ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Τομέας Λογισμικού και Ανάπτυξης Εφαρμογών

Εργαστήριο Προγραμματισμού και Επεξεργασίας Πληροφοριών

Εργασία με την χρήση της βιβλιοθήκης Open MP & MPI

Υπολογισμός των Ροπών Hu σε εικόνες

Παράλληλοι Αλγόριθμοι και Υπολογιστική Πολυπλοκότητα

Μαρία Αρετή Γερμανού
57807

Παναγιώτης Μαζιάνης
57915

1.Θεωρητική παρουσίαση του αλγορίθμου εύρεσης ροπών Hu:

Οι ροπές Hu είναι 7 μετρικές που χρησιμοποιούνται στην όραση υπολογιστών για ανάλυση εικόνων. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί σαν είσοδο τις πληροφορίες των pixels (π.χ. χρώμα ή ένταση) και χρησιμοποιώντας κυρίως τον σταθμισμένο μέσο όρο των pixels εξάγει 7 πολύ χρήσιμες μετρικές. Αυτές οι μετρικές μας δίνουν πληροφορίες για το σχήμα και περίγραμμα ενός αντικειμένου στην εικόνα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι μετρικές παραμένουν αναλλοίωτες σε αλλαγές όπως μέγεθος, περιστροφή και αντανάκλαση αντικειμένου.

Ο κώδικας ακολουθεί κάποια συγκεκριμένα μαθηματικά βήματα για να καταλήξει στις ροπές Hu:

- Αρχικά βρίσκονται οι κεντρικές ροπές M00,M01 και M10 χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$M_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y)$$

οι κεντρικές ροπές χρησιμοποιούνται για να βρεθούν οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους της εικόνας.

$$\bar{x} = \frac{M_{10}}{M_{00}}$$
$$\bar{y} = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται στη συνάρτηση processImage():

```
for (i = 0; i < height; i++) {
  for (j = 0; j < width; j++) {
      // Υπολογισμός Centroids
      sum_x += j * binaryVector[i*width+j];
      sum_y += i * binaryVector[i*width+j];
      total += binaryVector[i*width+j];
  }
}

centroid_x = sum_x / total;
centroid_y = sum_y / total;
```

- Στη συνέχεια πρέπει να βρεθούν οι ζητούμενες κεντρικές ροπές χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\mu_{ij} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^i (y - \bar{y})^j I(x,y)$$

και να κοινωνικοποιηθούν με τον τύπο:

$$\eta_{ij} = \frac{\mu_{i,j}}{\mu_{00}^{(i+j)/2+1}}$$

Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται από την Calculate_Hu_central_moment() η οποία δέχεται εκτός των άλλων την τάξη των ροπών (p,q) και παράγει την συγκεκριμένη κεντρική ροπή κανονικοποιημένη:

```
double Calculate_Hu_central_moment(...){
  unsigned int central_moment_pq=0, central_moment_00=0;
  unsigned long i,j;
  double central_moment_pq_norm;

  for (i = 0; i < height; i++) {
    for (j = 0; j < width; j++) {
        central_moment_00 += (j-centroid_x) * (i-centroid_y) *
binaryVector[i*width+j];
        central_moment_pq += pow((j-centroid_x),p) * pow((i-centroid_y),q)
* binaryVector[i*width+j];
    }
  }

  central_moment_pq_norm = (double)(central_moment_pq) /
pow((double)(central_moment_00), 1+(p+q) / 2.0);
  return central_moment_pq_norm;
}
```

- Τέλος χρησιμοποιώντας τις παραγόμενες κεντρικές ροπές εξάγονται τα τελικά αποτελέσματα με τους τύπους Hu και κανονικοποιούνται λογαριθμικά:

$$
\begin{aligned}
\varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\
\varphi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\
\varphi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\
\varphi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\
\varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})\,[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
&\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})\,[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
\varphi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})\,[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
&\quad + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\
\varphi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})\,[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
&\quad + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})\,[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]
\end{aligned}
$$

Στον κώδικα, καλείται πρώτα η Calculate_Hu_central_moment() και εξάγουμε τις κεντρικές ροπές που χρειαζόμαστε.

```
// Υπολογισμός κεντρικών ροπών και κανονικοποίηση τιμών
  eta00 =
Calculate_Hu_central_moment(binaryVector,height,width,centroid_x,centroid_
y,0,0);
  eta20 =
Calculate_Hu_central_moment(binaryVector,height,width,centroid_x,centroid_
y,2,0)/(eta00 * eta00);
  eta02 =
Calculate_Hu_central_moment(binaryVector,height,width,centroid_x,centroid_
y,0,2)/(eta00 * eta00);
```

