Modèles et Approches Formels de Systèmes Distribués

Mohamed Mosbah – LaBRI
ENSEIRB - Université Bordeaux 1
mosbah@labri.fr
dept-info.labri.fr/~mosbah/mafsd.html

Objectifs du cours

- Connaître les caractéristiques d'un système distribué (SD)
- Comprendre les concepts et les paradigmes fondamentaux d'un SD, au delà des technologies
- Etudier certains problèmes fondamentaux (élection, arbre recouvrant, exclusion mutuelle, pannes)
- Pouvoir raisonner dans un environnement distribué. Par exemple concevoir des applications distribuées, les tester, les prouver, les valider et les implanter.

Exemples de questions aborbés dans ce cours

- Comment décrire une exécution répartie ?
- Comment déterminer des propriétés globales à partir d'observations locales ?
- Comment coordonner des opérations en l'absence d'horloge commune ?
- Quelles sont les critères de qualité pour une application distribuée ?
- Comment garantir la cohérence (ou la sécurité) d'informations distribuées ?
- Pas sûr que vous aurez toutes les réponses ....

Plan du cours

- Introduction aux systèmes distribués
- Modèles de l'algorithmique distribuée
- Calculs locaux et calcul distribué d'arbre recouvrant
- Algorithmes d'Election
- Algorithmes de Rendez-Vous (RDV), algorithme probabiliste d'élection locale
- Terminaison distribuée
- Tolérance aux pannes, auto-stabilisation
- Implémentation: Plate-forme Visidia

Cours 1: Introduction aux systèmes distribués

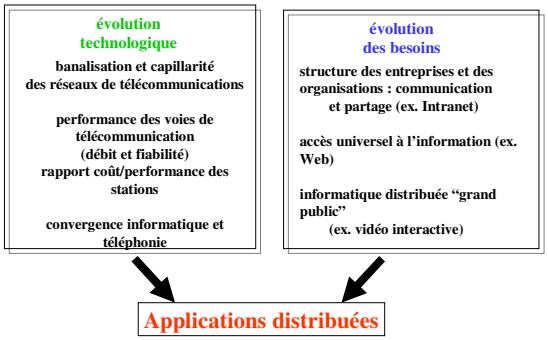
I/ Introduction à l'informatique distribuée

- L'informatique répartie : état de fait de plusieurs applications, et une mutation…
  - Besoin propre des applications
    - Intégration : applications séparées, ressources de calcul, ressources de gestion de données, etc
    - Nouvelles applications: informatique omniprésente
  - Possibilités techniques
    - Interconnexion généralisée : convergence informatique-télécom
    - Performance et coût des machines et des réseaux

Les progrès technologiques

- Avant les années 80, les ordinateurs étaient encombrants et chers (les systèmes centralisés)
- A partir de la mi-80, deux nouveautés:
  - Microprocesseurs (moins chers et très rapide)
  - LANs and WANs
- Les ordinateurs en réseaux non seulement faisables, mais simples.

Technologie + besoins



II/ Définitions d'un SD

Définition [Tanenbaum]: *Un ensemble d'ordinateurs indépendants qui apparaît à un utilisateur comme un système unique et cohérent*

- Les machines sont autonomes
- Les utilisateurs ont l'impression d'utiliser un seul système.

- Définition [Lamport]
  - ***A distributed system is one on which I can't do my work some computer has failed that I never heard of.***

Un système réparti est un système qui vous empêche de travailler quand une machine dont vous n'avez jamais entendu parler tombe en panne.

Définition (pour ce cours)

- Un système distribué est un ensemble d'entités autonomes de calcul (ordinateurs, PDA, processeurs, processus, processus léger etc.) interconnectées et qui peuvent communiquer.
- Exemples:
  - réseau physique de machines
  - Un logiciel avec plusieurs processus sur une même machine.

Pourquoi des systèmes répartis ?

