[DSA] Zadanie 1 – Správca pamäti

Autor: Ema Richnáková

Pre dané riešenie som si vybrala explicitný zoznam bez zoznamov blokov voľnej pamäti.

4 hlavné funkcie programu

void memory_init(void *ptr, unsigned int size);

Funkcia **memory_init** slúži na inicializáciu spravovanej pamäte. Funkcia sa volá len raz a to vo funkcii *int_main* pred všetkými volaniami iných funkcii. Vstupné parametre sú: ukazovateľ na blok pamäte, ktorá bude slúžiť na organizovanie a aj prideľovanie voľnej pamäte a veľkosť daného bloku.

```
void memory_init(void * ptr, unsigned int size) { //funckia na inicializaciu volnej pamate
    //atribut funkcie: ukazovatel na volny blok pamate, velkost inicializovanej pamate
    memory_head = (MEM_HEAD *)ptr; //ulozenie ukazovatela na volny blok pamate do globalneho ukazovatela
    BLOCK_HEAD * free_block = (BLOCK_HEAD *)((char *)ptr + (int)MEM_HEAD_OFF); //ukazovatel na hlavicku prveho volneho bloku
    memory_head->first_free_offset = (char *)free_block - (char *)memory_head;
    memory_head->end_off = size;
    //offset od hlavicky inicializovanej pamate ku hlavicke prveho volneho bloku pamate
    free_block->block_size = (int)size - (int)MEM_HEAD_OFF;
    //celkova velkost inicializovanej pamate - velkost hlavicky volneho bloku - velkost "paticky"(konca) pamate
    free_block->next_block_off = (int)(free_block->block_size); //offset ku koncu inicializovanej pamate
    memset((char *)free_block + free_block->next_block_off, 0, 1); //nastavenie "paticky" na hodnotu 0
}
```

➔ Do globálnej premennej **memory_head* sa ukladá adresa, kde začína inicializovaný blok pamäti. **memory_head* je zároveň hlavička celého bloku pamäte, v ktorej sa ukladá offset (počet bajtov) k ďalšiemu voľnému bloku pamäte a offset ku koncu pamäti., čo hneď na začiatku predstavuje zabratie celkovej pamäte 8B.

Ukazovateľ **free_block* je hlavička prvého voľného bloku v pamäti, ktorá sa nachádza hneď za hlavičkou **memory_head* a uschováva v sebe 2 údaje, t.j. veľkosť voľného bloku a offset na ďalší voľný blok.

void *memory_alloc(unsigned int size);

Funkcia **memory_alloc** vykonáva rovnakú službu ako štandardný *malloc*. Vstupný parameter je veľkosť požadovaného súvislého bloku pamäte a funckia vráti ukazovateľ na úspešne alokovaný blok voľnej pamäte, ktorý

vyhradil, alebo *NULL*, ak nebolo vyhradenie vhodného bloku pamäte možné.

```
if (((char *)current_free < (char *)end_addr) && (curr_block_size > 0)) { //ak ukazovatel na prvy volny blok nesmeruje na koniec pamate a
    //best fit
    while((char *)current_free != end_addr) { //ak nesmeruje na koniec pamate
        if ((current_free->block_size) < (size + (int)INT_OFF)) { //ak volny blok nie je dostatocne velky
            previous_free = current_free; //ulozenie terajsieho volneho bloku ako predosli
            current_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)previous_free + previous_free->next_block_off); //posunutie sa na dalsi volny blok
            continue;
        }

        //ak je volny blok dostaocne velky
        if (best_free == NULL) {
            best_free = current_free;
        } else {
            if (best_free->block_size > current_free->block_size) {
                best_free = current_free; //ak uz je najdeny vhodny blok, ale najde sa novy, dostatocne velky a mensi, ako terajsi vhodny
            }
        }

        previous_free = current_free; //posunie sa dalej
        current_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)previous_free + previous_free->next_block_off);
    }

} else { //ak ukazovatel na prvy volny blok smeruje na koniec pamate...
    return allocated_memory_as_NULL(allocated_memory); //...vrati NULL
}
```