Και έπειτα, υπολογίζονται και κανονικοποιούνται οι ροπες Hu:

```
  // Υπολογισμός Hu ροπών - Moments και κανονικοποίηση
  Hu1 = eta20 + eta02;
  Hu2 = (eta20 - eta02) * (eta20 - eta02) + 4 * eta11 * eta11;
  Hu3 = (eta30 - 3 * eta12) * (eta30 - 3 * eta12) + (3 * eta21 - eta03) *
(3 * eta21 - eta03);

. . .

  norm_hu1 = -logf(fabsf(Hu1));
  norm_hu2 = -logf(fabsf(Hu2));
```

```
  norm_hu3 = -logf(fabsf(Hu3));

. . .

  // Εκτύπωση Hu moments
  printf("Hu Moments:\n");
  printf("Hu1: %.20f\n", norm_hu1);
  printf("Hu2: %.20f\n", norm_hu2);
  printf("Hu3: %.20f\n", norm_hu3);
. . .
```

2. Πολυπλοκότητα αλγορίθμου

Αρχικά αντιστοιχίζουμε τον μέγιστο χρόνο που θα χρειαστεί κάθε επανάληψη να διατρέξει κάθε στοιχείο και κάθε εντολή που καλείται μέσα σε αυτήν. Στην περίπτωση του υπάρχοντα αλγορίθμου είναι οι εμφωλευμένες for επαναλήψεις που εκτελούν πράξεις σταθερής πολυπλοκότητας σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας για να βρεθούν οι κεντρικές ροπές.

```
for (i = 0; i < height; i++) {
    for (j = 0; j < width; j++) {
      .
      .
      .
      //O(1) operations
    }
  }
```

Επομένως η πολυπλοκότητα υπολογίζεται ως το μέγεθος των επαναλήψεων (loop iterations) του μέγιστου χρόνου που αναφέρθηκε, πολλαπλασιασμένο με την πολυπλοκότητα του σώματος της επανάληψης.
Η πολυπλοκότητα εύρεσης μιας ροπής είναι O(m*n)*O(1) = O(m*n). Όμως οι κεντρικές ροπές που χρειάζονται για την εύρεση των ροπών Hu είναι 9. Επίσης η εύρεση των συντεταγμένων του κέντρου βάρους απαιτεί ακόμα μία επανάληψη. Συνεπώς, η συνολική πολυπλοκότητα του αλγόριθμου είναι O(m*n)*9+1 = 10 O(m*n) =O(10m*n) . Όπου n και m ο αριθμός των επαναλήψεων (στη συγκεκριμένη περίπτωση height και width)

3.Μέθοδος δυναμικής δέσμευσης μνήμης

Κατά το άνοιγμα αρχείων εικόνων τα εικονοστοιχεία με την πληροφορία τους, αποθηκεύονται σε έναν δισδιάστατο πίνακα δυναμικής δέσμευσης μνήμης. Ωστόσο, η επεξεργασία της εικόνας, μέχρι την τελική αποθήκευσή της σε αντίστοιχο δισδιάστατο πίνακα, για την δημιουργία του τελικού αρχείου εικόνας, γίνεται σε δέσμευση μονοδιάστατου χώρου. Επομένως γίνεται χρήση μονού δείκτη για δέσμευση 1Δ διανύσματος και χρήση αριθμητικής δεικτών 1Δ χώρου και στη συνέχεια απαιτείται η χρήση αριθμητικής δεικτών γιατί δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σύνταξη arr[i][j], εφόσον το arr είναι 1Δ. Λόγω της row wise αποθήκευσης των πινάκων στη C, το στοιχείο [i][j] ενός 2Δ πίνακα βρίσκεται στη θέση [i*cols + j] ενός 1Δ διανύσματος.

