

K-NN with Vantage-Point tree

Fotiou Dimitrios (AEM 9650)
Andreas Eleutheriadis (AEM 9649)

Aristotle University of Thessaloniki
Department of Electrical and Computer Engineering
github: <https://github.com/dimfot3/K-NN-with-vantage-point-tree>

February 27, 2022

Abstract—Το παρόν έγγραφο αποτελεί την αναφορά στη τέταρτη και τελική εργασία του μαθήματος Παράλληλα και Διανεμημένα συστήματα. Διεκπεραιώθηκε από δύο άτομα που δεν έχουν συνεργαστεί στο παρελθόν στα πλαίσια αυτού του μαθήματος, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς. Σκοπός της εργασίας είναι να δημιουργήσουμε ένα **Vantage point tree** και να το χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό k κοντινών γειτόνων. Καθώς η δημιουργία του προαναφερθέντος δένδρου μπορεί να αποδειχθεί αρκετά δαπανηρή για μεγάλο αριθμό σημείων, καλούμαστε να χρησιμοποιήσουμε διάφορες τεχνικές για την παραλληλοποίηση του.

Index Terms—OpenMP, MPI, Vantage Point tree, KNN

I. Introduction

Ένα αρκετά γνωστό πρόβλημα της στατιστικής είναι η αναζήτηση k κοντινότερων γειτόνων ενός πολυδιάστατου σημείου από ένα σύνολο σημείων. Το πρόβλημα αυτό είναι χρήσιμο σε πληθώρα εφαρμογών όπως θεωρία γράφων [1], [2], γενετική και βιολογία [3], [4], γενικά σε εφαρμογές μηχανικής μάθησης που έχουν να κάνουν με αναγνώριση προτύπων [5], [6]. Φαίνεται λοιπόν η αναγκαιότητα ο υπολογισμός των γειτόνων να γίνεται γρήγορα και αποτελεσματικά.

Για τον σκοπό αυτό, έχουν προταθεί διάφορες δομές δεδομένων που επιτρέπουν την γρήγορη αναζήτηση των γειτόνων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα kd -tree που δημιουργούν δυαδικά δένδρα χωρίζοντας τον πολυδιάστατο χώρο με βάση μια διάσταση, τα R -tree που κατηγοριοποιούν κοντινά σημεία και έχουν αρκετά κοντινή μορφή με B -tree. Στην εργασία αυτή θα μας απασχολήσουν τα **vantage-point tree**, μια από τις πιο αποτελεσματικές δομές για την αναζήτηση k κοντινότερων γειτόνων.

Τα **vantage-point tree** είναι δυαδικά δένδρα που χωρίζουν τον πολυδιάστατο χώρο σε υποχώρους. Πιο συγκεκριμένα επιλέγεται ένα αρχικό σημείο γνωστό ως **vantage-point**, μετριοούνται οι αποστάσεις από όλα τα άλλα και τα σημεία μοιράζονται στο αριστερό και δεξί υποδέντρο ανάλογα με τη ενδιάμεση απόσταση. Έτσι δημιουργούνται ισοσταθμισμένα δένδρα, στα οποία η αναζήτηση k κοντινότερων σημείων γίνεται αποτελεσματικά, όπως θα δούμε παρακάτω.

Το επόμενο θέμα που προκύπτει και αποτελεί καίριο κομμάτι της εργασίας είναι η αποτελεσματική δημιουργία τέτοιων δυαδικών δέντρων. Για τον σκοπό αυτό καλούμαστε να υλοποιήσουμε εκτός από την σειριακή εκδοχή και ορισμένες παράλληλες με χρήση τόσο μιας CPU όσο και περισσότερων ή αξιοποίηση της GPU.

Στη συνέχεια της αναφορά παρουσιάζουμε τις υλοποιήσεις σειριακή και παράλληλες, πληροφορίες για το σύστημα πάνω στο οποίο αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε η εργασία, το κώδικα, τα tests και το dataset που χρησιμοποιήθηκε. Στο τέλος παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα και οι συγκρίσεις των υλοποιήσεων.

