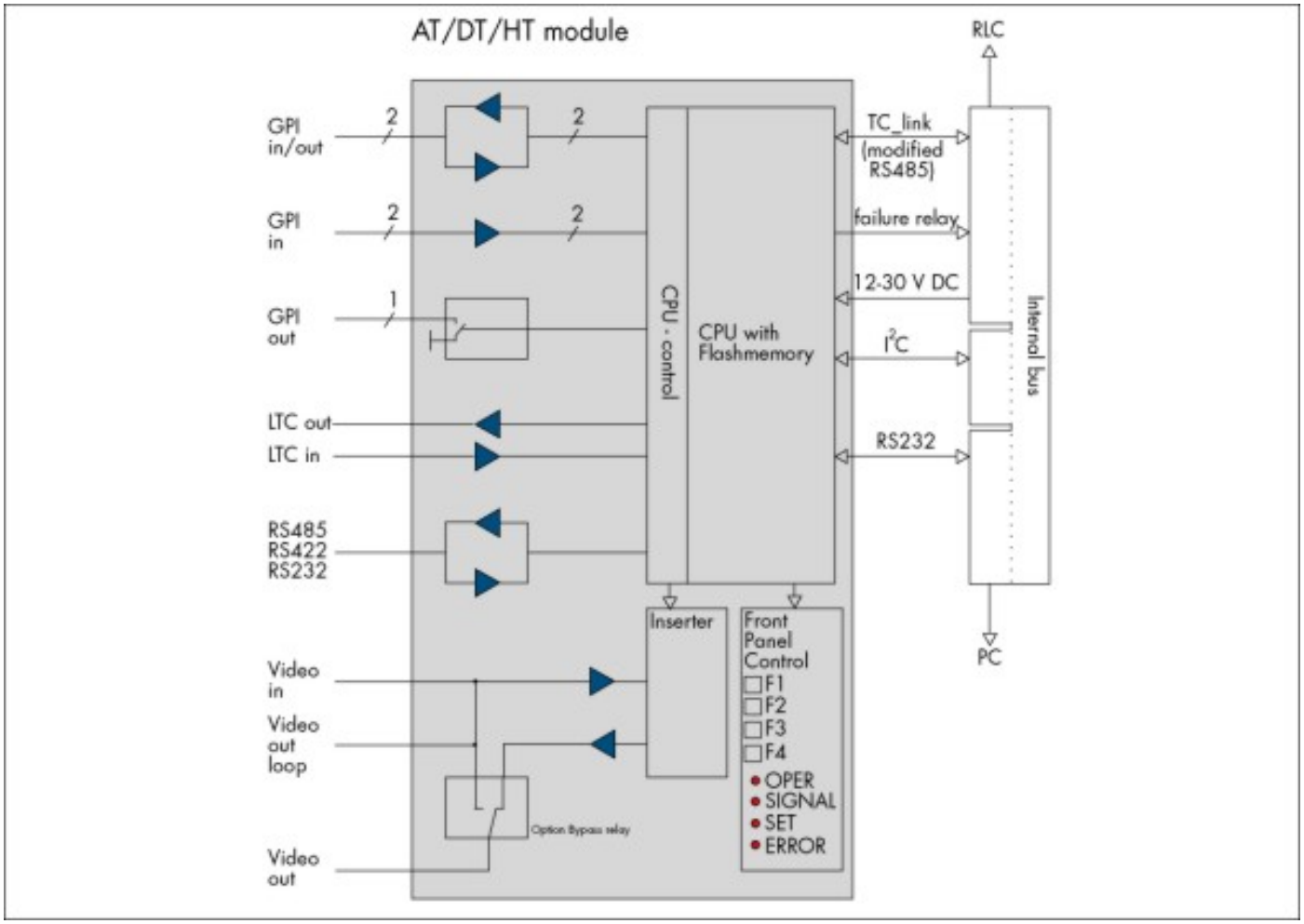
Jérémy GRANDIN
TSMA 2ème Année
2008-2009

LA SYNCHRONISATION



Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

SOMMAIRE

Historique 3

Principe général 5

Conditions de la synchro 6

1. Adressage 6

1.1 Le code SMPTE 6
1.2 Le LTC 7
1.3 Le VITC 8
1.4 Le MTC 9

2. Base de temps 10

2.1 La stabilisation de la vitesse et l'autorégulation 10
2.2 La synchronisation des bases de temps 10
2.3 Les pièges des transferts numériques 11

