

TME2 : Langage C: tables de hachage

1. Objectif
2. Description des sources et principe des tables de hachage
3. Etape 1 : Questions sur le code fourni
 1. a) Le Makefile
 2. b) Le programme main
 3. c) La table de hachage générique
 4. Le dictionnaire
 5. La fonction de comptage des mots
 6. Autres services utiles
4. Etape 2 : Modifications du programme
 1. affichage des numéros de ligne
 2. statistiques sur la table de hachage
 3. création d'un manuel en ligne
5. Compte-Rendu

Objectif

La première partie de ce TME porte sur l'analyse d'un programme C existant. Dans la seconde partie vous devrez modifier ce programme pour introduire de nouvelles fonctionnalités. L'objectif est triple :

1. Il doit vous permettre de compléter l'auto-évaluation de vos connaissances des outils de développement C que vous avez commencée dans le précédent TME. Si vous ne savez pas répondre directement aux questions posées, vous devez trouver les réponses dans les documentations (man, web), ou auprès de vos camarades.
2. Il introduit de nouveaux outils permettant l'indentation automatique d'un programme source (outil *indent*), la construction d'une bibliothèque C (outil *ar*), ou l'écriture d'une documentation (outil *man*).
3. Il présente une structure de données, la table de hachage, très utilisée dans tous les programmes où on a besoin de rechercher un objet par son nom.

Il vous offre également un modèle de programme, avec Makefile et man pour vos futurs développements.

Vous devez commencer par récupérer l'archive `attachment:tme2.tar.gz` ou créer un répertoire *tme2* et y copier tous les fichiers se trouvant dans :

```
/users/enseig/encadr/cao/tme2
```

Ce répertoire contient un programme utilisant une table de hachage. Le travail demandé comporte deux phases. Dans un premier temps vous devez analyser le code fourni, et **rédiger** des réponses aux questions portant sur ce code. Dans un deuxième temps, vous devrez modifier ce programme, pour introduire de nouvelles fonctionnalités.

Le programme fourni compte le nombre de mots d'un fichier texte et indique le nombre total de mots dans le fichier, ainsi que le nombre de mots différents, et le nombre d'occurrences de chaque mot.

Description des sources et principe des tables de hachage

- `Makefile` description du processus de construction de l'exécutable.
- `main.c`, `main.h` programme principal source et déclarations.

- `count.c`, `count.h` algorithme de parcours d'un fichier texte en vue de comptage.
- `hte.c`, `hte.h` fonction de création des tables de hachage et déclaration de toutes fonctions de gestion.
- `dico.c`, `dejavu.c`, `namealloc.c` .. fonctions de gestion des tables pour trois types d'usage
- `man1/tool.1` fichier au format man

Une table de hachage est une structure de données permettant de représenter des ensembles d'éléments, où chaque élément est un couple de la forme (clé, data). Le plus souvent la clé est une chaîne de caractères. La donnée peut être un nombre ou une structure de données plus ou moins complexe. Le principal objectif d'une table de hachage est d'accélérer la recherche d'un élément par sa clé.

Pour représenter un ensemble de couples (clé, data) la méthode la plus simple consiste à les stocker dans une liste chaînée. La recherche d'un élément se fait alors par un parcours de la liste, ce qui n'est pas très efficace si le nombre d'éléments est grand.

Pour accélérer la recherche, on crée un tableau de listes chaînées. On définit ensuite une fonction, que l'on nomme **fonction de hachage**, qui calcule l'index d'une case à partir de la clé. Tout élément doit être rangé dans la liste chaînée associée à la case du tableau définie par l'index calculé par la fonction de hachage.

Dans la pratique, il n'est pas possible d'éviter les collisions, et deux éléments ayant des clés différentes peuvent avoir le même index de hachage. Pour que la méthode soit efficace, il faut cependant que les éléments se répartissent aussi uniformément que possible dans les différentes cases du tableau, et qu'il n'y ait qu'un petit nombre d'éléments dans chaque case du tableau. Le nombre de case du tableau doit donc être du même ordre de grandeur que le nombre total d'éléments à stocker. De plus, on choisit généralement un nombre premier pour le nombre de cases du tableau.

Il existe plusieurs méthodes de calcul de l'index, nous vous donnons celle proposée par Donald Knuth.

La propriété principale d'une table de hachage est que, si la taille de la table est du même ordre de grandeur que le nombre d'éléments, alors le temps de recherche est en $O(1)$, c'est à dire indépendant du nombre d'éléments, même pour un million d'éléments. Les deux principales actions sont l'ajout d'un élément (add) et la recherche d'un élément (get).

- La fonction `get()` prend en paramètre la clé de l'élément recherché. Si l'élément existe, elle rend la donnée associée.
- La fonction `add()` prend en paramètre le couple (clé, data). Si l'élément existe, elle change sa donnée, sinon elle crée l'élément.