➔ Prvá signifikantná časť funkcie je zistenie, či je stále dostupná voľná pamäť. Ak nie, funkcia vráti *NULL,* a ak je dostupná voľná pamäť, zisťuje, či aktuálny blok pamäte je dostatočne veľký pre požadovaný blok alokovanej pamäte. Algoritmus hľadania – Best Fit – prejde všetky voľné bloky a vyberie z nich najvhodnejší, t.j. najmenší, aký mohol nájsť v pamäti, no dostatočne veľký, aby sa doň zmestila veľkosť alokovanej pamäte + hlavička alokovanej pamäte (ktorá má 4B).

```
alloc_head = (ALLOC_HEAD *)best_free; //urcenie miesta hlavicky alokovanej pamate
int alloc_size = (int)size; //pretypovanie zadanej velkosti
int remain_size = best_free->block_size - (int)ALLOC_HEAD_OFF - alloc_size; //zostatok volnej pamate po alokacii
```

➔ Ak nájde vhodný voľný blok, na začiatok nastaví hlavičku alokovaného bloku a určí, koľko miesta z voľného bloku zostane po alokácii.

```
if (remain_size >= (int)BLOCK_HEAD_OFF) { //ak zostatok volnej pamate je vacsi ako velkost hlavicky volneho bloku...
    next_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)best_free + best_free->next_block_off); //zisti adresu nadchadzajuceho volneho bloku
    current_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)best_free + (int)ALLOC_HEAD_OFF + alloc_size);
    current_free->block_size = remain_size; //adresu volneho bloku presunie o alokovanu pamat+velkost hlavicky alokovanej pamate
    current_free->next_block_off = (char *)next_free - (char *)current_free; //nova velkost volnej pamate je zostatok-velkost hlavicky volnej pa
    //novy offset k dalsiemu bloku volnej pamate -> addresa dalsieho bloku-adresa aktualneho

    alloc_head->alloc_size = (-1) * alloc_size; //oznacenie pamate, ze je alokovana (zaporna hodnota alokovanej velkosti)
    allocated_memory = (char *)((char *)alloc_head + (int)ALLOC_HEAD_OFF); //nasmerovanie na adresu alokovanej pamate

    if ((char *)((char *)memory_head + memory_head->first_free_offset) == (char *)alloc_head) { //ak sa obsadil prvy volny blok...
        memory_head->first_free_offset = (char*)current_free - (char*)memory_head; //ulozi sa offset na dalsi vytvoreny volny blok
    } else {
        next_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)memory_head + memory_head->first_free_offset); //prvy volny blok

        while((char *)next_free != end_addr) { //pokial nedojde na koniec inicializovanej pamate
            if ((char *)next_free == (char *)alloc_head) { //ak dalsi blok je novy alokovany blok
                previous_free->next_block_off = previous_free->next_block_off + (int)ALLOC_HEAD_OFF + alloc_size;
                //nastavi sa offset na dalsi volny blok z predosleho bloku
                break;
            } else {
                previous_free = next_free; //posunie sa dalej
                next_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)previous_free + previous_free->next_block_off);
            }

        }
    }

    return allocated_memory; //alokovana pamat vratena uzivatelovi
```

➔ Ak zostatkové miesto je dostatočne veľké aspoň na uloženie hlavičky nového voľného bloku, tak alokovanému bloku pridelí požadovanú veľkosť (zadanú od používateľa) a zvyšok veľkosti priradí novému (menšiemu) voľnému bloku pamäti a keďže sa hlavička voľného bloku posunula v pamäti, musí sa upraviť aj offset k nasledujúcemu voľnému bloku, a ak alokovaný blok bol ako prvý v pamäti, tak aj offset v hlavičke celkovej pamäte musí nastaviť na posunutú hodnotu voľného bloku. A ak pred alokovaným blokom je voľný blok, taktiež treba posunúť offset.
V hlavičke alokovaného bloku sa uloží záporná hodnota jeho veľkosti, aby bolo jasné, že daný blok pamäte je už alokovaný.

```
} else if ((remain_size < (int)BLOCK_HEAD_OFF) && (remain_size >= 0)){ //ak zostatok volnej pamate je mensi ako velkost hlavicky volneho bloku..
    //...tak prideli celu velkost volneho bloku pre alokovanu pamat
    next_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)best_free + best_free->next_block_off); //zisti adresu nadchadzajuceho volneho bloku
    alloc_head->alloc_size = (-1) * previous_free->block_size; //oznacenie pamate, ze je alokovana (zaporna hodnota alokovanej velkosti)
    allocated_memory = (char *)((char *)alloc_head + sizeof(ALLOC_HEAD)); //nasmerovanie na adresu alokovanej pamate

    if ((char *)((char *)memory_head + memory_head->first_free_offset) == (char *)alloc_head) { //ak sa obsadil prvy volny blok...
        memory_head->first_free_offset = (char*)next_free - (char*)memory_head; //ulozi sa offset na dalsi vytvoreny volny blok
    } else {
        current_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)memory_head + memory_head->first_free_offset); //prvy volny blok

        while((char *)current_free != end_addr) { //pokial nedojde na koniec inicializovanej pamate
            if ((char *)current_free == (char *)alloc_head) { //ak dalsi blok je novy alokovany blok
                previous_free->next_block_off = previous_free->next_block_off + (int)ALLOC_HEAD_OFF + ((-1) * alloc_head->alloc_size);
                //nastavi sa offset na dalsi volny blok z predosleho bloku
                break;
            } else {
                previous_free = current_free; //posunie sa dalej
                current_free = (BLOCK_HEAD *)((char *)previous_free + previous_free->next_block_off);
            }

        }
    }

    return allocated_memory; //alokovana pamat vratena uzivatelovi

} else { //ak nenaslo vhodny volny blok
    return allocated_memory_as_NULL(allocated_memory);
}
```