- Aspects économiques (rapport prix/performance)
- Adaptation de la structure d'un système à celle des applications (géographique ou fonctionnelle)
- Besoin d'intégration (applications existantes)
- Besoin de communication et de partage d'information
- Réalisation de systèmes à haute disponibilité
- Partage de ressources (programmes, données, services)
- Réalisation de systèmes à grande capacité d'évolution

Exemples:

- WWW
- Contrôle du trafic aérien
- Système de courtage
- Banques
- Super calcul distribué
- Système de fichier distribué
- DNS
- Systèmes Pair-à-pair (P2P)

Quelques domaines d'application des systèmes répartis

- CFAO, Ingénierie simultanée
  - Coopération d'équipes pour la conception d'un produit
  - Production coopérative de documents
  - Partage cohérent d'information
- Gestion intégrée des informations d'une entreprise
  - Intégration de l'existant
- Contrôle et organisation d'activités en temps réel
- Centres de documentation, bibliothèques
  - Recherche, navigation, visualisation multimédia
- Systèmes d'aide à la formation

Propriétés

- Le système doit pouvoir fonctionner (même en cas de pannes de certains composants), et donner un résultat correct
- Le système doit pouvoir résister à des attaques contre sa sécurité (confidentialité et intégrité, déni de service, …)
- Le système doit pouvoir s'adapter à des changements (modification de composants, sacalabilité, etc)
- Le système doit préserver ses performances

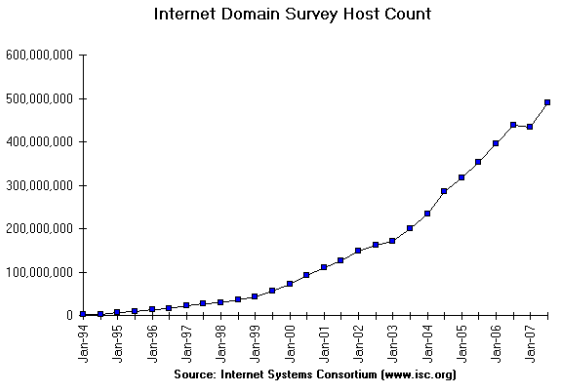
III/ Objectifs d'un système distribué

- Transparence (Masquer la répartition)
  - Uniformité des accès locaux et distants
    La séparation physique entre machines et les différences matériels/logiciels pour les accès sont invisibles par l'utilisateur.
  - Localisation des ressources non perceptible
    (nom logique ex: URL http://www.labri.fr/)
  - Migration des ressources possible sans interférence avec la localisation physique
    (ex. transférer un objet uniquement par son nom logique sans modification de ce nom et sans modification de l'environnement d'un utilisateur)

  - Réplication de ressources non visible
  - Concurrence d'accès aux ressources non perceptible
    (ex. accès à un même fichier ou une table dans une base de données: mécanisme de verrou ou de transaction)
  - Invisibilité du parallélisme offert par l'environnement d'exécution
  - Tolérance aux pannes permettant à un utilisateur de ne pas s'interrompre (ou même se rendre compte) à cause d'une panne d'une ressource

- Ouverture
  - Services offerts selon des règles standards qui décrivent la syntaxe et la sémantique de ces services (Interfaces publiées, ex. IDL)
  - Interopérabilité des matériels (de fournisseurs différents)
  - Portabilité
  - Flexibilité (facilité d'utilisation et de configuration)
  - Extensibilité (ajout/MAJ de composants sans en affecter les autres)

- Mise à l 'échelle (scalability)
  - fonctionne efficacement dans différentes échelles:
    - Deux postes de travail et un serveur de fichiers
    - Réseau local avec plusieurs centaines de postes de travail et serveurs de fichiers
    - Plusieurs réseaux locaux reliés pour former un Internet



- Tolérance aux pannes
  - Pannes franches
  - Pannes byzantines
  - Détection de pannes (difficulté et même impossibilité de détection pour certains systèmes, suspicion de machines) e.g. connexion par un navigateur à un serveur distant qui répond pas !!
  - Correction d'erreurs (de fichiers/messages corrompus)
  - Reprise sur pannes (techniques de journalisation dans les BD)

  (éventuellement système dégradé)

- Sécurité
  - Confidentialité (authentification)
  - Intégrité (protection contre les falsification et les corruptions)
  - Disponibilité (accès aux ressources)

  e.g. commerce électronique, banque en ligne.

