

Les mécanismes de Synchronisation dans les applications multimédia : une comparaison qualitative et quantitative à l'aide de Promela/Spin

F.Benabbou*^o, A.Benkiran^o, E.Horlait⁺

^oEMI, BP 765, Agdal, Rabat, Maroc

*Faculté des sciences de Ben M'sik BP. 7955, Casa, Maroc

⁺MASI, Université Pierre et Marie Curie,

4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France

Résumé : Les applications multimédia échangent des flux d'information qui nécessitent d'être synchronisés. Plusieurs mécanismes ont été élaborés afin de répondre aux problèmes de synchronisation intra-flux et inter-flux pour les applications multimédia dans un environnement de réseaux à haut débit. Notre travail consiste à comparer les mécanismes de synchronisation. Dans ce but nous avons modélisé, simulé et validé les différents mécanismes intra-flux et inter-flux avec un même outil de simulation et validation Promela/Spin. Nous avons défini un ensemble de critères d'analyse qui nous ont permis de comparer ces mécanismes et d'étudier leurs performances. Nous montrons comment réagissent les mécanismes les uns par rapport aux autres dans différents environnements de travail. Les principaux mécanismes ont été implantés sur un réseau local de type Ethernet afin d'effectuer des mesures de performances dans un environnement réel et de les comparer aux résultats obtenus avec Promela/Spin.

Mots clé : Applications multimédia, synchronisation, simulation, validation, performance.

Introduction

Les flux d'informations présents dans les applications multimédia nécessitent souvent d'être synchronisés. Plusieurs mécanismes ont été proposés afin de satisfaire les besoins en synchronisation des applications multimédia. Dans cet article nous étudions de manière comparative les comportements des mécanismes de synchronisation par rapport à différents critères aussi bien d'une manière qualitative que quantitative. Comme critères de comparaison nous étudions notamment le nombre de messages échangés, coût en communication, l'information supplémentaire générée pour assurer la synchronisation, la condition sur les horloges que nécessitent les mécanismes. Nous étudions également l'opportunité d'association de plusieurs mécanismes entre eux afin de déterminer les mécanismes complémentaires. La comparaison de ces mécanismes va nous permettre de dégager ceux qui réagissent le mieux à ces critères.

Après avoir posé le problème de la synchronisation, nous présentons succinctement les différents mécanismes de synchronisation que nous étudions. Nous justifions alors le choix de Promela/Spin comme outil de simulation et de validation, puis nous présentons les résultats de l'étude comparative entre les différents mécanismes exposés. Nous avons aussi effectué des mesures sur un réseau Ethernet pour conforter les résultats obtenus [B.B.97].

1. Problématique de la synchronisation multimédia

La synchronisation est liée à plusieurs facteurs dont la variation des délais (gigue) dans le réseau, la complexité de la mesure dans les systèmes distribués [Couv.91] ou la fiabilité du système de transport. Ajoutons à cela d'autres facteurs comme le non séquençement des données à l'arrivée, la non égalité des périodes d'émission et de présentation, l'utilisation de ressources différentes (Temps CPU, Réseau,...), la perte ou duplication des paquets d'information qui peuvent compliquer d'avantage la synchronisation des flux... Ces facteurs ont des conséquences importantes sur la qualité de présentation des médias.

Une prise en compte de ces paramètres nécessite la conception d'outils pour satisfaire la qualité de service exigée par les applications multimédia. Selon les besoins des applications multimédia on peut considérer trois types de synchronisation.

- La synchronisation intra-flux qui assure la restitution du flux en conservant les relations temporelles entre les unités d'information du flux.
- La synchronisation inter-flux qui assure la restitution de plusieurs flux venant de plusieurs sources vers un même site destinataire en conservant leurs relations temporelles et sémantiques (ex. : La vidéo et l'audio venant de sites différents).
- La synchronisation multidestination qui assure la coordination de la restitution de plusieurs flux venant de différentes sources vers plusieurs récepteurs.

Plusieurs mécanismes sont proposés pour résoudre les problèmes de synchronisation. Dans la suite nous allons exposer ces mécanismes brièvement.

