

TOBIAS WRIGSTAD & JUSTIN PEARSON

PROJEKTSPEC

IOOP/M 2012

Meta

Introduktion

Projektarbetet är värt 4 hp och består av en specifikation (detta dokument) som skall implementeras i programspråket C. Arbetet skall utföras i grupper om 6–8 personer som jobbar i roterande par.

Syftet med projektet är, förutom att fördjupa kunskaperna i C, och ytterligare öva på imperativ programmering, att introducera element från *programvarutekniken*, d.v.s. den ingenjörsciensdisciplin som sysslar med utveckling av mjukvara inom givna tids-, kostnads- och kvalitetsramar. Genom att utföra en litet större uppgift än enkla laborationer och inlämningsuppgifter, och införa samarbetsmoment mellan grupper som utför olika delar av uppgiften, kommer ni att få uppleva vikten av klart definierade processer och roller och klart definierade gränssnitt mellan programmoduler. Målet är inte ”att visa hur man gör”, utan snarare att försöka ge en bakgrund till varför metoder och tekniker som tas upp på senare kurser är nödvändiga för systematisk utveckling av mjukvara.

Processen

Arbetet skall utföras i grupper om 3–4 programmeringspar¹. Arbetet delas upp i minst lika många uppgifter som par. Grupperna skapar ni själva enligt instruktioner på <http://wrigstad.com/ioopm/groups>.

Varje vecka skall paren roteras; en person fortsätter med samma uppgift ytterligare en vecka, och den andra personen byter till ett annat par.

Parrotationerna, samt vem som jobbat på vad, bokförs i en projektdagbok som skall lämnas in i slutet av projektet. I denna skall även arbetstiden per uppgift och hur många timmar varje enskild programmerare har arbetat bokföras (se sid 3).

I slutet av projektet skall även en kort reflektion på 500–750 ord lämnas in och undertecknas av alla gruppmedlemmar. I denna skall ni reflektera över hur ni har arbetat, vilka rutiner/processer/hjälpmiddel som har fungerat och inte, och vilka svårigheter som uppstod under

WORK BREAKDOWN STRUCTURE

1. Skapa en grupp på <http://wrigstad.com/ioopm/groups>
2. Läs dessa instruktioner noggrant, sedan en gång till
3. Löpande under projektet, dokumentera & versionshantera
4. Planering och design (≈ 2 dgr)
 - (a) Gör en övergripande design för systemet
 - (b) Dela upp systemet i lika många ”delsystem” som det finns par
 - (c) Definiera gränssnitten mellan delsystemen
5. Implementation, parallellt i grupperna (> 2 v)
 - (a) Dela upp ditt delsystem i delar $\Delta, \Delta' \dots$
 - (b) Fundera ut hur man testar del Δ
 - (c) Implementera Δ och testa löpande
(Upprepa steg b–c. . .)
6. Integration (≈ 1 v)
 - (a) Sätt ihop delsystemen, testa, åtgärda fel
7. Reflektera kort över projektet

¹ Ett programmeringspar består naturligtvis av två personer som skall tillämpa *parprogrammering*. Försök att följa instruktionerna på <http://www.wikihow.com/Pair-Program>.

REGEL FÖR PARROTATION

Om det är möjligt *måste* man välja en person som man inte redan arbetat med i projektet.

implementation och integration. Det skall inte ta mer än en dag att skriva denna reflektion, och även om skriftlig framställning är viktigt så avser inte uppgiften rapportskrivning.

Ni måste själva göra uppdelningen av uppgiften i "delsystem", och motivera den i er projektdagbok. Då delarna med stor sannolikhet är beroende av varandra är det av stor vikt att ni tidigt definierar *gränssnitten* mellan delarna så att *integrationsfasen*, d.v.s. då delarna sätts samman till ett fungerande bibliotek, fungerar så smärtfritt som möjligt.

Möten med coachen

Varje grupp får en coach tilldelad sig, för att få hjälp och svara på frågor. Gruppen är ansvarig för att boka två möten med sin coach, ett avsparksmöte² så tidigt som möjligt för att komma igång och ett avstämningmöte³ ca halvvägs in i projektet. Vid behov kan ytterligare möten bokas. Vid problem skall man i första hand kontakta sin coach.

