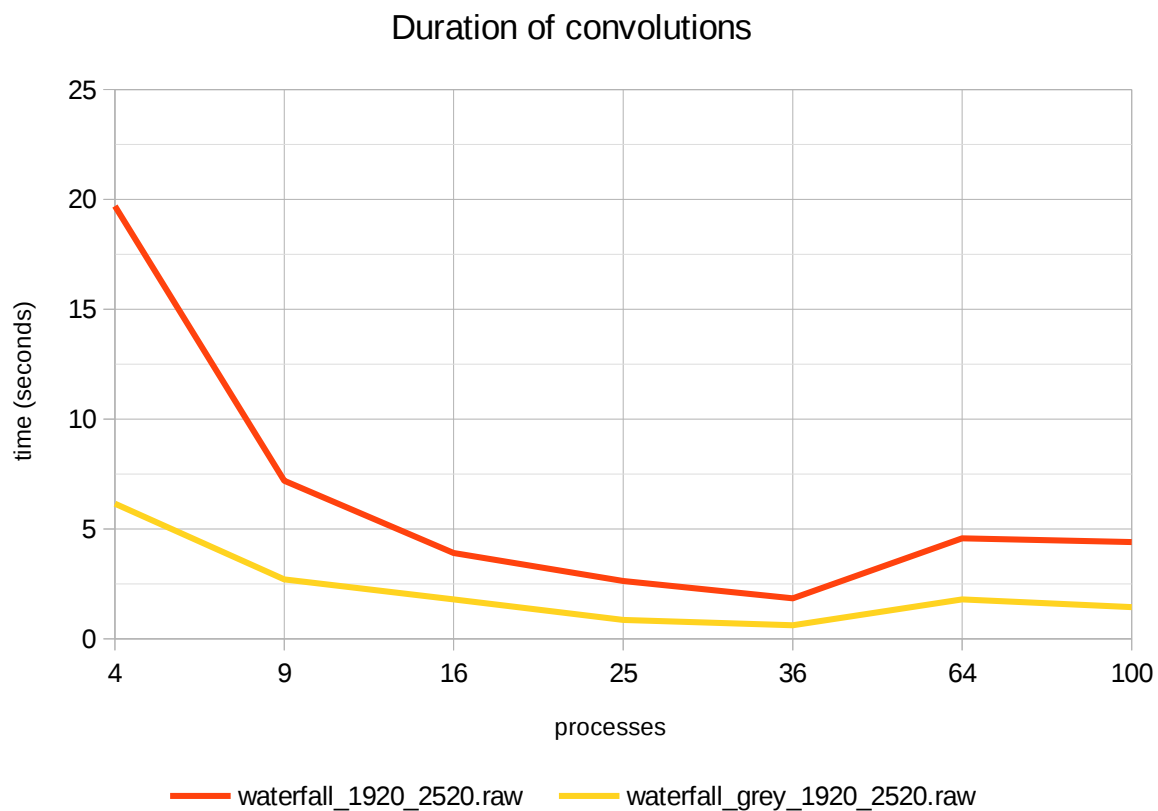
Image: ../images/waterfall_1920_2520.raw with Dimensions: 480x630

