

Variété de la cohérence dans les systèmes répartis

Philippe Quéinnec

20 mai 2011

Dominique Méry	professeur à l'université Henri Poincaré de Nancy
Olivier Roux	professeur à l'École Centrale de Nantes
André Schiper	professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Mamoun Filali	chargé de recherche du CNRS
Gérard Padiou	professeur à l'INPT
François Vernadat	professeur à l'INSA de Toulouse



Plan

1 CV

- Formation et carrière
- Activités de recherche
- Activités d'enseignement

2 Cohérence dans les systèmes répartis

- Généralités
- Flux multimédias coordonnés
- Association cohérente de données
- Flots de données à contraintes temporelles

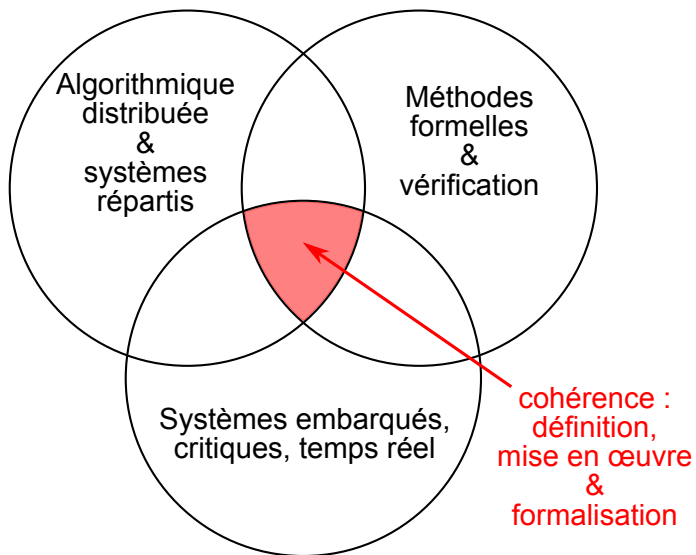
3 Conclusion

- Bilan
- Perspectives

Formation et carrière

- 1989 Diplôme d'ingénieur en Informatique et Mathématiques Appliquées de l'ENSEEIH
- 1990 – 1994 **Doctorat en Informatique** de l'INPT
Techniques de réplication de données pour les systèmes répartis à grande échelle.
Effectué au Centre d'Études de la Navigation Aérienne (CENA)
Dir. de recherche : Gérard Padiou
- 1994 – 1996 ATER à l'ENSEEIH
- 1996 **Maître de conférences** à l'ENSEEIH/INPT
Équipe : *Sûreté de développement des logiciels* de l'IRIT
- 2004 Équipe : *Assistance à la Certification d'Applications Distribuées et Embarquées (ACADIE)*

Positionnement



Positionnement

$1/2$ -Praticien

- Développement d'algorithmes concurrents ou distribués
- Domaine applicatif

$1/2$ -Théoricien

- Modèle formel, preuves des algorithmes
- Vérification automatique

= Formalisateur

- Domaine applicatif
- Définition \pm formelle du domaine
- Expression \pm formelle des algorithmes et propriétés
- Vérification outillée

Enseignement

Enseignant au département informatique et mathématiques appliquées de l'ENSEEIH, plus interventions au département télécommunication et réseaux et à l'ENAC.

Responsabilité d'enseignements

- Systèmes centralisés : structure externe et interne d'un SE
- Systèmes concurrents : parallélisme et synchronisation
- Théorie des automates : définition, manipulation et modélisation
- Théorie des langages : classes de langages, accepteurs
- Systèmes de transitions : modèle et mise en œuvre

Autres participations

- Intergiciels
- Systèmes répartis pour le multimédia
- Compilation / traduction des langages

Plan

1 CV

2 Cohérence dans les systèmes répartis

- Généralités
- Flux multimédias coordonnés
- Association cohérente de données
- Flots de données à contraintes temporelles

3 Conclusion

Cohérence

Une définition de la cohérence ?

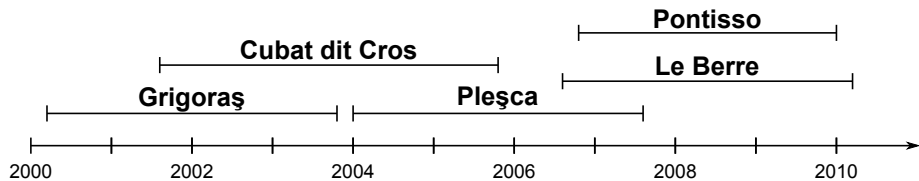
Ensemble d'informations ou de traitements dont la validité est définie par un critère.