Att lämna in

Ungefär fyra veckor efter projektstart, den 9:e november, är det dags att lämna in. Ni skall, oavsett status på implementationen, lämna in följande leverabler L1–L6:

- L1 Projektdagbok (*skrivs löpande under projektet!*)
- L2 Övergripande designdokument
- L3 Koddokumentation på gränssnittsnivå
- L4 Gränssnitten mellan modulerna (i kommentarer i koden eller som separat dokument)
- L5 Själva koden (med fungerande makefile)
- L6 Tester

Vid inlämningen bedöms projektet och en av tre saker händer: (a) projektet blir godkänt, (b) projektet får en ny deadline för restinlämning eller (c) projektet blir underkänt. I fall (b) sker en ny inlämning och redovisning senare, där betyget godkänt eller underkänt ges. Ett underkänt projekt kan kompletteras *först nästa gång kursen går*.

Det är mycket möjligt att implementationen inte är färdigställd den 9:e november. En ofärdig implementation bör ackompanjeras av ett dokument som beskriver vilka funktioner som återstår, och en översiktlig beskrivning av hur dessa kan implementeras i den existerande koden. En buggig implementation bör ackompanjeras av ett testfall som reproducerar felet, och om möjligt en beskrivning av varför buggen uppstår.

GRÄNSSNITTSDOKUMENTATION

Gränssnitten mellan delarna specificeras i headerfilerna `imalloc.h` som är utdelad kod som inte får modifieras, samt i `priv_imalloc.h` för privata funktioner.

² Vid detta möte skall gruppen presentera sin tänkta design för sin coach samt sin planering, alltså hur systemet är uppdelat i delsystem och hur dessa är fördelade över programmeringspar.

³ Vid detta möte skall gruppen kort rapportera om hur arbetet fortskrider, om man räknar med att bli klar i tid, eventuella stora problem, etc.

PROJEKTDAGBOKENS INNEHÅLL

- En sammanställning över hur många timmar varje projektmedlem har arbetat samt en fördelning av tiden över kategorierna *möten*, *implementation*, *testning* och *annat*.
- En förklaring av systemets uppdelning i delsystem.
- En sammanställning av hur många timmar varje delsystem tagit att implementera.
- Parrotationerna.

OBSERVERA

Utmärkta beskrivningar av brister i implementationen, och hur dessa skulle kunna rättas till, kan leda till att man blir *godkänd trots bristerna*.

Make skall användas för att underlätta egna utvecklingen, d.v.s. bygga med beroenden, exekvera tester, etc. Därutöver skall det finnas en regel `final` som skall bygga all kod i `imalloc` till en objektkodsfil `imalloc.o` som sedan enkelt kan länkas in med ett testprogram av rättarna.

Bedömningskriterier

Projektgruppen bedöms på:

1. den slutinlämnade kodens kvalitet och kompletthet,
2. inlämnad dokumentation,
3. kvalitet på egna testfall,
4. aktivt deltagande i utvecklingsprocessen, samt
5. projektdagboken.

Observera att det inte är ett strikt krav att ha ett fullt fungerande system vid 9:e november för att bli godkänd. Däremot krävs att man gjort ett allvarligt *försök* att leverera ett fullt fungerande system med för 4 HP rimlig arbetsinsats (≈ 107 arbetstimmar, dvs. $2\frac{2}{3}$ "vanliga" heltidsveckor⁴). Alla brister i systemet⁵ skall vara dokumenterade, kvarvarande buggar skall ha testfall som exponerar dem, och det skall finnas en plan för hur arbetet skall fortsätta så att systemet skall uppfylla specifikationen.

All inlämnad kod kommer att testas mot ett antal ospecificerade testfall. Det måste därför finnas en fungerande makefile och koden måste kunna kompileras utan handpåläggning på institutionens Solaris-maskiner. Något enstaka testfall kommer att lämnas ut mot slutet av projektiden.

Bonuspoäng

Tre bonuspoäng utgår till samtliga medlemmar av en grupp som lämnar in ett fullt fungerande system vid 9:e november⁶. Dessa kan användas på den ordinarie tentan i period två samt omtentor för denna tenta under nästföljande år.