II. Implementation

A. Serial version

Ας ξεκινήσουμε με την σειριακή εκδοχή του αλγορίθμου. Παρακάτω στο 1 φαίνεται ο βασικός αναδρομικός αλγόριθμος για τη δημιουργία του **vantage-point tree**. Ουσιαστικά δίνονται σαν είσοδος τα πολυδιάστατα σημεία από τα οποία θα δημιουργηθεί το δέντρο. Επιλέγεται ένα σημείο σαν **vantage-point**, και μετρούνται όλες οι αποστάσεις των υπολοίπων από αυτό. Έπειτα βρίσκεται η ενδιάμεση απόσταση και χωρίζονται τα σημεία με βάση την απόστασή τους, σε αυτά που έχουν μικρότερη ή ίση με την ενδιάμεση και σε αυτά που έχουν μεγαλύτερη της ενδιάμεσης. Τέλος δημιουργείται ένας κόμβος του δένδρου που περιέχει σαν πληροφορία την ενδιάμεση απόσταση και το δείκτη του **vantage point**, και για αριστερό και δεξί παιδί καλείται αναδρομικά ο αλγόριθμος δημιουργίας δένδρου αλλά αυτή τη φορά με σημεία τα δύο νέα σύνολα που προέκυψαν από το διαχωρισμό με την ενδιάμεση απόσταση.

Algorithm 1 Sequential VP-tree creation

Input: N points with dimension d A

Output: root to a VP-tree

```
1: if  $N == 0$  then
2:   return NULL
3:  $vp = points[0]$ 
4:  $points = points[1, end]$ 
5:  $dists = calculate\_distance(points, vp)$ 
6:  $median = find\_median(dists)$ 
7:  $left, right = split\_points(points, dists, median)$ 
8:  $node = New\_node(idx[vp], dist)$ 
9:  $node.left = vp\_create(left)$ 
10:  $node.right = vp\_create(right)$ 
11: return node
```

Το **vantage-point** που εκλέγεται σε κάθε αναδρομή είναι το πρώτο. Ο υπολογισμός των αποστάσεων γίνεται με την ευκλείδεια απόσταση και η μέση απόσταση βρίσκεται με τη χρήση του **quick-select** αλγορίθμου. Επιπρόσθετα ο διαχωρισμός των αποστάσεων δεν δημιουργεί καινούργιους πίνακες με πολυδιάστατα σημεία, καθώς κάτι τέτοιο θα ήταν ασύμφορο για τη μνήμη. Αντιθέτως ο διαχωρισμός γίνεται με διανύσματα των δεικτών των σημείων στον αρχικό πίνακα και διαγράφονται απευθείας όταν δεν χρειάζονται πλέον. Με αυτό τον τρόπο αυξάνουμε μεν ελάχιστα τον εκτελέσιμο χρόνο μιας και απελευθερώνεται συχνά μνήμη, αλλά από την άλλη δεν έχουμε θέματα κορεσμού και διαρροές της μνήμης.

B. Parallel version

Η παράλληλη υλοποίηση λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με την σειριακή, αλλά με μερικές αλλαγές προκειμένου να έχουμε

παράλληλοποίηση με την χρήση OpenMP. Αρχικά, χρησιμοποιείται η συνάρτηση `calculateDistancesParallel` στην θέση της `calculateDistances`. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο είναι η προσθήκη της γραμμής `"#pragma omp parallel for"` στην πρώτη ώστε ο βρόχος `for` να εκτελεστεί παράλληλα. Στην συνέχεια, προστέθηκαν οι εντολές `"#pragma omp parallel"`, `"#pragma omp sections nowait"` και `"#pragma omp section"`, προκειμένου να τρέξουμε παράλληλα τις αναδρομικές κλήσεις δημιουργίας υποδένδρων της συνάρτησης.

Να σημειωθεί ότι χωρίς τον περιορισμό των `thread` που δημιουργούνται είναι αδύνατη η αξιοποίηση του `"omp_set_nested"` που επιτρέπει την αναδρομική δημιουργία νέων `thread`, καθώς αρκετά γρήγορα ξεπερνιέται το όριο του συστήματος και το πρόγραμμα καταρρέει. Επομένως, αφήνουμε για την ώρα τις `default` ρυθμίσεις και στην επόμενη υλοποίηση καλούμαστε να λύσουμε αυτό το ζήτημα και να βελτιώσουμε περαιτέρω το χρόνο.

