

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Département de génie informatique et génie logiciel

Cours INF8480: Systèmes répartis et infonuagique (Hiver 2023)

3 crédits (3-1.5-4.5)

CORRIGÉ DU CONTRÔLE PÉRIODIQUE

DATE: Vendredi 10 mars 2023

HEURE: 9h30 à 11h20

DUREE: 1H50

NOTE: Aucune documentation permise sauf un aide-mémoire, préparé par l'étudiant, qui consiste en une feuille au format lettre manuscrite recto verso, calculatrice non programmable permise

Ce questionnaire comprend 4 parties pour 20 points

Partie 1 (4 points)

- a) Un serveur donné reçoit les requêtes de plusieurs clients. Le temps d'envoi d'une requête sur le réseau est de 2ms et le temps de réception de la réponse est aussi de 2ms. Le client prend 10 ms pour préparer chaque requête à envoyer et 5 ms pour traiter la réponse reçue, avant de passer à la requête suivante. Le serveur prend 8ms pour traiter chaque requête. i) Si un seul client envoie ses requêtes au serveur, combien de requêtes par seconde seront envoyées par le client? ii) Si le serveur traite séquentiellement les requêtes reçues avec un seul fil d'exécution, quel est le nombre maximum de requêtes pouvant être traitées par seconde, et iii) conséquemment le nombre maximum de clients qui peuvent être supportés (en supposant qu'ils envoient chacun le nombre de requêtes calculé en i) avant que le serveur ne soit utilisé à 100%. **(2 points)**

- i) Le traitement d'une requête prend 10 (préparation) + 2 (envoi) + 8 (serveur) + 2 (réception) + 5 (traitement) = 27 ms au total. Un client peut donc envoyer $1/0.027 = 37$ requêtes / seconde.
- ii) Au maximum, le serveur peut gérer $1/0.008 = 125$ requêtes / secondes.
- iii) Pour saturer le serveur, il faut avoir $n \times 37.0.3 \geq 125$ où n est le nombre de clients, soit $n \geq 3.3$.

- b) Une nouvelle version de l'image des postes d'une entreprise doit être copiée à partir d'un serveur vers chacun des 50 postes. Par souci de rapidité, le protocole UDP est utilisé en multidiffusion et chaque poste envoie un accusé de réception négatif pour chaque paquet manquant. Chaque paquet est numéroté et les stations redemandent les paquets manquants lorsque la séquence n'est pas complète. On néglige l'espace requis pour les en-tête et la numérotation des paquets. L'image occupe 45×10^9 octets. La probabilité qu'un paquet n'arrive pas à un poste donné est proportionnelle à sa longueur $p = p_o \times n$, p_o désignant la probabilité par octet et vaut 10^{-7} et n est la longueur des paquets et doit être comprise entre 1 et 10^6 . Si la longueur des paquets est de 10^6 octets, combien d'accusés de réception négatifs seront reçus suite à l'envoi initial de l'image, (avant la retransmission des paquets manquants qui pourraient à leur tour être perdus). De manière générale, quel est le problème d'avoir des paquets trop courts? Des paquets trop longs? **(2 points)**

L'image sera donc découpée en 45×10^3 paquets UDP. La probabilité qu'un paquet soit perdu avant d'arriver à destination est de $p = 0.1$. Le nombre de paquets perdus pour un poste sera de 45×10^2 , mais puisque nous avons 50 postes, le nombre total d'accusés de réception négatifs sera de 225×10^3 . Avoir des paquets trop courts augmente significativement leur nombre, tandis que des paquets trop long augmente leur chance d'être perdus (d'après la loi de probabilité donnée).

Partie 2 (5 points)

- a) Il vous est demandé de proposer, implémenter et déployer un système réparti pour une organisation qui désire mettre en place son système E-commerce et vendre ses produits en ligne. Les technologies et protocoles suivants vous sont proposés: Websocket, BGP, JSON-RPC, XML. Pour chacun des protocoles ou technologies cités, décrivez leur utilité dans le contexte d'application de votre solution. **(2 points)**

On s'attend à ce que l'étudiant explique le rôle de chaque protocole dans l'application mise en oeuvre.