Rest

En ofullständig inlämning vid 9:e november kan⁷ medföra rest. Gruppen får då en skriftlig beskrivning av vad som måste åtgärdas före en ny inlämning kan ske, samt ett nytt *sista leveransdatum* – 7:e januari 2013. En grupp som inte lämnar in ett system som uppfyller specifikationen vid detta datum får göra om projektdelen av kursen ett senare år. Inga bonuspoäng utgår vid restinlämning.

⁴ Notera att en heltidsvecka på utbildningen är något högre än 40 timmar eftersom terminerna är kortare än 20 veckor.

⁵ Inklusive utelämnade funktioner

⁶ Som naturligtvis måste uppfylla kraven ovan.

⁷ En oseriös eller undermålig inlämning kan medföra underkänt.

Aktivt deltagande

Studenter som inte aktivt deltar i sina projektgrupper får göra om projektdelen av kursen ett annat år. Grupper uppmanas att göra kursansvariga uppmärksamma på sådana studenter. Poängen med projektet är lärdomarna från att göra det, inte att leverera ett färdigt system. Om man låter någon åka snålskjuts på gruppen gör man vederbörande en otjänst!

Uppgiften

Uppgiften går ut på att utveckla ett bibliotek, "imalloc" för minneshantering. Med funktionen `iMalloc` kan man reservera ett konsekutivt minnesblock⁸ i vilket man sedan kan allokera minne med hjälp av biblioteksfunktioner. Det skall finnas stöd för manuell minneshantering, á la vanliga C-malloc, men det skall också gå att ställa in hur den s.k. free-listan skall vara sorterad, vilket påverkar olika programs prestanda på olika sätt⁹. Det skall finnas stöd för referensräkning, och stöd för automatisk skräpsamling med hjälp av en skräpsamlare som traverserar minnet och hittar minne som inte längre är nåbart från programmet¹⁰. De sista två metoderna kallar vi här för *managed* och den första för *manual*. Ett minnesblock skapat av `iMalloc` är alltid antingen manual eller managed – aldrig båda. Två olika block som existerar samtidigt behöver inte använda samma metoder. Observera att metoden managed kan innebära enbart referensräkning, enbart automatisk skräpsamling, eller båda samtidigt.

F1: Manual, minneshantering med alloc och free

Beskrevs på föreläsning 8, se även utdelad kod. Man skall kunna finjustera beteendet hos allokeringfunktionen `alloc` genom att ställa in free-listans sortering: snabb allokering på bekostnad av ytterligare fragmentering¹¹, mindre fragmentering¹², eller högre grad av referenslokalitet¹³.

F2: Managed, referensräknare

Beskrevs på föreläsning 8, se även utdelad kod. Notera att cykliska strukturer kan ge upphov till minnesläckage.

Stödet för referensräkning i `imalloc` implementeras med funktionerna `retain`, `release` samt `count`. Den första räknar upp referensräknaren med 1 för ett objekt¹⁴, den andra räknar ned, och den sista returnerar ett objekts *refcount*.

```
void *p = gc->alloc(sizeof(foo));
gc->refcount->count(p); // refcount = 1
```

OBSERVERA

Denna del av specifikationen är ett *levande dokument* som kan komma att uppdateras och förändras under projektets gång.

⁸ Med hjälp av `malloc` i `stdlib`

⁹ Se föreläsning 8.

¹⁰ En beskrivning av dessa funktioner, F1–F3, finns nedan och samtliga skall alltså implementeras.

¹¹ Listan sorterad på minskande storlek

¹² Listan sorterad på ökande storlek

¹³ Listan sorterad i adressordning

¹⁴ Från och med nu kallar vi en allokerad strukt i minnet, eller ett minnesblock, för ett objekt.

```
gc->refcount->retain(p);
gc->refcount->count(p); // refcount = 2
gc->refcount->release(gc, p);
gc->refcount->count(p); // refcount = 1
gc->refcount->release(gc, p); // objektet tas bort
```

F3: Managed, automatisk skräpsamling

Tanken bakom automatisk skräpsamling är att presentera en minnesabstraktion för programmeraren där minnet är oändligt. Detta uppnås genom att skräpsamlaren håller reda på om ett objekt kan deallokeras eller inte, istället för programmeraren. Så länge som minnet räcker till fungerar allokering i stort sett som vanligt, men så fort en allokering misslyckas på grund av att minnet är fullt söker allokeringen igenom allt minne efter objekt som inte längre används, och frigör dessa. Därefter fullföljer man allokeringen, och i regel lyckas detta eftersom de flesta objekt som skapas endast lever en kort tid innan de blir skräp.

