

Projet COGNOIS
Acquisition et synchronisation des caméras

par
Stéphane Drouin

15 août 2001

Résumé

L'acquisition et la synchronisation sont les étapes de base du projet COGNOIS. L'acquisition se fait indépendamment du traitement par la méthode du double tampon à deux niveaux pour permettre la manipulation en direct des images acquises.

La synchronisation compte deux parties. La coordination des traitements est assurée par un circuit externe et la synchronisation des identifiants d'images est basée sur le compteur de performance local à chaque ordinateur, secondé par une barrière logicielle implantée par le réseau. De cette manière, la synchronisation a une grande probabilité d'être correcte en tout temps malgré les limites du système d'exploitation.

Table des Matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduction | 1 |
| 2 | Acquisition | 2 |
| 2.1 | Le matériel | 2 |
| 2.2 | Génération des signaux de synchronisation | 2 |
| 2.3 | Acquisition des images pour le traitement en temps réel | 3 |
| 2.4 | Problèmes rencontrés | 4 |
| 3 | Synchronisation des traitements | 5 |
| 3.1 | Synchronisation par un circuit externe | 5 |
| 3.2 | Algorithme de synchronisation | 5 |
| 3.3 | Garanties de synchronisation | 6 |
| 3.4 | Problèmes rencontrés | 6 |
| 4 | Synchronisation des identificateurs d'images | 7 |
| 4.1 | Synchronisation par le compteur de performance | 7 |
| 4.2 | Algorithme de calcul d'un indentificateur | 7 |
| 4.3 | Garanties de synchronisation | 8 |
| 4.4 | Problèmes et autres solutions possibles | 9 |
| 5 | Conclusion | 10 |
| A | Circuit de synchronisation | 11 |
| B | Classe pour la synchronisation | 13 |
| C | Calculs | 14 |
| | Bibliographie | 16 |

Liste des Figures

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Double tampon à deux niveaux | 3 |
| 2 | Circuit de synchronisation | 11 |
| 3 | Circuit de conversion TTL à LVDS | 12 |
| 4 | Contextes d'exécution pour la synchronisation | 13 |
| 5 | Probabilité que la synchronisation des identifiants soit valide | 15 |

Liste des symboles

| | |
|------|---|
| LVDS | Low Voltage Differential Signaling. Standard de transmission de signal. |
| TTL | Transistor-Transistor Logic. Standard pour les circuits intégrés. |

1 Introduction

L'acquisition et la synchronisation sont les étapes de base du projet COGNOIS. L'acquisition, d'une part, fournit des images aux modules de traitement haut niveau. Elle doit se faire indépendamment du traitement. La synchronisation, d'autre part, assure que les données traitées sont acquises au même instant, une contrainte nécessaire dans un contexte où les objets observés sont en mouvement.

Dans un premier temps, les algorithmes permettant l'acquisition et le traitement simultanés sont présentés. L'aspect matériel est également abordé.

Deuxièmement, l'aspect synchronisation est présenté en deux parties: la synchronisation des traitements et la synchronisation des identifiants. Dans les deux cas, la robustesse des algorithmes est discutée.

Finalement, des détails d'implantation sont donnés en annexe. Ces détails ne couvrent pas les questions d'implantation logicielle. Le lecteur intéressé par ces questions est référé à la documentation du code [1].

2 Acquisition

2.1 Le matériel

2.1.1 Les cartes d'acquisition

Les cartes d'acquisition utilisées sont des Matrox Meteor-II/Camera Link [5]. Munies de connecteurs externes, ces cartes permettent la synchronisation entre ordinateurs et la synchronisation des caméras.

L'utilisateur dispose de trois sorties TTL (CamCtrl) et de deux entrées LVDS (User input) par carte. Les sorties TTL peuvent être utilisées directement dans le circuit de synchronisation, mais les signaux d'entrée doivent être convertis en format LVDS. Chaque carte peut également générer deux signaux d'horloge, configurables par logiciel.