C. Mixed version

Η παρούσα υλοποίηση εναλλάσει μεταξύ παράλληλων και σειριακών αναδρομικών κλήσεων για να επιτευχθούν βέλτιστες επιδόσεις. Η παράλληλη υλοποίηση έχει καλύτερες επιδόσεις από την σειριακή μόνο για επαρκώς μεγάλο αριθμό σημείων. Καλούμε αναδρομικά τις συναρτήσεις δημιουργίας δέντρου χωρίζοντας το πρόβλημα σε όλο και μικρότερα κομμάτια. Συνεπώς, ακόμη και αν το πρόβλημα είναι αρχικά επαρκώς μεγάλο για να επωφεληθεί από την παράλληλοποίηση, μετά από έναν αριθμό αναδρομικών κλήσεων, είναι προτιμότερη η σειριακή εκτέλεση του κώδικα. Πάνω σε αυτό βασίζεται η συγκεκριμένη υλοποίηση. Με την χρήση ενός ελέγχου που συγκρίνει το μέγεθος του προβλήματος με ένα κατωφλί που προέκυψε από `benchmarks`, επιλέγεται αν η εκάστοτε αναδρομική κλήση θα εκτελεστεί παράλληλα ή σειριακά, ώστε να έχουμε καλύτερες επιδόσεις.

Επιπλέον, σε αυτή την υλοποίηση περιορίζεται και ο μέγιστος αριθμός ενεργών `thread` που δημιουργούνται καθώς ο ανεξέλεγκτος αριθμός ενεργών `thread` μπορεί να δημιουργήσει σοβαρή καθυστέρηση στο σύστημα ή και σφάλμα εκτέλεσης αν ξεπεραστεί το όριο `threads` που μπορεί να διαχειριστεί το σύστημα. Ο περιορισμός γίνεται θέτοντας άνω όριο στα παράλληλα επίπεδα που μπορεί να δημιουργηθούν αναδρομικά, συγκεκριμένα αξιοποιώντας τη μεταβλητή `"omp_set_max_active_levels"`.

Για να εντοπιστούν τα όρια εναλλαγής από παράλληλο σε σειριακό εξετάζουμε τα `plots` με αυξανόμενο αριθμό σημείων, διάσταση σημείων και γινόμενο αυτού και βλέπουμε πότε το σειριακό υπερτερεί. Για τον ανώτερο αριθμό ενεργών `thread` δοκιμάζουμε διάφορες τιμές παρακάτω στο εδάφιο των αποτελεσμάτων και εξετάζουμε την επιρροή του ορίου σε ποικιλία από `dataset`.

Να σημειωθεί ότι πλέον με τους περιορισμούς μπορούμε χωρίς πρόβλημα να επιτρέψουμε την συνεχή δημιουργία νέων `thread` σε κάθε αναδρομική κλήση αφού πλέον είμαστε σίγουροι ότι το σύστημα δεν θα καταρρεύσει.

D. Hybrid MPI version

Σαν τελευταίο υποερώτημα όσον αφορά τη δημιουργία των `vantage-point trees` μας ζητείται να διευρύνουμε την υλοποίησή μας σε περισσότερες `CPU` με χρήση `Message Passing Interface (MPI)` ή `GPU`. Αν και μελετήσαμε πιθανές υλοποιήσεις και με τους δύο τρόπους, μας φάνηκε πιο πιθανό να έχουμε σημαντική βελτίωση χρόνου με `MPI`. Κι αυτό γιατί η υλοποίηση δημιουργίας του `VP` δέντρου είναι αναδρομική και αναδρομικές κλήσεις είναι αρκετά περιορισμένες και δεν ενδείκνυται για `Nvidia GPUs`, μιας και το μέγεθος της `stack` μνήμης είναι περιορισμένο ανά `thread`. Επιπλέον, σκοπός μας ήταν να υλοποιήσουμε την εφαρμογή ώστε να τρέχει σε ένα εύρος συστημάτων αν θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε

τη `GPU` θα τη χρησιμοποιούμε μόνο για τον υπολογισμό των αποστάσεων, που γίνεται επαναληπτικά.

