CSEL1 (construction systèmes embarqués sous Linux) – Travail pratique

Optimisation : Performances

Perf - Performance analysis tools for Linux

Prise en main de perf

Le but de cet exercice est de se familiariser avec l'outil "perf" et d'en utiliser quelques fonctionnalités de base. Perf est un ensemble d'outils très complet, mais complexe. Chaque outil est une sous-commande de perf que l'on invoque de la manière suivante :

```
perf <sub-command>
```

La liste des commandes disponibles avec une description peut être obtenue en invoquant perf sans argument :

```
$ perf

 usage: perf [--version] [--help] COMMAND [ARGS]

 The most commonly used perf commands are:
   annotate        Read perf.data (created by perf record) and display annotated code
   archive         Create archive with object files with build-ids found in perf.data file
   bench           General framework for benchmark suites
   buildid-cache   Manage build-id cache.
   buildid-list    List the buildids in a perf.data file
   diff            Read perf.data files and display the differential profile
   evlist          List the event names in a perf.data file
   inject          Filter to augment the events stream with additional information
   kmem            Tool to trace/measure kernel memory(slab) properties
   kvm             Tool to trace/measure kvm guest os
   list            List all symbolic event types
   lock            Analyze lock events
   mem             Profile memory accesses
   record          Run a command and record its profile into perf.data
   report          Read perf.data (created by perf record) and display the profile
   sched           Tool to trace/measure scheduler properties (latencies)
   script          Read perf.data (created by perf record) and display trace output
   stat            Run a command and gather performance counter statistics
   test            Runs sanity tests.
   timechart       Tool to visualize total system behavior during a workload
   top             System profiling tool.
   trace           strace inspired tool
   probe           Define new dynamic tracepoints

 See 'perf help COMMAND' for more information on a specific command.
```

Phase 0

La version de Perf générée par Buildroot n'est pas totalement satisfaisante. Il faut la générer avec les commandes suivantes :

```
cd ~/workspace/nano/buildroot/output/build/linux-5.8.6/tools/perf/
make clean
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=~/workspace/nano/buildroot/output/host/bin/aarch64-none-linux-gnu-
sudo cp perf ~/workspace/nano/rootfs/usr/bin/perf
```

CSEL1 (construction systèmes embarqués sous Linux) – Travail pratique

Optimisation : Performances

Phase 1

Vérifier que perf fonctionne et que les compteurs matériels sont bien reconnus avec la commande :

```
$ perf list
```

Si tout fonctionne correctement, une liste de compteurs avec la mention [Hardware event], par exemple les compteurs "instructions", "cycles", etc.

```
List of pre-defined events (to be used in -e):
  cpu-cycles OR cycles                                [Hardware event]
  instructions                                        [Hardware event]
  cache-references                                    [Hardware event]
  cache-misses                                        [Hardware event]
  branch-instructions OR branches                     [Hardware event]
  branch-misses                                       [Hardware event]
  bus-cycles                                          [Hardware event]
  stalled-cycles-frontend OR idle-cycles-frontend     [Hardware event]
  ref-cycles                                          [Hardware event]
```

La liste retournée dépend de la machine et du processeur utilisé. En effet, tous les processeurs ne fournissent pas tous les mêmes compteurs. Les évènements les plus communs au début, identifié par [Hardware event], tel que : cycles, instructions, cache-misses, branch-misses, etc. Les évènements suivants, identifiés par [Software event] ne sont pas des évènements venant du processeur, mais des tracepoints du noyau Linux que perf est également capable d'utiliser.

Phase 2

La deuxième commande intéressante est "perf stat". Elle permet d'obtenir différentes valeurs de compteurs lors de l'exécution d'un programme. Elle mesure également le temps d'exécution du programme.

Compilez (en utilisant le Makefile fourni) et exécutez le programme situé dans le dossier 01/ en utilisant la commande "perf stat"

```
# perf stat ./ex1
```

Sans options spécifiques, la commande mesure par défaut un certain nombre de compteurs. Relevez par exemple les compteurs du nombre de context-switches et d'instructions ainsi que le temps d'exécution.

Phase 3

Ouvrez maintenant le fichier "main.c" et analysez le code.

Ce programme contient une erreur triviale qui empêche une utilisation optimale du cache. De quelle erreur s'agit-il ?