2. Mécanismes de synchronisation

Plusieurs mécanismes de synchronisation sont mis au point afin de répondre aux problèmes de la synchronisation multimédia. Ces mécanismes se distinguent par les services qu'ils rendent. Dans cet article nous étudions notamment les mécanismes de synchronisation intra-flux : de conservation de signature et les mécanismes d'altération de signature. Une étude similaire a été réalisée avec les mécanismes de synchronisation inter-flux [B.97].

2.1 Mécanismes à conservation de signature

Fonction de conservation de signature avec Estampillage

Il a été montré dans [DAI.a.94] qu'une condition nécessaire pour compenser l'effet de la gigue est que le délai de bout en bout soit identique pour chaque Unité d'Information du flux [B.D.H.95] [HOR.94]. Pour cela, à chaque IU on associe une estampille temporelle (ex.: date de génération) qui servira dans le calcul de sa date de présentation. L'avantage de cette méthode est qu'elle est simple, qu'elle peut s'étendre aux autres types de synchronisation facilement et qu'elle ne pose aucune condition sur les types de flux manipulés. L'inconvénient est qu'elle nécessite un taux d'informations supplémentaire important (estampille temporelle).

Fonction de conservation de signature avec Prefetch

La technique basée sur le prefetch est plus adaptée aux flux périodiques et consiste à calculer un paramètre qu'on appelle prefetch [DAI.b.94], [R.R.93], [Bess.95]. Ce paramètre est représenté par : Prefetch = gigue maximale/période nominale. Il correspond au nombre d'IUs qu'il faut mémoriser avant de débiter la présentation du flux. Cette technique a l'avantage de nécessiter moins d'informations supplémentaires et elle n'exige pas une horloge commune. L'inconvénient est qu'elle n'est adaptée que pour les flux périodiques.

Protocole de synchronisation adaptatif (ASP)

Le protocole de synchronisation adaptatif (ASP) [R.H.95] adapte la période de présentation du flux en fonction de la taille instantanée du tampon. A partir de la date de début de présentation, le récepteur commence à délivrer les unités d'informations avec la période nominale du flux. Si les bornes minimale et maximale de la taille tampon sont dépassées alors la période de présentation est ajustée par une période corrective R_c . La période de présentation est remise à sa valeur initiale à la fin de la phase d'adaptation. L'avantage est qu'on ne peut pas avoir des situations de famine ou de débordement de la capacité du tampon. L'inconvénient est que la signature temporelle du flux est modifiée durant la phase d'adaptation. Néanmoins, vu que R_c est inversement proportionnelle à la période d'adaptation L , il suffit de prendre des valeurs très grandes pour L pour obtenir des périodes de correction très petites. Ainsi la qualité du flux perçu ne risque pas d'être affectée.

Schéma hybride

Vasanthan propose dans [S.S.F.93] un schéma hybride qui utilise les deux méthodes précédentes. Il propose d'utiliser un schéma basé sur l'estampillage dans le cas où le débit des données change fréquemment (ex. la vidéo à débit variable). Lorsque le débit des données reste constant durant une longue période (ex. Audio), il propose que l'émetteur envoie des messages pour informer le récepteur du nouveau débit. Les paquets n'ont pas besoin de porter leur temps d'estampillage puisque le récepteur peut déterminer leur date de présentation en fonction du débit et le numéro de séquence.

Ce schéma a pour avantage de diminuer le taux d'information supplémentaire transmise puisque dans le cas où le débit est constant l'estampille n'est pas transmise au récepteur. L'inconvénient est que le nombre de messages peut augmenter si le débit a tendance à changer fréquemment. En plus si le message transportant l'information sur le débit se perd on risque de changer la signature temporelle du flux.

Algorithme du restricter simple +

Les travaux de Carmo [C.C.93] ont été réalisés dans le cadre des études sur les systèmes de communication à ordre partiel [HOR.94]. Le but est donc de proposer des mécanismes qui s'adaptent à un système où l'ordre et la fiabilité ne sont assurés que partiellement. L'algorithme est basé sur le principe de causalité, c.-à-d. une information n'est présentée que si les informations dont elle dépend sémantiquement sont déjà délivrées. La livraison des unités d'information s'appuie sur l'évaluation des expressions de dépendances conditionnelles associées. Une expression de dépendance est une expression logique qui exprime les unités d'informations dont dépend la livraison d'une IU. Si l'unité d'information arrive après la fin du délai de livraison, cette information est écartée et toutes les informations qui dépendent d'elle ne seront pas livrées, sinon cette unité d'information sera livrée avant l'expiration du délai de livraison. Si le flux a des contraintes temporelles une technique de conservation de signature et de régénération du décalage temporel doivent être utilisées conjointement.