⇒ ça ne veut rien dire !

Sources d'incohérences

- Réplication : une même information en plusieurs **copies**
- Information non **atomique**
- Information qui **dépend de** ou **contrôle** une autre information
- Une information qui **circule** par plusieurs chemins
- Sans compter que le **temps** peut intervenir

Co-encadrements de thèse



- | | |
|-------------------|--|
| R. Grigoraș | flux multimédia coordonnés |
| C. Pleșca | flux multimédia coordonnés
<i>dépendance entre données non atomiques</i> |
| C. Cubat dit Cros | agents mobiles |
| N. Pontisso | association cohérente de données
<i>dépendance selon plusieurs chemins</i> |
| T. Le Berre | flots de données à contraintes temporelles
<i>dépendance vis-à-vis du temps</i> |

Plan

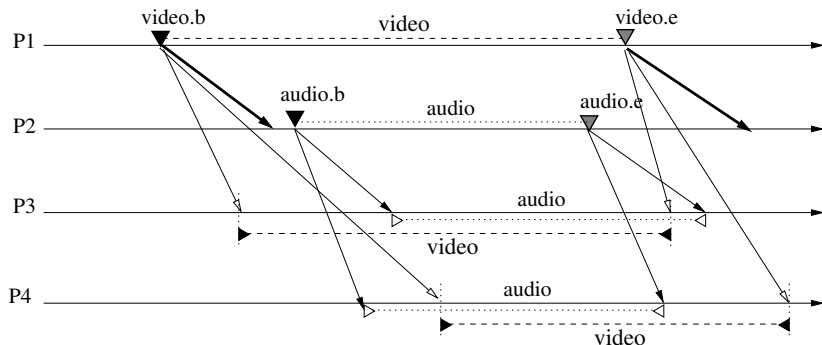
1 CV

2 Cohérence dans les systèmes répartis

- Généralités
- Flux multimédias coordonnés
- Association cohérente de données
- Flots de données à contraintes temporelles

3 Conclusion

Flux multimédias coordonnés



Étude menée avec l'équipe IRIT/Vortex – 2000–2008

Doctorants : Romulus Grigoraș, Cezar Pleșca

Sujet double : adaptation de contenus, multimédia réparti

Synchronisation et flux multimédias

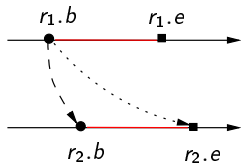
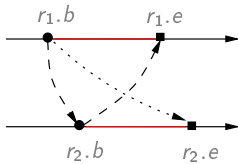
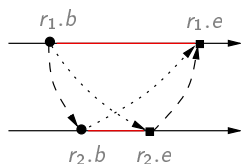
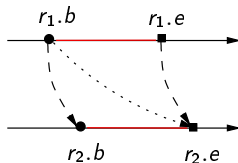
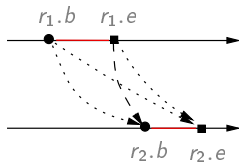
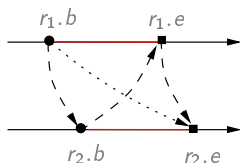
- Synchronisation intra-flux : liée à l'ordre et la fréquence de présentation des unités d'un flux.
Flux audio régulier, sans rupture de son ou variation de vitesse
- Synchronisation inter-flux : liée à la dépendance entre unités appartenant à des flux différents de même origine.
Synchronisation audio-vidéo lip-sync
- Synchronisation de groupe / coordination : liée au fait qu'un ensemble d'utilisateurs perçoivent la même présentation, ou des présentations cohérentes.
Travail coopératif

Problématique

- 1 Spécifier les relations entre flux
- 2 Proposer un mécanisme permettant de respecter ces relations

Communication par		
messages		flux
événement	↔	défilement ou <i>run</i>
point	↔	segment
événement d'émission	↔	défilement source
événement de réception	↔	défilement destination
1 relation de causalité	↔	10 relations de causalité