Μια άλλη εκδοχή αν θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε `GPU` θα ήταν να κάνουμε τον αλγόριθμο επαναληπτικό. Αυτό βέβαια έχει άλλα μειονεκτήματα, όπως ότι θα έπρεπε να εμείς να υλοποιήσουμε ένα είδος `stack` που να αποθηκεύει τα `node` όσο διατρέχουμε το δέντρο. Σε τέτοια υλοποίηση ο αριθμός των αποτυχημένων αναζητήσεων στη `cache` των `kernels` θα ήταν μεγάλος και ουσιαστικά θα αξιοποιούνταν αποκλειστικά η `global` μνήμη που έχει σημαντικά μεγαλύτερο `delay`.

Από την άλλη, η `MPI` υλοποίηση μας επιτρέπει να αξιοποιήσουμε και άλλες παράλληλες μεθόδους όπως `OpenMP` και να λάβουμε τα πλεονεκτήματα μιας παράλληλης και διανεμημένης εφαρμογής. Η υλοποίηση που σκεφτήκαμε είναι να ξεκινούν δύο `processes` και στον πρώτο διαχωρισμό των σημείων από τον `leader` οι δεξιά δείκτες να μεταφέρονται στο δεύτερο `process`. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η `mixed` υλοποίηση `OpenMP` με εναλλαγή σε σειριακό όπου χρειάζεται. Στο τέλος ενώνονται στο `leader` αριστερό και δεξί υποδέντρο. Η λογική του διαχωρισμού σε διαεργασίες μπορεί να επεκταθεί και σε περισσότερες, αλλά λόγω του περιορισμένου χρόνου θα αρκестούμε στις δύο διεργασίες.

Η μεταφορές μνήμης μεταξύ των διεργασιών ουσιαστικά είναι στην αρχή οι δείκτες, δηλαδή ένα αριθμός απλών `int32`. Ενώ στο τέλος μεταφέρεται το δέντρο σε `preorder` μορφή. Αυτό είναι λίγο δαπανηρό μιας και μεταφέρονται και τα `threshold` και οι δείκτες του κάθε κόμβου, άρα ουσιαστικά μια σειρά από `int32` και μια από `float32`. Εδώ κοστολογείται και ο μετασχηματισμός από δέντρο σε `preorder` και από `preorder` σε δέντρο.

E. KNN search

Η εκκίνηση της εργασίας ζητάει και την υλοποίηση του `KNN` αλγόριθμου. Συγκεκριμένα, έχοντας σαν είσοδο το `VP-tree` θα πρέπει να βρίσκουμε τους `k` κοντινότερους γείτονες. Μία γενική μορφή της υλοποίησης που επιλέξαμε μπορείτε να δείτε στο 2.

Algorithm 2 KNN algorithm

Input: VP-tree node, d-D point, int K, threshold τ , Queue q

```

1: if node == NULL then
2:   return
3: dist = calculate_distance(node.point, point)
  //if it is closer than  $\tau$  add the current node in queue
4: if dist <  $\tau$  then
5:   if q.size() == k then
6:     q.pop()
7:     q.push(point, dist)
8:   if q.size() == k then
9:      $\tau = q.top().dist$ 
10: if node.left == NULL and node.right == NULL then
11:   return
  //recursive call of knn search
12: if dist < node.threshold then
13:   if dist -  $\tau \leq node.threshold$  then
14:     knn_search(node.left, point, K,  $\tau$ , q)
15:   if dist +  $\tau \geq node.threshold$  then
16:     knn_search(node.right, point, K,  $\tau$ , q)
17: else
18:   if dist +  $\tau \geq node.threshold$  then
19:     knn_search(node.right, point, K,  $\tau$ , q)
20:   if dist -  $\tau \leq node.threshold$  then
21:     knn_search(node.left, point, K,  $\tau$ , q)

```

Στα περισσότερα ερευνητικά έργα όπως [8] δίνεται έμφαση στην αναζήτηση vr-tree μόνο του πρώτου γείτονα. Για να καταστεί δυνατό να βρεθούν παραπάνω από ένας γείτονες θεωρήθηκε απαραίτητη η υλοποίηση και η χρήση μιας ουράς προτεραιότητας, όπου σημεία με μεγαλύτερη απόσταση βγαίνουν από την ουρά σε περίπτωση που γεμίσει. Η υλοποίησή της έγινε με συνδεδεμένες λίστες και πολύτιμη βοήθεια στην υλοποίηση τους υπήρξε το [9].