L'avantage de ce mécanisme est qu'il permet de restituer les informations tout en respectant l'ordre voulu de présentation. Ceci est très intéressant pour les flux de type MPEG qui se base sur le principe du codage différentiel. En effet quand une information est perdue, les informations qui en dépendent ne sont pas présentées. L'inconvénient est que cette méthode ne permet pas de conserver la signature du flux, un autre mécanisme de conservation de signature doit être utilisé conjointement. En plus si on considère que les expressions de dépendances doivent être émises au récepteur, cela va causer un taux d'informations assez important à transmettre au récepteur.

2.2 Mécanismes à altération de signature

Estimation et adaptation de période

L'algorithme proposé dans [Bess.95] permet non seulement de réaliser la synchronisation intra-flux mais aussi d'adapter la période de présentation quand cette dernière est différente de celle d'émission. Le mécanisme réalise des ajustements sur la taille du tampon à chaque fois qu'il y a dépassement de l'une des bornes minimale ou maximale. L'avantage de la méthode d'adaptation de période est qu'elle utilise un schéma basé sur le Prefetch, qu'elle permet d'estimer la période d'émission si cette dernière n'est pas connue. L'inconvénient est que le taux d'unités d'informations non présentées ou dupliquées peut être supérieur à 1, mettant en cause la qualité de perception du flux.

La transformation linéaire

Cette méthode consiste à recalculer la signature temporelle du flux [C.C.S.94] en appliquant une transformation linéaire à la signature du flux émis. Après application de la transformation la date de présentation $tp(IU_i)$, de l'unité d'information IU_i , se calcule en fonction du temps d'émission $te(IU_i)$ et devient:

$$tp(IU_i) = n_\tau * \tau + (te(IU_i) - (n_\tau * \tau)) * \phi \quad \text{où} \quad n_\tau = \text{int}(te(IU_i) / \tau)$$

(Si $tp(IU_i) > (n_\tau + 1) * \tau$ alors l'unité d'information n'est pas délivrée)

Le paramètre τ représente la taille de chaque segment du flux provenant du découpage logique de ce flux et ϕ représente le taux de compression ou de dilatation du flux.

3. Promela & Spin

Pour comparer les différents mécanismes que nous avons exposés nous allons utiliser l'outil de spécification et simulation Promela/Spin. Plusieurs langages de spécification de protocoles ont été développés comme SDL, LOTOS, ESTELLE, PROMELA...

Nous avons utilisé PROMELA [Holz1], [Holz2] qui est une technique de description formelle conçue pour la spécification des systèmes concurrents, ce qui correspond bien aux types de protocoles que nous voulons étudier. La validation à l'aide de Spin va nous permettre de vérifier les propriétés générales de fonctionnement des mécanismes comme la consistance, la terminaison, la vivacité, ainsi que d'autres propriétés spécifiques.

Promela permet d'exprimer tous les comportements classiques (communication, parallélisme, récursivité...) et possède le même pouvoir de structuration que les autres langages structurés comme C. Cependant Promela ne permet pas d'exprimer le temps d'une façon quantitative. Pour cela nous avons utilisé un compteur qui exprime l'écoulement des unités de temps par analogie au temps physique. Le simulateur SPIN nous a permis de vérifier et valider le fonctionnement des mécanismes de synchronisation et de comparer leurs comportements avec les résultats obtenus dans un environnement réel.

4. Comparaison des mécanismes de synchronisation

Les résultats de simulation et validation des mécanismes de synchronisation apportent une meilleure idée sur leur fonctionnement et permettent de vérifier si ces mécanismes fournissent bien les services attendus comme le service de conservation de signature, ordonnancement quand le système ne permet pas un ordre de livraison total, régénération du décalage temporel...

Pour comparer ces mécanismes nous avons utilisé un ensemble de critères décrits dans la suite. Ces critères vont nous permettre de vérifier leur adaptabilité aux différentes situations dans le réseau, de vérifier leur souplesse par rapport aux hypothèses sur les horloges et de les comparer en fonction des coûts additionnels engendrés (c.à-d. canaux additionnels, taux d'informations supplémentaires générées, messages supplémentaires...).