2.1.2 Les caméras

Les caméras utilisées sont des Pulnix TMC-6700-CL [6] à balayage progressif; les deux champs de chaque image sont donc acquis simultanément. Ces caméras couleur (un CCD de 1/2 pouce) fournissent 60 images par seconde à une résolution de 640×480 pixels. L'obturateur électronique peut être configuré à une valeur entre $\frac{1}{32000}$ et $\frac{1}{60}$ seconde.

Les caméras acceptent des signaux de synchronisation externes sous forme TTL. Le signal de synchronisation horizontale (HD) doit être de transition négative vers une impulsion de $2\mu s$, à une fréquence de 31.47 KHz. Le signal de synchronisation verticale (VD) doit être de transition négative vers une impulsion de $63\mu s$ (1 à 9 période de HD), à une fréquence de 60 Hz.

2.2 Génération des signaux de synchronisation

Pour faire des acquisition synchronisées, les caméras doivent partager les mêmes signaux de synchronisation horizontale et verticale. Ces signaux sont générés par une des cartes d'acquisition, à l'aide des signaux d'horloge disponibles à l'utilisateur.

Ces signaux sont configurés de la manière suivante avec Matrox Intellicam. HD utilise 'Timer 1', asynchrone à l'horloge pixel (pc) et de polarité négative, actif durant 733 pc et inactif durant 75 pc. VD utilise 'Timer 2', synchronisé sur la sortie du 'Timer 1' et

de polarité négative, actif durant 523 VD et inactif durant 2 VD. Les deux signaux sont inversés par matériel avant d'être branchés sur les entrées HD et VD des caméras.

2.3 Acquisition des images pour le traitement en temps réel

Pour accommoder un traitement temps réel, l'acquisition a intérêt à se faire selon la technique du double tampon. De cette façon, le traitement peut être fait sur une image pendant que la suivante est en cours d'acquisition.

Algorithme 1 Acquisition des images par double tampon.

1. Soient deux images indicées par $i = 0$ ou par $i = 1$. Tant que des images sont désirées, faire:
 - 1.1. Démarrer l'acquisition de l'image i .
 - 1.2. Traiter l'image $1 - i$ acquise précédemment.
 - 1.3. Poser $i = 1 - i$.

Cet algorithme de base peut être raffiné pour son utilisation dans le contexte de COGNOIS, où les traitements peuvent durer plus longtemps que la période d'acquisition et où les acquisitions doivent se faire régulièrement et de façon synchronisée.

Dans notre contexte d'acquisition, quatre espaces mémoire sont nécessaires, sur chaque ordinateur, pour appliquer la technique du double tampon à deux niveaux.

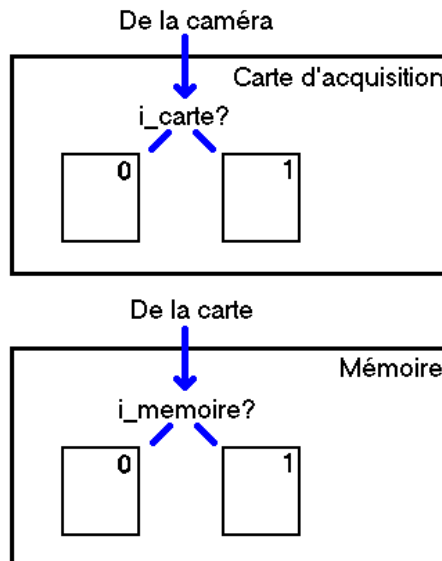


Figure 1: Double tampon à deux niveaux

D'une part, deux espaces sont réservés sur la carte d'acquisition. Les images venant de la caméra sont d'abord acquises dans ces espaces, indépendants de la mémoire principale

de l'ordinateur. Les traitements sont alors peu affectés par l'acquisition à 60 images par seconde.

D'autre part, deux espaces sont réservés dans la mémoire principale de l'ordinateur. Seules les images qui peuvent être traitées, étant donné la durée du traitement, y sont copiées.

Algorithme 2 Acquisition des images par double tampon à deux niveaux.

