

Nouveaux matériels de captation haute précision

Thierry Coduys, Cyrille Henry

La kitchen - 5 rue Laugier 75017 PARIS

Thierry.coduys@la-kitchen.fr, Cyrille.henry@la-kitchen.fr

Résumé

Les débits des lignes de transmission (Ethernet en particulier) sont aujourd'hui bien supérieurs à ceux imposés par la norme MIDI. Il est donc désormais possible d'utiliser des interfaces de captation haut débit/haute précision, grâce au protocole OSC, pour la synthèse musicale (temps réel ou temps différé).

Ce nouveau type d'interface offre de nombreux avantages, non seulement dans le cadre de la composition musicale avec l'utilisation et l'expérimentation de capteurs, mais aussi dans le cadre de performances live (concert) ou/et interactives. En effet, les processus de calibration et de traitement du signal peuvent être délocalisés vers un ordinateur, multipliant dès lors les possibilités de traitement. Pour ce faire, il est important qu'aucun prétraitement ne soit effectué dans l'interface capteur.

Mots-clefs

Interface, capteur, calibration, précision, OSC, Pure Data, Max/MSP, SC.

Introduction

Le protocole Open Sound Control (OSC) offre une alternative au protocole MIDI à la fois rapide et puissant lorsqu'il s'agit de faire communiquer deux logiciels, deux ordinateurs entre eux, ou encore un système de captation avec un ordinateur. (1)

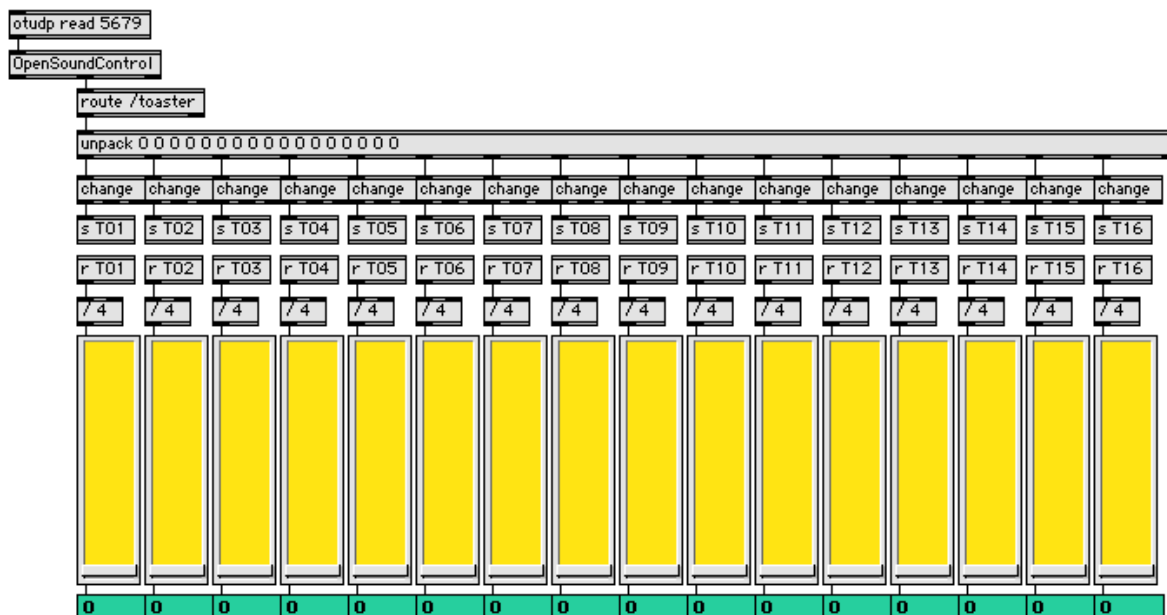
En effet, ce protocole de communication se base sur des lignes de communication haut débit (100Mbps pour une connexion Ethernet, la ligne MIDI fonctionnant à 32 Kbps environ). D'autre part, il possède une architecture souple, permettant d'envoyer différents formats de données.

L'utilisation de ce protocole permet de réaliser des systèmes de captation plus précis et plus rapides que les systèmes fonctionnant en MIDI.