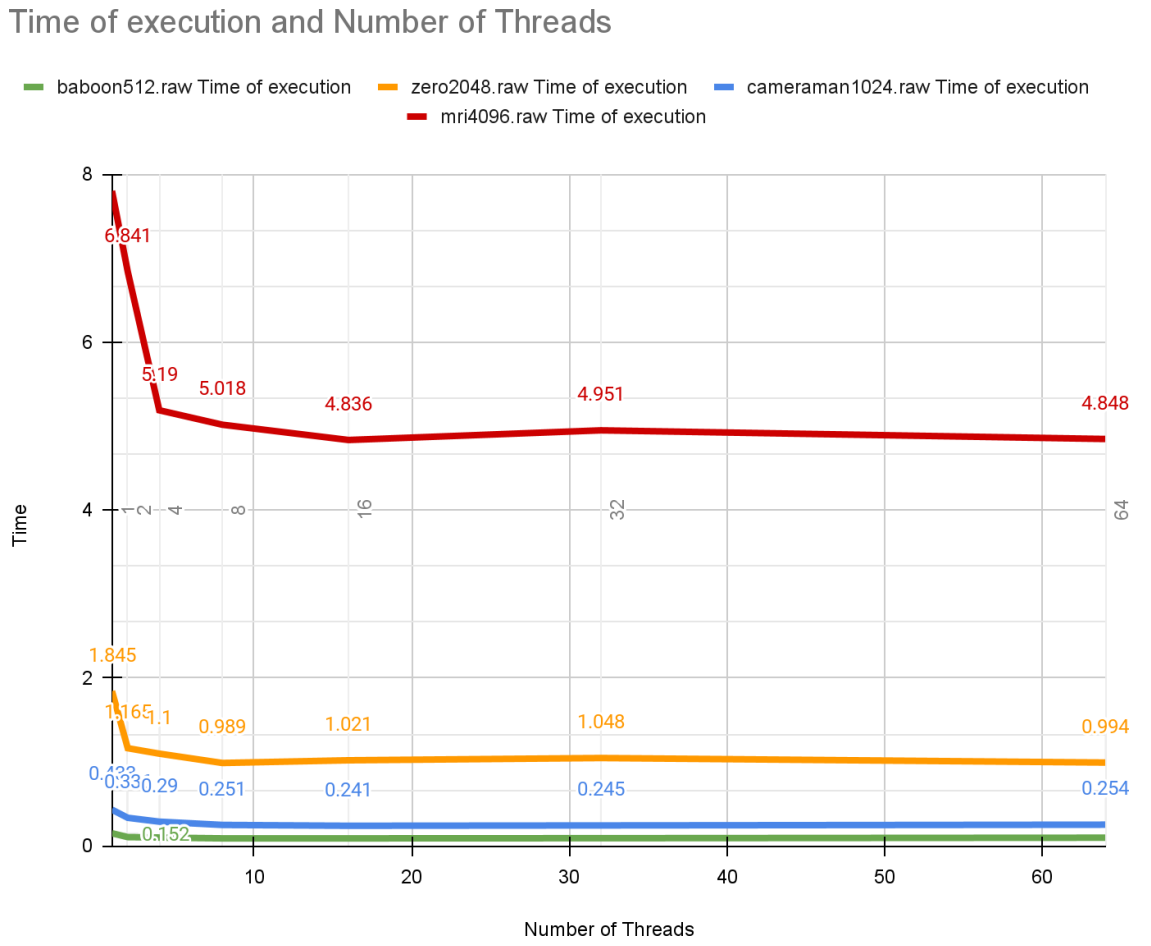
4. Βήματα επεξεργασίας εικόνας

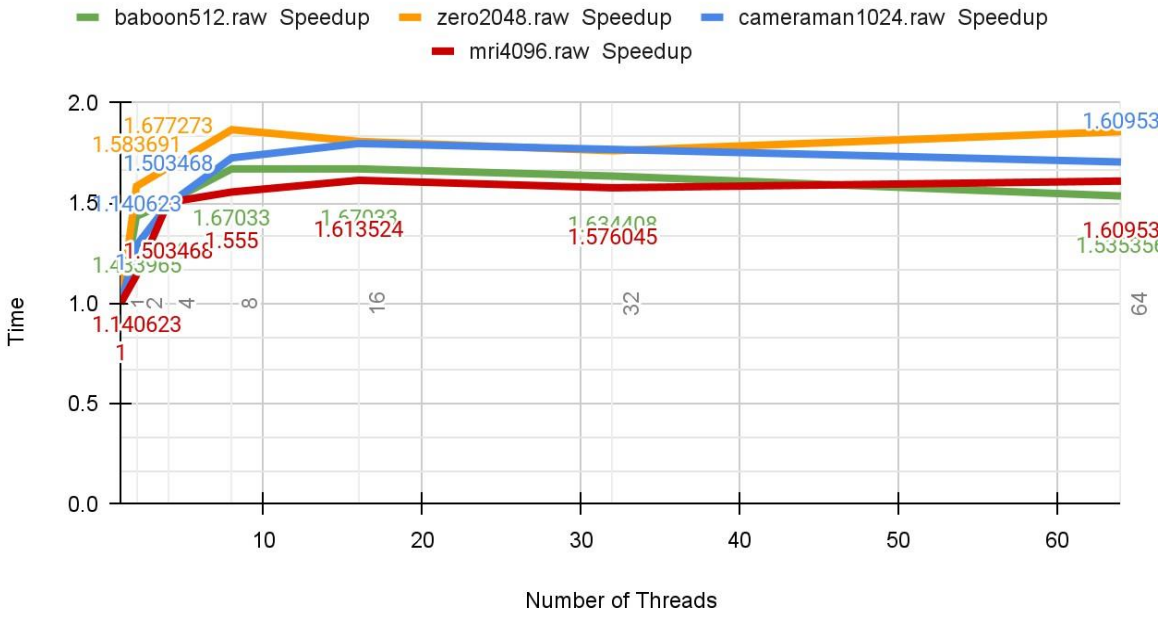
1. Αποθήκευση αρχείου εικόνας σε δισδιάστατο πίνακα με δέσμευση δυναμικής μνήμης.
2. Μεταφορά πληροφορίας εικονοστοιχείων απο δισδιάστατο πίνακα σε διάνυσμα ίδιου μήκους με τον πίνακα με την χρήση αριθμητικής δεικτών μονοδιάστατου χώρου.
3. Μετατροπή εικόνας σε grayscale, αν χρειαστεί, καθώς η πληροφορία των εικόνων είναι κατα βάση η ένταση των εικονοστοιχείων που χρειάζεται για να αναπαραχθεί η grayscale εικόνα.
4. Μετατροπή της εικόνας σε δυαδικής μορφής binary έτσι ώστε να υπάρχουν μηδενικής ή μέγιστης έντασης εικονοστοιχεία (0 ή 255). Το threshold ορίζεται στην μέση τιμή του εύρους έντασης.
5. Χρήση της δυαδικής εικόνας για τους υπολογισμούς που απαιτούνται για τις ροπές Hu.
6. Υπολογισμός κεντρικών ροπών M00,M01 και M10.
7. Υπολογισμός κέντρου βάρους x και y συντεταγμένης.
8. Υπολογισμός κεντρικών ροπών Mij.
9. Υπολογισμός Hu ροπών.
10. Λογαριθμική κανονικοποίηση Hu ροπών.