Repetitions: 300 300 300

Colorfull : YES

Duration of Convolution: 0.20015 sec

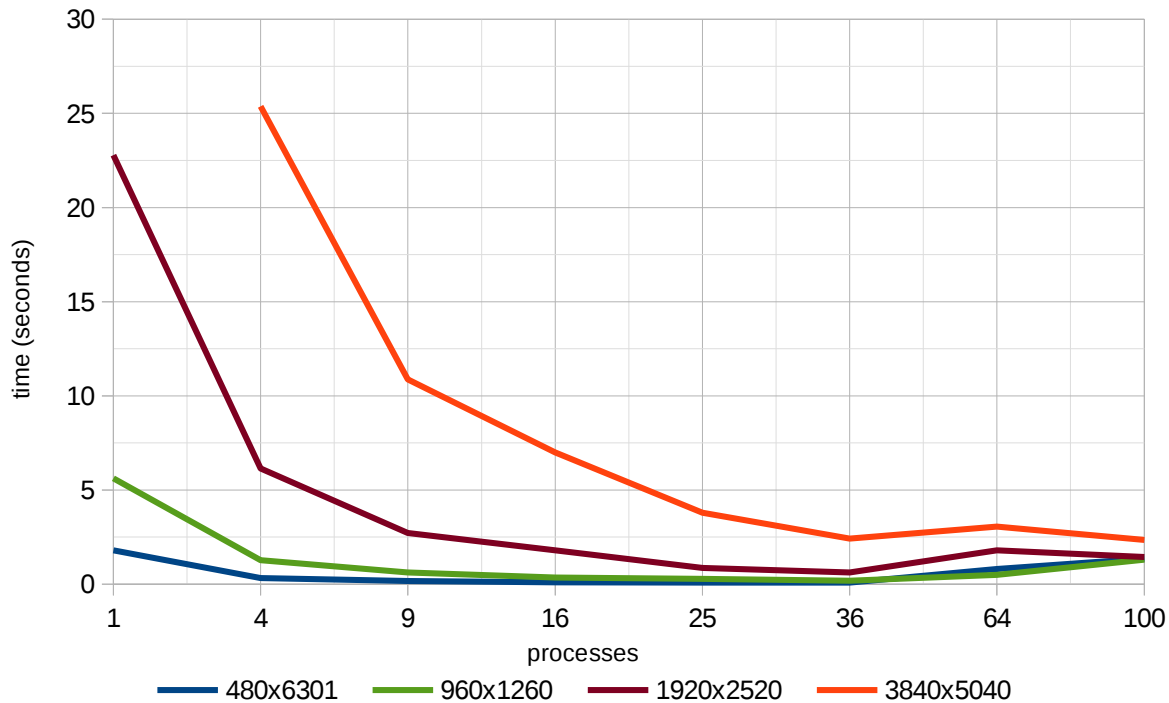
Processes: 36



Παρατήρηση: Η έγχρωμη είναι περίπου η τριπλάσια της γκρίζας, μιας και εφαρμόζεται μια φορά η συνέλιξη για το κάθε χρωματικό κανάλι. Ωστόσο η συνέλιξεις για το κάθε χρωματικό κανάλι δεν γίνονται παράλληλα αλλά σειριακά

Duration of convolution (waterfall_grey_1920_2520.raw)

with different sizes



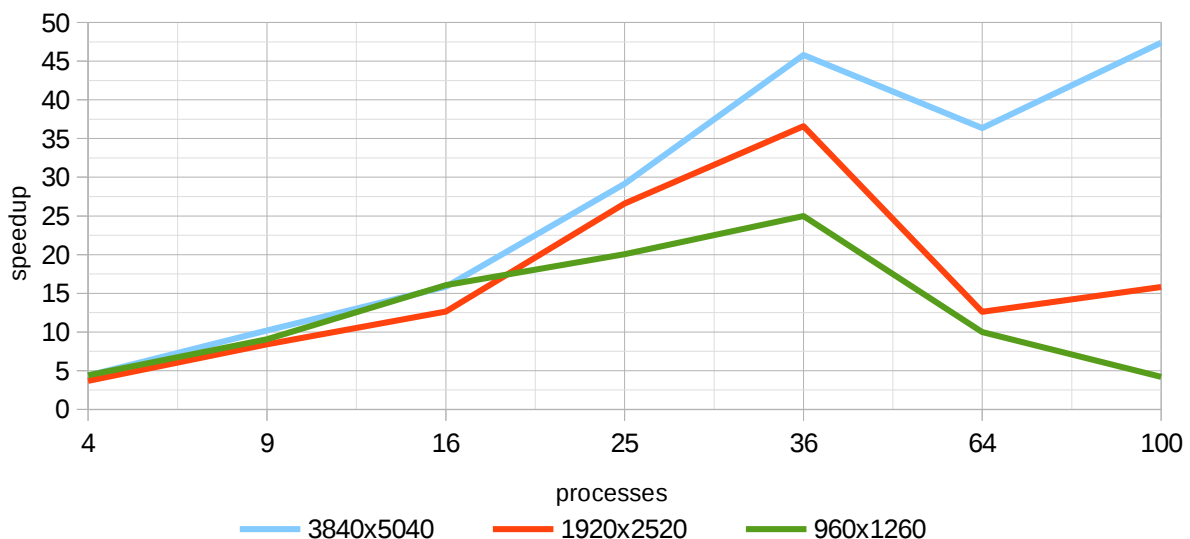
Αναφορά: Η τιμή για μια διεργασία και μέγεθος πίνακα 3840x5040 είναι 110.78 δευτερόλεπτα, ωστόσο δεν την συμπεριλάβαμε για να μην επιμηκυνθεί ιδιαίτερα πολύ το διάγραμμα.

Παρατήρηση: Για μικρό πίνακα οι περισσότερες διεργασίες αυξάνουν τον χρόνο εκτέλεσης γιατί αυξάνεται ο αριθμός των αναγκαίων επικοινωνιών, ενώ για μεγάλους πίνακες μειώνεται ο χρόνος εκτέλεσης γιατί μειώνεται φόρτος εργασίας που έχει η κάθε διεργασία, παρόλο που αυξάνεται ο χρόνος της επικοινωνίας.