Outre cette précision et cette rapidité de contrôle, ces nouvelles interfaces peuvent modifier les habitudes d'utilisation traditionnelle des capteurs, notamment lors des phases de calibration et de traitement des signaux.

L'approche développée par La kitchen consiste à n'effectuer aucun prétraitement de l'information dans l'interface : les données provenant des capteurs sont envoyées en permanence, à débit constant. L'ensemble du traitement des informations (calibrage, filtrage, etc.) est effectué via des logiciels du type Pure Data.

Nous nous efforcerons d'appréhender les avantages et inconvénients induits par l'utilisation de ce type d'interfaces : échantillonnage de l'ordre de 16 bits et fréquence de rafraîchissement de plusieurs centaines d'Hertz par capteurs. L'expérience de La kitchen dans la réalisation de spectacles, performances interactives et interfaces gestuelles (interaction sans retour haptique), a permis de montrer que de telles spécifications se révèlent très importantes pour traduire efficacement et précisément les signaux gestuels d'un point de vue spatial et temporel.



Interface utilisateur du Toaster sous MAX. Les 16 capteurs sont actualisés en même temps toutes les 5ms. (2)

Nouvelles possibilités liées à la ligne de transmission

Ces interfaces utilisent des lignes de transmission rapides, il n'y a plus le problème de saturation que nous avons avec les lignes MIDI : plusieurs interfaces ou ordinateurs peuvent en effet communiquer sur la même ligne de transmission sans que les débits chutent.

Dès lors, il est possible d'envoyer toutes les informations disponibles dans l'ordinateur sans avoir à en limiter le débit.

La précision du contrôle musical dépend tout particulièrement de la résolution d'échantillonnage et de sa rapidité. Ainsi, une interface possédant 16 bits de précision permet de coder des différences de fréquence audio d'environ 1/1000 de ton, soit moins de 0.05 Hertz entre le « la 440 » et la note la plus proche. L'oreille est insensible à une telle variation (mis à part les phénomènes de battement).

Calibration

Concernant les capteurs embarqués, leur réponse peut varier de manière significative en fonction de leur positionnement exact sur le corps mais aussi en fonction des lieux (exemple avec les capteurs magnétiques).

Une calibration systématique des capteurs embarqués peut parfois être nécessaire pour permettre une interaction précise avec le geste.



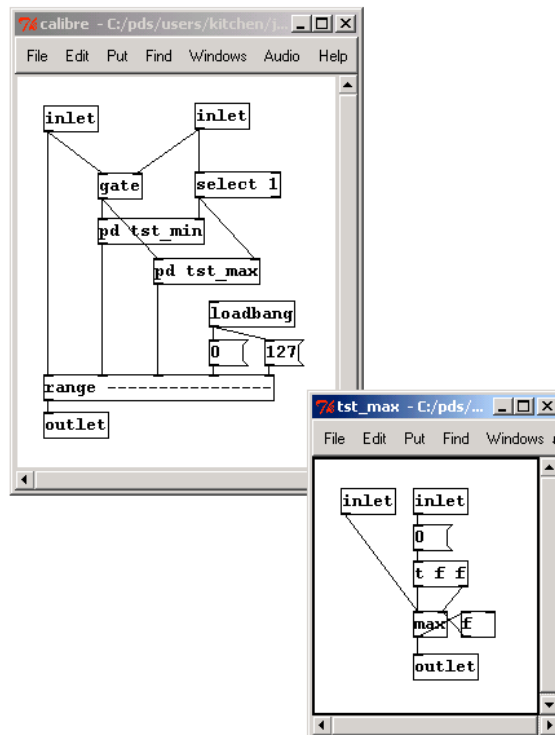
Utilisation de capteurs embarqués pour la synthèse sonore synchronisés sur le mouvement des balles de jonglage (chdh 2002)

Comme nous allons le voir, le processus de calibration peut-être largement simplifié grâce à l'utilisation de systèmes utilisant un convertisseur Analogique/Numérique "surdimensionné".