5. Αποτελέσματα Μετρήσεων

Image Tested		Number of threads						
		nt=1	nt=2	nt=4	nt=8	nt=16	nt=32	nt=64
baboon512.raw(512x512)	Time (seconds)	0.152	0.106	0.101	0.091	0.091	0.093	0.099
	Speedup	1.000	1.433965	1.504955	1.670330	1.670330	1.634408	1.535356
zero2048.raw (2048x2048)	Time (seconds)	1.845	1.165	1.100	0.989	1.021	1.048	0.994
	Speedup	1.000	1.583691	1.677273	1.865521	1.807052	1.760496	1.856136
cameraman1024.raw(1024x1024)	Time (seconds)	0.433	0.336	0.290	0.251	0.241	0.2450	0.254
	Speedup	1.000	1.288691	1.4931	1.7251	1.796681	1.767346	1.704724
mri4096.raw (4096x4096)	Time (seconds)	7.8030	6.8410	5.19	5.018	4.836	4.951	4.848
	Speedup	1.000	1.140623	1.503468	1.555	1.613524	1.576045	1.609530

Ακολουθούν διαγράμματα μετρήσεων για το 1ο παράδειγμα όπως και η έξοδος στην κονσόλα με τις εκτυπωμένες τιμές και μετρήσεις.


Time of execution and Number of Threads
baboon512.raw Time of execution
zero2048.raw Time of execution
cameraman1024.raw Time of execution
mri4096.raw Time of execution
Time
Number of Threads
6.841
5.19
5.018
4.836
4.951
4.848
1.845
1.1
0.989
1.021
1.048
0.994
0.29
0.251
0.241
0.245
0.254
0.152


Speedup and Number of Threads
baboon512.raw Speedup
zero2048.raw Speedup
cameraman1024.raw Speedup
mri4096.raw Speedup
Time
Number of Threads
1.677273
1.583691
1.503468
1.140623
1.67033
1.555
1.613524
1.576045
1.60953
1
1.140623

```
Terminal Console Output:
Height: 512
Width: 512

Execution time: 0.152000 seconds
Speedup: 1.000000, Number of cores: 1

Height: 512
Width: 512

Execution time: 0.106000 seconds
Speedup: 1.433965, Number of cores: 2

Height: 512
Width: 512

Execution time: 0.101000 seconds
Speedup: 1.504955, Number of cores: 4

Height: 512
Width: 512

Execution time: 0.091000 seconds
Speedup: 1.670330, Number of cores: 8

Height: 512
Width: 512

Execution time: 0.091000 seconds
Speedup: 1.670330, Number of cores: 16

Height: 512
Width: 512

Execution time: 0.093000 seconds
Speedup: 1.634408, Number of cores: 32

Height: 512
Width: 512
```

```
Execution time: 0.099000 seconds
Speedup: 1.535356, Number of cores: 64
```

6. Χρήση MPI

Με την χρήση του εργαλείου MPI, πραγματοποιείται η παραλληλοποίηση εργασιών σε καθορισμένο αριθμό πυρήνων. Όσον αφορά τον κώδικα δεν αλλάζει η ροή του προγράμματος, δηλαδή διατηρείται η ίδια μέθοδος υπολογισμών με το πρώτο μέρος. Γίνεται χρήση των συναρτήσεων Scatterv - Gatherv και της μεθόδου εξάλειψης υπολοίπου από την παραλληλοποίηση που χωρίζει τον πίνακα ή διάνυσμα ή εικόνα σε ακέραια αρχικά τμήματα. Έπειτα ακολουθούν οι μετρήσεις με τις ίδιες εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο μέρος.