3. Commande de mouvement 12

3.1 Le principe de fonctionnement 12
3.2 Les commandes de transport 12
3.3 Les options disponibles d'un synchroniseur 13

Conclusion 14

Références bibliographiques 15

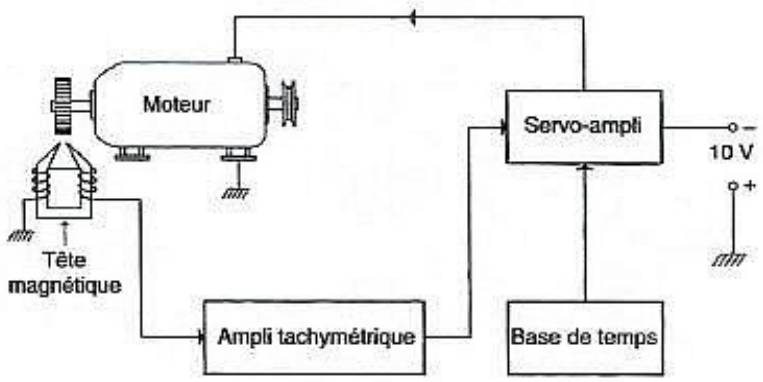
Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

HISTORIQUE

La notion de synchronisation est apparue au début du cinéma parlant lorsque pour la première fois il a fallu enregistrer, puis projeter du son et de l'image en respectant la simultanéité des deux supports.

Initialement, la machine son enregistreuse n'était pas mobile. Elle tournait synchrone à la caméra grâce aux perforations de la bande magnétique et à un couplage électromécanique.

Dans les années 1950, le constructeur Nagra sort son Nagra III qui enregistre les sons sur bande lisse, synchrone à la caméra grâce à un système (propre à Nagra) de pilote. Grâce à ce système, l'enregistreur Nagra est bien plus indépendant de la caméra de prise de vue, un simple câble permettant la liaison des deux machines entre-elles.



Système à "tête pilote" :

A chaque fois qu'une dent de la roue du moteur passe devant l'entrefer, la tête magnétique transmet une impulsion à l'ampli tachymétrique. Le servo-ampli compare la fréquence de ces impulsions à une base de temps et va envoyer un courant au moteur pour que les deux fréquences soient toujours égales.



Enregistreur Nagra III

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

Le câble reliant l'enregistreur à la caméra disparu lorsque la vitesse de la pellicule fut stabilisée par un quartz associé à la caméra et que le Nagra eut recours de son côté à un procédé pilote quartzé.

C'est grâce à la vidéo et au magnétoscope que sera inventé le code temporel SMPTE qui révolutionnera le monde de la synchronisation audiovisuelle.

Ce code va rapidement être utilisé dans les techniques d'enregistrement musical. Il va permettre aux ingénieurs du son de studio de faire tourner plusieurs machines multipistes en synchro afin d'augmenter le nombre de pistes disponibles, et conserver ainsi à chaque source son indépendance jusqu'à l'étape du mixage.

La vidéo, et bien plus tard le son numérique, ont introduit par la présence nécessaire d'une horloge mesurant la découpe du temps, la réponse théorique à la parfaite stabilité de la restitution des sons et des images.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

PRINCIPE GENERAL

But de la synchronisation : s'assurer que différents événements visuels et/ou sonores enregistrés sur des machines distinctes à un moment donné et pendant une durée déterminée soient reproductibles en conservant leur simultanéité.

Première expérience pour la recherche d'un procédé de synchronisation :

Nous allons enregistrer une guitare et une voix. Imaginons que le micro guitare soit raccordé à l'entrée d'un enregistreur et le micro voix à l'entrée d'un autre enregistreur. Les deux machines tournent à leur vitesse respective, sans aucune liaison entre elle.

Voici ce qui se passe à la re-lecture : il sera évidemment très difficile de démarrer les deux enregistreurs de façon à ce que les informations sonores contenues sur les deux supports débutent aux même point.
Si nous voulons revenir ou aller à un autre moment de l'enregistrement, y amener les deux supports sera quasiment impossible.
De plus, il n'est pas certain que les machines tournent, pendant toute la durée de la lecture, à la même vitesse que lors de l'enregistrement. Il y aura des variations, aussi infimes soient-elles.
En analogique, ces variations seront beaucoup plus importantes à cause du glissement inévitable des bandes. En numérique, le débit sonore est régulé par l'horloge à quartz de la machine.