4.1 Critères de comparaisons

Les critères utilisés dans l'analyse sont les suivants :

- **Messages supplémentaires générés** : Le nombre de messages supplémentaires générés est le nombre de PDU de contrôle utilisés entre émetteur et récepteur par le schéma de synchronisation. Il est clair que plus il y a de messages, plus le mécanisme analysé fait de traitements. Minimiser ces messages de contrôle revient à minimiser le temps de traitement, diminuer le trafic dans le réseau, diminuer le nombre d'informations générées, minimiser le risque de perturbation des flux présentés en cas de perte ou retard de ces messages.
- **Horloge** : Les hypothèses sur l'horloge du système sont aussi très importantes dans un mécanisme de synchronisation. En effet moins le mécanisme impose de conditions sur l'horloge plus il pourra s'appliquer dans des environnements différents. Les différentes hypothèses sur l'horloge que nous considérons sont: exigence d'une Horloge commune (C), Horloges à dérives constantes (DC), et Horloges quelconques (Q)
- **Canaux supplémentaires** : C'est le nombre de canaux supplémentaires utilisés pour véhiculer les informations de contrôle. Certains mécanismes utilisent un canal supplémentaire pour transmettre les informations de synchronisation. Quand les flux sont issus de plusieurs émetteurs il peut être nécessaire de créer autant de canaux que d'émetteurs, cela peut impliquer un coût plus important par rapport aux autres mécanismes qui n'utilisent pas de canal additionnel.
- **Taux d'altération du flux** : Ce taux exprime le taux de perturbation subi par le flux. Ce taux est évalué à l'aide de deux paramètres : le nombre d'unités d'information non présentées ou perdues (Taux skip) et le nombre d'unités d'information qui sont présentées avec un certain retard (Taux pause). Ces paramètres nous renseignent sur le taux d'altération de la signature du flux et nous permettent de juger si ce taux est acceptable ou non pour les flux.
- **Taux d'informations supplémentaires générées** : Ce taux exprime le nombre minimal d'informations supplémentaires générées par flux. Connaissant ce nombre on peut facilement calculer le volume total d'informations supplémentaires générées (Overhead). Ces informations peuvent être générées au début ou au cours de l'émission du flux et sont nécessaires au fonctionnement du mécanisme de synchronisation (période, gigue...). Un taux élevé de ces informations introduit une charge importante du réseau. Ce taux étant calculé nous pouvons déduire le volume total d'informations supplémentaires utilisé par le mécanisme pour synchroniser un flux ou plusieurs. Nous pensons que plus le volume de l'information supplémentaire générée est important plus la prise de ce facteur en compte est nécessaire.
- **Type de problème** : Ce paramètre exprime le type de problèmes résolus comme: l'intra-flux (1-->1),

- **Adaptation du décalage temporel** : Plusieurs raisons peuvent nous amener à changer le décalage temporel choisi initialement comme un mauvais choix initial de DT, changement des conditions réseaux, épuisement d'espace mémoire... Les mécanismes basés sur le principe du décalage temporel doivent pouvoir s'adapter à ces conditions pour maintenir une certaine qualité de la perception du flux.
- **Gestion du tampon** : La gestion de la mémoire tampon permet la prévention de certains cas de famine ou de dépassement de capacité du tampon. Cette gestion est nécessaire pour le maintien de la continuité du flux.

4.2 Analyse des mécanismes de synchronisation

Pour pouvoir comparer ces mécanismes nous supposons que l'environnement d'exécution de ces algorithmes est un environnement où le taux de perte correspond aux informations qui arrivent en retard, le délai de transport peut dépasser les bornes négociées, des informations peuvent arriver en désordre.

4.2.1 Conservation de signature des flux périodiques

Les simulations ont montré que les mécanismes analysés conservent la signature pour les unités d'informations présentées. La tableau.1 montre les différentes valeurs associées aux critères de comparaison que nous avons utilisés.