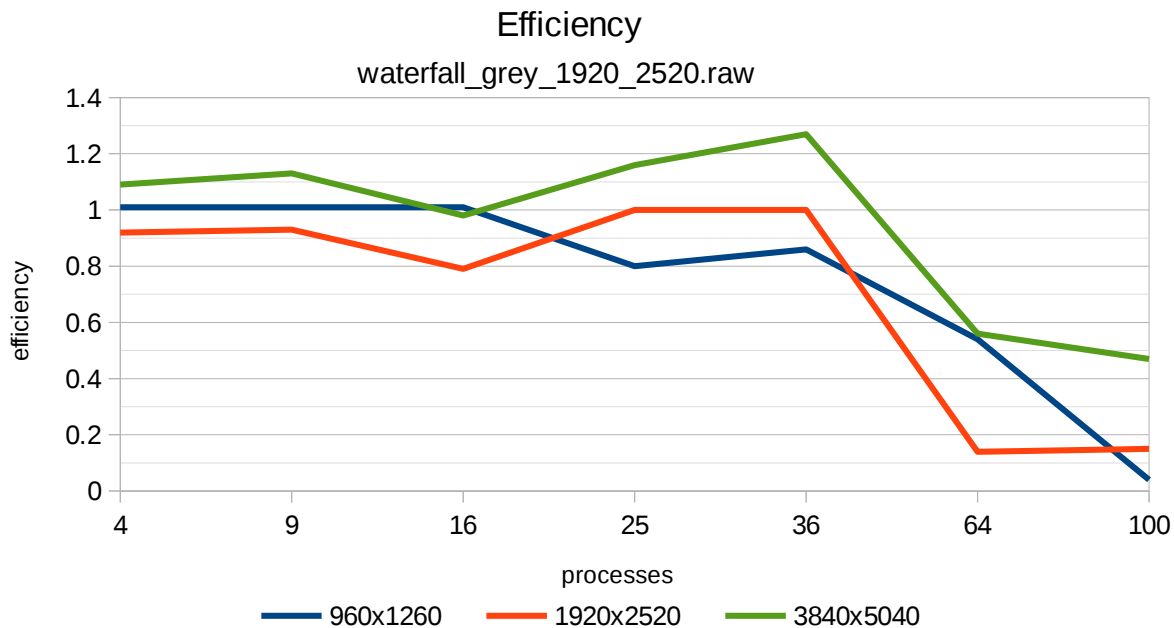
$$\text{Speedup} = T_{\text{serial}} / T_{\text{parallel}}$$

Speedup

waterfall_grey_1920_2520.raw



$$\text{Efficiency} = \text{Speedup} / \text{processes}$$



Παρατήρηση: Παρατηρούμε πως η αποτελεσματικότητα και επιτάχυνση είναι μεγαλύτερες όταν έχουμε μεγάλο όγκο δεδομένων για όσο αυξάνονται οι διεργασίες. Ωστόσο για μεγάλο αριθμό διεργασιών η επιτάχυνση και η αποτελεσματικότητα μειώνεται επειδή το κάθε PC θα πρέπει να συντηρεί περισσότερες διεργασίες.

Παρατήρηση: Το βιβλίο αναφέρει πως οι τιμές της αποδοτικότητας παραλληλίας δεν ξεπερνάνε την μονάδα, ωστόσο οι πράξεις βγάλαν αποτελέσματα τα οποία την ξεπερνάνε για λίγο.

Δείγματα χρήσης του mpiP

Για 25 διεργασίες :

```
@ mpiP
@ mpiP
@ Command : ./convolution
@ Version      : 3.4.1
@ MPIP Build date   : Jan 9 2018, 14:05:27
@ Start time      : 2018 02 20 18:25:56
@ Stop time       : 2018 02 20 18:25:58
@ Timer Used      : PMPI_Wtime
@ MPIP env var     : [null]
@ Collector Rank   : 0
@ Collector PID    : 29286
@ Final Output Dir : .
@ Report generation : Single collector task
@ MPI Task Assignment : 0 linux01
```

```

@ MPI Task Assignment : 1 linux01
@ MPI Task Assignment : 2 linux01
@ MPI Task Assignment : 3 linux01
@ MPI Task Assignment : 4 linux02
@ MPI Task Assignment : 5 linux02
@ MPI Task Assignment : 6 linux02
@ MPI Task Assignment : 7 linux02
@ MPI Task Assignment : 8 linux03
@ MPI Task Assignment : 9 linux03
@ MPI Task Assignment : 10 linux03
@ MPI Task Assignment : 11 linux03
@ MPI Task Assignment : 12 linux04
@ MPI Task Assignment : 13 linux04
@ MPI Task Assignment : 14 linux04
@ MPI Task Assignment : 15 linux04
@ MPI Task Assignment : 16 linux05
@ MPI Task Assignment : 17 linux05
@ MPI Task Assignment : 18 linux05
@ MPI Task Assignment : 19 linux05
@ MPI Task Assignment : 20 linux06
@ MPI Task Assignment : 21 linux06
@ MPI Task Assignment : 22 linux06
@ MPI Task Assignment : 23 linux06
@ MPI Task Assignment : 24 linux07

```

```

-----
@--- MPI Time (seconds) -----
-----

```

Task	AppTime	MPITime	MPI%
0	1.96	0.358	18.21
1	1.08	0.265	24.54
2	1.08	0.244	22.64
3	1.08	0.264	24.50
4	1.16	0.342	29.59
5	1.13	0.287	25.43
6	1.18	0.363	30.86
7	1.17	0.358	30.55
8	1.16	0.349	30.01
9	1.18	0.332	28.29
10	1.17	0.352	30.18
11	1.1	0.284	25.87
12	1.16	0.341	29.54
13	1.17	0.357	30.48
14	1.13	0.313	27.77
15	1.17	0.326	27.91
16	1.21	0.395	32.66
17	1.21	0.366	30.23
18	1.21	0.393	32.55
19	1.21	0.394	32.61
20	1.19	0.353	29.67
21	1.17	0.355	30.39
22	1.17	0.357	30.49
23	1.18	0.365	30.97

