Analyse des performances

Hadrien Grasland 2023-07-10

Plan général

1. **Analyse système entier**
2. Metriques détaillées
3. Localisation dans le code
4. Analyse du code

Cibler l’effort

- Ce serait bien de tout optimiser au maximum mais…
  - Pas assez d’heures dans une journée
  - Compromis avec d’autres objectifs*
- La loi de Pareto peut nous aider
  - Souvent >80 % du temps est passé dans <20 % du code
  - **Avantage :** L’effort bien ciblé est très efficace
  - **Inconvénient :** L’effort mal ciblé est très inefficace

* Le code parfait est aussi facile à écrire et maintenir, lisible par d’autres que son auteur, flexible, extensible, ergonomique, conforme à diverses politiques, sécurisé, etc.

Penser système entier

- Un programme interagit avec de nombreuses **ressources**
  - Matérielles (CPU, RAM, stockage, réseau, GPU…)
  - Logicielles (OS, serveurs distants ex : bases de données…)
- Chacune de ces ressource a des **limites**
  - Liées au matériel ou à une politique d'administration
- Objectif : comprendre **quelles limites affectent le code**
  - Permet de diminuer la pression ou augmenter la limite

Méthode USE

1. Enumérer les ressource systèmes potentiellement utilisées*
   - Composants internes, services externes, interconnexions…
2. Pour chacune de ces ressources, étudier…
   - **Utilisation** (temps relatif/absolu passé sur des requêtes)
   - **Saturation** (nombre de requêtes en attente d'être traitées)
   - **Erreurs** (problèmes empêchant le traitement de requêtes)

- Origine : https://www.brendangregg.com/usemethod.html

* Il faut un peu d'entraînement pour ne pas en oublier → S'entraîner avec les experts locaux !

Conseils pratiques

- Penser à étudier les coeurs CPU, disques… **individuellement**
  - Votre code ne sait pas forcément en utiliser plusieurs
- Penser aux **interconnexions** (CPU-RAM, CPU-GPU, réseau…)
  - Leur perf dépend beaucoup de la granularité des messages
    → Mesurer à la fois volumétrie/s et messages/s
- Penser au **monde extérieur** (stockage partagé, hyperviseurs…)
  - Vérifier les métriques hôtes + quotas avec les admins

Quelques outils Linux*

- **GUI :** Je conseille ksysguard (configurable et mature)
  - Ubuntu 22 : Remplacé un peu vite par Plasma SysMon :-(
- **CLI :**
  - Pseudo-graphique : zenith, nmon, glances, btop++…
  - Tabulaire : sar (aka « sysstat »), dstat, vmstat…
- **Web :** Demander un accès à l'UI de monitoring (grafana ou équivalent) des serveurs de calcul que vous utilisez

* Sous Windows, le taskmgr standard a pas mal de possibilités, notamment via son mode avancé « resource monitor ». Sous macOS, une référence est Xcode Instruments.