Etape 1 : Questions sur le code fourni

a) Le Makefile

Les premières questions portent sur le fichier attachment: "Makefile"

1. Completez la liste des dépendances pour les cibles : `main.o ... namealloc.o`.
2. Réécrivez les commandes en utilisant les variables automatiques : `$(@) $< $^`
 - ♦ `$(@)` : désigne le fichier cible d'une règle.
 - ♦ `$<` : désigne le premier fichier de la liste des fichiers source d'une règle.
 - ♦ `$^` : désigne la liste des fichiers source d'une règle.
3. Pourquoi est-il préférable de regrouper la définition des commandes et paramètres au début du Makefile?
4. A quoi servent les options `-p`, `-g`, `-wall`, `-werror`, `-ansi` ? (man gcc)

5. Comment demander l'optimisation maximale du compilateur ? (man gcc)
6. L'option -p est présente dans LDFLAGS et CFLAGS, pourquoi n'est-ce pas le cas de -g ? (man gcc)
7. Que fait la règle indent ? quelle est la signification des flags utilisés par le programme indent ? (man indent)

b) Le programme main

Les questions suivantes portent sur le programme principal attachment:main.c Ce fichier contient la fonction main() et la fonction getarg() qui effectue l'analyse de la ligne de commande.

- Expliquez à quoi sert chacun des fichiers inclus au début du fichier *main.c*
- A quoi sert le fichier "main.h" ?
- Expliquez le fonctionnement de la fonction getopt (man 3 getopt)

Ajoutez dans la fonction getarg() le traitement de l'option -h, qui affiche un texte rappelant le format de la ligne de commande.

Vous ajouterez plus tard l'option -s qui demande de fournir des statistiques concernant l'utilisation de la table de hachage.

- A quoi sert l'appel de return à la fin de la fonction main() ?
- Pourquoi y-a-t-il exit() à la fin de la fonction usage() ?
- Quels sont les appels système utilisés dans ce fichier main.c ?
- Quelle précaution doit-on prendre lors de leur utilisation ?
- Où sont définies les fonctions standard de la bibliothèque C ?
- Qu'est-ce qu'un filtre unix ?
- Que faut-il faire pour transformer ce programme en filtre ?

et sur le fichier de prototype associé attachment:main.h

- A quoi servent les lignes les 2 premières lignes et la dernière ?
- Pourquoi inclure `stdio.h` ici ?

c) La table de hachage générique

Le fichier attachment:hte.h contient les déclarations des fonctions de base et des types de données permettant de manipuler une table de hachage générique.

- Les types `hte_item_t` et `hte_data_t` sont des structures dont le contenu n'est pas défini dans le fichier *hte.h*. Ce contenu n'est pas défini non plus dans le fichier *hte.c*. En effet, la table de hachage définie dans ces fichiers est une ressource "générique", qui peut être utilisée pour stocker différents types d'objets. Par conséquent les types `hte_item_t` et `hte_data_t` peuvent (et doivent) être définis en fonction de l'utilisation qu'on souhaite. Les 3 fichiers *dico.c*, *dejavu.c* et *namealloc.c* définissent trois utilisations différentes d'une table de hachage. Quelle est la contrainte d'usage de ces types dans le fichier *hte.c* ?
- Dans la définition des prototypes de fonctions, le nom des paramètres est-il nécessaire ? si non pourquoi les mettre ?

et sur le fichier attachment:hte.c

- Faites un dessin représentatif de la valeur de la variable locale `root` de la fonction `hte_create` si `nb_list==10` juste avant l'appel `return`.
- La fonction `hte_hash` peut-elle provoquer une erreur de segmentation ? Comment y remédier proprement ?

- Dans la fonction `hte_create` comment fait-on pour tester le retour de `malloc` ? à quoi cela sert-il ?

Le dictionnaire

Le fichier `attachment:dico.c` rassemble les fonctions d'accès à une table de hachage utilisée comme dictionnaire.

- Pourquoi la structure de donnée `hte_item_s` a-t-elle un encombrement mémoire variable ?
- On aurait pu utiliser une structure de donnée de taille fixe en définissant le troisième champs de la structure comme un pointeur sur chaîne de caractères du type `char *KEY`. Pour quoi n'a-t-on pas utilisé cette technique ?
 - ♦ Quelle est la technique utilisée dans la fonction `hte_add()` pour créer ce type d'objet de taille variable en mémoire ?
- La structure de donnée `hte_data_s` n'est pas définie dans le fichier `dico.c`. Pourquoi ? Où devra-t-il être défini ? quel genre d'information devra-t-elle contenir ?
- Pourquoi teste-on la valeur de l'argument `key` dans la fonction `hte_get()` ? A quoi sert la fonction `perror()` ?

La fonction de comptage des mots

Le fichier `attachment:count.c` contient le code de la fonction `count()`, qui compte le nombre d'occurrences des différents mots présents dans le fichier texte analysé. Il contient également les deux fonctions auxiliaires `token()` et `result_count()`.

- Le mot clé **static** est utilisé de trois manières différentes dans le fichier `count.c`. Quel est son effet ?
- Aurait on pu écrire `static char * buffer = malloc(1024)` ou encore `char * buffer = malloc(1024) ;`. Pourquoi ?
- La fonction `token()` est censée rendre un nouveau "token" (mot) du fichier texte analysé `infile` à chaque appel. Que pensez-vous de son comportement, est-il satisfaisant d'une manière générale ?
- Pourquoi as-ton mis une étoile devant l'argument `numero` de la fonction `token()` ?
- Pourquoi la fonction `result_count` utilise-t-elle des fonctions d'accès spécifiques pour effectuer le parcours des éléments présents dans la table de hachage ? Dans quel ordre vont être affichés les éléments de la table ?