Schéma de synchronisation	Horloge	Gestion mémoire	Taux de perte	messages supplémentaires	nombre d'informations supplémentaires par flux
Estampillage	Commune	Non	2,8 %	0,1 %	1,002
Restrictier simple+	Commune	Non	0,4 %	0,1 %	2,004
Prefetch	Commune, Dérive Commune	Non	2,8 %	0,1 %	0,003
ASP	Commune, Dérive Commune	Oui	1,4 %	0,1 %	0,006
FSP	Commune	Non	1%	0,1 %	1,003

tableau.1. Mécanismes de synchronisation intra-flux : flux périodiques

La plupart des mécanismes basés sur l'estampillage utilisent une horloge commune à cause justement de l'estampille temporelle transportée, ce qui n'est pas nécessaire pour les mécanismes tel le prefetch et le protocole ASP. Le meilleur taux de perte est obtenu pour l'algorithme du restrictier simple puisque c'est le seul algorithme parmi les autres mécanismes de synchronisation qui tient compte de l'aspect sémantique des flux de données et qui associé à un mécanisme de régénération du décalage temporel, il permet d'adapter le décalage temporel aux besoins de l'application. L'inconvénient majeur de cet algorithme est le nombre important d'informations supplémentaires générées puisqu'en plus de l'estampille, le mécanisme génère les expressions de dépendances associées aux unités d'information du flux. Il est cependant conseillé de l'utiliser dans un environnement où fiabilité et séquençement ne sont assurés que partiellement. Le Prefetch et l'ASP ne générant que peu d'informations supplémentaires, présentent des taux moins importants ou même négligeables.

Selon les critères d'analyses que nous avons proposés, il semble que le protocole ASP et Prefetch réagissent mieux à l'environnement d'exécution, puisqu'ils génèrent peu d'informations supplémentaires (overhead) et possède un taux de perte moyen. En plus ils sont moins restrictifs au niveau des horloges ce qui est très important dans un environnement distribué. L'ASP se base sur une technique de gestion de mémoire tampon pour prévoir les cas de famine ou de remplissage du tampon. En effet le tampon est une ressource de taille finie et qui sous l'influence des conditions réseaux peut se vider ou au contraire être plein et donc une gestion de ce tampon peut nous être très utile pour prévoir et résoudre les problèmes qui peuvent survenir dans le réseau.

Pour les mécanismes ASP et du Prefetch nous avons remarqué que le taux de perte n'est pas négligeable. Nous avons pensé qu'il était intéressant de voir leurs comportements si on variait la valeur du décalage temporel. Nous avons obtenu les résultats suivants (tableau 2.). L'unité de temps de la simulation est représentée par 'uts'.

Délai de synchronisation	Taux de perte : Prefetch	Taux de perte : ASP
5 (uts)	2,8%	1,4%
6 (uts)	2,4%	0%
8 (uts)	1,3%	0%

tableau 2. Taux de perte en fonction du délai de synchronisation

Le protocole ASP semble converger plus vite vers un taux de perte négligeable alors que le Prefetch a un taux de perte non nul. Ce résultat prouve qu'avec un mécanisme tel l'ASP on peut éviter les cas de famine.

Selon ces critères, le mécanisme ASP semble donner les résultats les plus satisfaisant pour la synchronisation intra-flux des flux périodiques. Si en plus on lui associe un mécanisme de séquençement à la réception si nécessaire, les résultats seraient meilleurs.

4.2.2 Conservation de signature des flux non déterministes

La synchronisation des flux stochastiques nécessite l'utilisation d'un estampillage temporel puisque la structure du flux n'est pas connue à l'avance. La comparaison des mécanismes tel l'estampillage, le restricter simple et sur des flux non périodiques donnerait des résultats similaires à ceux avec des flux périodiques, c'est pour cela que nous avons repris qu'un seul mécanisme (estampillage) et un nouveau mécanisme le schéma hybride. Pour se mettre dans les conditions de ce mécanismes nous allons supposer que le débit du flux peut être variable puis constant sur des périodes (ex: vidéo à débit variable). La tableau.3 présente les résultats de comparaison du schéma hybride et le schéma basé sur l'estampillage.

