

Prix de thèse SPECIF 1998

Un bilan rapide du premier prix de thèse SPECIF a été fait dans la lettre n°3 de janvier 1999. Nous nous contentons ici de donner un résumé des travaux récompensés, rédigés par leurs auteurs:

– Prix de thèse SPECIF 1998:

– **Peter F. Sturm**

pour son travail “Vision 3D non calibrée. Contributions à la reconstruction projective et étude des mouvements critiques pour l’auto-calibrage” préparé sous la direction de Long Quan et soutenu à l’INP de Grenoble.

– Accessits:

– **Matthias Grossglauser**

pour son travail “Contrôle des ressources de réseaux sur des échelles temporelles multiples” préparé sous la direction de J.C. Bolot et soutenu à l’Université de Paris 6.

– **Jean-Marie Le Bars**

pour son travail “Probabilités asymptotiques et pouvoir d’expression des fragments de la logique du second ordre” préparé sous la direction d’E. Grandjean et soutenu à l’Université de Caen.

Rappelons que ces thèses sont disponibles aux adresses suivantes:

<ftp://ftp.imag.fr/pub/Mediatheque.IMAG/theses/97-Sturm.Peter/>

<http://www.research.att.com/~mgross/>

<http://www.info.unicaen.fr/GREYC/data/personnel/lebars/>

Le conseil d’administration de SPECIF a décidé de reconduire le prix de thèse en 1999. Nous invitons donc tous ceux qui auront soutenu une excellente thèse entre le 01/09/1998 et le 31/08/1999 à candidater au prix de thèse SPECIF 1999.

1 Résumé de la thèse de Peter F. Sturm

1.1 Domaine de recherche - La vision par ordinateur

En vision par ordinateur, le développement de méthodes et de nouvelles technologies permet d’améliorer ou de compléter la vision humaine dans de nombreuses applications voire même de la remplacer. Parmi les exemples d’applications de la vision par ordinateur, on peut citer: la création de machines mobiles et autonomes, la surveillance, la création automatique ou assistée de

modèles tridimensionnels d'objets existants, l'assistance pour des opérations chirurgicales ou bien la recherche d'informations dans des bases de données constituées d'images ou de séquences vidéo. Les raisons de l'utilisation de la vision par ordinateur sont liées aux atouts qu'offre l'informatique : rapidité du traitement de gros volumes d'informations, fiabilité et disponibilité.

1.2 Sujet de la thèse - La vision 3D non calibrée

Nous nous intéressons, dans cette thèse, surtout à l'utilisation de la vision par ordinateur pour la perception tridimensionnelle de l'environnement, aussi appelée vision 3D. Les données à traiter sont des images de l'environnement prises par des caméras. Un système de vision 3D a pour but d'extraire des informations de nature tridimensionnelle. Par exemple, un véhicule autonome conduisant sur un terrain inconnu doit être capable de détecter les obstacles et d'estimer leur distance afin de pouvoir les éviter. Le contournement d'obstacles et la navigation en général peuvent s'appuyer sur des informations provenant du système de vision, de même que la saisie d'objets par un bras articulé. D'autres applications sont basées sur la création de modèles tridimensionnels d'objets ou d'environnements, éventuellement enrichis par une texture réaliste ou par des informations sur la réflectance de surfaces. De tels modèles rendent possible la navigation virtuelle dans ces environnements.

La détermination de mesures tridimensionnelles demande un certain calibrage du capteur, à savoir la caméra. Le procédé classique pour des applications de vision 3D consiste en un calibrage hors ligne, suivi de l'application proprement dite. Il est clair qu'on souhaiterait pouvoir éviter ce calibrage, entre autre pour augmenter le confort de l'utilisateur. En outre, beaucoup d'applications nécessitent une mise à jour fréquente du calibrage, due à des changements délibérés (zoom, mise au point) ou accidentelle (influences thermiques, vibrations) de paramètres de la caméra. La mise à jour par un nouveau calibrage hors ligne est pour le moins fastidieuse, et est souvent complètement intolérable si l'application en cours ne doit pas être interrompue.

Dans cette thèse, nous nous concentrons sur deux concepts de la « vision non calibrée ». Premièrement, nous développons des méthodes qui permettent d'obtenir une reconstruction 3D même si les images disponibles sont prises par des caméras non calibrées. Les informations obtenues ne sont pas de nature métrique – on parle de reconstruction projective – mais elles sont néanmoins exploitables pour des tâches de reconnaissance d'objets ou d'asservissement de robots. Deuxièmement, nous considérons le problème de calibrage *en ligne* ou auto-calibrage. La synthèse d'une reconstruction projective avec un auto-calibrage permet en fin de compte l'établissement d'un modèle 3D complètement métrique de l'environnement, modèle qui est donc globalement utilisable pour toute application potentielle.

