Modélisation conceptuelle des Systèmes Distribués

Eric Cariou

Master Technologies de l'Internet 1ère année

Université de Pau et des Pays de l'Adour
Département Informatique

Eric.Cariou@univ-pau.fr

Systèmes distribués

- Système distribué en opposition à système centralisé
- Système centralisé : tout est localisé sur la même machine et accessible par le programme
  - Système logiciel s'exécutant sur une seule machine
  - Accédant localement aux ressources nécessaires (données, code, périphériques, mémoire ...)
- Système distribué : une définition parmi d'autres
  - Ensemble d'ordinateurs indépendants connectés en réseau et communiquant via ce réseau
  - Cet ensemble apparaît du point de vue de l'utilisateur comme une unique entité

Systèmes distribués

- Vision matérielle d'un système distribué : architecture matérielle
  - Machine multi-processeurs avec mémoire partagée
  - Cluster d'ordinateurs dédiés au calcul/traitement massif parallèle
  - Ordinateurs standards connectés en réseau
- Vision logicielle d'un système distribué
  - Système logiciel composé de plusieurs entités s'exécutant indépendamment et en parallèle sur un ensemble d'ordinateurs connectés en réseau
- Dans ce cours
  - Conception logicielle des systèmes distribués
  - Par défaut sur une architecture matérielle de type ordinateurs connectés en réseau

Introduction

- De par leur nature, les systèmes distribués sont dans un cadre différent par rapport aux systèmes centralisés
  - Concurrence
    - Les éléments formant le système s'exécutent en parallèle et de manière autonome
    - Pas d'état ou d'horloge globale commune
  - Points de problèmes de fiabilité en nombre accru
    - Problème matériel d'une machine
    - Problème de communication via le réseau
    - Problème logiciel sur un des éléments du système
  - Communication est un point crucial
    - Potentiellement non fiable
    - Temps de communication non négligeables

Transparences

- Transparence
  - Fait pour une fonctionnalité, un élément d'être invisible ou caché à l'utilisateur ou un autre élément formant le système distribué
    - Devrait plutôt parler d'opacité dans certains cas ...
  - But est de cacher l'architecture, le fonctionnement de l'application ou du système distribué pour apparaître à l'utilisateur comme une application unique cohérente
- L'ISO définit plusieurs transparences (norme RM-ODP)
  - Accès, localisation, concurrence, réplication, mobilité, panne, performance, échelle

Transparences

- Transparence d'accès
  - Accès à des ressources distantes aussi facilement que localement
  - Accès aux données indépendamment de leur format de représentation
- Transparence de localisation
  - Accès aux éléments/ressources indépendamment de leur localisation
- Transparence de concurrence
  - Exécution possible de plusieurs processus en parallèle avec utilisation de ressources partagées
- Transparence de réplication
  - Possibilité de dupliquer certains éléments/ressources pour augmenter la fiabilité

Transparences

- Transparence de mobilité
  - Possibilité de déplacer des éléments/ressources
- Transparence de panne
  - Doit supporter qu'un ou plusieurs éléments tombe en panne
- Transparence de performance
  - Possibilité de reconfigurer le système pour en augmenter les performances
- Transparence d'échelle
  - Doit supporter l'augmentation de la taille du système (nombre d'éléments, de ressources ...)

Transparences

- Un système donné va offrir un certain nombre de transparences
  - Souvent au minimum transparences de localisation, d'accès et de concurrence
- Système distribué ouvert
  - Peut être étendu en nombre d'éléments matériels le constituant
  - Possibilité d'ajouts de nouveaux services ou de ré-implémentation de services existants au niveau logiciel
    - Fonctionnement se base sur des interfaces d'interactions clairement définies

Algorithmique distribuée

- Si l'on veut développer des logiciels fiables et robustes dans un contexte distribué, il faut
  - Tenir compte des spécificités des systèmes distribués
    - Notamment les temps de communication et la multiplication des possibilités de pannes
  - Développer des algorithmes dédiés aux systèmes distribués : but de *l'algorithmique distribuée*
    - Exclusion mutuelle distribuée
    - Transaction distribuée
    - Diffusion causale
    - Vote, consensus
    - ....

Algorithmique distribuée

- Algorithmique distribuée
  - Développement d'algorithmes dédiés aux systèmes distribués et prenant en compte les spécificités de ces systèmes
  - On y retrouve notamment des adaptations de problèmes classiques en parallélisme
    - Exclusion mutuelle, élection (d'un maître) ...
  - Mais aussi des problèmes typiques des systèmes distribués
    - Horloge globale, état global, diffusion causale, consensus ...
  - S'intéresse principalement à deux grandes familles de pbs
    - Synchronisation et coordination entre processus distants
    - Entente sur valeurs communes et cohérence globale dans un contexte non fiable (crash de processus, perte de messages ...)