Relations de causalité

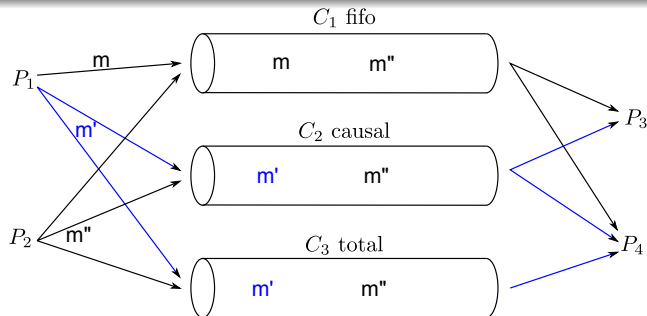
initiale \rightarrow couvrante initiale $\rightarrow|$ inclusive $\rightarrow|+$ faible \rightarrow forte $\rightarrow|+$ couvrante $\rightarrow|+$

Propriétés : hiérarchie, ordres...

Communications multimodales

Délivrance ordonnée

- Délivrer les flux en respectant les relations de précedence
- Flux décomposé en messages
- Minimiser le coût : de surcharge, de latence, de gigue
- Solution : ordonner précisément seulement un sous-ensemble des messages



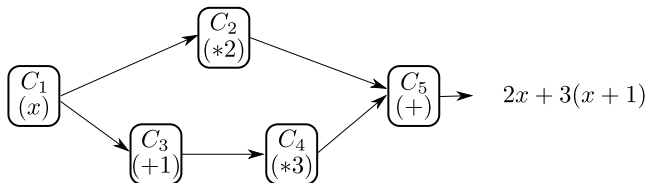
Bilan

- Deux thèses soutenues (2003, 2007)
- Collaborations avec l'équipe Vortex/IRIT et avec Jean Fanchon/LAAS
- 4 conférences internationales
- Interactions entre systèmes distribués et multimédia

Plan

- 1 CV
- 2 Cohérence dans les systèmes répartis
 - Généralités
 - Flux multimédias coordonnés
 - Association cohérente de données
 - Flots de données à contraintes temporelles
- 3 Conclusion

Association cohérente de données



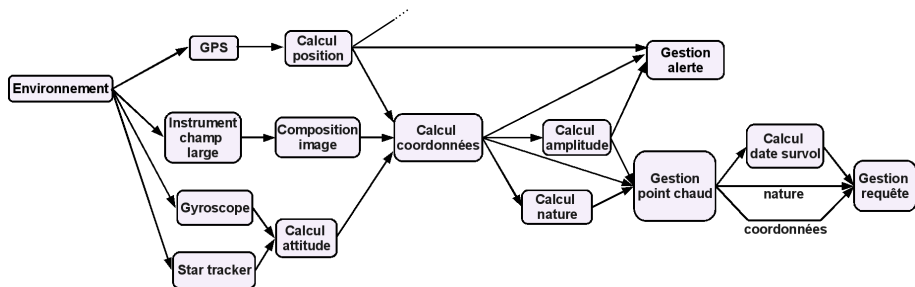
Approche proposée

- Description flots de données mais **pas** exécution flots de données
- Composants activés **indépendamment de la disponibilité des données**
- **Pas de recherche d'ordonnancement**

Doctorante : Nadège Pontisso

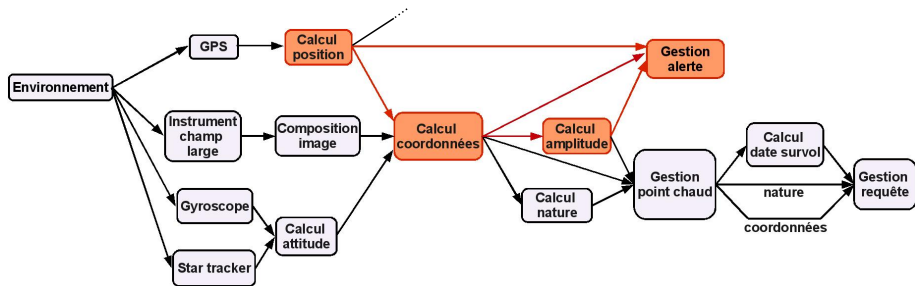
Co-financement Thales Alenia Space et CNES

Exemple applicatif – satellite de détection de feux



- Composants périodiques
- Exécution dirigée par le temps
- Ordonnancement prédéfini, indépendamment de la cohérence