I malloc finns även funktionen `gc` som startar en skräpsamling, oavsett om det behövs eller inte.

Algoritmen Mark-Sweep

Skräpsamlaren som vi skall implementera här skall använda sig av en så kallad "mark-sweep-algoritm" för att identifiera objekt som säkert kan deallokeras utan att programmet kraschar. Vi går igenom algoritmen steg-för-steg nedan, men först skall vi diskutera några implementationsdetaljer.

Varje objekt innehåller en extra bit-flagga, den s.k. *mark-biten*. När flaggan är satt (1) anses objektet vara "vid liv". Annars är objektet skräp som kan tas bort.

Vid varje skräpsamlingstillfälle sker följande:

- Steg 1 Iterera över listan över samtliga objekt på heapen och sätt mark-biten till 0.
- Steg 2 Sök igenom stacken efter pekare till objekt på heapen, och med utgångspunkt från dessa objekt, traversera heapen och markera alla objekt som påträffas genom att mark-biten sätts till 1.
- Steg 3 Iterera över listan över samtliga objekt på heapen och frigör alla vars mark-bit fortfarande är 0.

Steg 2 kallas för "mark-fasen" och Steg 3 för "sweep-fasen", härav algoritmens namn, *mark-sweep*.

Att traversera heapen

Att traversera heapen i C är inte så enkelt eftersom minnet som standard allokeras utan metadata. T.ex. allokerar anropet

```
void *p = malloc(sizeof(BinaryTreeNode));
```

plats som rymmer en `BinaryTreeNode`, men C har ingen information om innehållet i detta utrymme, mer än hur stort utrymmet är som `p` pekar på. Rimligtvis har en `BinaryTreeNode` åtminstone två pekare till höger respektive vänster subträd – hur gör man för att hitta dem?

Ett sätt är att leta igenom det minne som pekas ut av `p` och tolka varje möjlig `sizeof(int)` i detta utrymme som en adress. Om adressen pekar in i den aktuella heapens adressrymd måste vi anse att den är en pekare till det objekt som finns lagrat där (observera att pekaren inte måste peka på starten av det objektet). Då skall vi markera detta objekt som levande (dess mark-bit sätts till 1), och sedan skall dess utrymme också letas igenom på samma sätt som `BinaryTreeNode`:en. Om ett objekt redan markerats och traverserats behöver man inte göra det igen.

Men hur vet man då vilka pekare som finns som pekar in i heapen? För att hitta dessa, de s.k. ”rotpekarna”, måste man leta igenom stacken efter pekare till heapen på samma sätt som ovan, alltså gå igenom hela stackens adressrymd, inklusive register och de statiska data areorna och leta efter pekare in i heapens adressrymd. Kod för detta kommer att delas ut under projektet och kommer bl.a. att innehålla en funktion som letar reda på alla rotpekare och för var och en av dem anropar en funktionspekare:

```
/* Scans the stack, CPU registers, and static data to build a
 * root set, R s.t. for all r in R, h->start <= r && r <= h->end.
 * Then, for all r in R, calls f(r, p), where p is just some
 * additional user-provided payload.
 */
void traverseStack(AddressSpace h, MarkFun f, void *p);
```

För att t.ex. skriva ut alla rotpekare skulle man kunna skapa en funktion `printPtr`:

```
void printPtr(void *ptr, void *ignore) {
    printf("%p\n", ptr);
}
```

och anropa `traverseStack` så här:

```
addressspace as;
as.start = ... ; // Bör imalloc hålla reda på
as.end = ... ; // Bör imalloc hålla reda på
traverseStack(&as, printPtr, NULL);
```

Filerna `roots.h` och `roots.c` med koden samt typdefinitioner enligt ovan kommer att delas ut.

Typdeklarationer:

```
typedef char *RawPtr;
typedef struct {
    RawPtr start;
    RawPtr end;
} addressspace, *AddressSpace;

typedef
void (*MarkFun)(void *ptr, void *data);
```


Allokering med metadata

Vårt imalloc-bibliotek skall stödja en version av allokering där programmeraren anger en slags formatsträng¹⁵ som beskriver minneslayouten hos objektet som skall allokeras. Formatsträngen kan sedan användas för att slippa det kostsamma letandet efter pekare som beskrevs ovan.