IV/ Systèmes distribués vs parallèles

Systèmes Parallèles. Une machine multiprocesseurs avec un environnement du type SIMD (tous les processeurs exécutent le même programme et ont une vision uniforme de l'état global du système).
Extensible à un réseau de machines asynchrones fortement couplées

Systèmes distribués. processus indépendants sur des machines distinctes et communiquant par échange de messages asynchrones (en général, des réseaux faiblement couplés).

Pas de consensus sur ces définitions…

Caractéristiques du parallélisme/distribué

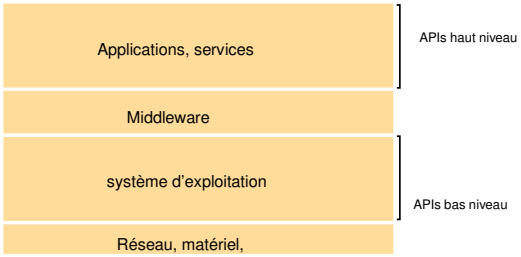
- Objectifs: optimiser les solutions d'un problème (e.g. calcul scientifique, calcul matriciel, tri)
- Calcul de complexité : temps et accès mémoire (pas le temps de communication ou nombre de messages)
- La topologie est généralement fixe (grille, hypercube, grappes)

V/ Intergiciel (Middleware)

- Le *middleware* (intergiciel) est la couche logicielle située entre les couches basses (systèmes d'exploitation, protocoles de communication) et les applications dans un système informatique réparti (CORBA, EJB, COM, etc.).

- Buts:
  - Fournir une interface ou API de haut niveau aux applications
  - Masquer l'hétérogénéité des systèmes matériels et logiciels sou jacents
  - Rendre la répartition aussi invisible (transparente) que possible
  - Faciliter la programmation répartie (développement, évolution, réutilisation, portabilité des applications)
- http://www.objectweb.org/

Couches logicielles et matérielles dans un SD (le middleware)



VI/ Voies d'études des systèmes distribués

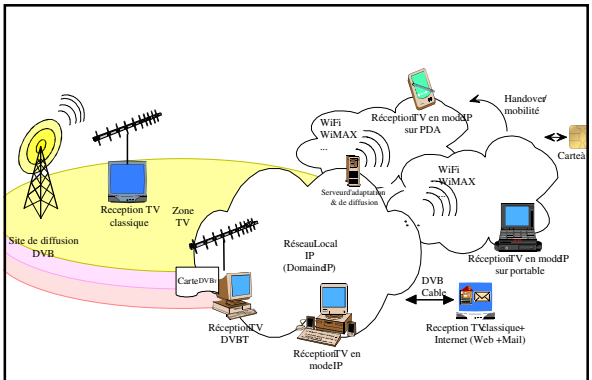
- Approche « descriptive »
  - Etude de modèles de conception d'applications réparties (client-serveur, objets répartis, composants répartis, architecture)
  - Etude de diverses classes de systèmes, intergiciels (middleware) et applications, et de leurs modes d'organisation et de fonctionnement
- Approche « fondamentale » : algorithmes distribués
  - Etude des principes de base: problèmes fondamentaux, solutions connues, limites « intrinsèques »
  - Exemples : Election d'un chef; Structure de diffusion (arbre recouvrant), Exclusion mutuelle, Nommage, Détection de la terminaison

Une application pratique

- Les virus sur nos machines…
- Solution actuelle: protection individuelle (de sa machine)….
- Limites: vulnérabilité, « oubli », mise à jour régulière, solution locale mais non globale
- Alternative: développer des stratégies globale de « destruction de virus »

Difficultés

- Pas de connaissance de l'état global
- Absence de temps universel (ou horloge globale)
- Non déterminisme (lié souvent au problème du synchronisme)
- Et surtout pas de modèle « universel » et standard pour l'algorithmique distribuée



Est-ce que ca fonctionne ?
Sécurité ?