Exemple applicatif – satellite de détection de feux



- Identifier les sous-graphes problématiques :
fuseau = plusieurs chemins reliant une source à un puits
- Définir informellement la cohérence :
 Les données du puits sont cohérentes si elles dépendent du même pas de calcul de la source.
- Formaliser et coder la cohérence

Formalisation

Approche

- 1 Formalisation de la **relation d'influence** qui lie les événements déterminant la valeur des objets
- 2 Définition du **critère de cohérence** à partir de cette relation
- 3 **Codage** de la relation par des estampilles
- 4 Protocole de **délivrance** d'un **ensemble** cohérent de données

Analogie

Relation de causalité de Lamport \prec , vecteurs d'horloge de Fidge-Mattern, protocole de délivrance causale.

Systèmes dirigés par le temps

Modèle d'exécution

- Systèmes composés de composants périodiques
- Modèle d'exécution lâche : pas de contraintes sur l'ordonnancement
- Composants boîtes noires
- Conforme au domaine applicatif : satellite

Problématique

- Identification des ensembles de données cohérents grâce aux estampilles
- Les données formant un ensemble cohérent ne parviennent pas au puits en même temps \Rightarrow files d'attente
- Calcul des tailles des files
- Identification d'une architecture induisant une forte incohérence

Bilan

- 1 thèse soutenue (2009)
- Collaboration avec Thales Alenia Space et le CNES
- 1 revue internationale, 3 conférences internationales
- Interactions entre systèmes distribués, systèmes embarqués, exécution dirigée par le temps

Plan

- 1 CV
- 2 Cohérence dans les systèmes répartis
 - Généralités
 - Flux multimédias coordonnés
 - Association cohérente de données
 - Flots de données à contraintes temporelles
- 3 Conclusion

Flots de données à contraintes temporelles

Objectifs

- Décrire formellement un système **temps réel** par des **flots de données**
- Étudier les **vérifications** formelles possibles

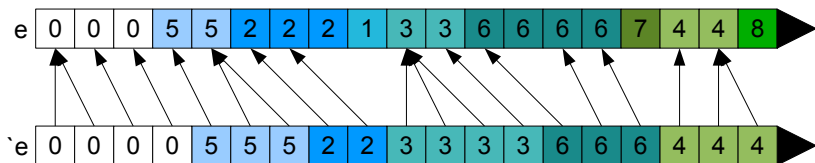
Observation + contraintes temporelles

- Un opérateur de cohérence entre deux variables/expressions :
l'une est un passé partiel de l'autre
- Des contraintes temporelles exprimant la qualité de cette cohérence

Doctorant : Tanguy Le Berre

La relation d'observation (Charpentier 1997)

- Une relation entre deux expressions ' $e \prec e'$ ' :
 - ▶ une source : e
 - ▶ une image : ' e '
- L'histoire de l'image est une sous histoire de la source
- Respect de l'ordre chronologique

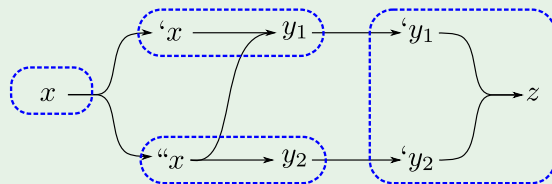


- Le retard modélise le temps de communication ou le temps de calcul
- Pertes et/ou omissions de certaines valeurs

Architecture

Un ensemble d'observations donne l'architecture d'un système, en termes de circulation de l'information.

Exemple

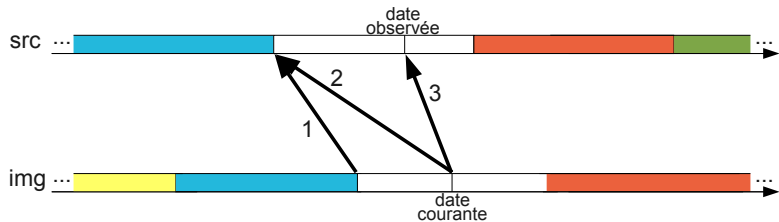


$$\begin{array}{lll}
 'x \prec x & 'y_1 \prec y_1 & y_1 \prec f_1('x, ''x) \\
 ''x \prec x & 'y_2 \prec y_2 & y_2 \prec f_2(''x) \\
 & & z \prec g('y_1, 'y_2)
 \end{array}$$

Chemin de propagation

= un chemin dans le graphe

Contraintes temporelles



- 1 Lag = écart entre l'instant d'apparition de la valeur actuelle de l'image et l'instant d'apparition de la valeur correspondante de la source
- 2 Latence = écart entre l'instant courant et l'instant d'apparition de la valeur de la source
- 3 Décalage = écart entre l'instant courant et l'instant observé

+ Filtrage de la valeur de la source selon :

- sa durée totale de conservation (valeurs transitoires)
- sa date d'apparition (fraîcheur)
- ...