Ponera typen `BinaryTreeNode` deklarerad enligt följande.

```
struct BinaryTreeNode {
    void *value;
    struct BinaryTreeNode *left;
    struct BinaryTreeNode *right;
    int balanceFactor;
}
```

Den kan beskrivas av formatsträngen `"***d"` som betyder att utrymme skall allokeras för 3 pekare, följt av en `int`, dvs.,

```
alloc("***d");
```

är analogt med

```
alloc(3 * sizeof(void*) + sizeof(int));
```

En definition av formatsträngen finns på sidan 11 i detta dokument.

Observera att man fortfarande måste identifiera rotpekare genom att leta igenom stacken på samma sätt som nämnts i föregående avsnitt.

¹⁵ Analogt med `printf`.

Minneshanterare

För att använda imalloc måste man först skapa en minneshanterare.

En sådan skapas med funktionen `iMalloc`. Denna funktion tar ett antal bitflaggor som parametrar¹⁶ som anger vilken typ av minneshanterare som skall skapas, samt storleken på det minne som skall hanteras och som returnerar sedan en pekare till en strukt. Denna strukt innehåller allt minneshanterarens data, t.ex. en pekare till det minne som hanteras, men också en samling pekare till de funktioner¹⁷ som skall användas för att interagera med minneshanteraren.

¹⁶ Se föreläsning 18.

¹⁷ Se föreläsning 16.

Att alla anrop går via strukten och dess funktionspekare istället för via globala funktioner gör det enkelt att ha flera aktiva minneshanterare samtidigt och biblioteket tillåter detta, t.ex. en minnesarea som hanteras manuellt och en som hanteras med hjälp av en automatisk skräpsamlare. Pekare mellan objekt i olika minnesareor sker dock på egen risk.

Exempel på skapande av minneshanterare

Följande kodsnitt allokerar ett en megabyte stort minnesutrymme som hanteras manuellt. Variabeln `mem` pekar på den struct som håller i alla funktioner som sedan används för att allokera och avallokera minne. Notera flaggorna `MANUAL` och `ASCENDING_SIZE` som anger att utrymmet skall hanteras manuellt (med anrop till `alloc` och `free`), samt att frilistan skall vara sorterad på minnesblockens storlek.

```
// Allocate 1 megabyte of memory into mem
manual mem = (manual) iMalloc(1 Mb, MANUAL + ASCENDING_SIZE);

// Allocate 1 kilobyte of memory from mem into foo
void *foo = mem->alloc(1 kb);

// Free foo
mem->free(foo);
```

Följande kodsnitt anger att det minne som allokeras (2 megabyte) skall hanteras med hjälp av referensräkning, samt en automatisk skräpsamlare. Anropen av `retain` och `release` räknar upp respektive ned ett objekts referensräknare.

```
// Allocate 2 megabytes of memory into mem, sort
// the free list on ascending chunk size and use
// reference counting, plus a copying garbage
// collector for memory management
managed mem = (managed) iMalloc(2 Mb, REFCOUNT + GC + ASCENDING_SIZE);

// Allocate 1 kilobyte of memory from mem into
// foo, with an initial reference count of 1
void *foo = mem->alloc(1 kb);

// Retain foo, release foo
mem->rc->retain(foo); // Refcount = 2
mem->rc->release(foo); // Refcount = 1

// Collect garbage (and cycles)
mem->gc->collect(mem);
```

Det sista exemplet använder bara automatisk skräpsamlare och frilistan är sorterad efter stigande minnesadress.

```
// Allocate 2 megabytes of memory into mem, sort
// the free list on memory address and use an
// automatic garbage collector for memory management
managed mem = (managed) iMalloc(2 Mb, GCD + ADDRESS);

// Allocate 1,5 megabyte of memory from mem into foo,
// with an initial reference count of 1
void *foo = mem->alloc(1 Mb + 512 Kb);

printf("%d\n", mem->avail()); // 512 Kb
```

```
// Use the typed allocate function to provide the GC with more
// information about object layout
void *bar = mem->gc->alloc("****dd");

// Run the garbage collector
mem->gc->collect(mem);

// Will crash, as refcounts not turned on
mem->rc->retain(foo);
```

Formatsträng för alloc i GC

Följande specialtecken kan ingå i en formatsträng till den automatiska skräpsamlarens alloc.