- *Websocket : le protocole permet d'avoir des interactions asynchrones bidirectionnelles entre un client et un serveur. La technologie est basée sur les événements et fonctionne par dessus TCP.*
- *Le protocole de routage BGP peut être utilisé pour effectuer des échanges d'informations sur le routage des paquets entre différents systèmes autonomes. C'est un protocole de routage dynamique*
- *JSON-RPC: l'emploi du format JSON permet l'interopérabilité entre systèmes de différentes technologies alors que la technologie RPC permet d'y puiser les informations concernant les procédures devant être invoquées. Dans le cas d'une implémentation on pourrait l'utiliser en synergie avec le Websocket pour assurer les transferts des données sérialisées avec JSON et d'invoquer à la destination les procédures requises après désérialisation.*
- *XML: peut être utilisé pour l'échange de données entre systèmes différents en respectant un schéma prédéfini. Il peut être utilisé pour briser les dépendances entre technologies en servant de format de représentation des informations*

- b) Un système réparti dans un réseau local offre la possibilité de collaborer en partageant du code source à travers une application déployée à cet effet. Pour y avoir accès, les utilisateurs doivent être connectés au réseau par le biais d'un commutateur. Pourriez-vous décrire le processus entrepris par ce dernier (commutateur) après son démarrage pour permettre dans son fonctionnement de pouvoir filtrer et acheminer les messages vers chacun des utilisateurs (ordinateurs) connectés. **(1.5 point)**

Lors du démarrage du commutateur, ce dernier n'a aucune information sur les manières de filtrer les trames qu'il devra recevoir. Il maintient une table d'adresses MAC pour stocker les correspondances entre les adresses physiques et les interfaces sur lesquelles elles sont connectées. Le commutateur va attendre l'arrivée de la première trame émanant d'un équipement directement connecté, enregistrer l'adresse MAC de ce dernier et le numéro de l'interface correspondante. Il va ensuite effectuer une diffusion sur l'ensemble des interfaces actives exceptée celle d'origine. Seul l'équipement concerné par le message répondra et son adresse MAC source sera enregistrée de même que le numéro d'interface correspondant. Le processus se répète pour chaque équipement non présent dans la table d'adresse MAC jusqu'à ce que la convergence soit effective. Le commutateur peut alors acheminer les trames vers leurs destinataires en se basant sur l'information présente dans sa table d'adressage.

- c) Les technologies de virtualisation suivantes vous sont proposées: Conteneur, VLAN, VPN, Machine virtuelle. Il vous est demandé de mettre en place une infrastructure qui devrait les employer. Dans quelle mesure chacune d'elle pourrait être utilisée à bon escient pour rendre votre système fonctionnel? **(1.5 point)**

Les conteneurs pourraient être utilisés pour permettre de regrouper des applications et leurs dépendances dans un même environnement d'exécution. Cela faciliterait leur déploiement et orchestration. Aucune machine virtuelle n'est créée, seul l'OS hôte est utilisé pour leur exécution en se basant sur les espaces de noms. Si plusieurs sous-réseaux ou réseaux devraient être implémentés, une technologie comme le VLAN serait intéressante dans la mesure où elle permettrait de séparer logiquement différents domaines de diffusion grâce à un commutateur et éviter les coûts additifs d'installation d'équipements de couche 3 (routeur). Le VPN pourrait être déployé pour assurer un niveau de sécurité aux données qui vont transiter par le réseau public. Cette technologie permettra d'interconnecter des sites distants en créant un tunnel de communication de bout en bout entre les différents sites distants. des en têtes sont rajoutées aux paquets pour assurer que la communication inter-réseaux se fasse de manière transparente. Les différents sites n'ont pas connaissance de l'utilisation du réseau public. Pour rouler certaines technologies nécessitant un environnement particulier d'exécution, des machines virtuelles peuvent être créées et supporter l'OS requis à cet effet.

Partie 3 : (3 points)

- a) Dans le TP1, on vous demande de monter un dossier distant par le biais de l'option `-v` (pour `-volume`) lorsque l'on roule un conteneur avec `docker run`. Rappelez dans quelle mesure Docker peut isoler les conteneurs entre eux, et par quel moyen le montage peut être réalisé. Est-il nécessaire de passer par une interface réseau ? **(1.5 point)**

Docker isole les conteneurs par un système d'espace de nom pour les processus et un système de fichier virtuel, qui les empêche par défaut de communiquer entre eux. Il est cependant possible de demander au système d'exploitation de faire un montage virtuel entre le conteneur et le système de fichier "réel" afin de partager des fichiers comme des données d'une application ou des fichiers de configuration.

- b) Le TP2 met en situation un appel de procédure à distance avec gRPC. Expliquez le rôle de chaque fichier `operation.proto`, `manager.cc` et `server.cc` pour cette application **(1.5 point)**

- *`operation.proto` correspond au fichier d'IDL (Interface Description Language) qui régit les types de messages échangés (`OperationRequest` et `OperationReply` par exemple dans notre cas) ainsi que les différents services d'appel de procédure à distance.*
- *`manager.cc` incarne un client dans le cadre de l'appel de procédure à distance. gRPC permet de ne faire appel qu'à un stub de fonction qui réalise lui-même l'appel de procédure à distance.*
- *`server.cc` est le fichier où est implémenté la fonction définie. C'est un serveur qui sert les appels de procédure à distance, qui sont implémentés à partir d'une classe abstraite squelette créée par gRPC.*