Προσθήκες στον κώδικα, “Main”:
Απαραίτητες εντολές επικοινωνίας του εργαλείου MPI. Έχουν προστεθεί το MPI_INIT για την αρχικοποίηση του MPI, το MPI_Comm_rank που επιστρέφει το rank, αριθμό πυρήνα διεργασίας, του communicator MPI_COMM_WORLD και το MPI_Comm_size που επιστρέφει το πλήθος του συνολικού αριθμού πυρήνων του communicator.

```
int rank, size;

MPI_Init(&argc, &argv);
MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);

// Ensure at least 2 processes are available
if (size < 2) {
    fprintf(stderr, "This program requires at least 2 processes.\n");
    MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, 1);
}
```

```
MPI_Finalize();
```

Προσθήκες στον κώδικα, “ProcessImage()”:
Απαραίτητες εντολές επικοινωνίας του εργαλείου MPI.

```
  int rank, size, *sendcounts, *displs;
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
```

Απαραίτητες εντολές λήψης χρόνου του εργαλείου MPI. Το MPI_Barrier είναι μια σημαντική εντολή της mpi που λειτουργεί σαν ένα σημείο συγχρονισμού για τις διεργασίες εντός ενός communicator. Χρησιμοποιείται για να διασφαλιστεί ότι όλες οι διεργασίες που

συμμετέχουν στην επικοινωνία έχουν φτάσει στο συγκεκριμένο σημείο του προγράμματος πριν οποιαδήποτε από αυτές προχωρήσει περαιτέρω. Χρησιμοποιείται πριν από κάθε εντολή λήψης χρόνου.

```
MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
start_allocation_time = MPI_Wtime();
```

Εντολές που εκτελούνται μόνο στον κύριο πυρήνα του εργαλείου MPI. Στην προκειμένη δηλώνεται το διάνυσμα της εικόνας στην οποία θα μεταφερθεί ο δισδιάστατος πίνακας εικόνας για να διανεμηθεί στους πυρήνες.

```
  if (rank == 0) {
  input_img_vector = (unsigned char *)malloc(height * width *
sizeof(unsigned char));

  if (input_img_vector == NULL) {
    perror("Error allocating memory for input image");
    exit(-1);
  }

  for (i = 0; i < height; i++) {
    for (j = 0; j < width; j++) {
        input_img_vector[i * width + j] = input_img[i][j];
    }
  }
  }
```

Δήλωση τοπικών buffers μήκους όσο και οι διεργασίες που διανέμονται χρήσιμες για την παραλληλοποίηση.

```
  // Δέσμευση μνήμης rec_buffer σε όλες τις διεργασίες
  rec_buffer = (unsigned char *)malloc(width * height / size *
sizeof(unsigned char));
  // Δέσμευση μνήμης sent_buffer σε όλες τις διεργασίες
  sent_buffer = (unsigned int *)malloc(width * height / size *
sizeof(unsigned int));
```

Απαραίτητες εντολές λήψης χρόνου του εργαλείου MPI.

```
  MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
  end_allocation_time = MPI_Wtime();
  start_time_parallel = MPI_Wtime();
```

Διανύσματα υπεύθυνα για την διαχείριση υπολοίπου κατά την παραλληλοποίηση και για

την ποσότητα εργασιών για τον κάθε πυρήνα.

```
  // Μέθοδος διαχείρισης υπολοίπου δεδομένων μεταξύ του διαμοιρασμού εικόνας
στον αριθμό των πυρήνων
  // Ορισμός sendcounts and displs για MPI_Scatterv και MPI_Gatherv
  sendcounts = (int *)malloc(size * sizeof(int));
  displs = (int *)malloc(size * sizeof(int));

  // Μέτρηση αριθμού σειρών που θα αναλάβει κάθε διεργασία
  int remaining_rows = height % size;
  int base_rows = height / size;

  // Προσάρμοσε sendcounts και displs για τις σειρές που υπολοίπονται
  for (i = 0; i < size; i++) {
      sendcounts[i] = base_rows * width;
      if (i < remaining_rows) {
          sendcounts[i] += width;
      }

      displs[i] = i * base_rows * width;
      if (i < remaining_rows) {
          displs[i] += i * width;
      } else {
          displs[i] += remaining_rows * width;
      }
  }
```