Algorithmique distribuée

- Les algorithmes distribués s'appuie sur des caractéristiques du système
  - Caractéristiques des éléments formant le système
    - Fiable, pouvant se planter, pouvant envoyer des messages erronés ...
  - Caractéristiques de la communication
    - Fiable ou non fiable, temps de propagation borné ou pas...
- Un algorithme distribué se base donc sur un modèle de système distribué qui caractérise
  - Les processus
  - La communication
  - Les pannes

Algorithmique distribuée

- Système distribué
  - Ensemble d'éléments logiciels s'exécutant en parallèle
    - On parlera de processus pour ces éléments logiciels
- Différences entre modèles de systèmes en algorithmique parallèle et distribuée
  - Parallèle : sur une même machine
    - Les processus ont accès à une mémoire locale commune
    - Les processus s'exécutent par rapport à la même horloge
  - Distribué : sur un ensemble de machines
    - Pas de mémoire partagée commune
    - Pas d'horloge commune
    - Temps de propagation des messages entre processus distants est non nul

Modèles conceptuels de systèmes distribués

- Éléments de base d'un système
  - Processus communiquant
  - Canaux de communication
- On modélise un système distribué selon plusieurs dimensions
  - Modèle d'interaction
  - Modèle de fautes
  - Modèle de sécurité
    - *Non traité dans ce cours*

Processus

- Processus
  - Élément logiciel effectuant une tâche, un calcul
    - Exécution d'un ensemble d'instructions
    - Une instruction correspond à un événement local au processus
      - Dont les événements d'émission et de réception de messages
    - Les instructions sont généralement considérées comme atomiques
  - Il possède une mémoire locale
  - Il possède un état local
    - Ensemble de ses données et des valeurs de ses variables locales
  - Il possède un identifiant qu'il connaît
  - Pas ou peu de connaissance des autres processus du système et de leur état
  - Les processus d'un système s'exécutent en parallèle

Canaux

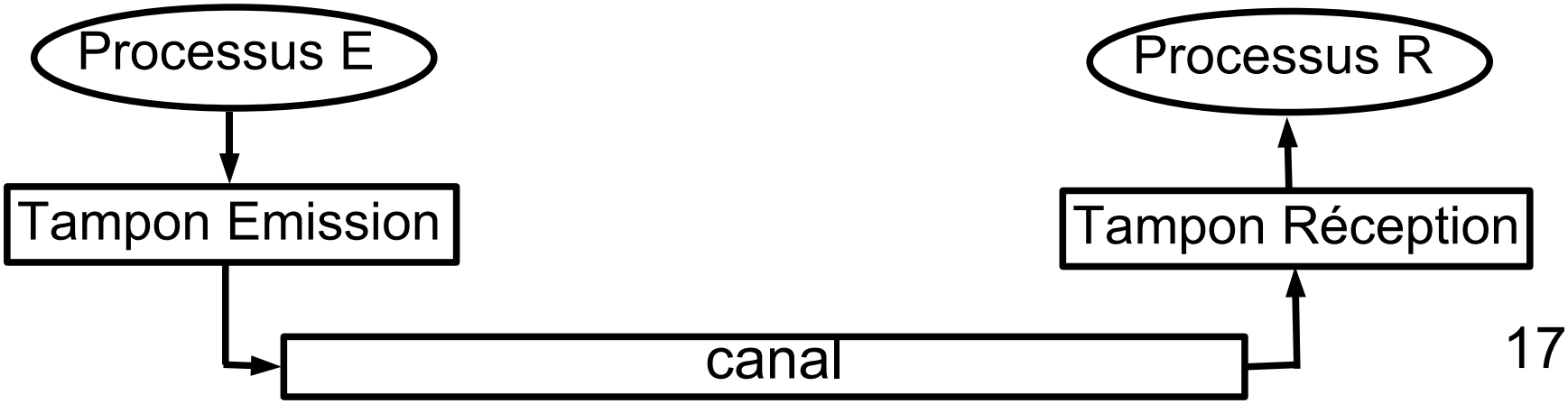
- Canal de communication
  - Canal logique de communication point à point
    - Pour communication entre 2 processus
    - Transit de messages sur un canal
  - Caractéristiques d'un canal
    - Uni ou bi-directionnel
    - Fiable ou non : perd/modifie ou pas des messages
    - Ordre de réception par rapport à l'émission
      - Ex. : FIFO = les messages sont reçus dans l'ordre où ils sont émis
    - Synchrone ou asynchrone
      - Synchrone : l'émetteur et le récepteur se synchronisent pour réaliser l'émission et/ou la réception
      - Asynchrone : pas de synchronisation entre émetteur et récepteur
    - Taille des tampons de message cotés émetteur et récepteur
      - Limitée ou illimitée

