Ενσωματωμένα Συστήματα Πραγματικού Χρόνου Εργασία 1

Ονοματεπώνυμο : Μιχάλης Καρατζάς AEM : 9137 email: mikalaki@ece.auth.gr

github για το project: https://github.com/mikalaki/producer-consumer-multithreading

1. Σύντομη περιγραφή των ζητουμένων και της υλοποίησης

Σε αυτή την εργασία , καλούμαστε να τροποποιήσουμε το δοθέν παράδειγμα prod-cons.c (στο repo : *prod-cons_default.c*) , το οποίο αποτελεί μια λύση με threads για το γνωστό πρόβλημα *producer- consumer* . Ζητούμενο είναι το νέο πρόγραμμά μας να λειτουργεί με ***p*** *νήματα producers* και ***q*** *νήματα consumers* ,με τους πρώτους να προσθέτουν στην FIFO ουρά αντικείμενα τύπου *workFunction* και τους δεύτερους να λαμβάνουν τα αντικείμενα αυτά και να τα εκτελούν. Στόχος είναι ή εύρεση του αριθμού των νημάτων consumer (q), για τον οποίο ελαχιστοποιείται ο μέσος χρόνος αναμονής των αντικειμένων workFunction μέσα στην FIFO ουρά.

Ο κώδικας του τροποποιημένου προγράμματος ,βρίσκεται στο repo στο αρχείο prod-cons_multithreading.c . Σε αυτό , έχει υλοποιηθεί όλη η λειτουργικότητα που αναφέρεται στην παραπάνω παράγραφο ενώ σέβεται σε μεγάλο βαθμό το δοθέν πρόγραμμα . Αξίζει να σημειωθεί, ότι υπάρχουν 5 συναρτήσεις και 10 ορίσματα (προκαθορισμένα) και κάθε φορά ένας producer προσθέτει έναν τυχαίο συνδυασμό από μια συνάρτηση και ένα όρισμα στην ουρά. Επίσης η εκτέλεση των συναρτήσεων των WorkFunction από τους consumers , γίνεται εκτός των mutexes , προκειμένου να έχουμε παράλληλη εκτέλεση των συναρτήσεων αυτών. Επίσης η συνάρτηση queueDel() του δοθέντος προγράμματος , έχει μετονομαστεί σε queueExec() , ώστε να περιγράφεται καλύτερα η λειτουργία της. Για τον υπολογισμό των χρόνων αναμονής , χρησιμοποιείται επικουρικά ένας πίνακας τύπου struct timeval , μήκους ίσου της ουράς (QUEUESIZE) , προκείμενου μόλις προστεθεί ένα αντικείμενο σε μία θέση της FIFO ουράς , να προστίθεται σε αυτόν στη αντίστοιχη θέση η χρονική στιγμή του συστήματος (αρχή χρόνου αναμονής)(επίσης χρησιμοποιήθηκε και struct timespec μαζί με την clock_gettime(),για ακρίβεια σε μικρούς χρόνους). Ο χρόνος αναμονής λαμβάνεται ως το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της στιγμής ανάθεσης μιας WorkFunction στην ουρά από ένα παραγωγό και της στιγμής που αυτή παραλαμβάνεται από έναν καταναλωτή (ουσιαστικά πριν την εκτέλεση της) . Οι συναρτήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται στις workFunctions , ορίζονται στο αρχείο myFuctions.h . Για τον τερματισμό του προγράμματος , χρησιμοποιείται η μεταβλητή *terminationStatus* , η οποία , αυξάνεται κατά 1 μόλις ένας producer ολοκληρώσει την συνολική του ανάθεση (τοποθετήσει συνολικά στην ουρά LOOP σε πλήθος στοιχεία) , μόλις αυτή η μεταβλητή λάβει τιμή ίση με τον αριθμό των producers και αφού αδειάσει η ουρά από στοιχεία , σηματοδοτείται το τέλος της διαδικασίας των producers-consumers και οι δεύτεροι επιστρέφουν στην main(). Η ορθότητα του προγράμματος , επαληθεύεται εκτυπώνοντας κατά την λήξη του, τον συνολικό αριθμό των συναρτήσεων οι οποίες εκτελέστηκαν , ο οποίος αποθηκεύεται στην μεταβλητή functionsCounter. Η τιμής της μεταβλητής αυτής αυξάνεται μόλις ένας consumer αναλάβει μια συνάρτηση για εκτέλεση, όταν στο τέλος του προγράμματος, είναι ίση με **p*LOOP,** αντιλαμβανόμαστε ότι στο πρόγραμμα μας εκτελούνται επιτυχώς όλες οι συναρτήσεις που πρέπει να εκτελεστούν.