Απαραίτητες εντολές για την παραλληλοποίηση του διανύσματος εικόνας που αποστέλλεται τμηματικά σε buffer τοπικό.

```
  MPI_Scatterv(input_img_vector, sendcounts, displs, MPI_UNSIGNED_CHAR,
rec_buffer, sendcounts[rank], MPI_UNSIGNED_CHAR, 0, MPI_COMM_WORLD);
```

Αλλαγή ποσότητας επαναλήψεων για την παραλληλοποίηση.

```
  for (i = 0; i < height / size; i++) {
    for (j = 0; j < width; j++) {…}
}
```

Απαραίτητες εντολές για την παραλληλοποίηση του διανύσματος εικόνας που συλλέγεται τμηματικά από τον δεύτερο buffer τοπικό.

```
  // Gather the results back to the root process
```

```
  MPI_Gatherv(sent_buffer, sendcounts[rank], MPI_UNSIGNED, binaryVector,
sendcounts, displs, MPI_UNSIGNED, 0, MPI_COMM_WORLD);

  MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
  end_time_parallel = MPI_Wtime();
```

Απαραίτητες εντολές για την παραλληλοποίηση του διανύσματος εικόνας που συλλέγεται τμηματικά από τον δεύτερο buffer τοπικό.

```
 if (rank == 0) {
  time_parallel = end_time_parallel - start_time_parallel;
  printf("\n\nElapsed time for allocation only: %f seconds\n",
end_allocation_time - start_allocation_time);
  printf("Elapsed parallel time: %f seconds\n\n", time_parallel);
  free(input_img_vector);
  free(rec_buffer);
  free(sent_buffer);
  }
```

Απαραίτητες εντολές για την αποδέσμευση μνήμης.

```
  free(sendcounts);
  free(displs);
```

Αποτελέσματα Μετρήσεων MPI:

Image Tested	Number of threads		
	Rank = 0	nt=4	nt=8
baboon512.raw(512x512)	Time (seconds)	Elapsed parallel time: 0.201861 seconds	Elapsed parallel time: 0.110902 seconds
zero2048.raw (2048x2048)	Time (seconds)	Elapsed parallel time: 4.141434 seconds	Elapsed parallel time: 1.737315 seconds
cameraman1024.raw(1024x1024)	Time (seconds)	Elapsed parallel time: 0.802493 seconds	Elapsed parallel time: 0.441347 seconds
mri4096.raw (4096x4096)	Time (seconds)	Elapsed parallel time: 15.553390 seconds	Elapsed parallel time: 6.923559 seconds

```
[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 4 test baboon512.raw 512
```

```
512
Debug Point 1 - Process 0 of 4
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


Elapsed time for allocation only: 0.002490 seconds
Elapsed parallel time: 0.201861 seconds

[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 4 test cameraman1024.raw
1024 1024
Debug Point 1 - Process 0 of 4
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


Elapsed time for allocation only: 0.008969 seconds
Elapsed parallel time: 0.802493 seconds

[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 4 test mri4096.raw 4096
4096
Debug Point 1 - Process 0 of 4
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


Elapsed time for allocation only: 0.193912 seconds
Elapsed parallel time: 15.553390 seconds


Elapsed time for allocation only: 0.002474 seconds
Elapsed parallel time: 0.110902 seconds

[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 4 test zero2048.raw 2048
2048
Debug Point 1 - Process 0 of 4
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


Elapsed time for allocation only: 0.045517 seconds
Elapsed parallel time: 4.141434 seconds
```

```
[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 8 test baboon512.raw 512
512
Debug Point 1 - Process 0 of 8
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 8 test zero2048.raw 2048
2048
Debug Point 1 - Process 0 of 8
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


Elapsed time for allocation only: 0.053850 seconds
Elapsed parallel time: 1.737315 seconds

[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 8 test cameraman1024.raw
1024 1024
Debug Point 1 - Process 0 of 8
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


Elapsed time for allocation only: 0.009018 seconds
Elapsed parallel time: 0.441347 seconds

[marigerm1@dioptis3 Project1]$ mpirun -machinefile m3 -np 8 test mri4096.raw 4096
4096
Debug Point 1 - Process 0 of 8
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv


Elapsed time for allocation only: 0.139365 seconds
Elapsed parallel time: 6.923559 seconds
```

Σε αυτό το σημείο θα ακολουθήσει ένα παράδειγμα από την ολοκληρωμένη έξοδο στο terminal της πρώτης εικόνας καλώντας τις παρακάτω εντολές:

```
ssh dioptis3
```

```
mpicc Project_MPI.c -o Project_MPI -lm

mpirun -machinefile m3 -np 8 Project1_MPI baboon512.raw 512 512
```

Έξοδος:

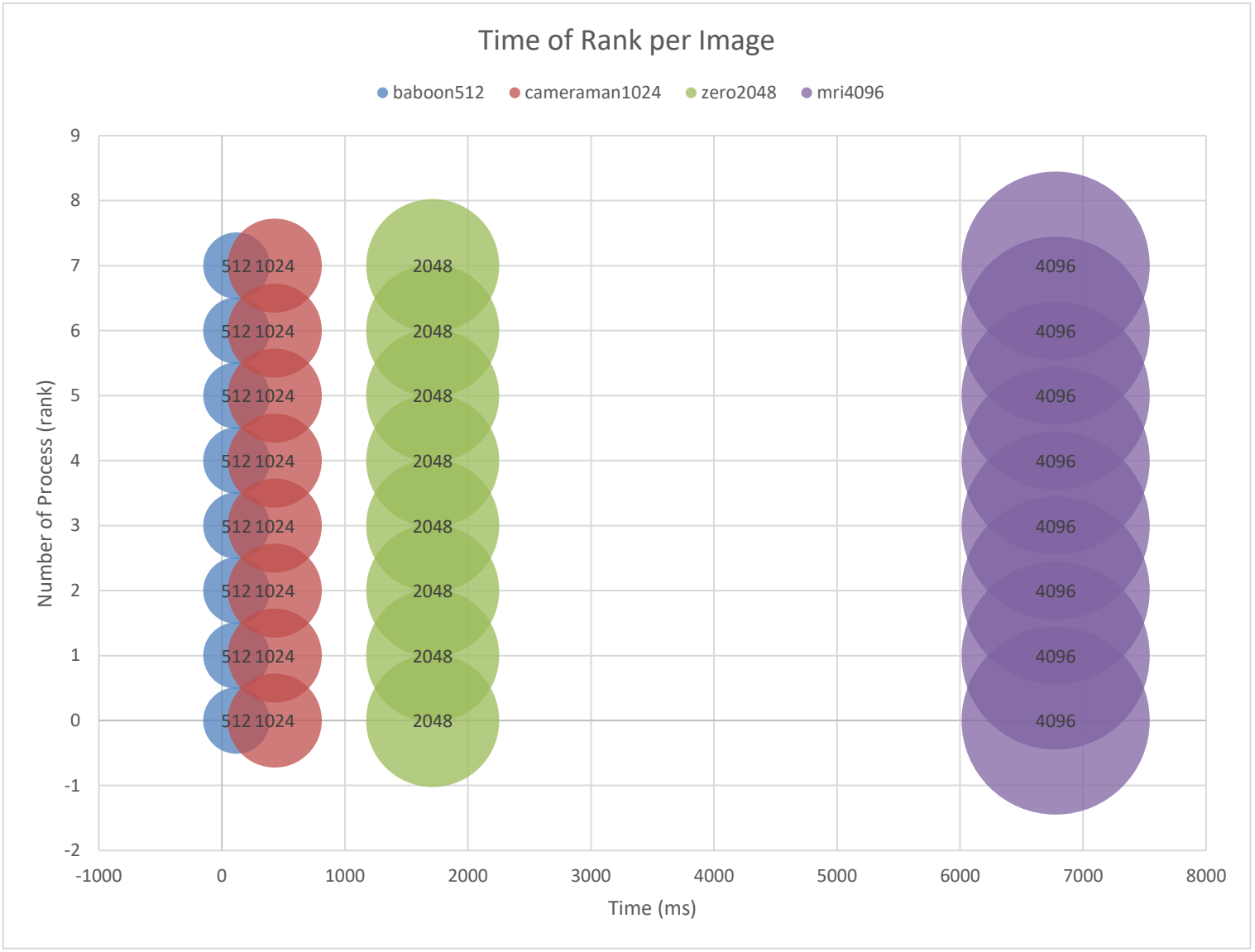
```
Debug Point 1 - Process 0 of 8
Debug Point 2 - Process 0: After Scatter
Debug Point 3 - Process 0: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 0: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 265.000000
Centroid Y: 30.000000
Total: 1709265
Hu Moments:
Hu1: 7.65137529373168945312
Hu2: 11.76259517669677734375
Hu3: 34.31407546997070312500
Hu4: 33.81059646606445312500
Hu5: 69.33482360839843750000
Hu6: 39.84848785400390625000
Hu7: 67.66077423095703125000


Elapsed time for allocation only: 0.012487 seconds
Elapsed parallel time: 0.118437 seconds

Debug Point 1 - Process 3 of 8
Debug Point 2 - Process 3: After Scatter
Debug Point 3 - Process 3: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 3: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 254.000000
Centroid Y: 30.000000
Total: 3207645
Hu Moments:
Hu1: 8.48170757293701171875
Hu2: 14.47630596160888671875
Hu3: 36.11396408081054687500
Hu4: 36.45029449462890625000
Hu5: 73.16221618652343750000
Hu6: 44.15835189819335937500
Hu7: 73.49655914306640625000
```

```
Elapsed time for allocation only: 0.011231 seconds
Elapsed parallel time: 0.118930 seconds

Debug Point 1 - Process 7 of 8
Debug Point 2 - Process 7: After Scatter
Debug Point 3 - Process 7: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 7: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 223.000000
Centroid Y: 32.000000
Total: 3035775
Hu Moments:
Hu1: 8.28418827056884765625
Hu2: 17.090614318847656250000
Hu3: 35.952507019042968750000
Hu4: 35.281967163085937500000
Hu5: 70.957275390625000000000
Hu6: 43.894050598144531250000
Hu7: 73.561164855957031250000


Elapsed time for allocation only: 0.003983 seconds
Elapsed parallel time: 0.119063 seconds

Debug Point 1 - Process 6 of 8
Debug Point 2 - Process 6: After Scatter
Debug Point 3 - Process 6: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 6: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 185.000000
Centroid Y: 35.000000
Total: 2441370
Hu Moments:
Hu1: 7.38097190856933593750
Hu2: 15.42175388336181640625
Hu3: 33.74687576293945312500
Hu4: 33.98311614990234375000
Hu5: 68.06264495849609375000
Hu6: 42.25194549560546875000
Hu7: 68.09020996093750000000


Elapsed time for allocation only: 0.002037 seconds
Elapsed parallel time: 0.118591 seconds
```

```
Debug Point 1 - Process 2 of 8
Debug Point 2 - Process 2: After Scatter
Debug Point 3 - Process 2: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 2: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 274.000000