Canaux

- Caractéristique d'un canal
  - Modèle généralement utilisé
    - Fiable, FIFO, tampon de taille illimitée, asynchrone (en émission et réception) et bidirectionnel
    - Variante courante avec réception synchrone
  - Exemple : modèle des sockets TCP
    - Fiable
    - FIFO
    - Bidirectionnel
    - Synchrone pour la réception
      - On reçoit quand l'émetteur émet
      - Sauf si données non lues dans le tampon coté récepteur
    - Asynchrone en émission
      - Emetteur n'est pas bloqué quand il émet quoique fasse le récepteur

Canaux

- Performances d'un canal
  - Latence
    - Délai entre l'émission d'un message et sa réception
  - Bande passante du réseau
    - Nombre d'informations transitant par unité de temps
  - La gigue
    - Variation de temps pour délivrer des messages d'une série
      - Important dans le cadre des données multi-média nécessitant des synchronisations
- Liaison canal/processus (canal uni-directionnel)



Modèles d'interaction

- Modèle d'interaction d'un système distribué
  - Contient un modèle de canal
  - Contient un modèle temporel : deux modèles principaux
    - Système distribué synchrone : possède les 3 caractéristiques suivantes
      - Le temps pour exécuter une étape du processus est compris entre une borne min et une borne max connues
      - Un message émis est reçu dans un délai max connu
      - L'horloge locale d'un processus dérive au plus d'une certaine durée connue et bornée du temps réel
    - Système distribué asynchrone : il n'y aucune borne
      - Sur la durée d'exécution d'une étape du processus
      - Sur le délai de réception d'un message
      - Sur la dérive de l'horloge locale d'un processus par rapport au temps réel

Synchrone / Asynchrone

- Un modèle synchrone est un modèle où les contraintes temporelles sont bornées
  - On sait qu'un processus évoluera dans un temps borné
  - On sait qu'un message arrivera en un certain délai
  - On connaît la limite de dérive des horloges locales
- Un modèle asynchrone n'offre aucune borne temporelle
  - Modèle bien plus contraignant et rendant impossible ou difficile la mise en oeuvre de certains algorithmes distribués

Modèle de fautes

- Modèle de fautes : 3 grands types de fautes ou pannes
  - Franches : le processus ne fait plus rien
  - Par omission : des messages sont perdus ou non délivrés
  - Arbitraires ou byzantines : le processus renvoie des valeurs fausses et/ou fait « n'importe quoi »
    - Cas de fautes les plus complexes à gérer
    - Les autres fautes peuvent être considérées comme des cas particuliers des fautes byzantines
- Processus correct
  - Processus non planté, qui ne fait pas de fautes
  - Dans le cas où on considère les reprises après erreurs et la relance de processus : processus qui pouvait être incorrect précédemment mais qui est correct maintenant

Fautes par omission

- Fautes par omission
  - Processus ou canal ne réalise pas une action
  - Classification des fautes
    - Fail-stop : un processus s'arrête et reste hors-service. Les autres processus peuvent détecter que ce processus est planté.
    - Crash : un processus s'arrête et reste hors-service mais les autres processus ne peuvent pas détecter que le processus est planté.
    - Omission du canal : un message positionné dans un tampon de sortie d'un processus n'arrive jamais dans le tampon d'entrée du destinataire
    - Omission en émission : un processus envoie un message mais il n'est pas placé dans le tampon d'émission
    - Omission en réception : un message est placé dans le tampon d'entrée d'un processus mais le processus ne le reçoit pas

Fautes arbitraires / byzantines

- Fautes arbitraires
  - Appelées aussi fautes byzantines
  - Fautes quelconques et souvent difficilement détectables
  - Processus
    - Calcul erroné ou non fait
    - État interne faux
    - Valeur fausse renvoyée pour une requête
  - Canal
    - Message modifié, dupliqué voire supprimé
    - Message « créé »
    - En pratique peu de fautes arbitraires sur les canaux car les couches réseaux assurent la fiabilité de la communication
- Fautes arbitraires : classement en 2 catégories
  - Malicieuses : erreurs volontaires (virus, attaques ...)
  - Naturelles : problème non voulu, non déclenché