Όσο αναφορά τον αλγόριθμο, αξιοποιήσαμε τον αλγόριθμο που παρέχεται στο [8] και το διευρύνουμε για περισσότερους γείτονες. Παρόλα αυτά δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε να γίνονται ακριβώς οι απαραίτητες αναδρομικές κλήσεις και να πάρουμε τον ελάχιστο εκτελέσιμο χρόνο (κυρίως στη γραμμή 12 του αλγορίθμου). Το όριο τ αρχικοποιείται σε μια πολύ μεγάλη τιμή προκειμένου το εύρος αναζήτησης να είναι μεγάλο και σταδιακά αυτό μικραίνει.

Στην εκφώνηση δεν ζητούνταν κάποια παραλληλοποίηση αυτού του αλγορίθμου. Παρόλα αυτά καθώς καλούμασταν να βρούμε τους γείτονες από όλα τα σημεία και ουσιαστικά τρέχει ο παραπάνω αλγόριθμος για κάθε σημείο, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε OpenMP με dynamic scheduler που αν και έχει μεγαλύτερο overhead από την στατική εκδοχή καθώς ο διαμοιρασμός γίνεται κατά τον εκτελέσιμο χρόνο, ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ανομοιομορφία μεταξύ των εργασιών. Ουσιαστικά κάθε thread αναλαμβάνει μια εργασία και όταν τελειώσει ζητάει την επόμενη, επομένως κανένα thread δεν περμιέει άσκοπα. Η παραλληλοποίηση αυτή ήταν προαιρετική, αλλά αναγκαία, καθώς για μεγάλα dataset ήταν μια δαπανηρή διαδικασία.

F. Code and Validation

Η υλοποίηση έγινε σε C. Σαν building tool προτιμήθηκε το CMake, αντί για το χαμηλότερου επιπέδου Makefile, καθώς είναι cross-platform. Για την επαλήθευση ορθότητας, όσον αφορά τη δημιουργία των δέντρων, δημιουργήθηκε ο κώδικας πρώτα σε python και εξετάστηκε αν παράγει παρόμοια αποτελέσματα με αυτόν σε Matlab που μας δόθηκε. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε σε C η σειριακή μορφή και έγινε έλεγχος για διάφορα dataset αν παράγει ίδια αποτελέσματα με την Python υλοποίηση. Για γρηγορότερο έλεγχο, αποθηκεύεται και εξετάζονται μόνο η προδιατεταγμένη μορφή των δέντρων, καθώς εφόσον αποθηκεύεται και η κενή θέση αποτελεί μια 1-1 απεικόνιση του δέντρου.

Εφόσον επιβεβαιώθηκε η ορθότητα του σειριακού κώδικα για διάφορο αριθμό σημείων, δημιουργήθηκαν οι παράλληλοι κώδικες και εξετάζεται αν παράγουν σε κάθε δοκιμή ίδιο αποτέλεσμα με το σειριακό.

Επιπλέον, για την επιβεβαίωση των βασικών συναρτήσεων χρησιμοποιήθηκαν και unit tests με το repo της Google [7]. Η ανάπτυξη των βασικών συναρτήσεων ακολούθησε τη δημιουργία των test αυτών (Test driven development) και η τεχνική που αξιοποιήθηκε είναι black box.

G. Dataset

Χρησιμοποιήσαμε πληθώρα δεδομένων με διαφορετικό αριθμό σημείων, αριθμό διάστασης και κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός σημείων κυμαίνεται από 10 έως και 60000, ο αριθμός διάστασης από 10 έως 40000 και οι κατανομές που χρησιμοποιήθηκαν είναι ομοιόμορφη, εκθετική, κανονική και πολυδιάστατα σημεία παραγόμενα από το dataset mnist.

Ορισμένα δείγματα για testing μπορούν να κατέβουν από συνδέσμους που παρέχονται στο README.md του φακέλου data. Βέβαια εκεί βρίσκονται σχετικά μικρά datasets, καθώς για μεγαλύτερα είναι πιο αποτελεσματικό να δημιουργούνται τοπικά με τα scripts που παρέχουμε στον αντίστοιχο φάκελο.

III. Results

Όλα τα αποτελέσματα πάρθηκαν από τη συστοιχία του ΑΠΘ, προκειμένου να συγκριθούν πάνω σε κοινή βάση με τις εργασίες των υπόλοιπων συμμετεχόντων. Σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν 18 cores και στην MPI υλοποίηση μόνο 2 nodes των 18 cores το καθένα.