Formalisation et vérification

Spécification formelle

- architecture (ensemble d'observations)
- + des contraintes temporelles sur les chemins de propagation
- (+ des contraintes temporelles sur les entrées du système)

Vérification (automatique) de la faisabilité

- Définition d'un modèle opérationnel équivalent à la spécification : système de transitions
- Réduction à un système fini (sous de bonnes hypothèses)
- Outils de vérification de modèles (TLC, Spin)

Bilan

- 1 thèse soutenue (2010)
- 1 revue internationale, 3 conférences internationales
- Observation = abstraction de l'architecture de communication et de calcul
- Extension « naturelle » de l'observation au temps réel

Plan

1 CV

- Formation et carrière
- Activités de recherche
- Activités d'enseignement

2 Cohérence dans les systèmes répartis

- Généralités
- Flux multimédias coordonnés
- Association cohérente de données
- Flots de données à contraintes temporelles

3 Conclusion

- Bilan
- Perspectives

Bilan

- 5 thèses co-encadrées sous la direction de G. Padiou
- Diverses collaborations industrielles et de recherche
- Thématique :
systèmes distribués \cap systèmes embarqués \cap méthodes formelles
- Approche théorique guidée par la pratique (ou l'inverse?)

Perspectives – Systèmes répartis / preuves

Observation & temps réel

L'observation est un bon opérateur abstrait pour décrire la circulation de l'information, et les dépendances entre données/variables.

- Dichotomie état/transition : description purement en termes d'états
⇒ difficulté pour parler du changement de valeur (transition)
- Temps discret ou continu ?
- Génération de contrôleur (event-clock automata ?)
- Outil plus adapté pour la vérification (solveur SMT ?)

Perspectives – Multi-cœurs & prédictibilité

Architectures multi-cœurs

- Grand nombre de cœurs/processeurs + mémoire non uniforme + horloges indépendantes (+ cœurs hétérogènes)
= système centralisé fortement concurrent **et** système distribué
- Contexte : systèmes embarqués **critiques** (avionique)
- Question : Exécution déterministe, **prévisible** et **reproductible** ?

Trois sujets

- 1 Modèle d'exécution et support système
- 2 Mémoire transactionnelle
- 3 Algorithmique non bloquante

Perspectives – Multi-cœurs & prédictibilité

Modèle d'exécution et support système

- Collaboration ONERA & LAAS
- Modèle d'exécution \Rightarrow synchrone
connu avec quelques processeurs (2–8), mais 1024 ?
- Services système support \neq système centralisé multi-processeurs :
mémoire non uniforme, communication explicite

Perspectives – Multi-cœurs & prédictibilité

Mémoire transactionnelle

- La mémoire transactionnelle offre des unités atomiques d'exécution, passant d'un état sain à un autre état sain
- Lien mémoire transactionnelle – temps réel ?
- **Prévention** plutôt que détection/annulation-corrrection
- Système fermé, synchrone ou GALS (globally asynchronous, locally synchronous) \Rightarrow connaissance assez précise des transactions et de leurs caractéristiques

Perspectives – Multi-cœurs & prédictibilité

Algorithmique non bloquante

- But : structures de données concurrentes sans utilisation de verrous (contention)
- Petits algorithmes intrigants, mais complexes et fragiles
- Difficulté de la vérification \Rightarrow schémas de preuve ?
- Compatibilité avec le temps réel ?
- Cas pathologiques et prédictibilité ?

Résumé : Bilan / Perspectives

Cohérence dans les systèmes répartis

- Flux multimédias coordonnés
- Association cohérente de données
- Flots de données à contraintes temporelles

Description et vérification d'architecture distribuée temps réel

Observation & temps réel

Multi-cœurs de grande taille et systèmes embarqués critiques

- Modèle d'exécution et support système
- Mémoire transactionnelle
- Algorithmique non bloquante