24	1.18	0.381	32.40
*	29.8	8.49	28.53

@--- Callsites: 30 -----

ID	Lev	File/Address	Line	Parent_Funct	MPI_Call
1	0	0x406bdc		convolution	Cart_rank
2	0	0x406cfa		convolution	Cart_rank
3	0	0x407b7b		convolution	Wait
4	0	0x4067ed		convolution	Cart_coords
5	0	0x40714a		convolution	Test
6	0	0x405f92		main	Cart_create
7	0	0x406e3d		convolution	Isend
8	0	0x407d10		convolution	Type_free
9	0	0x406f30		convolution	Isend
10	0	0x40711c		convolution	Irecv
11	0	0x407c19		convolution	Reduce
12	0	0x406d30		convolution	Type_commit
13	0	0x407ca7		convolution	Barrier
14	0	0x406d4e		convolution	Barrier
15	0	0x406dfa		convolution	Isend
16	0	0x407c41		convolution	Bcast
17	0	0x406ff2		convolution	Isend
18	0	0x406b65		convolution	Cart_rank
19	0	0x406eda		convolution	Isend
20	0	0x4067cf		convolution	Scatterv
21	0	0x40658a		convolution	Type_commit
22	0	0x406da1		convolution	Isend
23	0	0x406f88		convolution	Isend
24	0	0x407cfd		convolution	Gatherv
25	0	0x406e96		convolution	Isend
26	0	0x406cb0		convolution	Cart_rank
27	0	0x406ba0		convolution	Cart_rank
28	0	0x406c67		convolution	Cart_rank
29	0	0x406b26		convolution	Cart_rank
30	0	0x406c21		convolution	Cart_rank

@--- Aggregate Time (top twenty, descending, milliseconds) -----

Call	Site	Time	App%	MPI%	COV
Scatterv	20	2.72e+03	9.15	32.08	0.43
Gatherv	24	2.08e+03	6.99	24.52	0.50
Cart_create	6	1.17e+03	3.92	13.74	0.20
Barrier	14	1.03e+03	3.47	12.15	1.14
Bcast	16	672	2.26	7.91	0.64
Test	5	216	0.73	2.54	0.21
Reduce	11	211	0.71	2.49	1.74
Irecv	10	83.9	0.28	0.99	0.28
Wait	3	77.1	0.26	0.91	0.05
Isend	22	42.2	0.14	0.50	0.38
Isend	15	35.3	0.12	0.42	0.33
Isend	17	26	0.09	0.31	0.44
Isend	19	25.8	0.09	0.30	0.41

Isend	7	23	0.08	0.27	0.44
Isend	9	22.7	0.08	0.27	0.39
Isend	23	22.6	0.08	0.27	0.34
Isend	25	20.1	0.07	0.24	0.49
Barrier	13	5.25	0.02	0.06	0.04
Type_commit	21	3.93	0.01	0.05	0.47
Cart_coords	4	0.151	0.00	0.00	0.24

@--- Aggregate Sent Message Size (top twenty, descending, bytes) -----

Call	Site	Count	Total	Avrg	Sent%
Gatherv	24	25	1.94e+07	7.74e+05	26.60
Isend	15	7500	1.51e+07	2.02e+03	20.78
Isend	22	7500	1.51e+07	2.02e+03	20.78
Isend	7	7500	1.15e+07	1.54e+03	15.83
Isend	25	7500	1.15e+07	1.54e+03	15.83
Isend	9	7500	3e+04	4	0.04
Isend	23	7500	3e+04	4	0.04
Isend	17	7500	3e+04	4	0.04
Isend	19	7500	3e+04	4	0.04
Reduce	11	750	3e+03	4	0.00
Bcast	16	750	3e+03	4	0.00

Για 16 διεργασίες :

```

mpiP
@ Command : ./convolution
@ Version      : 3.4.1
@ MPIP Build date   : Jan 9 2018, 14:05:27
@ Start time      : 2018 02 20 18:25:39
@ Stop time       : 2018 02 20 18:25:42
@ Timer Used      : PMPI_Wtime
@ MPIP env var     : [null]
@ Collector Rank   : 0
@ Collector PID    : 29241
@ Final Output Dir : .
@ Report generation : Single collector task
@ MPI Task Assignment : 0 linux01
@ MPI Task Assignment : 1 linux01
@ MPI Task Assignment : 2 linux01
@ MPI Task Assignment : 3 linux01
@ MPI Task Assignment : 4 linux02
@ MPI Task Assignment : 5 linux02
@ MPI Task Assignment : 6 linux02
@ MPI Task Assignment : 7 linux02
@ MPI Task Assignment : 8 linux03
@ MPI Task Assignment : 9 linux03
@ MPI Task Assignment : 10 linux03
@ MPI Task Assignment : 11 linux03
@ MPI Task Assignment : 12 linux04
@ MPI Task Assignment : 13 linux04
@ MPI Task Assignment : 14 linux04

```

@--- MPI Time (seconds) -----

Task	AppTime	MPITime	MPI%
0	3.66	0.327	8.93
1	1.49	0.215	14.44
2	1.49	0.214	14.43
3	1.49	0.195	13.13
4	1.56	0.289	18.52
5	1.57	0.303	19.27
6	1.58	0.308	19.52
7	1.56	0.263	16.85
8	1.58	0.309	19.54
9	1.58	0.31	19.62
10	1.56	0.291	18.64
11	1.56	0.266	17.02
12	1.58	0.311	19.66
13	1.57	0.294	18.80
14	1.57	0.296	18.88
15	1.56	0.275	17.56
*	27	4.47	16.57