D'un point de vue générale, une calibration peut être effectuée de façon logicielle : par un repérage des bornes de variations minimum et maximum du capteur (lors de la calibration, le capteur doit être sollicité sur toute la plage d'utilisation), afin de pouvoir effectuer une interpolation linéaire entre la plage de mesure et la plage de réponse souhaitée. La perte de précision correspond au facteur d'amplification.

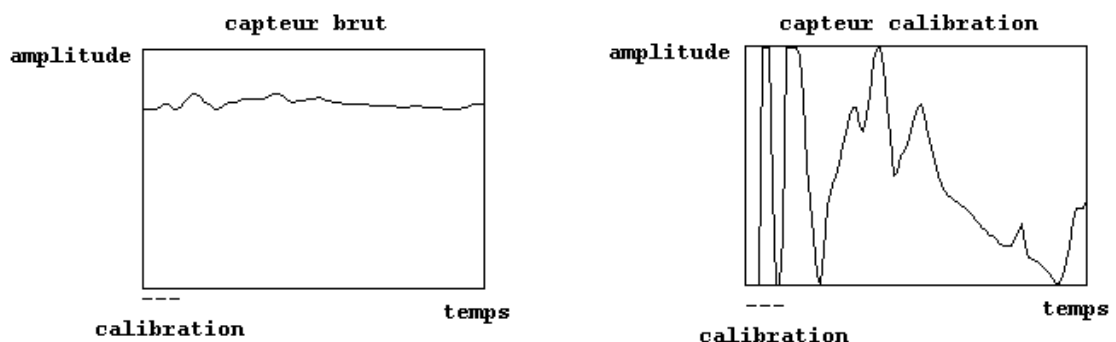
Par exemple : si un capteur analogique a une sortie variant sur seulement 10 % de la plage d'entrée du convertisseur, la calibration numérique entraîne une perte de précision d'un facteur 10 par rapport à une amplification analogique (en supposant une amplification analogique parfaite).

Cependant, si la précision d'échantillonnage est largement supérieure à la précision voulue, il n'est pas nécessaire d'effectuer la calibration en amont de la chaîne de transmission. Opérer en aval de cette chaîne permet de bénéficier de l'ergonomie de l'environnement logiciel de travail habituel pour cette opération.



Abstraction Pure Data permettant la calibration de capteurs grâce à un seul clic de souris
Ce patch repère la zone d'évolution du capteur et envoie sa valeur en pleine échelle.

Ainsi, selon les besoins, la calibration peut par exemple s'effectuer sur certains capteurs en fonction d'un geste de « l'instrumentiste » ou encore automatiquement pendant quelques secondes après qu'on a terminé de s'équiper etc. Cette approche permet aussi de modifier la calibration en cours de jeu. Dès lors, les possibilités de calibration ne sont plus limitées par l'environnement de programmation de l'interface, mais par l'environnement logiciel (tel que Pure Data) qui offre à la fois une interface graphique et une ergonomie adaptée (contrairement à une interface matérielle, dont l'ergonomie et les fonctions sont forcément plus limitées que celles d'un environnement de programmation).



Ces courbes montrent un exemple de signal d'un capteur brut d'une part et après calibration d'autre part (cette dernière s'étant opérée au début du signal)
Un signal peut être interprété malgré la faible sensibilité du capteur et ce, grâce à un échantillonnage précis.

Le signal normalisé (X_{out} compris entre 0 et 1) se calcule en fonction de X_{min} et X_{max} , qui représentent les bornes supérieure et inférieure de variation du capteur par :

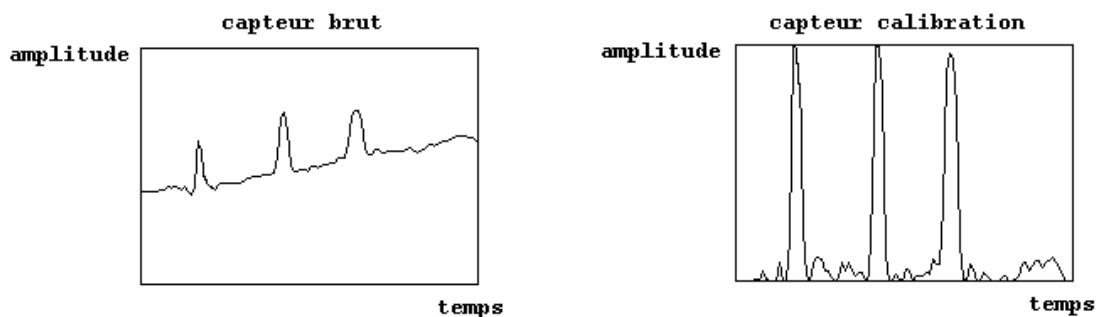
$$X_{out} = \frac{(X_{in} - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})}$$

