Διάλεξη 13η: Δυναμική Διαχείριση Μνήμης

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εισαγωγή στην Επιστήμη Υπολογιστών

Δυναμική Διαχείριση Μνήμης

- Μέχρι τώρα βλέπουμε στατική ανάθεση και δέσμευση μνήμης
  - Ζητούσαμε τη μέγιστη μνήμη που μπορεί να χρειαζόταν το πρόγραμμα

```
#define MAX_SIZE 10000
int array[MAX_SIZE];
```

  - Μειονέκτημα: Υπάρχουν εφαρμογές όπου το `MAX_SIZE` είναι άγνωστο
    - Αναγκαζόμαστε να δηλώνουμε μεγάλες τιμές και να χάνουμε σε μνήμη και σε ταχύτητα
- Δυναμική δέσμευση μνήμης (dynamic memory allocation)
  - Αίτηση στο λειτουργικό σύστημα να παραχωρήσει μνήμη στο πρόγραμμα
  - Ειδοποίηση στο λειτουργικό ότι δεν χρειαζόμαστε πια ένα μέρος μνήμης
    - Ό,τι δεσμεύεται πρέπει να αποδεσμεύεται

Κατηγορίες Μνήμης του Προγράμματος

- Μνήμη όπου αποθηκεύεται ο κώδικας του προγράμματος
- Μνήμη όπου αποθηκεύονται οι μεταβλητές που δεσμεύονται με στατική (καθολικές) ή αυτόματη (τοπικές) διαχείριση μνήμης
  - Αυτή η μνήμη ονομάζεται *στοίβα* (stack)
- Μνήμη όπου αποθκεύονται οι μεταβλητές που δεσμεύονται με δυναμική διαχείριση μνήμης
  - Αυτή η μνήμη ονομάζεται *σωρός* (heap)

Συναρτήσεις Δυναμικής Διαχείρισης Μνήμης

- Βρίσκονται στη βιβλιοθήκη `stdlib.h`

Συναρτήσεις διαχείρισης μνήμης

```
void *malloc(size_t num_bytes);
void *calloc(size_t num_elements, size_t elt_size);
void *realloc(void *ptr, size_t size);
void free(void *ptr);
```

Η συνάρτηση malloc

- Η συνάρτηση δέσμευσης malloc

```
void *malloc(size_t num_bytes);
```

  - Δεσμεύει num_bytes αριθμό από διαδοχικά bytes και επιστρέφει ένα δείκτη στην αρχή της δεσμευμένης θέση μνήμης
  - Επιστρέφει NULL αν δεν μπορεί να δεσμεύσει άλλη μνήμη

```
int *x, *y;
x = (int *) malloc(sizeof(int));
y = (int *) malloc(100 * sizeof(int));
```

Η συνάρτηση calloc

- Η συνάρτηση δέσμευσης `calloc`

```
void *calloc(size_t num_elements, size_t elt_size);
```

  - Δεσμεύει `num_elements` αριθμό από διαδοχικά αντικείμενα το καθένα μεγέθους `elt_size` και επιστρέφει ένα δείκτη στην αρχή της δεσμευμένης μνήμης
  - Επιστρέφει NULL αν δεν μπορεί να δεσμεύσει άλλη μνήμη
  - Αρχικοποιεί τα περιεχόμενα της δεσμευμένης μνήμης στο 0
  - Παρόμοια με την malloc
    - Διαφορετική κλήση, παίρνει αριθμό στοιχείων και το μέγεθος ενός στοιχείου
    - Αρχικοποιεί τα περιεχόμενα με 0

```
int *x, *y;
x = (int *) calloc(1, sizeof(int));
y = (int *) calloc(100, sizeof(int));
```

Η συνάρτηση realloc

- Η συνάρτηση δέσμευσης `realloc`

```
void *realloc(void *ptr, size_t size);
```

  - Επεκτείνει τη δεσμευμένη μνήμη
  - Ο δείκτης `ptr` πρέπει να δείχνει σε μνήμη ήδη δεσμευμένη με την `malloc` ή `calloc`

```
ptr = (int *) malloc (100 * sizeof(int));
ptr = (int *) realloc(ptr, 200 * sizeof(int));
```

  - Τα προηγούμενα περιεχόμενα της δεσμευμένης μνήμης διατηρούνται (τουλάχιστον όσα χωρούν στη νέα)
  - Η νέα μνήμη μπορεί να είναι σε άλλη διεύθυνση αν δεν υπήρχε αρκετός συνεχόμενος χώρος σε ελεύθερη μνήμη στο τέλος της υπάρχουσας
    - Σε αυτή την περίπτωση γίνεται μεταφορά των δεδομένων και αποδεσμεύεται η μνήμη `ptr` σαν να γίνεται `free(ptr)`