Si vous ne voyez pas l'erreur, essayez encore une fois, mais avec la commande

```
# perf stat -e cache-misses ./ex1
```

CSEL1 (construction systèmes embarqués sous Linux) – Travail pratique

Optimisation : Performances

Phase 4

Corrigez "l'erreur", recompilez et mesurez à nouveau le temps d'exécution (soit avec perf stat, soit avec la commande time). Quelle amélioration constatez-vous ?

Phase 5

Grâce à perf, nous pouvons mesurer l'effet de notre modification, en utilisant le compteur L1-dcache-load-misses. Celui-ci peut s'activer en passant le paramètre "-e L1-dcache-load-misses" à la commande perf stat.

Relevez les valeurs du compteur L1-dcache-load-misses pour les deux versions de l'application. Quel facteur constatez-vous entre les deux valeurs ?

```
# perf stat –e L1–dcache–load–misses ./ex1
```

Phase 6

Décrivez brièvement ce que sont les évènements suivants :

- *instructions*
- *cache-misses*
- *branch-misses*
- *L1-dcache-load-misses*
- *cpu-migrations*
- *context-switches*

Phase 7

Lors de la présentation de l'outil perf, on a vu que celui-ci permettait de profiler une application avec très peu d'impacts sur les performances. En utilisant la commande time, mesurez le temps d'exécution de notre application ex1 avec et sans la commande perf stat.

Analyse et optimisation d'un programme

Sur la base du programme situé dans le dossier 02/

Phase 1

Décrivez en quelques mots ce que fait ce programme

Phase 2

Compilez le programme à l'aide du Makefile joint.

Mesurez le temps d'exécution

Phase 3

Nous allons apporter une toute petite modification au code, qui ne change pas la sémantique et ne devrait à priori avoir aucun effet sur le temps d'exécution : trier le tableau d'éléments.

Avant la fonction int main(), ajoutez la méthode suivante :

```
static int compare (const void* a, const void* b)
      {return *(short*)a - *(short*)b;}
```

Avant « long long sum = 0; », ajoutez le code suivant :

```
qsort(data, SIZE, sizeof(data[0]), compare);
```

Compilez et mesurez le temps d'exécution de la version modifiée

Phase 4

Vous observez sans doute une nette amélioration sur le temps d'exécution.

A l'aide de l'outil perf et de sa sous-commande 'stat', en utilisant différents compteurs déterminez pourquoi le programme modifié s'exécute plus rapidement.

Parsing de logs apache

Vous trouverez dans le dossier 03/ une application C++ qui parcourt un fichier de "access logs" Apache pour en compter les IPs / Hostnames uniques qui s'y trouvent. Deux fichiers de logs sont donnés en exemple :

- access_log_NASA_Jul95 contient les logs du mois de juillet 1995 d'un serveur de la NASA (~2mios d'entrées)
- access_log_NASA_Jul95_samples contient les 200'000 premières entrées du fichier précédent.

Les fichiers de logs NASA ont été trouvés sur ce site: http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html

L'application peut être optimisée de façon considérable avec de toutes petites modifications. Nous allons à nouveau utiliser les outils de perf pour analyser cette application afin d'identifier où le programme passe le plus de temps. Pour ceci nous allons utiliser la sous-commande perf record et son option d'enregistrement du call graph.

Conseil : pour exécuter l'application non optimisée, utilisez le fichier *access_log_NASA_Jul95_samples*.

Phase 1

Compilez l'application et profilez l'application avec perf record :

```
# perf record --call-graph dwarf -e cpu-clock -F 75 ./read-apache-logs
   access_log_NASA_Jul95_samples
```

L'exécution de cette commande doit produire un fichier de résultat perf, nommé **perf.data**. Si l'on exécute une nouvelle fois la commande, ce fichier sera copié vers **perf.data.old** et un nouveau perf.data correspondant à la dernière exécution sera créé.