Recherchons donc à assurer la synchronisation :

Pour que la reproduction des messages sonores ou visuels puisse avoir lieu en synchronisme, on peut déduire de l'expérience précédente trois conditions :

- Il faut un point commun aux différents supports, leur permettant de trouver le synchronisme au démarrage
- Lors d'une pause ou d'un mouvement sur le support, les deux supports doivent pouvoir retrouver le même point.
- La vitesse des supports doit être la plus stable possible.

Utilisation de machines à bandes perforées :

Un des premiers systèmes mis au point permettant la synchronisation de l'image et du son utilisait des bandes perforées. Grâce à ces perforations, le support défile de manière très stable (les glissements sont impossibles).
Une seule machine projette la bande image et la bande son: un projecteur double bande.
Les roues dentées qui entraînent la bande magnétique perforée son et la pellicule film sont fixées sur un même axe.
Il suffit alors de repérer la première «image image» et la première «image son», et de commencer la projection par ces deux images repères.

La référence de mouvement étant commune, les deux supports sont synchrones.
On peut donc dire qu'à défaut de supports tournant de façon stable, on peut se contenter d'une référence unique sur laquelle pourraient se baser communément des supports.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

LES CONDITIONS DE LA SYNCHRO

Le raisonnement du chapitre précédent nous a permis de déduire trois conditions pour que la synchronisation soit parfaite :

1. Les deux supports doivent démarrer la lecture sur une position temporelle absolue identique : ils ont besoin d'un système d'*adressage*.
2. Les deux supports doivent tourner à la même vitesse, en suivant une *base de temps*.
3. Les deux supports doivent démarrer la lecture et s'arrêter simultanément : il faut un système de *commande de mouvement*.

1. Adressage :

1.1 Le code SMPTE

Pour faciliter le montage précis des bandes vidéos, la SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineer) a créé un système de comptage de temps sur 8 chiffres.

Le code SMPTE est un code numérique à adresse horaire qui décompose le temps en heures, minutes, secondes et images (hh:mm:ss:ff) : 8 chiffres donc.
Il peut aussi contenir des informations non horaires dans les zones bits utilisateurs.

Il existe plusieurs types de SMPTE selon le format d'image utilisé et le mode de stockage et de transfert.
Les différents formats images utilisés ont à chaque fois un débit différent. Le code SMPTE accepte les formats d'images suivants :

SMPTE	30 images par sec.	NTSC N/B et audio USA
SMPTE	29.97 DF images par sec.	NTSC couleur USA
SMPTE	29.97 NDF images par sec.	NTSC couleur USA
SMPTE	24 images par sec.	Cinéma USA et Europe
EBU	25 images par sec.	PAL/SECAM Europe

Le code SMPTE DF (drop frame) a été créé à l'arrivée de la télévision couleur aux USA.
Le débit image du NTSC couleur est en effet un peu inférieur aux 30 im/sec du noir et blanc (les 30 im/s avaient été choisies par facilité, la fréquence du secteur étant de 60Hz aux USA *(50Hz chez nous)*). Un comptage des images couleurs en 30 im/sec provoque une accumulation d'erreurs de sorte que le temps affiché n'a progressivement plus de rapport avec la durée réelle.

Le saut régulier d'images opéré dans le 29.97 DF permet de retomber synchrone avec le temps réel... mais pas tout le temps. Le désynchronisme momentané peut atteindre ± 1/10 sec.