@--- Callsites: 30 -----

ID	Lev	File/Address	Line	Parent_Funct	MPI_Call
1	0	0x406bdc		convolution	Cart_rank
2	0	0x406cfa		convolution	Cart_rank
3	0	0x407b7b		convolution	Wait
4	0	0x4067ed		convolution	Cart_coords
5	0	0x40714a		convolution	Test
6	0	0x405f92		main	Cart_create
7	0	0x406e3d		convolution	Isend
8	0	0x407d10		convolution	Type_free
9	0	0x406f30		convolution	Isend
10	0	0x40711c		convolution	Irecv
11	0	0x407c19		convolution	Reduce
12	0	0x406d30		convolution	Type_commit
13	0	0x407ca7		convolution	Barrier
14	0	0x406d4e		convolution	Barrier
15	0	0x406dfa		convolution	Isend
16	0	0x407c41		convolution	Bcast
17	0	0x406ff2		convolution	Isend
18	0	0x406b65		convolution	Cart_rank
19	0	0x406eda		convolution	Isend
20	0	0x4067cf		convolution	Scatterv
21	0	0x40658a		convolution	Type_commit
22	0	0x406da1		convolution	Isend
23	0	0x406f88		convolution	Isend
24	0	0x407cfd		convolution	Gatherv
25	0	0x406e96		convolution	Isend
26	0	0x406cb0		convolution	Cart_rank

27	0 0x406ba0	convolution	Cart_rank
28	0 0x406c67	convolution	Cart_rank
29	0 0x406c21	convolution	Cart_rank
30	0 0x406b26	convolution	Cart_rank

@--- Aggregate Time (top twenty, descending, milliseconds) -----

Call	Site	Time	App%	MPI%	COV
Scatterv	20	1.47e+03	5.46	32.98	0.52
Gatherv	24	1.17e+03	4.33	26.10	0.52
Barrier	14	721	2.67	16.14	1.07
Cart_create	6	302	1.12	6.75	0.27
Bcast	16	235	0.87	5.26	0.76
Reduce	11	202	0.75	4.53	1.18
Test	5	128	0.48	2.88	0.29
Wait	3	50.1	0.19	1.12	0.04
Irecv	10	49.9	0.19	1.12	0.28
Isend	22	23.1	0.09	0.52	0.43
Isend	15	20.4	0.08	0.46	0.37
Isend	23	17.7	0.07	0.40	0.67
Isend	19	17.1	0.06	0.38	0.54
Isend	9	16	0.06	0.36	0.48
Isend	17	14.9	0.06	0.33	0.45
Isend	7	12.8	0.05	0.29	0.26
Isend	25	11.1	0.04	0.25	0.28
Type_commit	21	3.14	0.01	0.07	0.72
Barrier	13	2.13	0.01	0.05	0.33
Cart_coords	4	0.11	0.00	0.00	0.30

@--- Aggregate Sent Message Size (top twenty, descending, bytes) -----

Call	Site	Count	Total	Avrg	Sent%
Gatherv	24	16	1.94e+07	1.21e+06	31.19
Isend	15	4800	1.21e+07	2.52e+03	19.49
Isend	22	4800	1.21e+07	2.52e+03	19.49
Isend	7	4800	9.22e+06	1.92e+03	14.85
Isend	25	4800	9.22e+06	1.92e+03	14.85
Isend	9	4800	1.92e+04	4	0.03
Isend	23	4800	1.92e+04	4	0.03
Isend	17	4800	1.92e+04	4	0.03
Isend	19	4800	1.92e+04	4	0.03
Reduce	11	480	1.92e+03	4	0.00
Bcast	16	480	1.92e+03	4	0.00

@--- Callsite Time statistics (all, milliseconds): 436 -----

Ολόκληρες τις αναλύσεις και για λιγότερες/περισσότερες διεργασίες μπορείτε να τις βρείτε στον φάκελο machines_scripts.

Υβριδικό MPI/ OpenMP

Εκτέλεση

```
mpiexec -f <machines_file> -n <number of processes> ./convolution -i <image_file> -x  
<dimension_x> -y <dimension_y> -p <partition> -t <filename_of_produced_image> -c -r -print  
-n <num_of_threads>
```

-n <num_of_threads> : Ο αριθμός των threads που θα δημιουργούνται κατά την εκτέλεση. Αν δεν δοθεί τότε τα threads αρχικοποιούνται με μια defined τιμή.

Όλα τα υπόλοιπα flags είναι ίδια με της εκτέλεσης του MPI.

Μεταγλώττιση

Έχουμε δημιουργήσει Makefile και η μεταγλώττιση γίνεται μέσω της εντολής make all. Κάνοντας make mpip γίνεται μεταγλώττιση συμπεριλαμβανόμενος τις βιβλιοθήκες που χρειάζονται για το mpip.