Calibration dynamique

Dans le cadre d'une installation interactive, on constate que la réponse donnée par certains capteurs peut évoluer de façon significative, en fonction de l'usure du capteur, mais aussi à la suite d'une variation de température ou d'humidité.

Tout cela modifie la réponse du capteur mais ne le rend pas forcément inutilisable.

Une calibration dynamique permet d'obtenir une réponse qui intervient toujours dans la plage de valeurs souhaitée, et ce même lorsque la sortie du capteur évolue de façon significative. On peut effectuer cette opération en faisant évoluer de façon dynamique les bornes de calibration minimum et maximum en fonction des valeurs de sortie du capteur.



La première courbe de cet exemple montre la réponse d'un capteur de chocs subissant des variations d'offset due à une variation de température.

Il n'est pas possible de détecter un pic d'intensité du signal en appliquant directement un seuillage des valeurs.

La deuxième courbe montre ce même signal amplifié après soustraction de son offset (offset variable) : cette opération étant effectuée en temps réel.

Cette 2e courbe peut facilement s'interpréter. L'intensité du choc peut même se calculer par intégration des pics de la 2e courbe.

Correction de non-linéarité

Un échantillonnage très précis permet de pallier certains défauts du capteur, notamment lorsque sa courbe de réponse n'est pas linéaire. Il est en effet possible de linéariser la réponse d'un capteur grâce à l'utilisation de table de conversion.

Ainsi lorsqu'un capteur est peu sensible, il est évident que la précision de l'échantillonnage doit être élevée afin d'obtenir la plus grande justesse de réaction après linéarisation du capteur.

Reconnaissance gestuelle

Les interfaces dont il est ici question peuvent être utilisées à des fins de reconnaissance gestuelle.

Le flux de données étant constant, il est possible de dériver les signaux des capteurs par une simple opération de soustraction avec les valeurs précédentes. Cela constitue un énorme avantage par rapport aux signaux MIDI, ces derniers n'étant pas envoyés de façon synchrone.

Ici :

$$dX(n) = \frac{X(n) - X(n-1)}{dT}$$

dT étant constant.

Enfin, l'acquisition des signaux par l'interface peut se faire de manière quasi synchrone sur toutes les voies de mesure : ce qui a pour avantage de faciliter l'exploitation des résultats obtenus (par exemple pour envoyer ces informations dans un réseau neuronal).

Utilisation de la puissance de l'ordinateur

Tous ces traitements sollicitent le processeur de l'ordinateur.

Cependant l'augmentation de l'utilisation du CPU peut être considérée comme étant négligeable sur une machine actuelle, la somme des données à traiter étant finalement bien plus faible qu'un calcul audio.

Conclusion

Les exemples de traitements logiciels présentés ici sont bien sûr possibles avec des signaux moins précis et moins rapides, cependant, la perte de précision engendrée par ces traitements est telle que l'exploitation des résultats risque d'être aléatoire.

Une interface comme le Toaster, développé par La kitchen, est basée sur cette philosophie. Aucune amplification, filtrage ou traitement analogique du signal n'est requis. L'interface envoie de façon régulière le maximum d'informations possible sur une ligne de transmission haut débit (Ethernet), et cela sans aucun traitement, afin d'obtenir toute la liberté, la puissance et l'ergonomie souhaitable dans le traitement des informations venant des capteurs.

Comme nous venons de le montrer ces choix techniques simplifient grandement l'utilisation de telles interfaces.

Références :

- 1) Wright, Matthew; Freed, Adrian : ICMC 1997 Short Paper Proposal
- 2) www.la-kitchen.fr/kitchen.lab/hardware/toaster.html
- 3) www.eowave.com/human/eokits.htm