Pour conserver le synchronisme entre les deux systèmes, le mode DF abandonne deux images par minutes (les images 00 et 01). Avec ce comptage, la dérive vis-à-vis du temps est inévitable. Pour empêcher ce problème, le DF n'agit pas toutes les dix minutes.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

Les différentes formes de time code SMPTE sont :

- le LTC (LONGITUDINAL TIME CODE) : 80 bits/image.
- le VITC (VERTICAL INTERVAL TIME CODE) : 90 bits/image.
- l'ATC (ANCILLARY TIME CODE)
- le DVITC (Digital Vertical Interval Time Code*)*

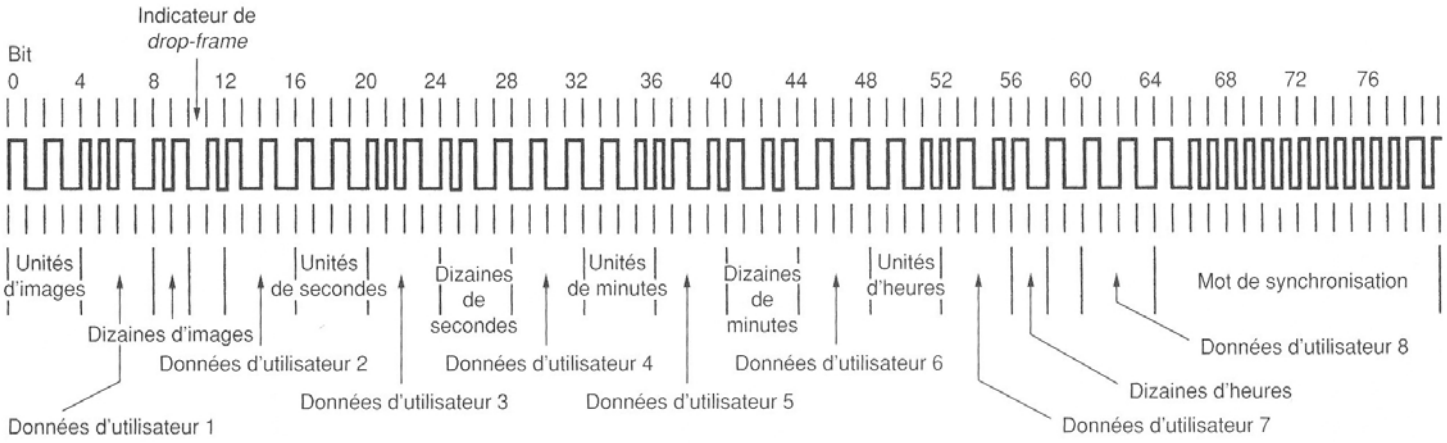
Les deux formes les plus couramment utilisées sont le LTC et le VITC.

1.2 Le LTC

Appelé time code longitudinal car il était au départ uniquement couché sur une piste audio lue par une tête fixe, il est encore utilisé comme moyen de transmission en matière de code SMPTE/EBU non inclus dans une image.

Composition du LTC :

Voici la répartition binaire d'une image LTC :



Structure des données d'un mot de code temporel longitudinal SMPTE/UER.

Un mot de code temporel est constitué de 80 éléments binaires qui identifient une seule et unique image.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

On remarque trois groupes d'informations :

- Les bits d'information temporelle : les unités d'image sont données par les bits 0 à 3, les dizaines d'image sont données par les bits 8 et 9, les unités de secondes sont données par les bits 16 à 19, etc.
- Les users bits : un ensemble de 32 bits qui permettent de coder des informations telles que le numéro de bobine, celui de la prise ...
- Le mot de synchro : ce groupe est le même quel que soit la valeur du code temporel: 0011111111111101. Cette série, qu'on ne peut trouver nulle part ailleurs, sert à déterminer le début d'un code et le sens de défilement de la bande. Il est couramment appelé le word sync.

Transmission du LTC:

Conçu en pleine époque analogique, le LTC a du être converti en numérique pour être véhiculé et stocké.
Le signal électrique utilisé est le biphase mark : chaque bit est défini par une transition de niveau et chaque bit significatif par un changement de tension (1 ou 0) à la moitié du temps imparti à ce bit. Cela a pour avantage de pouvoir détecter chaque bit même dans une suite continue de 0 ou de 1. Ce code permet la lecture du LTC dans les deux directions, et ce dans une grande plage de vitesse.

1.3 Le VITC

Le vertical interval time code est un format de stockage du SMPTE dans l'image vidéo analogique. Il peut être lu lors d'un arrêt sur image et ensuite être copié correctement lorsque la copie est de bonne qualité *(ce qui n'est pas possible avec le LTC)*.

Composition du VITC :

Une image VITC est composée de 90 bits :

- 26 bits contenant la valeur du temps
- 32 bits utilisateur
- 1 bit de trame indiquant si on se trouve sur la trame paire ou impaire de l'image.