Περιγραφή λειτουργίας

Η υβριδική υλοποίηση MPI/OpenMP είναι παρόμοια σε υλοποίηση με την προηγούμενη, με την εξαίρεση ότι σε ορισμένα σημεία έχει εισαχθεί παραλληλία με νήματα πλήθους num_of_threads. Το πλήθος των νημάτων δίνεται από το command line μετά από την σημαία -n. Σε περίπτωση που δεν δοθεί τότε το πλήθος των νημάτων παίρνει την default τιμή 4 για την εκτέλεση του προγράμματός

Η νημάτικη παραλληλία έχει εισαχθεί στο convolution.c κατά την διαδικασία υπολογισμού των επόμενων πινάκων. Πιο συγκεκριμένα, στην διαδικασία υπολογισμού των εσωτερικών κόμβων υπάρχει ένα parallel for loop στο οποίο δημιουργεί num_of_threads νήματα, και στην συνέχεια ο υπολογισμός των εξωτερικών κόμβων μοιράζεται σε sections.

Μετρήσεις και επιδόσεις

Αξίζει να σημειωθεί πως χρησιμοποιήθηκε το αρχείο machines_hybrid για host file, στο οποίο έχει αντιστοιχηθεί κάθε μηχανή σε 1 slot. Με αυτόν τον τρόπο οι πυρήνες κάθε μηχανήματος είναι διαθέσιμοι να εκτελούν περισσότερα threads παράλληλα.

Γα 2 threads

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 13.26453 sec
Processes: 1 - with Threads: 2

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 3.39259 sec
Processes: 4 - with Threads: 2

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.57502 sec
Processes: 9 - with Threads: 2

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 3.63427 sec
Processes: 16 - with Threads: 2

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 4.97800 sec
Processes: 25 - with Threads: 2

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.35086 sec
Processes: 36 - with Threads: 2

Γα 5 threads

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 9.38590 sec
Processes: 1 - with Threads: 5

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.78318 sec

Processes: 4 - with Threads: 5

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.28969 sec
Processes: 9 - with Threads: 5

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.75056 sec
Processes: 16 - with Threads: 5

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.84478 sec
Processes: 25 - with Threads: 5

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.78640 sec
Processes: 36 - with Threads: 5

Γα 6 threads

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.97330 sec
Processes: 4 - with Threads: 6

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.56143 sec
Processes: 9 - with Threads: 6

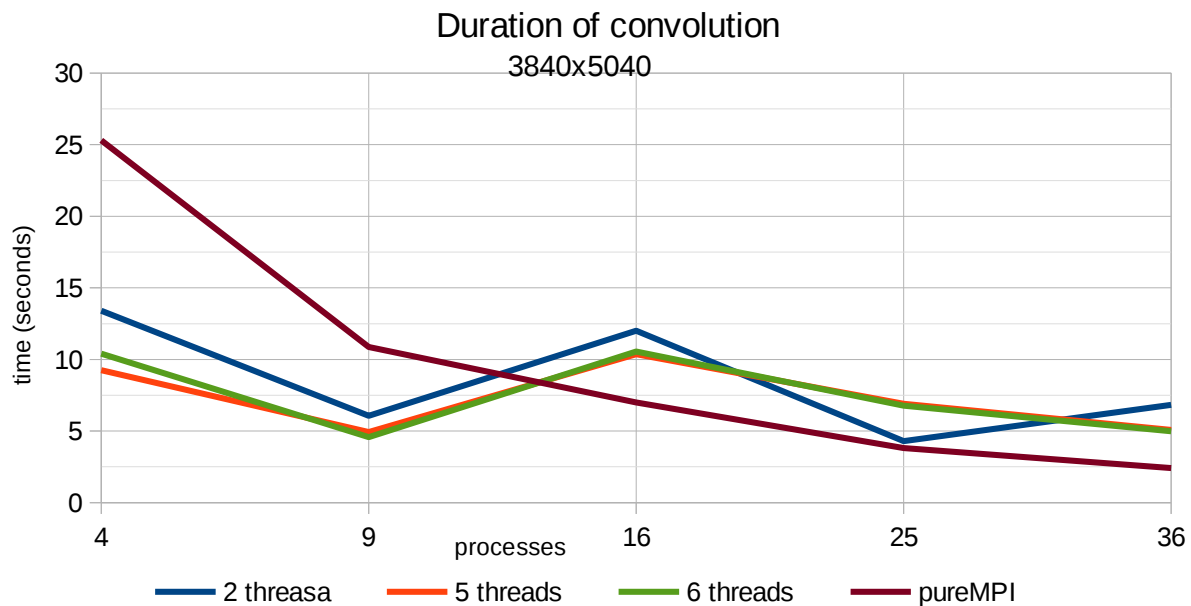
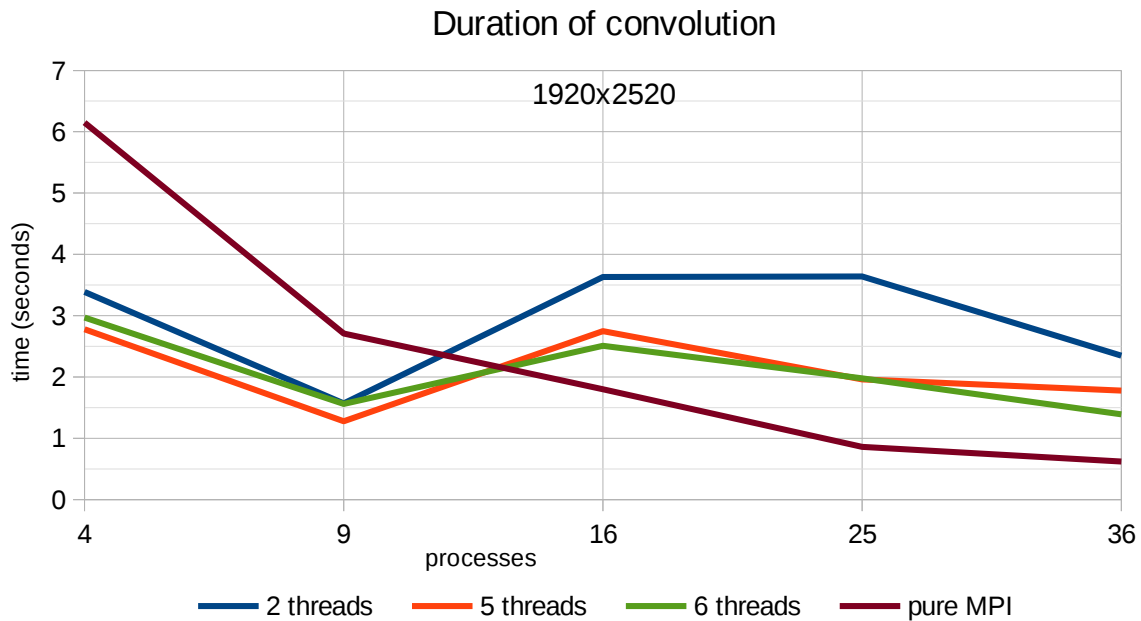
Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 2.51181 sec
Processes: 16 - with Threads: 6

Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520
Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.98769 sec
Processes: 25 - with Threads: 6

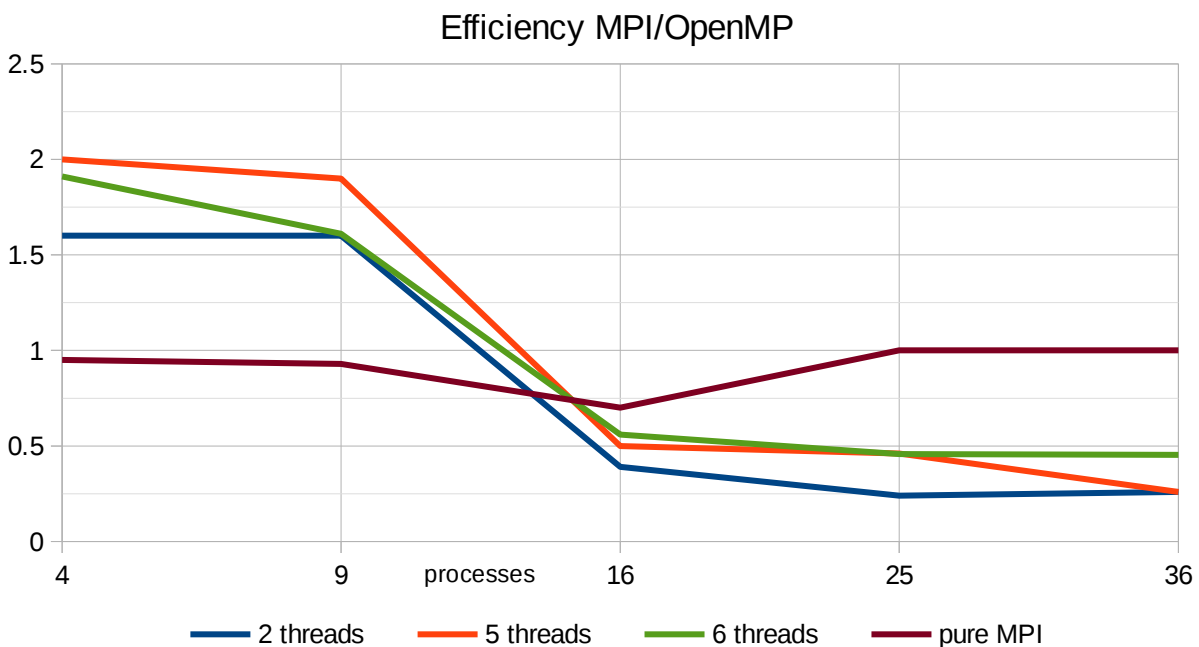
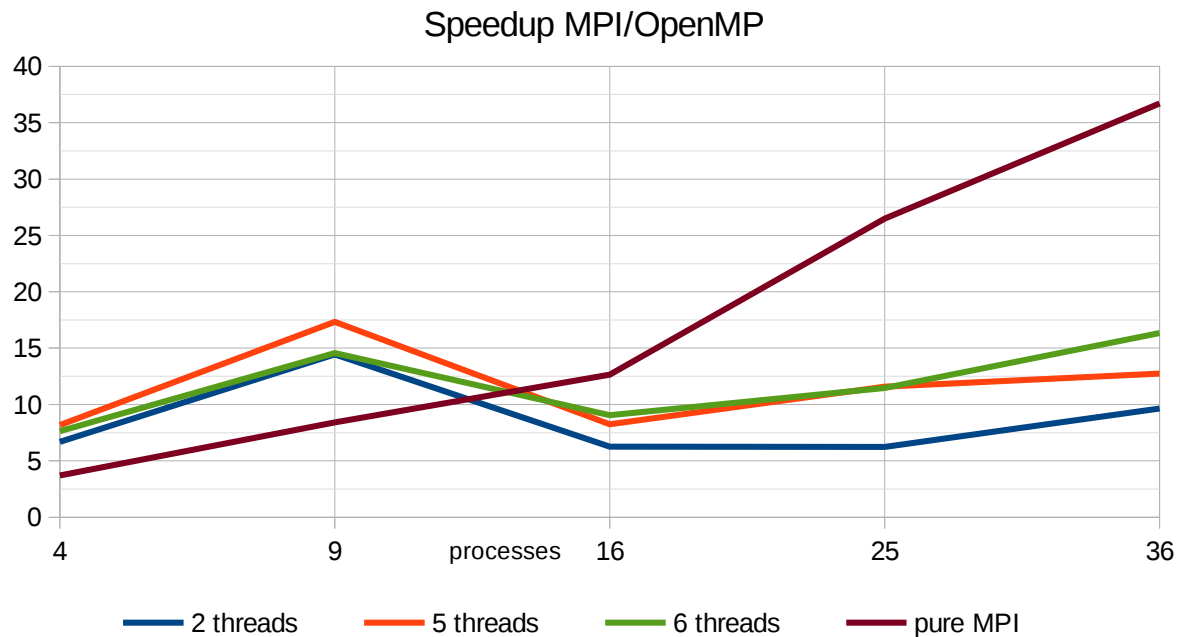
Image: ../images/waterfall_grey_1920_2520.raw with Dimensions: 1920x2520