Centroid Y: 32.000000
Total: 3443265
Hu Moments:
Hu1: 8.10659599304199218750
Hu2: 14.49409770965576171875
Hu3: 35.59945678710937500000
Hu4: 37.14772796630859375000
Hu5: 73.52196502685546875000
Hu6: 44.39495468139648437500
Hu7: 73.36870574951171875000


Elapsed time for allocation only: 0.011653 seconds
Elapsed parallel time: 0.118459 seconds

Debug Point 1 - Process 5 of 8
Debug Point 2 - Process 5: After Scatter
Debug Point 3 - Process 5: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 5: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 139.000000
Centroid Y: 31.000000
Total: 1731195
Hu Moments:
Hu1: 6.82292079925537109375
Hu2: 11.86564636230468750000
Hu3: 34.09579467773437500000
Hu4: 34.30266571044921875000
Hu5: 68.50956726074218750000
Hu6: 40.23649215698242187500
Hu7: 68.38932800292968750000


Elapsed time for allocation only: 0.002219 seconds
Elapsed parallel time: 0.119020 seconds

Debug Point 1 - Process 4 of 8
Debug Point 2 - Process 4: After Scatter
```

```
Debug Point 3 - Process 4: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 4: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 211.000000
Centroid Y: 29.000000
Total: 2984775
Hu Moments:
Hu1: 9.06102752685546875000
Hu2: 14.19275951385498046875
Hu3: 35.80618667602539062500
Hu4: 36.20885848999023437500
Hu5: 72.33327484130859375000
Hu6: 43.30578613281250000000
Hu7: 72.77593231201171875000


Elapsed time for allocation only: 0.003274 seconds
Elapsed parallel time: 0.118564 seconds

Debug Point 1 - Process 1 of 8
Debug Point 2 - Process 1: After Scatter
Debug Point 3 - Process 1: After Data Processing
Debug Point 4 - Process 1: Before MPI_Gatherv

Centroid X: 268.000000
Centroid Y: 32.000000
Total: 2566065
Hu Moments:
Hu1: 7.20260190963745117188
Hu2: 15.32122230529785156250
Hu3: 31.80839538574218750000
Hu4: 32.90592575073242187500
Hu5: 66.65700531005859375000
Hu6: 40.90423965454101562500
Hu7: 64.99311065673828125000


Elapsed time for allocation only: 0.011780 seconds
Elapsed parallel time: 0.118887 seconds
```

Τέλος στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι χρόνοι κάθε διεργασίας:



7. Βιβλιογραφία

[1] Analysis of Loop in Programming (enjoyalgorithms.com)

[2] Chapter 5 Shared Memory Programming with OpenMP (studylib.net)

[3] Find Center of a Blob (Centroid) Using OpenCV (C++/Python) | LearnOpenCV

[4] Shape Matching using Hu Moments (C++ / Python) | LearnOpenCV

[5] https://www.researchgate.net/publication/224146066_Analysis_of_Hu's_moment_invariants_on_image_scaling_and_rotation