*	pekare	i	int	f	float
c	char	l	long	d	double

Ett heltal före ett specialtecken avser repetition; till exempel är "***ii" ekvivalent med "3*2i". Man kan se det som att defaultvärdet 1 inte måste sättas ut explicit, alltså * är kortform för 1*. En tom formatsträng är inte valid. En formatsträng som bara innehåller ett heltal, t.ex. "32", tolkas som "32c".

Hjälp att komma igång med implementationen

Som exemplen ovan visar är funktionen iMalloc "startpunkten" för ett klientprograms interaktion med imalloc. Nedan finns en utgångspunkt för er kod – ett försök att visa hur man kan tänka. För enkelhets skull ignorerar den free-listans sortering och återanvänder (med några modifikationer) utdelad kod från smalloc som finns i ovning-ar/c/smalloc.c. *Denna kod är varken kompilerad eller testad.*¹⁸

¹⁸ YMMV (your mileage may vary)

Till att börja med måste vi skapa en datastruktur som hanterar det data vi behöver för att hålla koll på vilket minne som är fritt och vilket som är använt. Här återanvänder vi Chunk från smalloc:

```
typedef struct chunk *Chunk;
struct chunk {
    void* start; // pointer to start of memory
    unsigned size; // how big is this chunk
    Chunk next; // pointer to next chunk
    bool free; // true if the chunk is free, else false
};
```

Sedan behöver vi en funktion som skapar och initierar minnet. Vi återanvänder init från smalloc:

```
// Stolen and modified from smalloc
Chunk init(unsigned int bytes) {
```

```

    char *memory = (char*) malloc(bytes);
    Chunk H = (Chunk) malloc(sizeof(chunk));
    H->start = (void*) memory;
    H->size = bytes;
    H->next = NULL;
    H->free = 1;
    while (bytes) memory[--bytes] = 0;
    return H;
}

```

Sedan behöver vi funktioner för att allokera minne, frigöra minne, och svara på hur mycket ledigt minne som finns. Nedan återanvänder jag kod från smalloc igen. Den viktigaste förändringen är att funktionerna måste ta emot en pekare till minneshanteringens metadata, eftersom vi skall kunna ha flera samtidiga separata minnen, något som inte stöds av smalloc.

```

void *smalloc(Memory mem, chunkSize siz) {
    // Back up one pointer in memory to access the first chunk
    Chunk c = (Chunk) ((char*) mem)-sizeof(void*);
    while (!fits(c, bytes)) c = c->next;
    if (c) {
        return split(c, bytes);
    } else {
        return NULL;
    }
}

```

```

unsigned int avail(Memory mem) {
    // Back up one pointer in memory to access the first chunk
    Chunk c = (Chunk) ((char*) mem)-sizeof(void*);
    int avail = 0;
    for (; c; c = c->next)
        if (c->free) avail += c->size;
    return avail;
}

```

```

unsigned int sfree(Memory mem, void *ptr) {
    // Back up one pointer in memory to access the first chunk
    Chunk c = (Chunk) ((char*) mem)-sizeof(void*);
    // rest left as an exercise to the reader
}

```

Nu har vi alla funktioner som skall finnas i manual-strukten, och vi kan nu skriva iMalloc. Notera att eftersom vi använder smalloc för vår implementation kan vi inte stödja olika sortering av free-listan.

```

struct style *iMalloc(unsigned int memsiz, unsigned int flags) {
    // Ignoring free list ordering in this simple example
    if (flags & MANUAL) {
        // Allocate space for the struct of functions and metadata
        struct private_manual *mgr = malloc(sizeof(private_manual));
    }
}

```

```

    // Allocate the space that the memory manager will manage
    mgr->data = init(memsiz);
    // Install the functions
    mgr->functions->alloc = smalloc;
    mgr->functions->avail = avail;
    mgr->functions->free = sfree;
    return &(manual->functions);
}
// Implement all other cases
return NULL;
}

```

Sammanfattning

Åtminstone följande publika funktioner skall implementeras. Rimligtvis behövs också ett antal privata funktioner (alltså, som inte syns i headerfilen `imalloc.h`) som sköter arbete bakom kulisserna. Minns att många små funktioner som var och en löser en och endast en uppgift är en betydligt bättre design än få stora funktioner som gör många saker.