1.3 Contributions

Dans la suite, nous décrivons nos contributions aux deux concepts mentionnés ci-dessus, la reconstruction tridimensionnelle non calibrée et l'auto-calibrage.

1.3.1 Reconstruction tridimensionnelle non calibrée

Reconstruction 3D à partir de deux images. Naturellement, il s'agit ici de l'un des problèmes classiques de la vision par ordinateur, qui a été étudié depuis des décennies. Nous avons su démontrer que les méthodes classiques ne sont pas praticables pour des caméras non calibrées, puisqu'elles se basent sur des constructions géométriques qui ne sont pas valables dans l'espace 3D, maintenant non métrique, de la reconstruction. Nous avons évité ce problème en ne travaillant que dans l'espace 2D de l'image, ce qui a le mérite d'être indépendant du fait si la caméra est calibrée ou non. Basé sur le modèle statistique du bruit dans les images nous avons finalement pu développer une solution globalement optimale et quasi-analytique. Nous avons donc non seulement proposé une méthode particulièrement adaptée au cas non calibré, mais qui donne aussi la solution optimale pour des caméras calibrées hors ligne. Ainsi, notre résultat est en quelque sorte une réponse définitive au vieux problème de reconstruction 3D binoculaire.

Reconstruction 3D non calibrée à partir de plusieurs images. Si avec deux images nous pouvons obtenir une solution quasi-analytique de la reconstruction, ceci n'est plus possible si plusieurs images sont utilisées. Grâce à la formulation non-linéaire du problème, tout ce qu'on peut souhaiter d'obtenir est une solution initiale de qualité suffisante pour faire converger une optimisation numérique ultérieure. De telles méthodes existent déjà pour le modèle de projection parallèle. Par contre, nous avons été les premiers chercheurs à développer une méthode qui adopte le modèle de projection perspective, qui est beaucoup plus proche du processus de formation d'image. En s'appuyant sur une récente formulation tensorielle de la géométrie des systèmes stéréoscopiques, nous avons pu formuler le processus de reconstruction à travers la décomposition en valeurs singulières d'une seule matrice contenant toutes les données. La prise en compte de détails numériques nous a permis d'obtenir des reconstructions 3D de très bonne qualité, que souvent même une optimisation non-linéaire ne peut augmenter de manière significative. À noter que les résultats deviennent meilleurs si plus d'images sont utilisées – nous avons donc développé une véritable méthode « multi-images ».

1.3.2 Calibrage en ligne / Auto-calibrage

Méthodes pratiques. Nous avons développé plusieurs algorithmes pour l'auto-calibrage, conçus pour les caméras équipées d'un objectif à focale variable ou les caméras mono-dimensionnelles.

Conditions de dégénérescence de l'auto-calibrage. Les recherches dans l'auto-calibrage s'étant initialement concentrées sur le développement de méthodes pratiques, des aspects de dégénérescence ou singularité ont presque complètement été négligés. Pourtant, les expériences pratiques ont suggéré l'existence de singularités, qui se manifestent par une grande instabilité numérique des algorithmes. Basé sur une formulation géométrique et originale du problème de l'auto-calibrage, nous avons su exhiber toutes les configurations géométriques qui sont singulières, c'est-à-dire où l'auto-calibrage n'est faisable avec aucune méthode pratique possible. Ces configurations concernent les mouvements des caméras durant la prise d'images, et sont donc appelées « mouvements critiques ». Bien qu'il s'agisse d'un résultat théorique, il a d'importantes implications pour la pratique: nous avons pu montrer que tous les mouvements de caméra habituellement appliqués sont critiques! Nos résultats permettent à la fois de désigner des mouvements critiques et de suggérer des stratégies de prise d'images, qui sont favorables pour la réussite de l'auto-calibrage en offrant une bonne stabilité numérique.

2 Résumé de la thèse de Matthias Grossglauser

2.1 Sujet de la thèse

Les applications multimédia ont des besoins de qualité de service qui nécessitent l'utilisation de réseaux permettant l'allocation de ressources. Cependant, l'efficacité d'un réseau dépend de façon cruciale du degré de partage des ressources. Satisfaire ces deux contraintes est difficile à cause des fluctuations à multiples échelles temporelles du débit du trafic généré par ces applications. En effet, cela complique la prédiction des demandes en ressources avec une précision suffisante. Il faut mettre en oeuvre des mécanismes de contrôle de façon à couvrir toutes les échelles temporelles.