Demo : Monitoring système

Plan général

1. Analyse système entier
2. **Metriques détaillées**
3. Localisation dans le code
4. Analyse du code

Mieux comprendre

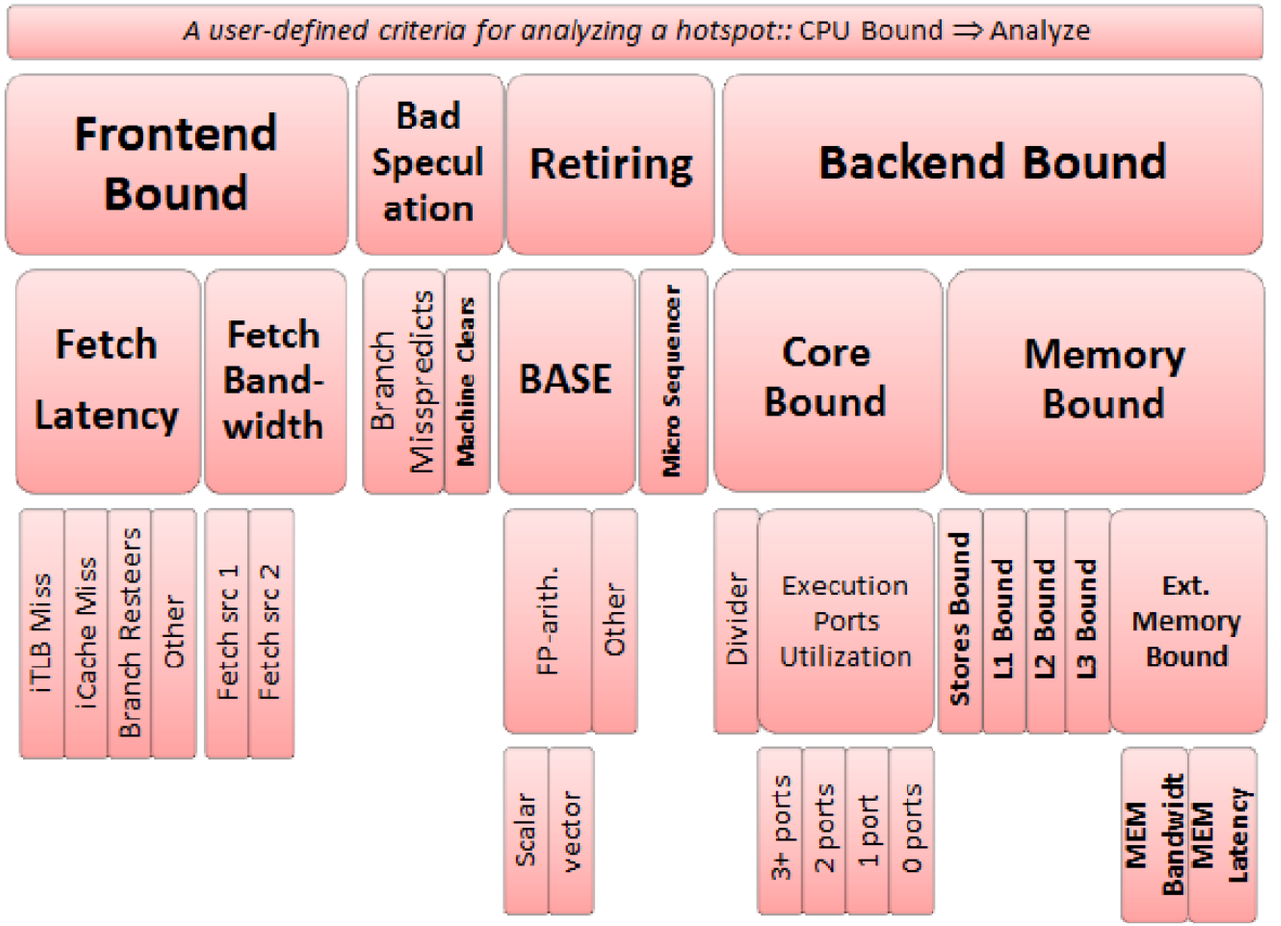
- Les métriques à gros grain sont encore ambigües
  - Ex : Comment interpréter une utilisation CPU à 100 % ?
  - Frontend ? ALUs ? Bus CPU <-> RAM ? Autre chose ?
- Pour aller plus loin, on peut utiliser des **métriques à grain fin**
  - Clarifie la nature de la saturation observée
  - Suffit parfois à comprendre son origine
- Trop pour tout couvrir → **Quelques exemples CPU avec perf**

Exécution de code efficace ?

- **Métriques :** Instructions / cycle + fréquence d'horloge
- **Mesure :** Fait partie de « perf stat <commande> »*
- **Interprétation :**
  - IPC < 1 toujours suspect mais IPC ≥ 1 est ambigü
  - Multi-coeur : On veut clock ≥ spécification « base clock »
  - Séquentiel : Il devrait y avoir du turbo, si pas désactivé
  - Spécifications via https://ark.intel.com/ & similaire

* Mesure minimale donnant cette information : -e instructions,cycles,task-clock

Partie limitante ? (spécifique Intel)



- Analyse « **top-down** »
  - Retiring = Exec. normale
  - Bad spec = Le code est imprévisible pour le CPU
  - FE bound = Le code est indigeste pour le CPU
  - BE bound = Limité par core ou mem → ambigü !
- Mesure « perf stat -M TopDownL1 »
  - Puis suivre le schéma

Limité par les FLOPs ? (spécifique Intel)

- **Mesure « perf stat -M FLOPc »**
  - Opérations flottantes / cycle
  - Décomposition en scalaire, SSE, AVX…
- **Interprétation :**
  - Max 2 en f64 scalaire, 4 en SSE, 8 en AVX, 16 en AVX-512
  - Limite x2 si f32, x2 si instruction FMA utilisée
  - Si vous atteignez cette limite (bravo!), la seule optim possible est diminuer le nombre de calculs effectués…

Limité par la hiérarchie mémoire ?