1. Soient les deux images sur la carte d'acquisition indicées par $i_{carte} = 0$ ou par $i_{carte} = 1$ et les deux images en mémoire principale indicées par $i_{memoire} = 0$ ou par $i_{memoire} = 1$. Tant que des images sont désirées, faire simultanément:
 - 1.1. Acquisition d'images à une fréquence de 60 Hz.
 - 1.1.1. Démarrer l'acquisition de l'image i_{carte} .
 - 1.1.2. Si aucune image n'est traitée ou si on peut prévoir la fin prochaine du traitement, copier l'image i_{carte} dans l'image $1 - i_{memoire}$.
 - 1.1.3. Poser $i_{carte} = 1 - i_{carte}$.
 - 1.2. Traitement des images
 - 1.2.1. Si nécessaire, attendre qu'une image récente soit disponible dans $i_{memoire}$.
 - 1.2.2. Traiter l'image $i_{memoire}$.
 - 1.2.3. Poser $i_{memoire} = 1 - i_{memoire}$.

2.4 Problèmes rencontrés

2.4.1 Fréquence d'acquisition sur les ordinateurs Athlon

Sur les ordinateurs Athlon, les premières images sont acquises à 60 Hz. Après un délai non constant, les acquisitions se font à seulement 30 Hz. Ce problème n'a pas encore été réglé et empêche l'utilisation des Athlon pour faire des acquisitions synchronisées. Au moment d'écrire ces lignes, il semble que le problème soit causé par une incompatibilité entre les cartes d'acquisitions Matrox et le jeu de puces VIA.

2.4.2 Acquisition directement en mémoire principale

Lorsque les acquisitions d'images sont faites directement en mémoire principale (et non sur la carte d'acquisition), une erreur de type 'Grab overrun' est signalée.

3 Synchronisation des traitements

En partant de l'hypothèse que les traitements à faire sont potentiellement longs et que leur durée peut facilement dépasser la période d'acquisition, le problème suivant se pose: comment s'assurer que les traitements se fassent sur des images acquises au même instant par n caméras branchées à n ordinateurs?

Cette contrainte découle du fait que, pour être valides, les traitements impliquant plusieurs caméras doivent se faire sur des données acquises au même instant.

3.1 Synchronisation par un circuit externe

Puisque cette synchronisation demande de connaître l'état de tous les ordinateurs et se fait à une fréquence relativement grande, il est plus simple de la réaliser par un circuit externe. Vu d'un ordinateur particulier, le circuit (voir la figure 2) présente une entrée et une sortie. Chaque ordinateur doit préciser, en sortie, s'il est prêt à traiter une nouvelle image. De son côté, le circuit de synchronisation indique, en entrée, si tous les ordinateurs sont prêts à faire un nouveau traitement.

Si la sortie du circuit est à 1 au début de son acquisition (signal VD), on dit que l'image est valide, sinon on la dit invalide. Seules les images valides sont traitées localement.

3.2 Algorithme de synchronisation

L'utilisation de l'algorithme suivant est proposé pour déterminer, lors de l'acquisition des images par double tampon à deux niveaux (algorithme 2), si on doit copier une image de la carte vers la mémoire principale et commencer un traitement.

Algorithme 3 Synchronisation des traitements par un circuit externe.

1. Si le traitement précédent est terminé ou si aucun traitement n'a encore été débuté, placer la sortie à 1.
2. Débuter l'acquisition de l'image courante.
3. Lire le bit d'entrée pour connaître l'état des autres ordinateurs et conserver sa valeur pour utilisation à l'itération suivante:

- 3.1. Si le bit était à 0 lors de l'acquisition précédente, ne rien faire avec l'image acquise précédemment.
 - 3.2. Sinon, copier l'image acquise précédemment en mémoire principale, placer la sortie à 0 et commencer le traitement.
4. Retourner à l'étape 1.

3.3 Garanties de synchronisation

Le système d'exploitation utilisé n'étant pas temps réel, on ne peut pas garantir que le bit de synchronisation est lu à l'intérieur du temps auquel il s'applique. Cependant, puisque ce temps est approximativement de 16 ms, la probabilité que la lecture soit valide est assez grande.

Quand ce délai de lecture est respecté, le circuit assure que, lorsqu'une image est traitée, elle l'est par tous les ordinateurs qui ont acquis l'image correctement. Il est toujours possible qu'un ou plusieurs ordinateurs n'aient pas acquis une image identifiée comme valide par le circuit à cause de délais occasionnés par le système d'exploitation. Dans ce cas, ces ordinateurs devront attendre la prochaine image valide avant d'effectuer un nouveau traitement.