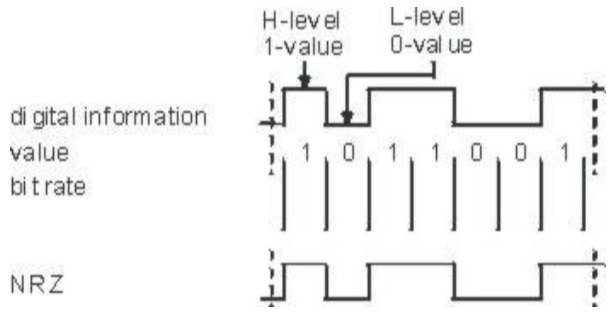
Chaque groupe de huit bits est encadré de deux bits 1 et 0, appelés bits de synchronisation, et qui servent de délimiteurs.

Les huit derniers bits de l'image VITC sont occupés par un code de redondance qui sert à minimiser les erreurs de lecture.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

Transmission du VITC :

On utilise le codage NRZ (No Return To Zero) :



Le 1 correspond à une tension et le 0 à une absence de tension. Les transitions se font au toc d'horloge. La fréquence d'horloge est transmise indépendamment du signal.

1.4 Le MTC :

Le MIDI Time Code est un code temporel véhiculé dans le format MIDI. Il est compris par la plupart des machines audio capables de lire ou enregistrer des messages sonores (DAW, Direct to Disk, sampleurs...)
Le MTC produit une référence absolue de temps en heures, minutes, secondes, images, comme le SMPTE.

Composition du MTC :

Le message comporte dix octets qui spécifient le format image (24, 25, 29.97, 30 im/sec.) ainsi que l'adresse courante en heures, minutes, secondes, images. Il est composé au départ de messages entiers et de messages de quarts de trames.
Les messages quarts de trames, où quartets, sont des subdivisions de trame de time code en huit messages distincts. Un quartet est composé de deux octets : le premier sert à définir la base de temps sur lequel le séquenceur doit se fixer et le deuxième contient le huitième de l'information complète de l'heure. Lorsque huit messages de ce type ont été émis, une identification d'adresse complète en heures, minutes, secondes, images est disponible ; soit toutes les deux images. Ainsi, l'information temporelle est actualisée toutes les deux images.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

2. Base de temps :

2.1. La stabilisation de la vitesse et l'autorégulation :

L'autorégulation consiste à faire en sorte qu'un support (bande magnétique, disque dur, carte mémoire, etc.) débite toujours son message en un même laps de temps que celui qui fut nécessaire initialement à son enregistrement. Ce qui exige, quelle qu'en soit la forme, l'existence d'une référence la plus stable possible qui servira à tout moment de point de comparaison, de repère, de base de temps au débit de l'information.

En vidéo, les magnétoscopes devinrent de plus en plus stables, et la question du glissement n'existe pas vu le principe même de l'inscription de l'image sur la bande en référence à un signal de synchronisation. On peut dire également que les stations de travail vidéo-numériques sont calées sur le débit d'horloge du système (voir ci-dessous l'exemple du blackburst).

En son, les enregistreurs/lecteurs à bandes perforées atteignirent aussi une excellente stabilité. Mais les machines son analogiques à bandes lisses n'étaient pas à l'abri du risque de glissement plus ou moins imprévisible et incontrôlable de la bande sur l'axe de cabestan. En s'inspirant des magnétoscopes, elles éludèrent de la même manière le problème du glissement. Les stations de travail qui apparurent ensuite ont elles profités de la stabilité de lecture des fichiers informatiques.

Sur ordinateur, la fréquence horloge est quartzée. Ce qui permet en principe un débit stable. Cependant, l'abondance d'informations à traiter en temps réel nécessite l'utilisation de mémoires tampons lors de l'enregistrement et la reproduction du son ou de l'image sur un support numérique. Si le débit des données est constant en entrée et en principe en sortie, leur lecture sur le support informatique est, elle, beaucoup moins fluide: synchroniser la reproduction d'une station de travail audionumérique à un appareil maître, c'est faire en sorte qu'elle ait un débit audio synchrone en sortie.