2.2 Contributions

Dans cette thèse, nous étudions le contrôle de ressources sur trois échelles temporelles naturelles. A l'échelle du paquet, nous évaluons la performance du lissage du trafic comme mécanisme pour accommoder les fluctuations de débit. Nous montrons l'existence d'un horizon de corrélation; seules les échelles temporelles plus courtes que cet horizon de corrélation sont pertinentes pour la prédiction de performance. Ceci illustre le principe plus général que le trafic, le système, et la métrique de performance doivent être pris en compte pour déterminer l'ensemble de modèles de trafic possibles.

A l'échelle de la rafale, nous proposons la renégociation comme mécanisme pour accommoder les fluctuations sur une échelle temporelle plus longue que l'horizon de corrélation. Un nouveau modèle de service appelé RCBR ("Renegotiated Constant Bit Rate") combine la simplicité du réseau avec un contrôle efficace de la qualité de service, tout en extrayant la quasi totalité du gain de

multiplexage statistique du trafic.

A l'échelle du flux (ou de la connexion), nous décrivons le contrôle d'admission basé sur les mesures, qui simplifie le problème de la spécification du trafic pour l'application ou pour l'utilisateur. Nous proposons un modèle qui prend en compte l'impact de l'incertitude dans les mesures et l'interférence de l'échelle temporelle de rafale et de flux. Ce modèle permet d'obtenir des résultats fondamentaux pour la conception de mécanismes de contrôle d'admission basé sur les mesures robuste. Un résultat important issu de cette étude est que cette robustesse peut être atteinte en faisant correspondre l'échelle temporelle de la mesure (la longueur de la fenêtre d'estimation) à l'échelle temporelle critique du système, qui dépend de la durée moyenne des flux ainsi que de la taille du système.

Finalement, nous étudions deux problèmes dans la communication multipoint. Premièrement, nous étendons le modèle de service RCBR au cas des flux multipoint pour illustrer le compromis entre la complexité dans le réseau et la complexité dans les applications. Nous comparons la complexité d'une application qui utilise un réseau "best effort" avec celle d'une application qui utilise un réseau offrant des garanties renégociables. Nous nous intéressons aussi au problème de la dépendance des flux qui résulte de la compression en couches hiérarchiques d'une source d'information.

Deuxièmement, nous abordons le problème de l'implosion de l'information de contre-réaction dans la communication multipoint. Une approche pour éviter ce problème est de retarder l'envoi de l'information aux destinations. Nous présentons un algorithme distribué pour calculer un délai fixe pour chaque destination dans un arbre multipoint, qui est une fonction de la topologie de l'arbre et des délais source-destination. Cet algorithme est entièrement distribué car chaque noeud de l'arbre a seulement besoin d'informations locales et de communication entre noeuds voisins. De plus, l'ensemble des délais calculés par cet algorithme est optimal dans le sens qu'il minimise le temps de réponse maximal.

3 Résumé de la thèse de Jean-Marie Le Bars

3.1 Domaine de recherche

La théorie des modèles finis est actuellement fortement liée à la combinatoire et à la théorie de la complexité. Son développement récent s'explique par le fait que l'étude de structures finies -comme les graphes- est essentielle en informatique théorique dans ses multiples applications: théorie des bases de données, intelligence artificielle, vérification de programmes, etc. On distingue dans ce domaine trois axes principaux de recherche: la *complexité descriptive* qui étudie des liens entre la *complexité algorithmique* des problèmes et leur expression logique; l'étude du pouvoir d'expression des logiques, notamment la comparaison du pouvoir d'expression de deux logiques, sur les structures finies; l'étude des probabilités asymptotiques des propriétés exprimables sur les structures finies dans une logique donnée.

Ma thèse aborde les deux derniers axes. Plus précisément, je me suis intéressé aux relations surprenantes entre *décidabilité*, *pouvoir d'expression* et *existence d'une loi 0-1* pour une même logique.

Pour une propriété \mathcal{P} donnée, définie sur des structures finies, nous déterminons, pour chaque entier n , la proportion des structures de domaine $\{1, \dots, n\}$ qui sont modèles de cette propriété. Cette proportion est notée $\mu_n(\mathcal{P})$ et, lorsque $\mu_n(\mathcal{P})$ a une limite quand n tend vers $+\infty$, celle-ci est appelée *probabilité asymptotique* de \mathcal{P} et notée $\mu(\mathcal{P})$.