Για κάθε πείραμα, εκτός από ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων, επαναλαμβάνουμε το testing για κάθε dataset ξεχωριστά και παίρνουμε μία μέση μέτρηση. Αυτό σε συνδυασμό με ορισμένες δοκιμαστικές εκτελέσεις πριν την βασική χρονομέτρηση, γίνεται για να έχουμε μια αντικειμενική εικόνα του εκτελέσιμου χρόνου και να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματά μας από προσωρινά φαινόμενα όπως cold cache.

Για τα αποτελέσματα θα ξεκινήσουμε με την σύγκριση του σειριακού με του απλού παράλληλου. Αρχικά για να εξετάσουμε την επίδραση της κατανομής θα χρησιμοποιήσουμε τρεις κατανομές, ομοιόμορφη, κανονική και εκθετική. Επίσης θα εξετάσουμε τη επιρροή του αριθμού των σημείων και της διάστασης των σημείων στον εκτελέσιμο χρόνο.

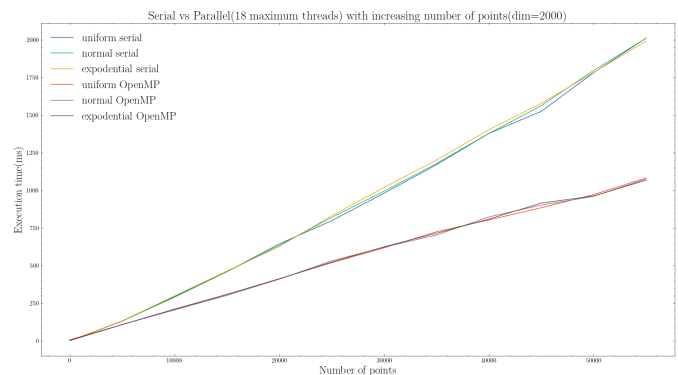


Figure 1. Comparison of serial and simple parallel in different distributions and increasing number of points

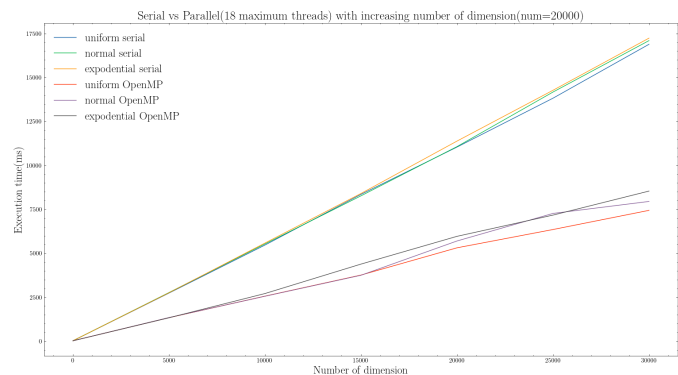


Figure 2. Comparison of serial and simple parallel in different distributions and increasing dimension of points

Όπως βλέπουμε στα σχήματα 1 και 2 υπάρχει σαφής επικράτηση του παράλληλου έναντι του σειριακού για αυξανόμενο αριθμό σημείων. Επίσης, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η κατανομή των σημείων δεν έχει άμεση επιρροή στον χρόνο εκτέλεσης, αν και για το παράλληλο βλέπουμε μια μείωση χρόνου στην ομοιόμορφη κατανομή. Τέλος, αν συγκρίνουμε την κλήση των δύο αυξήσεων συμπεραίνουμε ότι η διάσταση των σημείων έχει μεγαλύτερη επιρροή από την αύξηση των σημείων.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε την δεύτερη παράλληλη υλοποίηση που στην ουσία εναλλάσσουμε σειριακές και παράλληλες αναδρομές με βάση τα σημεία και περιορίζουμε τον μέγιστο αριθμό των ενεργών threads. Για να βρούμε το βέλτιστο σημείο εναλλαγής χρησιμοποιούμε το γινόμενο αριθμού σημείων και διάστασης, αφού και τα δύο το επηρεάζουν, όπως είδαμε προηγουμένως. Παρατηρούμε στο 3 ότι το σημείο βρίσκεται κοντά στο γινόμενο με αριθμο 140000 επομένως ορίζουμε αυτό ως σημείο εναλλαγής.