Schéma	Horloge	Taux de perte	Messages supplémentaires	Nombre d'informations supplémentaires par flux
Estampillage	Commune	1,3 %	0,1 %	1,002
Hybride	Commune	1,3 %	14 %	0,644

tableau.3 Mécanismes de synchronisation intra-flux : flux non périodiques

Le schéma hybride génère moins d'informations supplémentaires puisque l'estampille temporelle n'est pas émise quand le débit est constant mais par contre le nombre de messages supplémentaires est plus important. La période d'émission de ces messages peut être ajustée mais le taux de messages sera toujours supérieur à 0,1%. Nous pensons aussi que ces messages peuvent être utilisés pour adapter le décalage temporel aux conditions réseau et aux besoins de l'application, diminuant ainsi le taux de perte associé au mécanisme. Le schéma hybride améliore le taux d'informations supplémentaires générées mais génère des messages en plus. Si la taille de l'estampille temporelle n'est pas très importante il serait préférable d'utiliser l'estampillage.

4.2.3 Altération de signature des flux périodiques

Les mécanismes d'altération de signature sont utilisés lorsque les périodes d'émission et présentation des périphériques sont différentes. Le but de ces mécanismes est d'altérer la signature temporelle de présentation du flux afin de la rapprocher de celle d'émission. Nous supposons donc que le flux est émis avec une période θ_{in} connue et présenté avec une période différente θ_{out} . Les cas $\theta_{in} < \theta_{out}$ et $\theta_{in} > \theta_{out}$ sont étudiés séparément. Les valeurs des périodes que nous avons prises sont 5 et 6 unités de temps. Les résultats de comparaison sont groupés dans le tableau 4.

L'avantage de l'algorithme d'adaptation de période est qu'il génère peu d'informations supplémentaires, se base sur une gestion du tampon mémoire et les hypothèses sur l'horloge sont plus souples. L'algorithme permet aussi d'estimer la période distante quand celle ci n'est pas connue.

Schéma	Horloge	Gestion de la mémoire	Taux Skip	Taux Pause	Nombre d'informations supplémentaires	Conservation de la Signature
Adaptation de période	Commune, Dérive commune	oui	16,5%-0%	0%-6,7%	0,003	16,6%-16,7%
Transformation linéaire	Commune	non	16,6%-0%	0 %-20%	1,002	16,6%-20%
Transformation discrète	Commune	non	16,6%-0%	0%-20%	1,001	16,6%-20%

Tableau 4. Mécanismes d'altération de signature ($\theta_{in} < \theta_{out}$ et $\theta_{in} > \theta_{out}$)

L'avantage des transformations linéaire et discrète est qu'au plus une unité d'information est non livrée à chaque opération skip, de même une IU sera retardée au plus la durée d'une période. L'inconvénient est le taux élevé d'informations supplémentaires générées. Un taux d'altération de 16,7% semble être satisfaisant pour les flux périodiques [Bess.95]. Le mécanisme d'adaptation de période semble fournir de bons résultats à des coûts minimes (informations supplémentaires générées), en la gestion de mémoire tampon permet de prévenir et remédier aux problèmes particuliers du réseau.

5. Mise en œuvre sur le réseau Ethernet

L'objectif à travers la mise en œuvre des mécanismes de synchronisation intra-flux et inter-flux sur réseau est de placer ces mécanismes dans des conditions réalistes et obtenir des résultats permettant de juger leurs performances et la qualité du service rendu. Les résultats obtenus [B.B.97], [A.B.K.96] prouvent effectivement la cohérence de nos méthodes et résultats décrits dans cet article. En effet, parmi les mesures que nous avons effectuée dans cet article, le taux d'altération réalisé par des mécanismes d'altération de signature.

5.1. Mesure du taux d'altération avec les mécanismes d'altération de flux

Le but de cette comparaison est de vérifier que les mécanismes assurent des taux d'altération acceptables. En effet, les taux d'unités d'information éliminées (skip) ou ajoutées (pause) sont d'environ 16%. Les résultats obtenus par Promela Spin sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus dans un environnement réel (tableaux 5). θ_{in} et θ_{out} représentent respectivement la période d'émission et de présentation des unités d'information. Taux_skip et taux_pause représentent respectivement les taux d'UIs non présentées et retardées. L'unité de temps de la simulation est symbolisée par 'uts'.

	θ_{in}	θ_{out}	taux_skip	taux_pause
Transformation linéaire (Environnement réel)	50ms	60ms	16.77%	0%
Transformation linéaire (Simulation)	50uts	60uts	16.6%	0%
Adaptation de période (Environnement réel)	50ms	60ms	16.165%	0%
Adaptation de période (Simulation)	50uts	60uts	16.46%	0%

Tableau 5 Comparaison des taux d'altération

Nous avons exagéré aussi la différence entre les périodes θ_{in} et θ_{out} . Les résultats obtenus montrent que Le flux présenté sera d'autant altéré que cette différence est importante ce qui est concordant avec les résultats obtenus par Sterel [Bess.95]. Nous avons aussi étudié le cas $\theta_{in} > \theta_{out}$ et des résultats similaires sont obtenus.