3.4 Problèmes rencontrés

3.4.1 Initialisation des cartes d'acquisition

À l'initialisation des cartes, l'état de la sortie est inconnu. Il faut donc s'assurer que tous les ordinateurs ont complété leur initialisation avant de démarrer la synchronisation. Une barrière logicielle est implantée, en passant par un serveur de synchronisation, pour assurer cette initialisation par tous.

3.4.2 Entrée LVDS des cartes d'acquisition

Le circuit produit une sortie TTL. Cependant, les cartes d'acquisition utilisées acceptent une entrée LVDS [4].

Temporairement, un circuit de conversion fait maison est utilisé. (voir la figure 3). Pour la version finale, un circuit intégré réalisant cette opération sera utilisé.

4 Synchronisation des identificateurs d'images

4.1 Synchronisation par le compteur de performance

Le calcul des identificateurs d'images est basé sur le compteur de performance disponible dans Windows. Pour pouvoir compter les images à l'aide de cet outil, on doit supposer que le compteur est exact et que la fréquence d'acquisition est connue parfaitement. Or, ces deux conditions ne sont pas rencontrées généralement.

La stratégie adoptée est d'utiliser le temps sur une courte période. Dans ce cas, la connaissance de la fréquence d'acquisition n'a pas à être parfaite et les erreurs du compteur de performance sont négligeables.

De plus, pour ne pas accumuler les erreurs, un serveur de synchronisation est utilisé pour remettre périodiquement tous les compteurs à une valeur commune.

4.2 Algorithme de calcul d'un identificateur

En supposant connus les identificateurs des $i = 1, 2, \dots, n$ images précédentes et leur valeur de compteur de performance associée, on peut utiliser l'algorithme suivant pour calculer l'identificateur de la $n + 1$ ième image.

Algorithme 4 Calcul d'un identificateur d'image.

1. Soient I_i l'identificateur de l'image i et T_i son temps associé. Soit T_{n+1} , le temps associé à l'image dont l'identificateur est calculé. Soit f , la fréquence d'acquisition estimée. Pour chaque image $i = 1, \dots, n$, calculer une valeur estimée $I_{n+1,i}$ pour l'identificateur de l'image $n + 1$:

$$I_{n+1,i} = \lfloor (T_{n+1} - T_i) \times f \rfloor + I_i$$

2. Poser

$$I_{n+1} = \max_{i=1}^n I_{n+1,i}$$

Pour initialiser le compteur d'images, il suffit de poser $n = 0$, $n = 1$, et ainsi de suite pour les premières images, jusqu'à ce que n atteigne la valeur désirée.

4.3 Garanties de synchronisation

Le temps entre les acquisitions est sujet aux variations causées par l'indétermination du moment d'exécution. Même si aucune image n'est perdue et pour une fréquence d'acquisition de 60 Hz, ce temps peut varier de près de 0 ms jusqu'à près de 33.3 ms. La distribution de ce délai a été déterminée expérimentalement et a une moyenne de 17.3 ms et un écart-type de 3.8 ms (échantillon de 23000 acquisition). On peut alors calculer la probabilité, sachant que les n images précédentes sont identifiées correctement, que l'image $n + 1$ soit correctement identifiée. Si on pose qu'aucune image n'est perdue, on a:

$$\begin{aligned} I_{n+1_i} &= \lfloor (T_{n+1} - T_i) \times f \rfloor + I_i \\ I_{n+1_i} &= \lfloor ((n - i) \times T_{moyen} + T(\mu, \sigma)) \times f \rfloor + I_i \end{aligned} \quad (1)$$

où $T(\mu, \sigma)$ est une variable aléatoire de distribution normale (moyenne de μ et écart-type de σ) et T_{moyen} est le temps moyen entre deux acquisitions (fréquence d'acquisition réelle). Puisque $I_{n+1} = \max_{i=1}^n I_{n+1_i}$, I_{n+1} sera invalide si un seul des I_{n+1_i} est trop grand ou si tous les I_{n+1_i} sont trop petits. Il faut donc calculer deux probabilités: $P(I_{n+1_i} < n + 1 - i + I_i)$ et $P(I_{n+1_i} > n + 1 - i + I_i)$. En se référant à l'équation 1 et en supposant $T_{moyen} \simeq 1/f$, l'identifiant sera correct si:

$$\begin{aligned} n + 1 - i &= \lfloor (n - i) \times T_{moyen} \times f + T(\mu, \sigma) \times f \rfloor \\ n + 1 - i &= n - i + \lfloor T(\mu, \sigma) \times f \rfloor \\ 1 &= \lfloor T(\mu, \sigma) \times f \rfloor \end{aligned} \quad (2)$$

4.3.1 Probabilité qu'une estimation soit trop petite

De l'équation 2, on déduit qu'une estimation sera trop petite si

$$\begin{aligned} 1 &> \lfloor T(\mu, \sigma) \times f \rfloor \\ 1 &> T(\mu, \sigma) \times f \\ 1/f &> T(\mu, \sigma) \end{aligned}$$

Puisque le temps entre deux images doit être positif, et connaissant la distribution de $T(\mu, \sigma)$, la probabilité qu'une estimation soit trop petite est donnée par la distribution normale

$$P(I_{n+1_i} < n + 1 - i + I_i) = P_i(\text{petit}) = P\left(\frac{0 - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{1/f - \mu}{\sigma}\right) \quad (3)$$

4.3.2 Probabilité qu'une estimation soit trop grande

De l'équation 2, on déduit qu'une estimation sera trop grande si

$$\begin{aligned} 1 &< \lfloor T(\mu, \sigma) \times f \rfloor \\ 2 &\leq T(\mu, \sigma) \times f \\ 2/f &\leq T(\mu, \sigma) \end{aligned}$$

Puisque qu'on fait l'hypothèse qu'aucune image n'est perdue ($T(\mu, \sigma) < 2\mu$), et connaissant la distribution de $T(\mu, \sigma)$, la probabilité qu'une estimation soit trop grande est donnée par la distribution normale

$$P(I_{n+1_i} > n + 1 - i + I_i) = P_i(\text{grand}) = P\left(\frac{2/f - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{\mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

4.3.3 Probabilité que la valeur calculée soit correcte

I_{n+1} sera invalide si une seule des n estimations I_{n+1_i} est trop grande ou si toutes les n estimations I_{n+1_i} sont trop petites.

La probabilité que toutes les estimations soient trop petites est

$$P(\text{petit}) = P_i(\text{petit})^n$$

La probabilité qu'une seule estimation soit trop grande est

$$P(\text{grand}) = 1 - (1 - P_i(\text{grand}))^n$$

La probabilité que la valeur calculée soit correcte est la probabilité qu'aucune de ces deux situations ne se produisent:

$$\begin{aligned} P(\text{correct}) &= (1 - P(\text{petit}))(1 - P(\text{grand})) \\ P(\text{correct}) &= \left(1 - P\left(\frac{0 - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{1/f - \mu}{\sigma}\right)^n\right) \left(1 - P\left(\frac{2/f - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{\mu}{\sigma}\right)\right)^n \quad (5) \end{aligned}$$

Un calcul de cette probabilité fait à partir des données recueillies expérimentalement est donné en annexe.

4.4 Problèmes et autres solutions possibles

Si la fiabilité du compteur de performance devait s'avérer insuffisante, la solution à adopter serait l'utilisation d'un compteur matériel. Contrairement au compteur logiciel, le compteur matériel n'accumulerait pas les erreurs; chaque identifiant ne serait pas entaché des erreurs précédentes.

Ce compteur pourrait être lu à chaque image, via le port parallèle, pour fournir un identificateur commun à tous les ordinateurs. Il pourrait aussi indiquer les multiples de n pour permettre aux ordinateurs de se resynchroniser périodiquement, tout en utilisant un compteur logiciel pour compter les $n - 1$ autres images. Bien entendu, la première solution offrirait de meilleures garanties de synchronisation.

Cependant, la solution du compteur matériel est limitée par Windows. On ne peut effectivement pas garantir que le compteur pourra être lu par tous les ordinateurs dans le délai d'une acquisition.