Phase 2

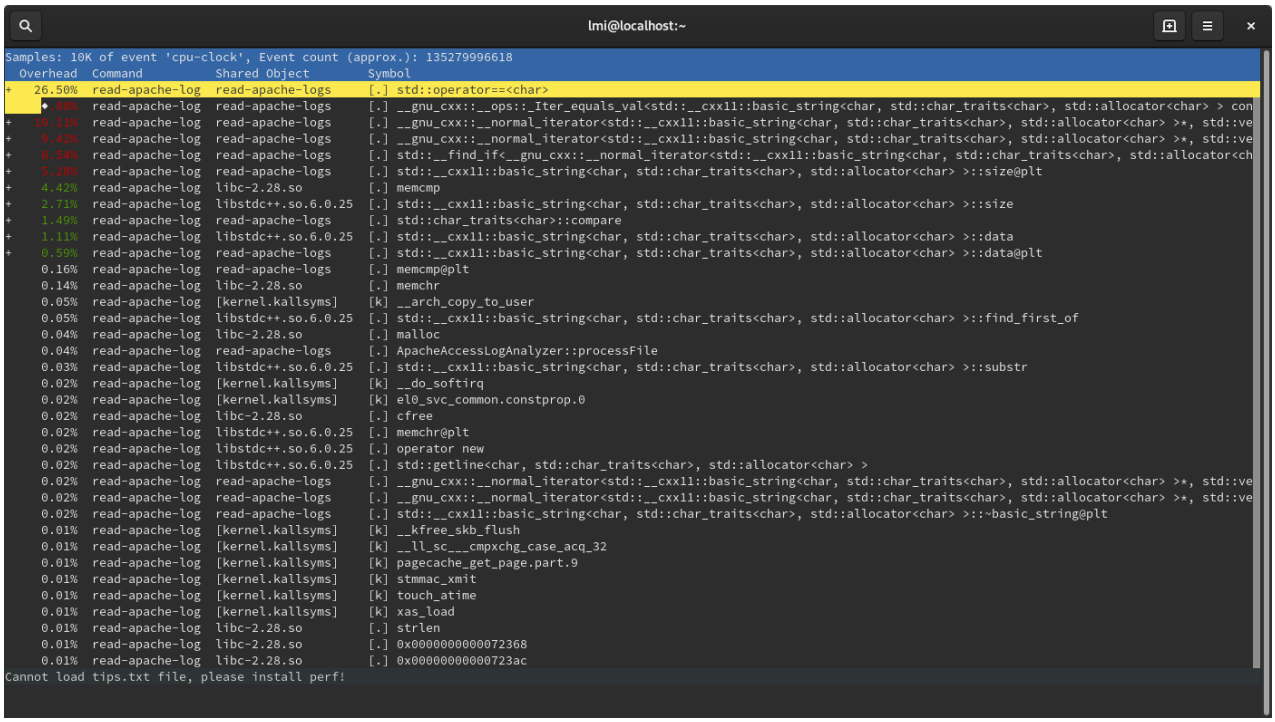
Nous pouvons maintenant analyser les données collectées par perf avec la commande *perf report*.

```
# perf report --no-children --demangle
```

L'interface se présente sous la forme suivante :

CSEL1 (construction systèmes embarqués sous Linux) – Travail pratique

Optimisation : Performances



Chaque ligne représente une fonction, celles récoltant le plus d'évènements sont montrées en haut.

Phase 3

Sur la capture ci-dessus on voit par exemple que la majorité des cycles de l'application sont passés dans la fonction *std::operator==<char>* qui est contenue dans la librairie standard. Il nous manque cependant une information capitale : quelle fonction de notre application fait appel à cette fonction ?

Avec les instructions précédentes, déterminez quelle fonction de notre application fait (indirectement) appel à std::operator==<char>.

Phase 4

Maintenant que vous savez quelle fonction utilise le plus de ressources CPU, trouvez une optimisation du code permettant de réduire drastiquement le temps d'exécution (vous devriez arriver à quelques dixièmes de secondes pour le fichier sample).

Indice : rappelez-vous vos cours d'algorithmique...

Phase 5

Une partie de la solution… Il faut remplacer le std::vector par une structure de données de la librairie standard plus efficace pour faire des finds. Par exemple un std::set. Ceci implique quelques petites modifications :

Fichier : HostCounter.h

remplacer la ligne

```
#include <vector>
```

par

```
#include <set>
```

remplacer la ligne

```
std::vector< std::string > myHosts;
```

par

```
std::set< std::string > myHosts;
```

Fichier : HostCounter.cpp

remplacer la ligne

```
return std::find(myHosts.begin(), myHosts.end(), hostname) == myHosts.end();
```

par

```
return myHosts.find(hostname) == myHosts.end();
```

remplacer la ligne

```
myHosts.push_back(hostname);
```

par

```
myHosts.insert(hostname);
```

Mesure de la latence et de la gigue

Décrivez comment devrait-on procéder pour mesurer la latence et la gigue d'interruption, ceci aussi bien au niveau du noyau (kernel space) que de l'application (user space).