➔ Ak zostatkové miesto nie je dostatočne veľké aspoň na uloženie hlavičky voľného bloku (t.j.8B), tak alokovanému bloku pridelí veľkosť celého voľného bloku (keďže by mohlo dochádzať k prekrývaniu jednotlivých blokov). V hlavičke alokovaného bloku sa uloží záporná hodnota jeho veľkosti, aby bolo jasné, že daný blok pamäte je už alokovaný.
V premennej *next_free* je uložená adresa na ďalší voľný blok a k nej treba nastaviť offset buď z celkovej hlavičky pamäte alebo z predošlého voľného bloku, ak nejaký existuje.

Inak ak funkcia nenájde vhodný voľný blok, vracia *NULL.*

int memory_check(void *ptr);

Funkcia **memory_check** slúži na kontrolu parametra **ptr*, či daný smerník je platný, tzn. ak bol v nejakom predchádzajúcom volaní vrátení funkciou

memory_alloc a nebol uvoľnený funkciou *memory_free.* Funkcia vráti 1, ak je platný a 0, ak je neplatný.

```
int memory_check(void * ptr){ //funkcia zisti, ci ukazovatel v atribute funckie je platny
    if (ptr == NULL) { //ak smeruje ukazovatel na NULL (nikam), nie je platny
        return 0;
    } else if ((ptr < (void *)memory_head) && (ptr > (void *)((char *)memory_head + memory_head->end_off))) {
        //ak ukazovatel smeruje na pamat mimo inicializovanej pamate nie je platny
        return 0;
    } else if (get_int_value_on((char *)ptr - (int)ALLOC_HEAD_OFF) > 0) {
        //ak v hlavicke ma kladne cislo ulozene, tzn. ze je blok uvolneny -> nie je platny
        return 0;
    } else { //ukazovatel je platny
        return 1;
    }
}
```

➔ Ak ukazovateľ **ptr* je NULL alebo ukazuje na adresu pred celkový inicializovaný blok alebo za celkový inicializovaný blok alebo je na danej adrese kladné číslo (znak voľného bloku), je neplatný.

int memory_free(void *valid_ptr);

Funkcia **memory_free** slúži na uvoľnenie vyhradeného bloku pamäti. Spĺňa rovnakú funkciu ako štandartná funkcia *free*. Funkcia vráti 0, ak sa úspešne uvoľnila pamäť, inak vráti 1.

Najprv je argument funkcie skontrolovaný, či je ukazovateľ platný. Ak nie je, funkcia *free* vracia 1, inak sa vykoná telo funkcie.

Telo funkcie je rozdelené na 2 prípady:

1. ak uvoľňovaná pamäť je pred prvým voľným blokom
2. ak uvoľňovaná pamäť je za prvým voľným blokom

V 1. prípade stačí zistiť, či za uvoľňovanou pamäťou je fyzicky v pamäti ďalší voľný blok.

a) Ak áno, uvoľňovanú pamäť zlúči s voľným blokom a upraví offset v hlavičke k celkovej pamäti, aby odkazoval na adresu uvoľnenej pamäti. A ak predošlý voľný blok odkazoval offsetom na ďalší voľný blok, treba upraviť offset uvoľnenej pamäte, aby ukazoval na ten ďalší voľný blok.
b) Ak nie, uvoľní pamäť a upraví offset v hlavičke k celkovej pamäti, aby odkazoval na adresu uvoľnenej pamäti. A ak za uvoľňovanou pamäťou sa nachádza voľný blok (nie fyzicky), tak offset v uvoľnenej pamäti nastaví na ďalší voľný blok.