5 Conclusion

Ce rapport a présenté deux étapes de base du projet COGNOIS: l'acquisition et la synchronisation.

L'acquisition se fait par la méthode du double tampon à deux niveaux pour permettre le traitement en direct des images acquises.

La synchronisation compte deux parties. La synchronisation des traitements est réalisée par un circuit externe et la synchronisation des identifiants d'images est basée sur le compteur de performance et est secondée par un serveur de synchronisation.

A Circuit de synchronisation

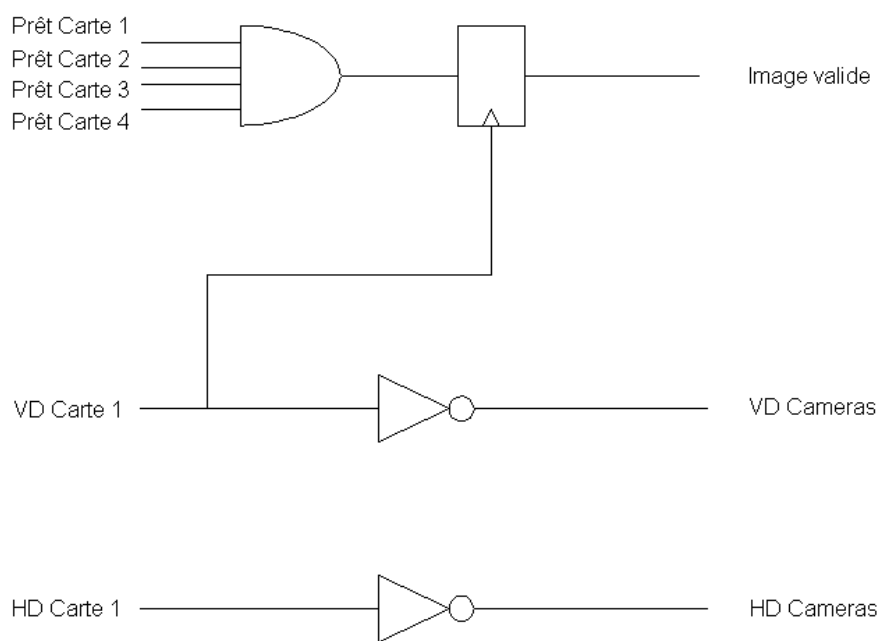


Figure 2: Circuit de synchronisation

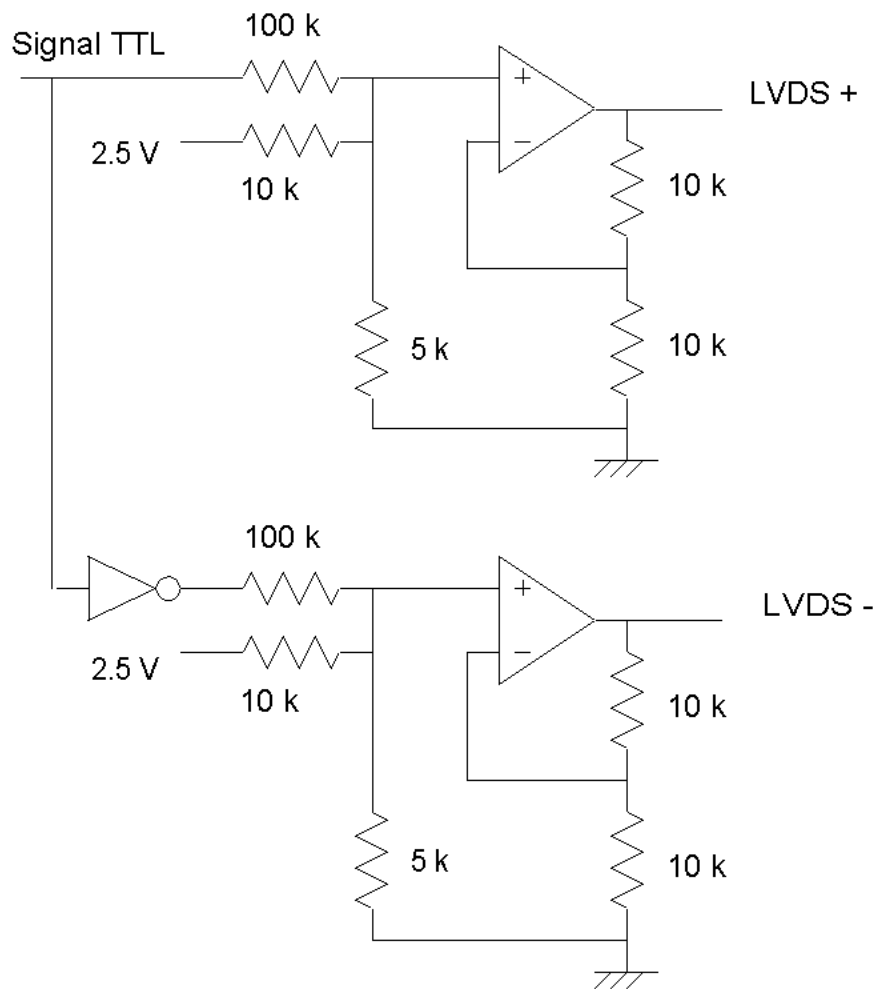


Figure 3: Circuit de conversion TTL à LVDS