Exemples de problèmes fondamentaux

- Comment décrire une exécution répartie ?
- Comment déterminer des propriétés globales à partir d'observations locales ?
- Comment coordonner des opérations en l'absence d'horloge commune ?
- Quelles sont les critères de qualité pour une application distribuée ?
- Comment garantir la cohérence (ou la sécurité) d'informations distribuées ?

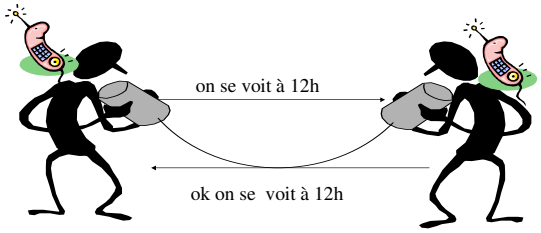
Vers des modèles

- Modéliser
  - pour représenter un système en simplifiant divers aspect du réel
  - pour maîtriser la complexité
  - pour observer et comprendre le comportement du système réel
  - pour prédire ou aider à commander le comportement d'un système
  - pour prouver ce comportement à l'aide de techniques formelles

- Nécessite de simplifier et maîtriser la complexité des systèmes et des algorithmes distribués
- Difficulté de l'algorithmique distribuée / centralisé:
  - Pas de connaissance de l'état global
  - Absence de temps universel (ou horloge globale)
  - Non déterminisme (lié souvent au problème du synchronisme)
  - Et surtout pas de modèle « universel » et standard pour l'algorithmique distribuée

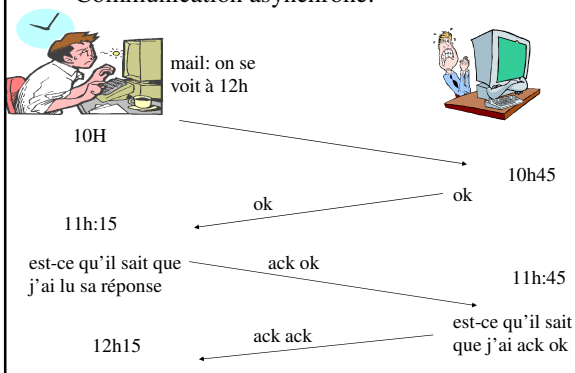
Modèles de communication synchrone /asynchrone

Synchrone

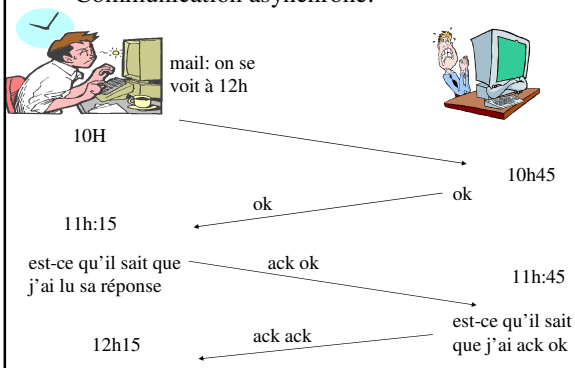


Même notion de temps, transmission instantanée, généralement bornée

- Communication asynchrone:



- Communication asynchrone:



Modélisation d'un système distribué

- Système distribuée : graphe (non orienté, connexe, simple)
- sommet : processus
- arête : canal de communication
- algorithme distribué local : algorithme qui s'exécute sur chaque sommet (en utilisant uniquement le contexte local)

Les réseaux anonymes /avec identités

- anonymes: pas d'identités (numéros distincts. e.g. IP)
- avec identités (chaque sommet possède un identité (un numéro) unique)

En général, il est plus facile de construire un algo sur des graphes avec identités.

- L'état d'un processus est codé par une étiquette:
- Le changement d'état : changement d'étiquette
- Les algorithmes : arbre recouvrant, élection, terminaison, exclusion mutuelle.