V 2. prípade sa snaží nájsť voľnú pamäť čo najbližšie (fyzicky) pred uvoľňovanou pamäťou. Ak koniec predošlej voľnej pamäte je presne pred začiatkom uvoľňovanej, zlúči ich dokopy a vznikne nová voľná pamäť. A ak predošlá voľná pamäť nespĺňa podmienku, tak sa uvoľňovaná pamäť

uvoľní a v hlavičke predošlej pamäte sa zmení offset, aby odkazoval na uvoľnenú pamäť.
A ak by za uvoľňovanou pamäťou bol fyzicky voľný blok, tak postupujeme ako v 1. prípade.
Postup v 2. prípade je taký, že najprv zlúči voľný blok za uvoľňovanou pamäťou (ak je to možné) a až potom zlučuje predošlý blok (znova, ak je to možné).

Testovanie

Program som testovala 4 rôznymi formami:

1) Teoretická forma (kreslenie na papier)
2) Vizuálna forma v programe (vypisovanie hodnôt)
3) Formou simulovania scenárov zo zadania 1
4) Testovanie spájania blokov

1) Teoretická forma (kreslenie na papier)

Pred samotným písaním kódu mi pomohli prvú štruktúru navrhnúť pero a papier. Pri kreslení rôznych scenárov som si rozvrhla podmienky v jednotlivých funkciách a častiach funkcii.

2) Vizuálna forma v programe

Pomocou jednoduchej funkcie *printf* som vedela presne kontrolovať hodnoty jednotlivých premenných.

3) Formou simulovania rôznych scenárov zo zadania 1

Testovanie daných scenárov je prevádzané pomocou funkcií, ktoré sú uvedené v súbore *testovanie_z1.c*.

Funkcie:

1) test1();
    - prideľovanie rovnakých blokov malej veľkosti (veľkosti 8 až 24 bytov) pri použití malých celkových blokov pre správcu pamäte (do 50 bytov, do 100 bytov, do 200 bytov)
2) test2();
    - prideľovanie nerovnakých blokov malej veľkosti (náhodné veľkosti 8 až 24 bytov) pri použití malých celkových blokov pre správcu pamäte (do 50 bytov, do 100 bytov, do 200 bytov)
3) test3();
    - prideľovanie nerovnakých blokov väčšej veľkosti (veľkosti 500 až 5000 bytov) pri použití väčších celkových blokov pre správcu pamäte (aspoň veľkosti 1000 bytov)
4) test4();
    - prideľovanie nerovnakých blokov malých a veľkých veľkostí (veľkosti od 8 bytov do 50 000) pri použití väčších celkových blokov pre správcu pamäte (aspoň veľkosti 1000 bytov)

Výpis z testov (pri generovaní náhodných veľkostí na alokáciu):

```
Size of MEM_HEAD: 8
Size of BLOCK_HEAD: 8
Size of ALLOC_HEAD: 4
```

BEST FIT WITHOUT DYNAMIC HEADS

test1
----------test same free block
pri pouziti malych celkoych blokov pre spravcu pamate (do 50 bytov, do 100 bytov, do 200 bytov)

-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 1 -> koľkokrát alokovalo pamäť
Alloc block size: 23 -> veľkosť alokovaného bloku
Taken by user: 23/50 -> 46.00% ->koľko z pamäte využíva používateľ
Taken memory: 35/50 -> 70.00% ->koľko z pamäte je zabraných celkovo (započítaná alokovaná pamäť aj všetky hlavičky)
Taken usage: 23/35 -> 65.71% ->koľko zo zabratej pamäte využíva používateľ
-----FREE TEST ENDED----- -> pri chybnom uvoľňovaný by vypísalo "ERROR"

-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 4
Alloc block size: 15
Taken by user: 60/100 -> 60.00%
Taken memory: 84/100 -> 84.00%
Taken usage: 60/84 -> 71.43%
-----FREE TEST ENDED-----