B Classe pour la synchronisation

Pour chaque client caméra, l'acquisition, le traitement et la synchronisation sont faites dans la classe `OnlineProcessing` dans trois contextes d'exécution séparés. Ces contextes communiquent entre eux à l'aide de messages et de variables d'état. La figure 4 résume les interactions entre les contextes.

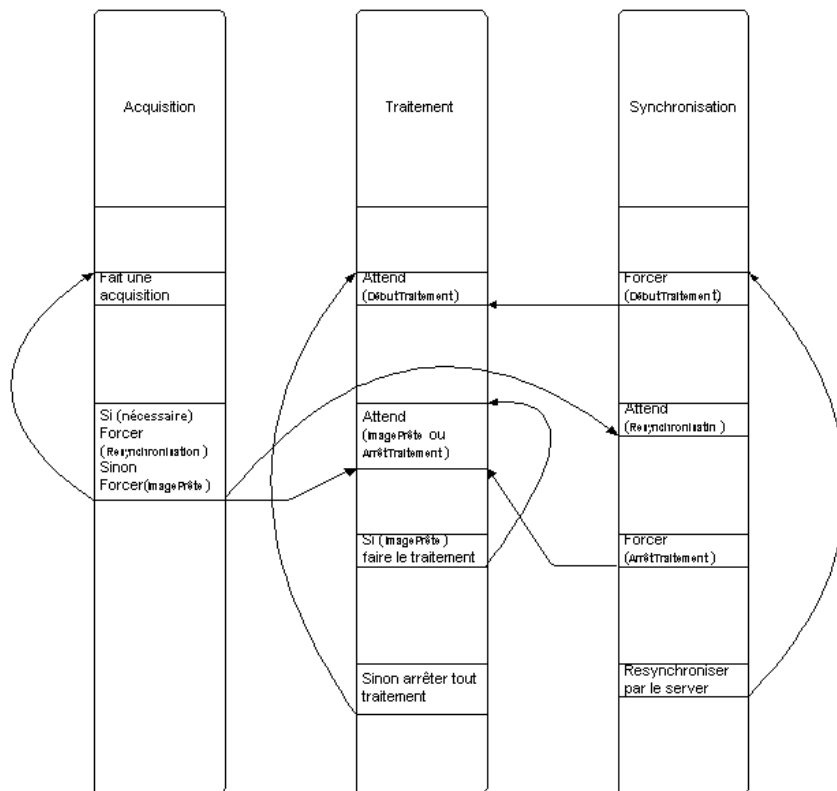


Figure 4: Contextes d'exécution pour la synchronisation

Une application utilisant `OnlineProcessing` doit également définir un fichier de configuration pour le serveur [2] dont le nom par défaut est `client.ini`. Le client dont le numéro est 0 doit impérativement s'exécuter sur la machine qui génère les signaux HD et VD.