2.2 La synchronisation des bases de temps :

Il arrive fréquemment que des signaux images et sons doivent co-exister. Il est alors très important que ces signaux soient mis en phase, afin qu'une « image son » ait exactement la même longueur et soit lue en même temps qu'une « image image ».
Pour conserver la phase de tous les éléments de la chaîne, il faut choisir une référence commune sur laquelle ils se synchroniseront, c'est-à-dire qu'il qu'ils ont besoin d'une horloge cadençant leur débit.
Si on travaille par exemple avec du son en 48kHz en environnement vidéo, cela signifie que 48000 échantillons sons exactement doivent être délivrés toutes les 25 images vidéo.
Ce synchronisme sera assuré par un générateur de word clock (le word clock est un mot d'horloge associé à chaque échantillon audionumérique). Grâce à lui, on est assuré qu'une « image son » a la même longueur qu'une « image image ».
Maintenant, si on a plus d'une source d'image, il faut que ce générateur de word clock soit en phase avec toutes les sources images : il doit donc lui aussi être asservi à une référence externe. Il recevra sur son entrée « external sync » *(les termes peuvent changer selon le fabricant)* la synchro de l'image, le blackburst.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

2.3 Les pièges des transferts numériques :

Quand on transfère un son d'une machine numérique quelconque vers une DAW en temps réel, il est nécessaire que la fréquence d'échantillonnage de la source et celle de la session ouverte dans la DAW soient les mêmes. Sauf si les entrées audio de la DAW sont équipées de convertisseurs de fréquence d'échantillonnage.

Exemple : Dans une session Pro Tools 44.1 kHz, on copie en temps réel une bande DAT enregistrée en 48 kHz.

Si la base de temps (l'horloge) sur laquelle tourne Pro Tools est celle du signal entrant, la DAW (Pro Tools) se met à tourner en 48kHz le temps de la copie. Ensuite, quand la DAW tournera à nouveau sur son horloge interne 44.1, la hauteur du son sera baissée et l'échantillon sonore durera plus longtemps (8,8%)
A l'heure actuelle, il est de plus en plus fréquent de transférer les sons dans la DAW à partir d'un disque dur, d'un CD, d'un DVD, etc. Cela ne se fait pas en temps réel mais sous la forme de copie de données.

Exemple : Dans une session Pro Tools 96kHz, on veut introduire un fichier audio .wav 48kHz. Si on ne fait pas de conversion, une seconde de ce son sera lue en ½ sec et de plus, montée d'une octave. Le logiciel, normalement, refusera d'importer sans conversion.

Ainsi donc, de plus en plus, l'ingénieur du son sera confronté au problème de conversions de fichiers avec toutes les dégradations que cela peut engendrer.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

3. Commande de mouvement :

3.1 Le principe de fonctionnement :

Quelle que soit la mesure de temps choisie, le principe d'un processus de synchronisation est le même :

- il faut établir une relation de maître à esclave.
- chaque support doit délivrer une valeur horaire, un code temporel, associé à l'information audio ou visuelle qu'il débite. Le début de session sera normalement considéré comme la valeur TC 00h00m00s00i.
- à la lecture des supports distincts, ces codes seront envoyés dans un comparateur qui mesurera leur valeur et générera alors des informations de localisation aux esclaves.
- en mode de synchronisation, le maître tournera sur sa propre référence. Selon les besoins, le système gérera ou non la vitesse des esclaves afin que les messages qu'ils contiennent soient émis en synchronisme avec ceux du maître.