Une logique \mathcal{L} admet une loi 0-1 lorsque toute propriété \mathcal{P} exprimable dans \mathcal{L} a une probabilité asymptotique égale à 0 ou 1.

Glebskii et al. (1969) et indépendamment Fagin (1976) ont prouvé que la logique du premier ordre admet une loi 0-1, ce qui n'est pas le cas de Σ_1^1 , *la logique existentielle du second ordre*. Il est bien connu que Σ_1^1 capture exactement la classe *NP* (Fagin 1974), ce qui explique que les fragments de Σ_1^1 sont des candidats particulièrement intéressants pour obtenir de nouvelles lois 0-1.

Soit \mathcal{L} une classe logique du premier ordre, nous noterons $\Sigma_1^1(\mathcal{L})$ l'ensemble des énoncés de la forme

$$\exists R_1 \dots \exists R_k \varphi$$

où les R_i sont des symboles de relation et φ est un énoncé de \mathcal{L} .

Les résultats de Kolaitis et Vardi (87-92) et ceux de Pacholski et Szwoast (91-93) ont abouti à une classification complète établissant une *remarquable correspondance* entre *décidabilité* et *lois 0-1*:

Une classe préfixe avec l'égalité est décidable si et seulement si le fragment existentiel de la logique du second ordre correspondant admet une loi 0-1.

3.2 Contributions

J'établis dans ma thèse que cette correspondance entre *décidabilité* et *lois 0-1* n'est pas vérifiée pour la logique à deux variables, notée FO^2 , et la classe de Gödel sans l'égalité, contredisant ainsi la conjecture de nombreux chercheurs.

En effet, nous savons que ces deux logiques sont décidables alors que je prouve que les fragments de Σ_1^1 correspondant n'admettent pas de loi 0-1. Je réponds ainsi à deux problèmes ouverts bien connus posés respectivement par Flum en 1994 et Kolaitis-Vardi en 1992.

3.2.1 Les logiques à deux variables

Avant de m'attaquer au problème de Flum, j'ai obtenu de nombreux résultats sur la décidabilité et le pouvoir d'expression de FO^2 et de diverses extensions de cette logique. C'est ce travail préliminaire qui m'a permis de déterminer que la propriété de noyau était la propriété clef pour le résoudre.

Remarque Les logiques à deux variables ont suscité ces dernières années un engouement étonnant et donné lieu à un nombre impressionnant de publications. Cet intérêt s'explique en grande partie par le fait que les logiques modales -très utilisées en Informatique- se traduisent facilement en logique à deux variables.

3.2.2 La propriété de noyau et ses variantes

Un graphe orienté possède un noyau lorsqu'il existe un sous-ensemble de ses sommets ne contenant pas d'arc interne et tel que de tout sommet extérieur à cet ensemble part un arc vers cet ensemble.

L'idée maîtresse de ma thèse a été d'imaginer deux variantes \mathcal{N}_1 et \mathcal{N}_2 de la propriété de noyau qui, à l'inverse du noyau, n'ont pas de probabilité asymptotique et s'expriment respectivement dans les logiques $\Sigma_1^1(\text{FO}^2)$ et Σ_1^1 (Gödel sans l'égalité) et par conséquent ces deux logiques n'ont pas de loi 0-1.

3.2.3 Mes techniques de preuve: les graphes aléatoires

L'originalité de mes preuves vient du fait que des méthodes probabilistes (méthodes du premier et du second moment) de la *théorie des graphes aléatoires* sont utilisées pour la première fois en logique. Rappelons que le *nombre de clique* d'un graphe non-orienté est l'ordre maximal possible de ses sous-graphes complets. Comme point de départ, j'utilise un théorème, dû indépendamment à Matula et Erdős-Bollobas qui donne les valeurs possibles du *nombre de clique* d'un graphe aléatoire. J'ai dû préciser et améliorer ce résultat pour l'adapter à mes propriétés de noyau.

3.3 Conclusion

Mes contributions essentielles au domaine sont donc

- Réponse négative et surprenante à la conjecture de Flum sur la logique à deux variables.
- J'obtiens une classification complète selon les lois 0-1 des classes logiques préfixes avec ou sans l'égalité .
- Le deuxième contre-exemple permet aussi de retrouver tous les résultats donnant les fragments de Σ_1^1 qui n'ont pas de loi 0-1, ceci en précisant mieux les raisons de leur non-convergence.