2. Μετρήσεις και Συμπεράσματα

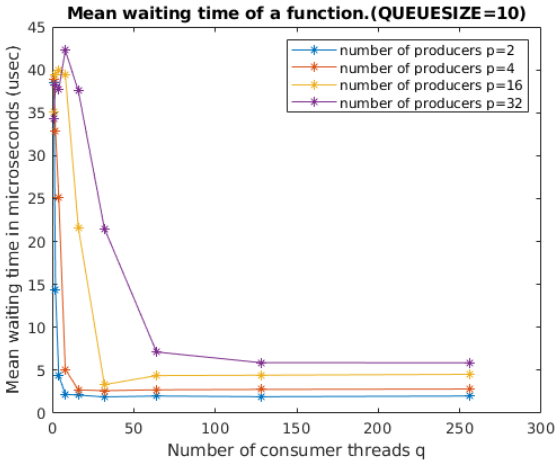
Οι μετρήσεις λήφθηκαν σε λάπτοπ με επεξεργαστή i5-9300H (4 CPUS , 8 Threads) και λειτουργικό Ubuntu 18.10. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το αρχείο (script) bench.sh , το οποίο εκτελώντας το , κάνει compile το πρόγραμμα μας και το εκτελεί για ένα σύνολο από **p** και **q** που ορίζονται μέσα σε αυτό. Ταυτόχρονα το αρχικό μας πρόγραμμα φροντίζει να κρατά στατιστικά δεδομένα σε αρχεία, καθώς και όλους του χρόνους αναμονής των workFunction σε csv , οι οποίο έπειτα θα επεξεργαστούν από το αρχείο statistics.m , για λήψη χρήσιμων στατιστικών. Παρακάτω παρατίθενται πίνακες και γραφήματα μετρήσεων για διάφορους συνδυασμούς των **p** και **q** , LOOP=10000 και για QUEUESIZE =10 και 1000 , οι χρόνοι είναι σε μsec (usec). Οδηγίες για την εκτέλεση του προγράμματος υπάρχουν στο reamdme.md.

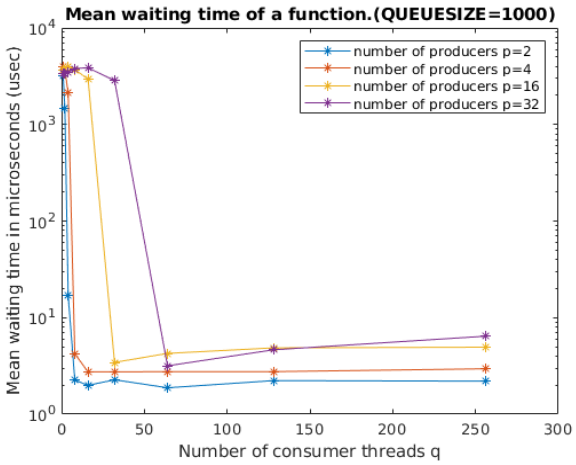
Πίνακας μετρήσεων μέσου χρόνου αναμονής για QUESIZE=10 , ο χρόνος δίνεται σε microseconds (usec):

p \ q	q=1	q=2	q=4	q=8	q=16	q=32	q=64	q=128	Q=256
p=1	7.907	6.35	2.498	1.973	1.799	1.943	1.771	1.848	1.983
p=2	38.515	14.399	4.401	2.206	2.107	1.899	2	1.92	1.999
p=4	38.902	32.924	25.158	5.104	2.715	2.621	2.723	2.768	2.816
p=8	36.647	39.232	41.225	30.68	5.897	3.688	3.715	3.647	3.643
p=16	35.066	39.449	40.005	39.42	21.619	3.326	4.382	4.426	4.526
p=32	34.347	38.305	37.723	42.26	37.552	21.514	7.128	5.886	5.872
p=64	33.96	32.923	36.79	41.615	37.223	26.883	21.195	13.339	13.585

Πίνακας μετρήσεων μέσου χρόνου αναμονής για QUESIZE=1000 , ο χρόνος δίνεται σε microseconds (usec):

p \ q	q=1	q=2	q=4	q=8	q=16	q=32	q=64	q=128	Q=256
p=1	107.228	682.416	4.572	2.115	1.959	1.93	1.903	1.988	2.034
p=2	3230.505	1464.026	16.89	2.253	1.989	2.272	1.877	2.226	2.198
p=4	3997.201	3654.78	2120.548	4.224	2.741	2.748	2.754	2.758	2.952
p=8	3909.871	4726.561	4603.474	3086.12	3.148	3.254	3.6	3.829	3.659
p=16	3604.914	3677.429	4003.022	3688.1	2958.501	3.439	4.262	4.861	4.941
p=32	3374.09	3394.415	3493.08	3803.286	3858.888	2856.644	3.17	4.641	6.421
p=64	3349.608	3373.243	3679.007	4137.892	3930.922	3526.686	1846.586	3.548	7.643