- Version simple :
  - **perf stat -d** inclut les caches posant souvent problèmes
  - -dd ajoute des caches moins « problématiques »
  - Problème : Mesures peu précises (compteurs nombreux)
- Version avancée : « perf list » ⟶ Etudier les possibilités
- Mettre les nombres absolus en regard de « instructions »
  - Les pourcentages de petits nombres ne veulent rien dire !

Limité par les branches ?

- Présent dans la sortie de « perf stat » sans arguments*
- Mettre « branches » en regard de « instructions »
  - Si ils sont similaires, **limite de 1 branche / cycle** atteinte…
  - Solution : Utiliser moins de branches
- **« branch-misses » élevé = branches imprévisibles**
  - Très coûteux (~dizaines de cycle à chaque ratage)
  - Solutions : Moins de branches ou branches plus prévisibles

* Mesure minimale donnant l'information : -e instructions,branches,branch-misses

Bref…

- **Commencer par « perf stat -d »** (problèmes classiques)
- Pour aller plus loin, prendre le temps d'étudier **« perf list »**
- Ne pas hésiter à formuler des hypothèses et les tester

- Limites de perf stat (si utilisé avec les PMCs comme ici) :
  - Compteurs spécifiques à certains matériels (Intel >> AMD)
  - Trop de mesures simultanées → Précision réduite
  - Aggrégé sur toute l'exécution (--interval peut aider)
  - **N'a pas de sens si le CPU n'est pas la ressource limitante !**

Demo : perf stat

Plan général

1. Analyse système entier
2. Metriques détaillées
3. **Localisation dans le code**
4. Analyse du code

Influence du langage

- Outils standardisés ? Dépend du modèle d'exécution !
  - **AoT** (C/++, Fortran, Rust, Go…) => **Généralement oui**
  - **JIT** (Java, C#, Julia, Numba, ROOT…) => **Peut-être**
    - Parfois il faut compiler le JIT avec un flag, le patcher…
    - Parfois, ce n'est pas possible du tout
  - **Interprété** (CPython, bash…) => **Non, outils spécifiques**
- Ici, on va se concentrer sur l'outil standardisé Linux **perf**

Prérequis

- **Noyau Linux assez récent** (date sortie ≥CPU, idéalement ≥5.x)
- **Privilèges utilisateur** (attention aux VMs et conteneurs)
- **Symboles de debug** pour le code + toutes ses dépendances
  - On ne peut faire sans que dans des cas très particuliers

Perf record = Acquisition de données

- **Exemple :** « perf record -F 100 ma_commande --arguments »
- On dit à perf quel **événement** on veut localiser dans le code
  - Par défaut, passage du temps (« cycles »)
- Toutes les N occurrences de cet événement, perf mesure **où on est dans le code** (IP ou données pour stack trace)
  - N ajusté pour une fréquence d'échantillonage ~constante
- On en déduit **dans quel code l'événement arrive souvent**

Les graphes d’appels

- On active la **mesure de piles d’appels** avec –call-graph=xyz
  - Config de base recommandée : « --call-graph=dwarf »
  - Plus fiable mais plus coûteux : « dwarf,64000 »
  - Fonctionne en copiant les octets supérieurs de la pile
- **Coûteux :** Baisser freq. échantillonage avec -F, idéalement mettre la sortie sur ramdisk avec -o /dev/shm/perf.data
- **Important :** Permet de savoir quel code appelle les utilitaires !

Perf report = Visualisation TUI

- Principe = **Histogramme** configurable des échantillons : par binaire source, fonction, ligne de code source…
- En présence de piles d'appel, il est **hiérarchique**
  - % du temps passé dans main(), ses enfants, leurs enfants
  - On peut zoomer sur les enfants, récursivement…
- C'est à ce moment là qu'on a besoin des **infos de debug**
  - …mais c'est une TUI, donc utilisable sur un serveur
  - Par contre, ça a ses limites ergonomiques (ex : threads !)