C Calculs

Probabilité que la synchronisation des identifiants soit valide

On sait que les caméras ont une fréquence d'acquisition de $f = 60$ Hz. De plus, on a déterminé expérimentalement la distribution du temps entre les images, tel que vu par le programme. La distribution de ce délai a une moyenne de 17.3 ms et un écart-type de 3.8 ms (échantillon de 23000 acquisition). On peut alors calculer la probabilité, sachant que les n images précédentes sont identifiées correctement, que l'image $n + 1$ le soit correctement:

$$P(\text{correct}) = \left(1 - P\left(\frac{0 - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{1/f - \mu}{\sigma}\right)\right)^n \left(1 - P\left(\frac{2/f - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{\mu}{\sigma}\right)\right)^n$$

or,

$$\begin{aligned} P\left(\frac{0 - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{1/f - \mu}{\sigma}\right) &= P\left(Z \leq \frac{1/f - \mu}{\sigma}\right) - P\left(Z \leq \frac{0 - \mu}{\sigma}\right) \\ &= P\left(Z \leq \frac{16.7 - 17.3}{3.8}\right) - P\left(Z \leq \frac{-17.3}{3.8}\right) \\ &= P(Z \leq -0.158) - P(Z \leq -4.553) \\ &= \int_{z=-\infty}^{-0.158} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz - \int_{z=-\infty}^{-4.553} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz \\ &= 0.434 \end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned} P\left(\frac{2/f - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{\mu}{\sigma}\right) &= P\left(Z \leq \frac{\mu}{\sigma}\right) - P\left(Z \leq \frac{2/f - \mu}{\sigma}\right) \\ &= P\left(Z \leq \frac{17.3}{3.8}\right) - P\left(Z \leq \frac{33.3 - 17.3}{3.8}\right) \\ &= P(Z \leq 4.553) - P(Z \leq 4.211) \\ &= \int_{z=-\infty}^{4.553} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz - \int_{z=-\infty}^{4.211} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz \\ &= 9.65 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

donc,

$$P(\text{correct}) = (1 - (0.434)^n) (1 - 9.65 \times 10^{-6})^n$$

On peut déterminer le n optimal pour maximiser la probabilité que l'identifiant d'image calculé soit correct. Comme le montre la figure 5, cette probabilité est maximale pour $n = 14$. Dans ce cas, elle est de 99.986%.

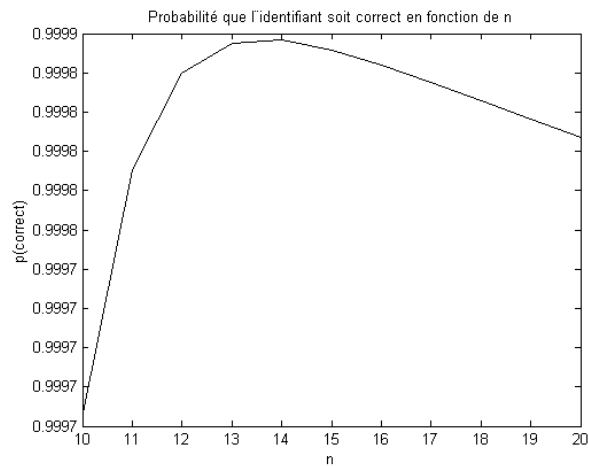


Figure 5: Probabilité que la synchronisation des identifiants soit valide

Bibliographie

- [1] Stéphane Drouin. *Online Processing Library Version 1.0*. Laboratoire de vision et systèmes numériques, 2001.
- [2] Simon Gagnon. *Description et utilisation du serveur développé pour l'application distribuée reliée au projet Cognois*. Laboratoire de vision et systèmes numériques, 2001.
- [3] William W. Hines and Douglas C. Montgomery. *Probability and statistics in engineering and management science*. John Wiley & Sons, 3rd edition, 1990.
- [4] Syed B. Huq and John Goldie. An overview of LVDS technology. Application Note AN-971, National Semiconductor Corporation, juillet 1998.
- [5] Matrox Imaging. *Matrox Meteor-II/Camera Link Installation and Hardware Reference*. Matrox, avril 2001.
- [6] Pulnix Imaging Products. *TMC-67000 progressive scan CCD digital color camera*. Pulnix, mars 2000.