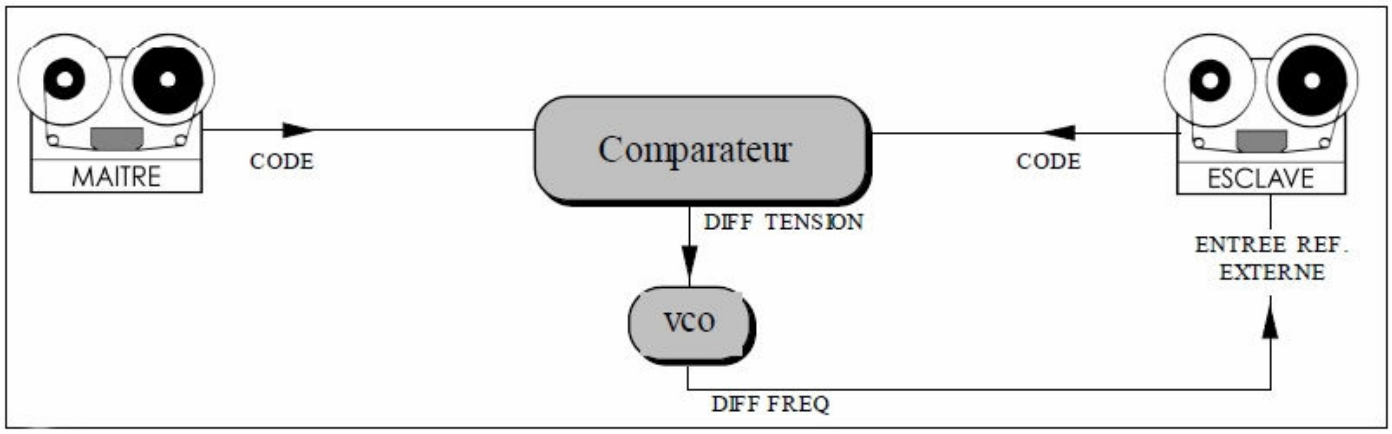


Schéma d'une synchronisation par code temporel : Le comparateur mesure les adresses des deux supports pour informer l'esclave sur la localisation qu'il doit atteindre. Il contrôle aussi la vitesse de l'esclave et la modifie à l'apparition d'un déphasage entre les codes temporelles des deux machines.

3.2 Les commandes de transport :

- La commande bi-directionnelle MMC :

L'avantage du MMC (MIDI machine control) est qu'il peut réunir dans une simple liaison MIDI bidirectionnelle les trois composantes de la synchronisation: une base de temps, une adresse horaire et les commandes de localisation.
Une commande centrale MMC envoie les informations de mouvements (PLAY, STOP, FFW, REW et CUE) à un appareil compatible MMC qui va générer l'adresse time code à laquelle toutes les autres machines viennent se caler. Il n'est pas nécessaire que ces autres machines soient compatibles MMC tant qu'elles peuvent se synchroniser à la première via une interface LTC ou MTC.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

- La commande centrale :

La commande centrale informe les machines réceptrices de démarrer ou de se localiser à une valeur temporelle définie. Cependant, l'une des machines réceptrices pourra être maître de base de temps ou d'adresse.

- La commande uniquement sur base temporelle du maître :

Le procédé Code Only Master est utilisé quand il n'existe aucune liaison entre le synchroniseur et les informations de mouvements du maître. Seule l'heure émise par celui-ci sert de référence pour les mouvements de l'esclave (localisation) et comme base de temps éventuelle.

3.3 Les options disponibles d'un synchroniseur :

- Le JamSync et le Freewheel sont deux fonctions permettant d'éviter les erreurs de synchronisation. En cas d'absence de code (« drop ») ou de discontinuité, le JamSync génère lui même un time code, avec possibilité de définir ou non le retour au time code maître.
Le Freewheel a un paramètre supplémentaire permettant d'entrer un nombre défini d'images de temporisation

- Le Reshaper est un régénérateur de time code. Il permet de recréer un signal carré, afin de permettre la copie d'un time code d'un support à un autre.

- L'Offset permet le défilement en synchronisme de l'esclave par rapport au maître avec un décalage de code temporel. Ce décalage peut être différent pour chaque esclave.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

Conclusion

Ce mémoire m'a permis de compléter ma formation en abordant un sujet très vaste et parfois obscur en raison des multiples technologies utilisées dans le domaine de la synchronisation.

Bien que certaines techniques soient complètement dépassées, il est important de les connaître afin de mieux comprendre le fonctionnement d'outils plus récents entièrement basés sur les technologies numériques.

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr

Références bibliographiques

Livres **:**

- *« Son et enregistrement »,* Francis Rumsey & Tim McCormick

Cours :

- *« La synchronisation des sons et des images »,* support de cours de Michel Lecloux, IAD
- *« Synchronisation* et *Technologie Numérique »,* support de cours de l'EMC

Sites Internet :

- http://www.timecode.fr/projekte/tc_intro/tcintro.html
- www.norme-midi.com/pdf/7_2_4.pdf

http://claude.gendre.9online.fr/

Copyright – EMC Malakoff - Tous droits réservés – Site web : http://www.emc.fr