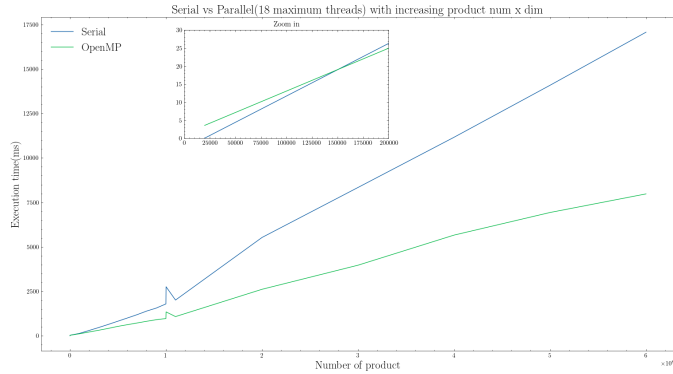


Figure 3. Parallel implementation with increasing product of number and dimension of points

Για περιορισμό των ενεργών threads δοκιμάζουμε ένα μεγάλο εύρος τιμών των παράλληλων επιπέδων που θέτουμε και βλέπουμε την επίδραση που έχει σε τρία dataset διαφορετικών διαστάσεων. Στο 4 παρατηρούμε ότι όλα τα dataset έχουν βέλτιστη τιμή το 4 οπότε προχωράμε με αυτή τη τιμή. Πιθανότατα, για αρκετά μεγαλύτερο αριθμό σημείων ή σύστημα με περισσότερους πραγματικούς πυρήνες τα παράλληλα επίπεδα θα είχαν ελάχιστο σε μεγαλύτερη τιμή.

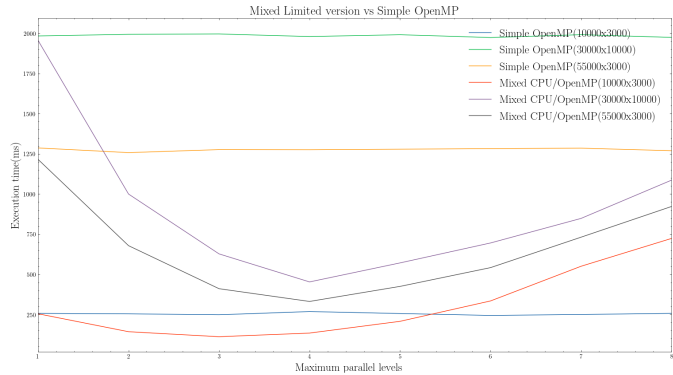


Figure 4. Tuning the maximum number of parallel levels

Στο 1 βλέπουμε μια εικόνα της συνολικής σύγκρισης των διαφόρων μεθόδων. Σε πολύ μικρά dataset δεν ωφελεί καθόλου η παραλληλοποίηση, ενώ βλέπουμε ότι η περιορισμένη εκδοχή του OpenMP που εναλλάσσει σε σειριακή για μικρό αριθμό σημείων είναι αρκετά πιο αποδοτική από την απλή. Σε γενικές γραμμές όμως η τρίτη υλοποίηση με τη χρήση ενός επιπλέον CPU και τη χρήση του MPI είναι λίγο καλύτερη από την περιορισμένη OpenMP σε μέτριου μεγέθους dataset. Σε μεγάλα dataset, η τρίτη υλοποίηση έχει σημαντικά μεγαλύτερη επιτάχυνση από τις άλλες.

Τέλος, εξετάζουμε την αναζήτηση knn σε διάφορα dataset στο 5. Εδώ, για εκπαιδευτικούς σκοπούς, γίνεται σύγκριση με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιεί το sklearn της python για την

Table I
BEST AVERAGE EXECUTION TIMES(MS) COMPARISONS ON DIFFERENT DATASETS
ALONGSIDE WITH THE BEST SPEEDUP

Dataset	Sequential	Simple OpenMP	Limited OpenMP	Hybrid MPI	SpeedUp
800x500	7.513	8.1114	13.74	25.47	1
10000x2000	318.792	213.8572	142.5	143.9814	2.24
30000x5000	2040.361	1226.187	299.9248	260.965	7.82
20000x20000	4991.596	2635.13	591.3892	401.258	12.44
50000x20000	14062.98	7387.35	1437.052	871.81	16.13

αναζήτηση των γειτόνων όπως και της C υλοποίησης με και χωρίς χρήση OpenMP. Συγκεκριμένα αναζητούνται max 256 γείτονες για κάθε σημείο ξεχωριστά όπως αναφέρεται και στην εκφώνηση σε δεδομένα με διαφορετικό αριθμό σημείων.