Συμπεράσματα:

Από τις παραπάνω μετρήσεις , βλέπουμε ότι κατά κανόνα καθώς αυξάνεται ο *αριθμός των consumers* ***q*** για σταθερό *αριθμό producers* ***p*** , ο μέσος χρόνος αναμονής μειώνεται έως ότου λάβει μια πολύ μικρή τιμή και έπειτα καθώς αυξάνουμε επιπλέον το **q** , βλέπουμε μικρές αυξομοιώσεις(πρακτικά ο μέσος χρόνος αναμονής παραμένει σταθερός) , κάτι το οποίο είναι εμφανές και στα παραπάνω διαγράμματα. Οπότε για συγκεκριμένο αριθμό παραγωγών **p** , έχουμε ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου αναμονής για συγκεκριμένο αριθμό καταναλωτών **q**(με πράσινο στους πίνακες) και η επιπλέον αύξηση του αριθμού των καταναλωτών μετά από αυτό το σημείο δεν μας δίνει πρακτικά κάποιο όφελος.

Η σταθεροποίηση αυτή σε μια πολύ μικρή τιμή , σημαίνει ότι πλέον οι producers πρακτικά δεν προλαβαίνουν να προσθέτουν νέα αντικείμενα και να γεμίζουν την ουρά καθώς τα παραλαμβάνουν και τα εκτελούν σχεδόν άμεσα οι consumers. Αντίθετα αριστερότερα στα γραφήματα (για μικρότερες τιμές του **q**) , όπου ακόμα έχουμε σημαντικές τιμές για τον μέσο χρόνο αναμονής (π.χ. p=8 και q=1), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κατά κάποιο τρόπο οι producers "υπερισχύουν" των consumers και γεμίζουν την ουρά με αντικείμενα. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε και από το γεγονός ότι η αύξηση του μεγέθους της ουράς 100 φορές (10 -> 1000) , αύξησε τον μέσο χρόνο αναμονής στα αριστερά του οριζόντιου άξονα (π.χ. p=4 και q=2) επίσης κατά 100 φορές περίπου,που σημαίνει ότι πλήθος αντικειμένων τοποθετήθηκαν στη ουρά (ενδεχομένως να γέμισε κιόλας), ενώ οι τιμές στις οποίες οι μέσοι χρόνοι αναμονής σταθεροποιούνται (για μεγαλύτερα **q**, π.χ. p=2 και q=8) , δεν άλλαξαν πρακτικά. Αυτό μας δείχνει ότι όταν οι producers προσθέτουν αντικείμενα με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι καταναλώνουν οι consumers , έχει νόημα η χρήση μιας μεγαλύτερης ουράς, καθώς οι θέσεις της θα γεμίζουν με νέα αντικείμενα , διαφορετικά μια μεγαλύτερη ουρά θα ήταν σπατάλη.

Βέβαια τα συμπεράσματα αυτά, αφορούν πειράματα που έγιναν με τις συναρτήσεις που ορίζονται στο αρχείο myFunctions.h , οι οποίες έχουν αρκετά χαμηλό υπολογιστικό φορτίο. Για συναρτήσεις που θα αξιοποιούσαν τους πόρους του συστήματος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα θα είχαμε σε γενικές γραμμές μεγαλύτερους χρόνους αναμονής , ενώ η σταθεροποίηση τους θα συνέβαινε δεξιότερα(για μεγαλύτερο **q**) .

Η χρήση μεγάλου αριθμού επαναλήψεων σε κάθε producer (LOOP=10000), εξασφαλίζει ασφάλεια στην εξαγωγή συμπερασμάτων . Αυτό επαληθεύεται συγκρίνοντας τον ολικό μέσο χρόνο αναμονής με το μέσο χρόνο αναμονής για τα 3/4 των δεδομένων, και βρίσκοντας παραπλήσιες τιμές. *Ο μέσος χρόνος αναμονής για τα 3/4 των δεδομένων καθώς και αλλά στατιστικά σχετικά με τον χρόνο αναμονής, περιγράφονται και αναλύονται στο αρχείο **statistics.pdf (λινκ στο αρχείο)**.*