Autres services utiles

Vous trouverez deux autres services possibles utilisant des tables de hachage dans les fichiers, `attachment:dejavu.c` et `attachment:namealloc.c`. Ces services ne sont pas utilisés dans ce TME2, mais ils vous seront utiles lors des TME futurs. Vous pourrez faire alors une édition de liens avec la bibliothèque `libhte.a`.

La fonction `dejavu()` permet de répondre à la question "ai-je déjà vu cette chaîne de caractères". La fonction `namealloc()` est très utilisée dans la chaîne de CAO Alliance, et permet de garantir que si deux chaînes de caractères sont identiques alors elles seront rangées à la même adresse.

Etape 2 : Modifications du programme

affichage des numéros de ligne

Le programme qui vous est fourni affiche, pour chaque mot présent dans le fichier texte analysé, le nombre d'occurrences de ce mot. Vous devez modifier le programme de façon à ce qu'il indique en plus, pour chaque mot, les numéros de toutes les lignes où le mot est présent.

Le fichier `Makefile` est un fichier texte. Si on lance le programme `statt` sur le fichier `Makefile`, on obtient :

```
$ ./statt Makefile
namealloc.o : 2 occurences
hte.o : 2 occurences
true : 2 occurences
dico.o : 2 occurences
des : 3 occurences
: : 2 occurences
clean : 3 occurences
/dev/null : 2 occurences
2> : 2 occurences
count.o : 2 occurences
# : 3 occurences
Definition : 3 occurences
dejavu.o : 2 occurences
-p : 2 occurences
|| : 2 occurences
indent : 2 occurences
= : 9 occurences
$(RM) : 2 occurences
statt : 4 occurences
main.o : 2 occurences
de : 2 occurences
libhte.a : 3 occurences
116 mots dont 80 différents
```

Après modification, il devra afficher:

```
$ ./statt Makefile
namealloc.o : 2 occurences lignes: 23 22
hte.o : 2 occurences lignes: 23 22
true : 2 occurences lignes: 37 34
dico.o : 2 occurences lignes: 23 22
des : 3 occurences lignes: 14 8 2
: : 2 occurences lignes: 22 19
clean : 3 occurences lignes: 37 34
/dev/null : 2 occurences lignes: 37 34
2> : 2 occurences lignes: 37 34
count.o : 2 occurences lignes: 20 19
# : 3 occurences lignes: 14 8 2
Definition : 3 occurences lignes: 14 8 2
dejavu.o : 2 occurences lignes: 23 22
-p : 2 occurences lignes: 10 9
|| : 2 occurences lignes: 37 34
indent : 2 occurences lignes: 17 8 2
= : 9 occurences lignes: 15 12 11 10 9 6 5 4 3
$(RM) : 2 occurences lignes: 37 34
statt : 4 occurences lignes: 37 34
main.o : 2 occurences lignes: 20 19
de : 2 occurences lignes: 14 14
libhte.a : 3 occurences lignes: 23 22
116 mots dont 80 différents
```

Pour introduire cette nouvelle fonctionnalité, il faut:

- Définir un type de liste chaînée pour le stockage des numéros de ligne. Cette structure contient deux champs: un pointeur vers l'élément suivant de la liste et un entier représentant le numéro de ligne.
- Changer la structure hte_data_s afin d'ajouter un champs contenant un pointeur sur la liste chaînée contenant les numéros de lignes.
- Modifier la fonction count() pour ajouter un nouveau numéro de ligne dans la liste chaînée associée au champs chaque fois que la fonction token() renvoie un mot.
- Modifier la fonction result_count() pour parcourir les listes chaînées contenant les numéros de ligne et les afficher.

statistiques sur la table de hachage

Vous donnerez également des statistiques sur l'usage des tables de hachage, telles que le nombre moyen de comparaisons nécessaires lors de la recherche d'un mot.

création d'un manuel en ligne

Vous devez enfin écrire la page de manuel pour le programme *statt*. Le fichier `attachment:tool.1` se trouve dans le répertoire `man1`, et contient une page de manuel générique contenant des commentaires pour expliquer la syntaxe. La structure de cette page est standard, c'est celle utilisée pour les commandes unix.

Renommez le fichier *tool.1* en *statt.1*, et modifiez son contenu pour documenter le programme *statt*.

Pour rendre ce manuel utilisable en ligne, ajoutez le répertoire `.` à la variable d'environnement `MANPATH`:

```
export MANPATH=.:$MANPATH
```

Il suffit de taper la commande `man statt` dans le répertoire `tme2` pour afficher la documentation.

Compte-Rendu

Pour la première partie de ce TME, vous rédigerez un compte-rendu contenant les réponses aux questions posées.

Pour la seconde partie, une démonstration des modifications introduites dans le programme vous sera demandée au début du prochain TME.