1. Funktionen `iMalloc` som skall returnera en datastruktur med pekare till de funktioner som kan användas för att manipulera minnet, samt allt data som minneshanteraren behöver.
2. Funktioner för manuell minneshantering, se strukten `manual`.
3. Funktioner för referensräkning, se strukten `RefCount`.
4. Funktioner för automatisk skräpsamling, se strukten `GC`.

Listning av `imalloc.h`

```

#ifndef __imalloc_h
#define __imalloc_h

/*
 * imalloc.h
 *
 * This file contains the public specifications for using the
 * imalloc allocator used as a course project for the 2012 IOOP/M
 * course.
 *
 * Note that this specification might evolve as the project is
 * running, f.ex. due to technical as well as educational bugs and
 * insights.
 *
 * You may NOT alter the definitions in this file.
 */

```

```

#define chunk_size unsigned int
#define Kb *1024
#define Mb Kb Kb

/* Enumeration constants used by to define how the freelist should
 * be sorted.
 */
enum { ASCENDING_SIZE = 1, DESCENDING_SIZE = 2, ADDRESS = 4 } FreelistStyle;

/* Enumeration constants used by to specify kind of memory
 * manager.
 */
enum { MANUAL = 8, REFCOUNT = 16, GCD = 32 } MallocStyle;

/* Not mandatory. If you want to support copying GC, you are free
 * to think about how to achieve that!
 */
enum { NON_COPYING = 64, COPYING = 128 } GCStyle;

/* The client's pointer to a memory manager. This must be passed
 * as argument to most functions of imalloc.
 */
typedef struct style *Memory;

/* Types used for function pointers in the memory manager struct.
 */
typedef void (*RawAllocator)(Memory mem, chunk_size size);
typedef void (*TypedAllocator)(Memory mem, char* typeDesc);
typedef unsigned int (*Manipulator)(Memory mem, void *ptr);
typedef unsigned int (*Global)(Memory mem);
typedef unsigned int (*Local)(void *ptr);

/* Functions for automatic garbage collecting memory manager
 * (mark-sweep)
 */
typedef struct {
    TypedAllocator alloc;
    Global collect;
} GC;

/* Functions for reference counting memory manager */
typedef struct {
    Local retain;
    Manipulator release;
    Local count;
} Refcount;

/* Functions for the manual memory manager */
typedef struct {
    RawAllocator alloc;

```

```

    Global avail;
    Manipulator free;
} manual, *Manual;

/* Functions for the manual memory manager */
typedef struct {
    RawAllocator alloc;
    Refcount rc;
    GC gc;
} managed, *Managed;

/* Return type specification for iMalloc */
typedef union {
    manual manual;
    managed managed;
} style;

////////// Public Functions //////////

/* Initiates the malloc library to be used. memsiz defines the
 * maximum amount of memory that can be used. flags specifies kind
 * of memory manager and allows fine-tunes some options.
 */
struct style *iMalloc(chunk_size memsiz, unsigned int flags);

#endif

```

Listning av priv_imalloc.h

Notera att imalloc använder en teknik som även användes av istring-biblioteket: iMalloc-funktionen returnerar en pekare till manual- eller managed-delen av nedanstående strukt. Den första pekaren skall användas för att peka på allt metadata som minneshanteraren behöver. Det är tillåtet att lägga till och ändra i denna fil.

```
#ifndef __priv_malloc_h
#define __priv_malloc_h

/*
 * priv_imalloc.h
 *
 * This file contains private specifications for using the imalloc
 * allocator used as a course project for the 2012 IOOP/M course.
 *
 * Note that this specification might evolve as the project is
 * running, f.ex. due to technical as well as educational bugs and
 * insights.
 *
 * You MAY ADD and ALTER the definitions in this file.
 */

/* Actual return type specifications for iMalloc */
struct private_manual {
    void *data;
    manual functions;
};

struct private_managed {
    void *data;
    managed functions;
};

#endif
```