Conclusion

Dans cet article nous nous sommes intéressés à la comparaison qualitative aussi bien que quantitative des mécanismes de synchronisation. Cette comparaison nous a permis de vérifier le fonctionnement des mécanismes que nous avons étudié et de montrer que certains mécanismes réagissaient mieux selon un environnement ou un autre. La base de cette comparaison c'est un ensemble de critères que nous avons défini en plus des résultats de simulation et validation réalisées à l'aide de l'outil Promela/Spin. Cette comparaison de dégager des mécanismes qui réalisent le service demandé au moindre coût (nombre de canaux, de messages, taux d'altération et d'overhead), sont adaptatifs aux conditions réseau (perte, délai très grand, non séquençement...), traitent l'aspect sémantique des données du flux et exploite les caractéristiques des flux pour alléger le mécanisme(ex. Périodicité). Ce travail est d'une grande utilité pour choisir dynamiquement le mécanisme selon la qualité de service exigée par l'utilisateur et selon les conditions du réseau du transfert.

Bibliographie :

- [A.B.K.96] M.Abouzaid, A.Benkiran, S.A.Kam, Simulation et test d'applications multimédia: Mécanismes de synchronisation intra-flux et inter-flux, PFE, EMI, Maroc, 1996
- [B.97] Faouzia Benabbou, Etude des problèmes de synchronisation multimédia dans un environnement haut débit, Thèse de troisième cycle de l'université Mohammed V à Rabat, Maroc, 1997
- [B.B.97] F. Benabbou, A.Benkiran, Tests et simulations des mécanismes de synchronisation dans les applications multimédia, TELECOM'97, Fès, 15 octobre 1997
- [B.D.H.95] L.Besse, L.Dairaine, E.Horlait, Etude de la synchronisation en environnement multimédia, Electronic Journal on Networks and Distributed Processing, 1 Mars, 1995
- [Bess.95] L.Besse, Architecture de communication haut débit multimédia: Etude de la synchronisation, Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie, Paris (Septembre 1995)
- [C.C.93] L.F.Rust da Costa Carmo, J.P.Courtiat, Implementing Intra streams by means of Conditional Dependency Expressions, LAAS report recherche N°93430, CNRS, Toulouse (November 1993)
- [C.C.S.94] L.F.Rust da Costa Carmo, J.P.Courtiat, P de Saqi Sannes, Towards Multimedia communication Systems, Proceeding of fourth workshop on trends of distributed computing systems, Lisbonne 1994
- [Couv.91] D.Couvet, Algorithme de Statistique de Synchronisation d'horloges pour Réseau Enisotrope: spécification et simulation, Rapport de recherche, EDRIC N°11-15
- [DAI.a.94] L.Dairaine, Technique de synchronisation pour les communications dans les systèmes haut débit multimédia, Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie curie, Paris (September 1994)
- [DAI.b.94] L.Dairaine, Drift matching Technique for Time Signature conservation service, Proceeding of BRIS'94 conference, Germany 1994
- [Holz1] G.Holzmann, Design and Validation of computer Protocols, AT&T Bell Laboratories, edition Prentice-Hall international, Inc
- [Holz2] G.Holzmann, Basic SPIN manuel, ATT&T Bell Laboratories
- [HOR.94] E.Horlait, et al, Les Mécanismes de Synchronisation dans une Architecture Multimedia, Projet CESAME, Rapport de recherche
- [R.H.95] K.Rothermel, T.Helbig, 'An Adaptive Stream Synchronization Protocol', Proc. 5th Int. Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio Video. 1995
- [R.R.93] S.Ramanathan, P.V.Rangan, Adaptive Feedback techniques for Synchronized Multimedia retrieval over Integrated Networks, IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 1 N° (Avril 1993)
- [S.S.F.93] V.Saparamadu, A.Seneviratne, M.Fry, A review of Inter Media Synchronization Schemes, presented at MMM'93, Singapore 1993