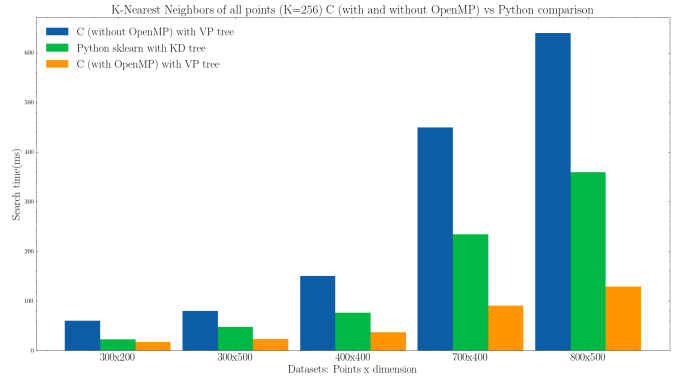


Figure 5. C's implementation of KNN with and without OpenMP and sklearn's in Python

Μπορούμε να πούμε ότι και η αναζήτηση σε KD tree που χρησιμοποιεί η python είναι αποτελεσματική, και ενδέχεται να χρησιμοποιούνται παράλληλες υπορουτίνες εσωτερικά. Όμως η αναζήτηση σε C είναι αρκετά γρηγορότερη με χρήση απλής OpenMP ρουτίνας με δυναμικό προγραμματιστή.

IV. Conclusion

Κλείνοντας θα λέγαμε ότι τα vantage-point δέντρα αποτελούν μια ιδιαίτερα χρήσιμη δομή για την αναζήτηση κοντινών γειτόνων. Σε μεγάλα σύνολα σημείων με πολλές διαστάσεις, η δημιουργία τέτοιων δέντρων μπορεί να αποτελέσει μια αρκετά δαπανηρή διαδικασία και η παραλληλοποίηση της κρίνεται αναγκαία. Έγινε αρκετά ευδιάκριτο ότι άκριτη παραλληλοποίηση δεν ωφελεί και για μικρό αριθμό σημείων η σειριακή υλοποίηση υπερτερεί. Ένω για πολύ μεγάλα dataset μια μονάχα CPU ίσως δεν είναι αρκετή να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα και κρίνεται αναγκαίο να διαμοιράσουμε την εργασία σε περισσότερους υπολογιστικούς πόρους.

Acknowledgment

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται έχουν παραχθεί αξιοποιώντας την Υπολογιστική Συστοιχία και τις παρεχόμενες υπηρεσίες υποστήριξης του Κέντρου Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης του Α.Π.Θ..

References

- [1] P. Balister and B. Bollob as Percolation in the k-nearest neighbor graph
- [2] Wei Dong, Moses Charika, Kai Li, K-Nearest Neighbor Graph Construction for Generic Similarity Measures, Department of Computer Science, Princeton University
- [3] Dang, Yan Zhang, Yulei Zhang, Dongmo Zhao, Liping. (2005). A KNN-Based Learning Method for Biology Species Categorization. Lecture Notes in Computer Science. 3610. 956-964. 10.1007/11539087_127.

- [4] Parry, R., Jones, W., Stokes, T. et al. k-Nearest neighbor models for microarray gene expression analysis and clinical outcome prediction. *Pharmacogenomics J* 10, 292–309 (2010). <https://doi.org/10.1038/tpj.2010.56>
- [5] Guo, Gongde Wang, Hui Bell, David Bi, Yaxin. (2004). KNN Model-Based Approach in Classification.
- [6] K. Taunk, S. De, S. Verma and A. Swetapadma, "A Brief Review of Nearest Neighbor Algorithm for Learning and Classification," 2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS), 2019, pp. 1255-1260, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065747.
- [7] Google tests: <https://github.com/google/googletest>
- [8] Peter N Yianilos, Data structures and algorithms for nearest neighbor search in general metric spaces, In Fourth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, volume 93, pages 311–321, 1993.
- [9] Priority Queue using Linked List: <https://www.geeksforgeeks.org/priority-queue-using-linked-list/>