Η συνάρτηση free

- Η συνάρτηση αποδέσμευσης free
  - Αποδεσμεύει τη μνήμη που έχει δεσμευτεί με μία από τις προηγούμενες κλήσεις στην malloc, calloc ή realloc
  - Προσοχή: Δεν μπορούμε να αποδεσμεύσουμε πάνω από μια φορά την ίδια μνήμη

```
ptr = (int *) malloc (100 * sizeof(int));
free(ptr); // OK
free(ptr); // error!
```

Ο τύπος `void *`

- Γενικός τύπος δείκτη σε μια διεύθυνση μνήμης
  - Ο τύπος του δείκτη δεν έχει πληροφορία για το τί βρίσκεται σε αυτή τη διεύθυνση
  - Σημαίνει “δείκτης που δείχνει σε δεδομένα που δεν χρειάζεται να ξέρουμε τι είναι”
- Ο γενικός δείκτης επιτρέπει συναρτήσεις που επιστρέφουν χώρο στη μνήμη χωρίς να προσδιορίζουν τον τύπο των δεδομένων που θα αποθηκευτούν, π.χ., `malloc`
- Προσοχή: είναι τελείως διαφορετικό από το `void`
  - `void f()` – η συνάρτηση *δεν* επιστρέφει τίποτα
  - `void *f()` – η συνάρτηση επιστρέφει μια διεύθυνση μνήμης χωρίς να ξέρουμε τι τύπος δεδομένων περιέχεται εκεί

Δυναμικοί Πίνακες

- Πίνακες με μέγεθος που καθορίζεται κατά την εκτέλεση του προγράμματος
- Καλύτερη προσαρμογή στις απαιτήσεις του προγράμματος χωρίς περιορισμό

Παράδειγμα

```
int *create_array(int elements) {
  int i, *x = (int *) malloc(elements * sizeof(int));

  for(i = 0; i < elements; i++) {
    x[i] = i;
  }
  return x;
}
```

Πιθανά Λάθη: Αποτυχία Δέσμευσης

- Αν δεν υπάρχει αρκετή μνήμη οι συναρτήσεις δέσμευσης επιστρέφουν NULL
- Κάνετε πάντα έλεγχο για αυτή την περίπτωση
- Είναι ευθύνη του προγραμματιστή και αρχή σωστού προγραμματισμού
- Αν αποτύχει η δέσμευση μνήμης μπορούμε να διακόψουμε την εκτέλεση του προγράμματος αν χρειάζεται

check-malloc.c

```
#include<stdio.h>
int main(void) {
  int * x;

  x = (int *) malloc(1000 * sizeof(int));
  if (x == NULL) {
    printf("Not enough memory\n");
    exit(1);
  }
  x[0] = 42;
}
```

Πιθανά Λάθη: Αποτυχία Δέσμευσης (2)

- Αντί να ελέγχουμε κάθε φορά, μπορούμε να γράψουμε δική μας `malloc`

check-malloc2.c

```
#include<stdio.h>

void *malloc_or_fail(size_t size) {
  void *ptr = malloc(size);
  if (ptr == NULL) {
    printf("Not enough memory\n");
    exit(1);
  }
  return ptr;
}

int main() {
  int *x;

  x = (int *) malloc_or_fail(1000 * sizeof(int));
  x[0] = 42;
}
```

Πιθανά Λάθη: Διαρροή Μνήμης

- Πρέπει να αποδεσμεύουμε την μνήμη που δεν χρειαζόμαστε πλέον με τη συνάρτηση `free`
- Δεν ελευθερώνουμε ποτέ μνήμη που *δεν* έχει αποκτηθεί δυναμικά
- Αν το πρόγραμμα δεν ελευθερώσει όλη τη μνήμη που δεσμεύει, έχει *διαρροή μνήμης* (memory leak)

Διαρροή

```
int use_array(void) {
  int *x = (int *) malloc(10 * sizeof(int));
}
```

Πιθανά Λάθη: Διαρροή Μνήμης

- Η διαρροή μνήμης μπορεί να εξαντλήσει την ελεύθερη μνήμη
  - Όταν τελειώνει η ελεύθερη μνήμη του υπολογιστή το λειτουργικό αποθηκεύει κομμάτια μνήμης στο δίσκο προσωρινά για να ελευθερώσει χώρο
  - Το λειτουργικό επαναφέρει τα περιεχόμενα από το δίσκο όταν χρειαστούν, πιθανώς αποθηκεύοντας άλλα για να κάνει χώρο
  - Αν γεμίσει η μνήμη θα φτάσει να γράφει και να διαβάζει το δίσκο για κάθε πρόσβαση
  - Αυτό λέγεται *thrashing*
  - Ακόμη και η διαρροή μερικών bytes μπορεί να προκαλέσει thrashing μετά από ώρες, μέρες ή χρόνια
- Προσοχή: Αποδεσμεύουμε αμέσως τη μνήμη που δεν χρησιμοποιούμε πλέον με τη συνάρτηση `free`