-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 8
Alloc block size: 19
Taken by user: 152/200 -> 76.00%
Taken memory: 192/200 -> 96.00%
Taken usage: 152/192 -> 79.17%
-----FREE TEST ENDED-----

test2
----------test different free block
pri pouziti malych celkoych blokov pre spravcu pamate (do 50 bytov, do 100 bytov, do 200 bytov)

22
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 1
Alloc block size: 0 -> 0 je tu z toho dôvodu, že alokované veľkosti sa môžu líšiť
Taken by user: 22/50 -> 44.00%
Taken memory: 34/50 -> 68.00%
Taken usage: 22/34 -> 64.71%
-----FREE TEST ENDED-----

10 19 19 24 -> vypísanie jednotlivých veľkostí alokovanej pamäte
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 4

Alloc block size: 0
Taken by user: 72/100 -> 72.00%
Taken memory: 96/100 -> 96.00%
Taken usage: 72/96 -> 75.00%
-----FREE TEST ENDED-----

24 19 9 12 22 11
18 9 21
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 9
Alloc block size: 0
Taken by user: 145/200 -> 72.50%
Taken memory: 189/200 -> 94.50%
Taken usage: 145/189 -> 76.72%
-----FREE TEST ENDED-----

test3
----------test different free block
pri pouziti vacsich celkovych blokov pre spravcu pamate (aspon velkosti 1000 bytov)

894
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 1
Alloc block size: 0
Taken by user: 894/1000 -> 89.40%
Taken memory: 906/1000 -> 90.60%
Taken usage: 894/906 -> 98.68%
-----FREE TEST ENDED-----

582 3368
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 2
Alloc block size: 0
Taken by user: 3950/5000 -> 79.00%
Taken memory: 3966/5000 -> 79.32%
Taken usage: 3950/3966 -> 99.60%
-----FREE TEST ENDED-----

4305 2981
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 2
Alloc block size: 0
Taken by user: 7286/10000 -> 72.86%
Taken memory: 7302/10000 -> 73.02%
Taken usage: 7286/7302 -> 99.78%
-----FREE TEST ENDED-----

test4
----------test different free block
pri pouziti vacsich celkovych blokov pre spravcu pamate (aspon velkosti 1000 bytov)

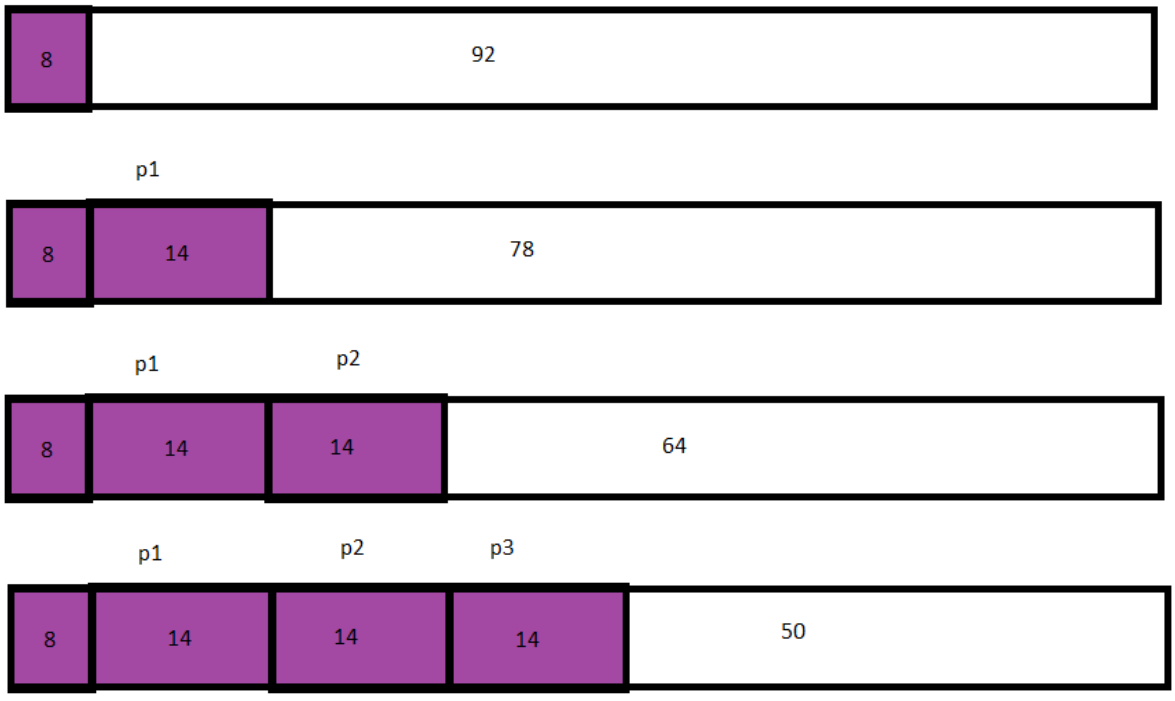
825
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 1
Alloc block size: 0
Taken by user: 825/1000 -> 82.50%
Taken memory: 837/1000 -> 83.70%
Taken usage: 825/837 -> 98.57%
-----FREE TEST ENDED-----