Fautes temporelles

- Fautes temporelles
  - Uniquement pour un système distribué synchrone : dépassement des bornes temporelles
    - Une étape du processus s'exécute en plus de temps que la borne prévue
    - L'horloge locale dérive d'une valeur supérieure à la borne prévue
    - Un message émis est reçu après un délai supérieur à la borne prévue

Détecteurs de fautes

- Détecteur de fautes
  - Éléments associés aux processus « essayant » de déterminer l'état des autres processus
    - Soupçon de fautes de la part d'un processus
    - Généralement, on se base sur une communication fiable
      - Messages non perdus
      - Pouvant être asynchrone : temps de propagation quelconque
- Classification des caractéristiques des détecteurs
  - Complétude (*completeness*) : un processus fautif est soupçonné de l'être par un autre processus
  - Exactitude (*accuracy*) : un processus correct n'est pas soupçonné d'être en panne
  - Deux variantes à chaque fois
    - Forte : par tous les processus
    - Faible : par au moins un processus

Classification détecteurs de fautes

- Complétude
  - Forte : tout processus fautif finit par être soupçonné par tous les processus corrects
  - Faible : tout processus fautif finit par être soupçonné par un processus correct
- Les deux complétudes sont équivalentes
  - La faible implique la forte
    - Localement, un détecteur gère la liste des processus qu'il soupçonne comme fautifs
    - Les détecteurs s'échangent leurs listes via diffusion
      - Au bout d'un certain temps, un processus soupçonné fautif sera référencé comme fautif par tous les processus
    - Hypothèse valable si diffusion fiable
  - Par principe, la forte implique la faible

Classification détecteurs de fautes

- Exactitude
  - Forte : aucun processus correct n'est jamais soupçonné par aucun processus correct
  - Faible : au moins un processus correct n'est jamais soupçonné par aucun processus correct
- Exactitude, versions plus faibles : vérifiée au bout d'un certain temps
  - Finalement forte : au bout d'un certain temps, un processus correct n'est plus jamais soupçonné par aucun processus correct
  - Finalement faible : au bout d'un certain temps, au moins un processus correct n'est plus jamais soupçonné par aucun processus correct
  - Finalement : traduction de *eventually*
    - Pourrait aussi utiliser : ultimement, inévitablement ...
- Ces versions plus faibles sont vérifiées si les versions « totales » le sont

Classification détecteurs de fautes

- Au final, 8 combinaisons

		Exactitude			
		Forte	**Faible**	**Finalement Forte**	**Finalement Faible**
Complétude	**Forte**	P	S	◊P	◊S
	Faible	Q	W	◊Q	◊W

  - P(erfect), S(trong), W(eak) Q(???)
  - Mais complétude forte équivalent à la faible
  - Reste donc 4 combinaisons, avec
    - P qui implique S
    - ◊P qui implique ◊S
    - P qui implique ◊P
    - S qui implique ◊S
- Détecteur parfait (fiable) : classe P
  - Complétude et exactitude fortes

Réalisation de détecteurs de fautes

- Deux grands modes
  - Actif : *ping*
    - Un processus envoie périodiquement un message à un autre processus et attend une réponse de ce dernier
    - Si réponse pas reçue avant un certain délai de garde, on considère le processus mort
  - Passif : *heartbreak*
    - Un processus diffuse périodiquement un message à tous les autres processus
    - Si au bout d'un délai de garde, on a pas reçu un message d'un processus, on le considère comme mort
- En pratique, on combine souvent les deux
  - Heartbreak en fonctionnement nominal
  - Ping avec les processus qu'on soupçonne d'être morts

Réalisation de détecteurs de fautes

- Ex. pour un contexte de communication fiable
  - Pour ne pas avoir problème de ne pas pouvoir différencier une perte de message d'un message non envoyé
- Système synchrone
  - Peut construire un détecteur de fautes fiable (parfait)
    - Grace au délai borné de réception des messages, on sait qu'on recevra un message dans un certain délai si le processus est vivant
- Système asynchrone
  - Temps de propagation des messages non bornés
    - Difficulté (voire impossibilité) de différencier un message lent d'un processus mort
  - En pratique : choix important du délai de garde
    - Trop petit : soupçonne avec erreur des processus
    - Trop grand : temps long avant de détecter la mort d'un processus
  - Détecteur parfait est non réalisable dans un système asynchrone
    - Mais souvent on peut se contenter de détecteurs imparfaits