Πιθανά Λάθη: Χρήση Αποδεσμευμένης Μνήμης

- Η αποδέσμευση μνήμης την απελευθερώνει για άλλη χρήση
- Δεν ανήκει πλέον στο πρόγραμμα
- Η πρόσβαση σε απελευθερωμένη μνήμη ισοδυναμεί με χρήση μη δεσμευμένης μνήμης
  - Segmentation fault
  - Γράφουμε τυχαία σε ό,τι άλλες μεταβλητές τυχαίνει να επαναδεσμεύσουν την ίδια μνήμη (ανιχνεύεται δύσκολα)

Πιθανά Λάθη: Αποδέσμευση άλλης μνήμης

- Η συνάρτηση `free` αποδεσμεύει μόνο μνήμη που δεσμεύτηκε δυναμικά
- Δεν μπορούμε να αποδεσμεύσουμε άλλη μνήμη, ακόμη κι αν ανήκει στο πρόγραμμα
  - Τοπικές, καθολικές, στατικές, μεταβλητές, δείκτες σε συναρτήσεις, κλπ.
- Δεν ορίζεται συμπεριφορά της `free` για διευθύνσεις που δεν δεσμεύτηκαν δυναμικά
- Ανάλογα με την υλοποίηση, η αποδέσμευση άλλων διευθύνσεων μπορεί να προκαλέσει λάθος στο λειτουργικό σύστημα

Δείκτες σε δείκτες

- Ένας δείκτης μπορεί να δείχνει σε οποιοδήποτε τύπο δεδομένων
  - Ακόμη και δείκτη
  - κ.ο.κ.

```
char ch;
char *pch;
char **ppch;
char ***pppch;
```

- Η ch περιέχει ένα χαρακτήρα
- Η pch περιέχει δείκτη σε χαρακτήρα
  - Ισοδύναμο με πίνακα χαρακτήρων με άγνωστο μέγεθος
- Η ppch περιέχει δείκτη σε πίνακες χαρακτήρων
  - Ισοδύναμο με πίνακα με άγνωστο μέγεθος από πίνακες χαρακτήρων άγνωστου μεγέθους, ή πίνακα με strings
- Η pppch περιέχει δείκτη σε πίνακα από πίνακες με strings
- κ.λ.π.

Συνοπτικά

- Με τις μεταβλητές:

```
char ch;
char *pch = &ch;
char **ppch = &pch;
char ***pppch = &ppch;
```

- Η εντολή `*pch = 'a'` γράφει `'a'` στο `ch`
- Η εντολή `**ppch = 'a'` γράφει `'a'` στο `ch`
- Η εντολή `**pppch = 'a'` είναι λάθος

Παράδειγμα

ptptr.c

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void) {
  int lines = 5;
  int cols = 10;
  int i, **arr;

  arr = (int **) malloc(lines * sizeof(int *));
  if(arr == NULL) {
    printf("Cannot allocate row pointers.\n");
    exit(0);
  }

  for(i = 0; i < lines; i++) {
    arr[i] = (int *) malloc(cols * sizeof(int));
    if(arr[i] == NULL) {
      printf("Cannot allocate row[%d]\n", i);
      exit(0);
    }
    printf("%d %p %ld", i,
           (void *)arr[i],
           (long)arr[i]);
    if(i > 0) {
      printf(" %d\n",
             (int)(arr[i] - arr[i - 1]));
    } else {
      printf("\n");
    }
  }
  /* free the memory */
  for (i = 0; i < lines; i++) {
    free (arr[i]);
  }
  free(arr);
  return 0;
}
```

Δείκτες και πίνακες

- Ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των δεικτών σε δείκτες και τους δισδιάστατους πίνακες
- Δισδιάστατοι πίνακες
  - `int a[10][20];`
  - Η έκφραση `a[i][j]` είναι συντακτικά σωστή
  - Ο πίνακας δεσμεύει 10×20 ακέραιους στη μνήμη
  - Η διεύθυνση του `a[i][j]` είναι `a + i*20 + j`, ή
  - η διεύθυνση του `a[i][j]` είναι `(char*)a + (i * 20 + j) * sizeof(int)`

Δείκτες και πίνακες (2)

- Δείκτες σε δείκτες
  - `int **b;`
  - Η έκφραση `b[i][j]` είναι συντακτικά σωστή
  - Για δέσμευση 10 δεικτών χρειάζεται

```
b = (int**)malloc(10 * sizeof(int*))
```

  - Για δέσμευση μνήμης για 20 ακέραιους σε κάθε “γραμμή” χρειάζεται

```
for(i = 0; i < 10; i++) {
  b[i] = (int*)malloc(20 * sizeof(int))
}
```

  - Η διεύθυνση του `b[i][j]` είναι `b[i] + j`, ή
  - η διεύθυνση του `b[i][j]` είναι `(char*)b[i] + j * sizeof(int)`, ή
  - Πριν τη χρήση του `b` ως πίνακα πρέπει να έχει γίνει *σωστή αρχικοποίηση* για τους δείκτες `b[i]` και *δέσμευση μνήμης*