Repetitions: 300
Colorfull : NO
Duration of Convolution: 1.39161 sec
Processes: 36 - with Threads: 6

Καταμετρήθηκαν επίσης χρόνοι για 64 και 100 διεργασίες, ωστόσο όμως επειδή έχουμε στην διάθεση μας 29 ΗΥ με 4 πυρήνες ο καθένας, δεν παρήγαγαν καλούς χρόνους λόγω της έντονης συμφόρησης που δημιουργείται στους επεξεργαστές εξαιτίας των πολλών διεργασιών και νημάτων. Επίσης παρατηρήθηκε πως για μερικούς αριθμούς νημάτων (πχ 3, 4) ο χρόνος εκτέλεσης ήταν περιέργως πολύ μεγάλος, χωρίς κάποια προφανή αιτία.



Παρατήρηση: Για λίγες διεργασίες το υβριδικό MPI/OpenMP παράγει καλύτερους χρόνους από το σκέτο MPI. Ωστόσο όσο αυξάνεται ο αριθμός των διεργασιών το MPI παράγει καλύτερους χρόνους γιατί από τα πολλά νήματα και τις πολλές διεργασίες προκαλείται έντονη συμφόρηση στους επεξεργαστές και η παραλληλία παύει να είναι πλήρης.



Παρατήρηση: Παρατηρούμε πως το MPI έχει πολύ μικρή επιτάχυνση με λίγες διεργασίες αλλά όσο αυξάνονται τόσο μεγαλώνει, σε αντίθεση με το OpenMP/MPI. Επίσης παρατηρούμε πως το MPI διατηρεί σταθερή την αποτελεσματικότητα του ενώ το OpenMP/MPI ξεκινάει με μια πολύ υψηλή τιμή η οποία μειώνεται όσο αυξάνονται οι διεργασίες.

CUDA

Εκτέλεση

```
mpiexec -f <machines_file> -n <number of processes> ./convolution -i <image_file> -x  
<dimension_x> -y <dimension_y> -p <partition> -t <filename_of_produced_image> -c -r -print
```

Μεταγλώττιση

Έχουμε δημιουργήσει Makefile και η μεταγλώττιση γίνεται μέσω της εντολής make all. Κάνοντας make mpipr γίνεται μεταγλώττιση συμπεριλαμβανόμενος τις βιβλιοθήκες που χρειάζονται για το mpipr.

Περιγραφή λειτουργίας

Έχει γίνει η υλοποίηση με την χρήση CUDA ωστόσο λόγω απώλειας ανάλογης κάρτας γραφικών δεν έχει καταγράψει η ορθότητα του και οι χρονικές αποδόσεις του. Περιληπτικά η συνάρτηση convolution δέχεται σαν όρισμα ολόκληρη την εικόνα σε μορφή πίνακα, δεσμεύει χώρο με cudaMalloc() στη GPU για την δημιουργία δυο αντίστοιχων πινάκων, και έπειτα αντιγράφει τον αρχικό πίνακα εκεί. Στην συνέχεια υπολογίζει όλους τους κόμβους με την συνάρτηση Calculate_AllCells_Kernel και επιστρέφει τον τελικό πίνακα αντιγράφοντας τον πίσω μέσω cudaMemcpy. Τέλος, αυτοδεσμεύεται όλος ο δεσμευμένος χώρος.