Firefox Profiler = Visualisation GUI

- https://profiler.firefox.com/ = plate-forme permettant la **visualisation locale et le partage cloud** de profils de perfs
  - A la base, pensé pour l'optimisation de Firefox
  - Mais accepte les données perf après digestion :

    « perf script -F +pid > /tmp/test.perf »

- **Intérêts :** Plus ergonomique & puissant que la TUI, et permet le partage facile avec des collègues n'utilisant pas perf.
  - …et nettement moins buggé que l'alternative hotspot.

Demo : perf + FF profiler

Plan général

1. Analyse système entier
2. Metriques détaillées
3. Localisation dans le code
4. **Analyse du code**

Principe

1. Repérer des **fonctions « chaudes »** avec perf
2. Si CPU-bound, **examiner directement l'ASM** avec Cutter
3. Sinon, **extraire des fragments** à étudier davantage
   - Microbenchmarks pour suivre les perfs
   - Analyse statique avec -fopt-info, MAQAO, etc…
   - Analyse dynamique avec Intel PT
   - Instrumentation manuelle si besoin…

Cutter

- A la base un outil de **rétro-ingénierie**
- Visualisation de l'assembleur en **graphe de *basic blocks***
  - Plus facile à interpréter qu'un gros listing
  - Aide à comprendre ce que le compilateur a fait
  - Etape suivante : Si c'est bizarre, il faut trouver pourquoi… :(
- Limite : Support incomplet des instructions AVX-512

-fopt-info (spécifique compilo)

- Fonctionnalité GCC pour avoir les **logs de l'optimiseur**
- Très, **très verbeux**, ne l'appliquer qu'à des fragments de code
- Pas toujours clair, mais **peut donner une piste**
  - Ex : Boucle non vectorisée pour cause de dépendance
- Le cousin icc -qopt-report était un peu plus parlant…

MAQAO

- **Analyse statique** de fragments de code simples, calculatoires
  - Abandonne à partir d'un seuil de complexité *hardcodé*
- **Estime** les performances d'exécution
  - Ex : FLOPs/cycle pour un calcul flotant
- Donne des **suggestions** pour les améliorer
  - Ex : Accès mémoire, vectorisation…

Intel PT (spécifique Intel)

- **Trace à l'instruction près** de l'exécution d'un programme
  - Informations de timings, de décisions de branchement…
- **Volumes de données extrêmes** → Sections de code courtes !
- A quoi cela peut-il servir ?
  - Très haute résolution (>1 MHz), contrôle du biais statistique
  - Mesure d'infos dynamiques (ex : nb itérations de boucles)

Microbenchmarks

- Prendre une **tâche simple**, limitante pour les performances
- Faire une **mesure fine** de ses performances (statistiques!)
- **Contrôler l'évolution relative** de cette mesure…
  - Durant le processus d'optimisation, pour vérifier l'efficacité
  - En maintenance, pour repérer les régressions
- **Complément** aux mesures réalistes (rapide, reproductible, précis, ciblé, facile à analyser… mais moins réaliste)

Demo : Analyse fine

Bonus : Un peu de GPU

Conclusion

- **Comprendre ce qui se passe** est le nerf de la guerre
- Commencer grossier, puis raffiner avec l'outil adapté
  - Attention, une erreur de compréhension précoce coûte cher (inutile d'accélérer le CPU 30x si c'est l'I/O qui limite)
- Les outils sont nombreux mais très puissants
  - Apprenez-les progressivement, selon les besoins
  - Utilisez-les quotidiennement pour les maîtriser

Merci de votre attention !

Pourquoi perf ? (sous Linux*)

	(i)gprof, gperftools…	callgrind	VTune	perf
Support multi-thread	⚠	✖	✔	✔
Activité micro-architecture	✖	⚠	✔	✔
Granularité instruction ASM	✖	✔	✔	✔
Activité libc (mutex, malloc…)	⚠	⚠	⚠	✔
Instrumentation de code	✖	✖	✖	✔
Analyse activité OS	✖	✖	⚠	✔
Utilisable via SSH	⚠	⚠	✔	✔
Biais de mesure faible	✔	✖	✔	✔
Support matériel AMD, ARM…	✔	✔	⚠	✔

* Sous Windows et macOS, je conseille respectivement WPA et Xcode Instruments.