Partie 4 : (3 points)

- a) La recherche d'un objet dans un système réparti peut s'effectuer par envoi à tous. Pourriez-vous expliquer comment se déroule ce processus dans le cas de la recherche d'une correspondance dans un réseau commuté (commutation de circuits)? Qu'entendez-vous par filtrage de trames au niveau du commutateur? Dans ce cas, une table de routage est-elle nécessaire pour acheminer les paquets à leur destination? **(1.5 point)**

Dans le cas du commutateur, la recherche d'un objet par envoi à tous est employée lorsqu'un équipement connecté dans un réseau ethernet grâce à un commutateur ne possède l'adresse IP mais pas l'adresse MAC de l'équipement de destination. Une requête ARP (Adresse Resolution Protocol) est alors envoyée à tous. Cette dernière est diffusée par le commutateur aux différents postes connectés et seul le poste concerné renvoie la réponse à l'expéditeur. La correspondance MAC étant trouvée, le paquet peut être alors constitué avec l'ensemble des ses en-têtes et envoyé vers sa destination. L'une des opérations que le commutateur effectue est le filtrage des trames. Il est dans ce cas capable de sélectionner l'interface sur laquelle est connectée le destinataire d'un message. Une table de routage n'est pas nécessaire, car seul un segment réseau est utilisé et il

n'est pas besoin d'acheminer des paquets vers un réseau différent. Le commutateur achemine les messages en se basant sur les adresses ethernet des différents postes.

- b) Un service de fichiers CODA est répliqué sur 3 serveurs (i.e. Chaque fichier se retrouve en 3 copies). Chaque serveur possède 4 disques. Chaque disque peut effectuer 100 accès (lecture ou écriture) par seconde. Les clients, lors des ouvertures ou fermetures de fichiers, font des accès en lecture ou en écriture au serveur. Quel est le nombre maximal de lectures (s'il n'y a que des lectures) par seconde que pourrait soutenir ce service répliqué sur 3 serveurs, en supposant que la charge est répartie uniformément sur les serveurs et les disques, et que les disques constituent le facteur limitant? Quel est le nombre maximal d'écritures (s'il n'y a que des écritures)? Si on change pour un système avec 3 serveurs mais sans réplication, avec la charge uniformément répartie entre les 3, que devient le nombre maximal de lectures? Le nombre maximal d'écritures? **(1.5 points)**

En lecture, le système de fichier peut satisfaire $3 \times 4 \times 100 = 1200$ requêtes/s. En écriture, en revanche, il faut répliquer l'accès sur les trois serveurs ce qui donne $4 \times 100 = 400$ requêtes/s.

Si le système de fichiers est distribué, les trois serveurs fonctionnent toujours en parallèle pour à la fois lectures et écritures. On obtient que le système peut supporter $3 \times 4 \times 100 = 1200$ requêtes/s.

Partie 5 : (5 points)

- a) Un serveur Oracle reçoit en moyenne 100 requêtes par seconde, arrivant selon un processus de Poisson. Les requêtes reçues par le serveur sont stockées en queue dans un disque de grande capacité, lorsque ce dernier est occupé, pour être traitées ultérieurement. Deux types de serveurs peuvent être utilisés en fonction de leur capacité pouvant respectivement traiter 60 et 120 requêtes par seconde en fonctionnant sans interruption. Qu'arrive-t-il si l'on utilise le premier serveur? le deuxième? Quel est le temps de réponse moyen dans chacun des cas? **(3 points)**

Choisir le premier serveur mènerait à un taux d'utilisation $U \geq 1$, qui implique une file d'attente infinie (et donc un temps de réponse infini aussi) et disqualifie donc ce serveur. Pour le second, on obtient $U = \frac{100}{120} = 0.833$. Le temps de réponse moyen est $W = \frac{1}{\mu - \lambda} = 0.05$ s.

- b) Un serveur de disque composé de disques SSD traite les requêtes de clients. 20 mégabits/s en moyenne sont requis par chaque client dans un réseau commuté. Le serveur est connecté au réseau par une prise fournissant 1 gigabit/s. Son bus a une capacité de 8 gigaoctets/s avec 6 disques connectés. Ces derniers fournissent 50 mégaoctets/s. Les chiffres fournis sont des puissances de 10 (e.g. mega = 10^6 et giga = 10^9). Combien de clients peut-il supporter? **(2 points)**

Le réseau peut fournir 1 Gb/s, le bus $8 \times 8 = 64$ Gb/s et les disques $0.050 \times 6 \times 8 = 2.4$ Gb/s. Le plus lent est le réseau, qui peut servir jusque $\frac{1}{0.020} = 50$ clients.

Le chargé de cours : Hervé Kabamba