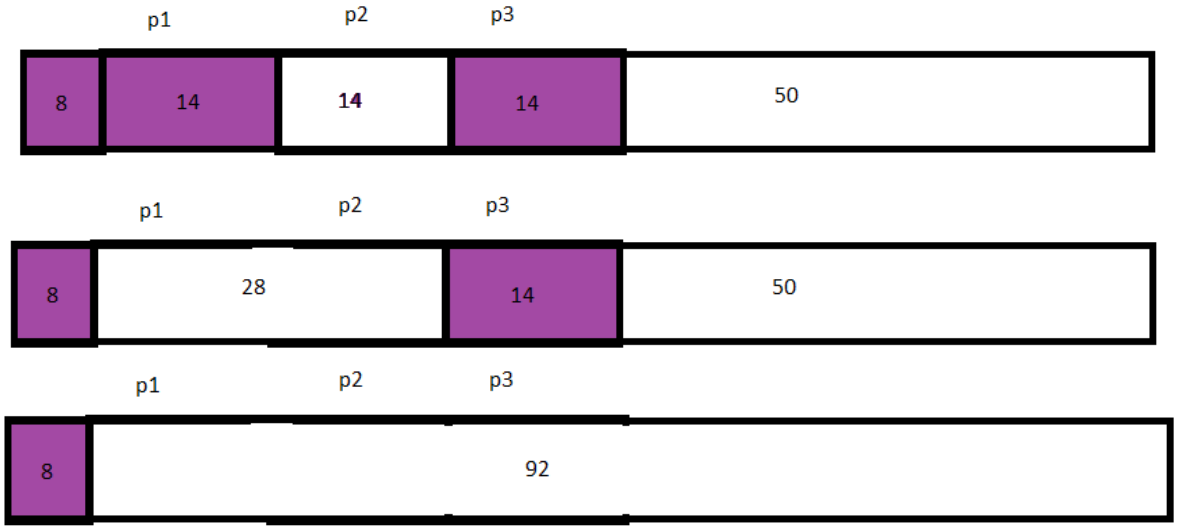
3211 713
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 2
Alloc block size: 0
Taken by user: 3924/5000 -> 78.48%
Taken memory: 3940/5000 -> 78.80%
Taken usage: 3924/3940 -> 99.59%
-----FREE TEST ENDED-----

5058 415
-----MALLOC TEST ENDED-----
Itterations: 2
Alloc block size: 0
Taken by user: 5473/10000 -> 54.73%
Taken memory: 5489/10000 -> 54.89%
Taken usage: 5473/5489 -> 99.71%
-----FREE TEST ENDED-----

4) Testovanie spájania blokov

- priebeh testu vizuálne:




p1
p2
p3
8
14
14
14
50
p1
p2
p3
8
28
14
50
p1
p2
p3
8
92

Odhad zložitostí

Odhad časovej zložitosti je O(*n*k*), kde *n* predstavuje počet vykonaných operácii a *k* počet voľných blokov.

Odhad priestorovej zložitosti je O(*m*l + o*r*), kde *m* predstavuje veľkosť hlavičky voľného bloku, *l* počet voľných blokov*, o* veľkosť hlavičky zabratého bloku *a r* počet zabratých blokov.

Zhodnotenie

Výsledný program sa správa ako štandardné funkcie *malloc* alebo *free.* Program efektívne využíva pamäť, aj keď táto efektivita by sa dal ešte navýšiť a to tak, keby celá štruktúra voľných blokov bola postavená na spájanom zozname voľných blokov usporiadaných podľa veľkosti, veľkosti hlavičiek by sa prispôsobovali veľkosti celkovej inicializovanej.