Téléphonie sur IP (ToIP)

Vers la convergence des réseaux dédiés (voix/vidéo/données)

Ce livre sur la Téléphonie sur IP (ou ToIP) s’adresse aux Responsables des réseaux de communication des entreprises et aux Étudiants en DUT et Licence “Réseaux et Télécoms”. Il apporte les connaissances nécessaires à la compréhension de l’évolution des concepts traditionnels de la téléphonie vers la ToIP et fait le point sur les propositions des constructeurs et opérateurs actuels. Des connaissances de base sur la téléphonie, la transmission de données et les réseaux IP constituent des prérequis nécessaires pour tirer le meilleur profit du livre.

Le premier chapitre fournit un point de comparaison technologique et économique entre la téléphonie historique et la proposition actuelle de la ToIP, c’est-à-dire non seulement le transport de la voix dans le réseau téléphonique fixe (les conversations) mais aussi les services associés tels que le transport de données. Le second chapitre résume les principales méthodes utilisées pour le transport des données (avant l’apparition d’internet) et introduit les notions de “paquets”, de “celules”, de “piles de protocoles”, largement répandues désormais avec le réseau Internet public. Après un bref historique d’Internet, le chapitre suivant traite des premiers pas du transport de la voix par les réseaux IP, la VoIP, ainsi que les motifs y ayant conduit. Ce chapitre montre les difficultés rencontrées et le besoin de faire évoluer et de normaliser les modèles utilisés. Les organismes de standardisation sont clairement identifiés ainsi que leurs domaines de compétences et/ou de convergence. Comme l’Internet, l’intranet permet d’échanger des messages, de consulter ou transmettre des documents à l’échelle d’une entreprise donc de diffuser de l’information sous forme de texte, d’image, de voix ou de vidéo : le quatrième chapitre liste les conditions nécessaires et les modèles utilisés. Ce chapitre sert en évidence les bénéfices économiques et technologiques à fédérer les différents réseaux de transport Voix/Vidéo/Données. Y sont explicitées les notions de NGN (Next Generation Network), ainsi que les caractéristiques techniques de codage/décodage des échantillons de voix, les interconnexions “Legacy” IP et la garantie de la bonne exécution des services téléphoniques. Puis la perspective d’un réseau global multimédia IP accueillant tous les types d’usagers, fixes et mobiles est abordée avec le chapitre suivant “IMS : Le multimédia accessible à tous” (IMS : Ip Multimedia Subsystems). Enfin, le dernier chapitre identifie les principes de circulation, de sécurisation et de confidentialité des informations (dont les conversations audio et vidéo) qui circulent au sein d’un réseau d’entreprise aux sites éloignés géographiquement et qui utilise l’Internet public comme relais d’un site à l’autre.

Pierre LEDRU travaille dans les télécoms depuis plus de 30 ans. Après une expérience de 10 années, expatrié comme Assistant technique aux autorités locales des Télécoms au Yémen, il devient formateur puis formateur-développeur et consultant pour différentes entreprises. Il possède de grandes connaissances sur la téléphonie et a suivi toutes les évolutions de la ToIP. Son livre est le fruit de cette expérience autant technique que pédagogique.

Pour plus d’informations :
www.editions-eni.fr
Table des matières  

Avant-propos

1. Objectifs du livre .................................................... 7
2. Structure du livre ..................................................... 8

Chapitre 1
La téléphonie "Legacy" (héritée)

1. Introduction .......................................................... 11
2. RTC : Réseau Téléphonique Commuté ............................. 12
   2.1. Principes de base ................................................. 12
   2.2. La normalisation : l'UIT-T ................................. 16
       2.2.1 Qu'est-ce que le MIC ? ................................. 16
       2.2.2 Qu'est-ce que la SDH ? ................................. 18
3. Les principes de la commutation temporelle ..................... 20
4. Signalisation et contrôle des appels ............................. 21
5. RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services ........... 25
6. L'accès au RTC ....................................................... 29
7. Le Réseau Intelligent (RI) .......................................... 32
8. Le Réseau d'Exploitation et de Maintenance (REM) ............ 41
Chapitre 2
Les réseaux dédiés au transport de données

1. Introduction ............................................. 43
2. Le modèle en pile de protocoles .................. 44
3. Le réseau à commutation de paquets X.25 .......... 48
   3.1. Accès et propriétés des couches X.25 ......... 49
   3.2. Procédures d’appel X.25 ........................ 50
       3.2.1 Établissement et début de transfert ....... 50
       3.2.2 Relâchement et fin d’appel ............... 52
   3.3. Gestion des paquets X.25 ....................... 55
4. Le réseau ATM ........................................... 59
   4.1. ATM et le modèle OSI ......................... 59
   4.2. Les cellules ATM ............................... 61
   4.3. La commutation dans le "monde" ATM .......... 63
   4.4. Allocation dynamique des VP / VC .......... 65
   4.5. La couche d’adaptation ATM (AAL) ........... 65

Chapitre 3
L’émergence de l’Internet public

1. Introduction ............................................. 69
2. Histoire d’une naissance ............................ 69
3. Les organismes normalisateurs de l’Internet ..... 72
4. L’évolution vers la commercialisation .......... 73
5. Qu’est-ce qu’IP ? ........................................ 74
   5.1. Formats d’adresses IP ............................ 74
       5.1.1 IPv4 ........................................... 74
       5.1.2 IPv6 ........................................... 86
   5.2. Formats de paquets IP ............................ 88
       5.2.1 IPv4 ........................................... 88
       5.2.2 IPv6 ........................................... 90
Table des matières

6. TCP : un protocole sécurisant ........................................... 92
   6.1. Établissement du dialogue ......................................... 93
   6.2. Phase de transfert et séquencement ............................... 94
   6.3. Phase de relâchement de la connexion TCP ...................... 96
   6.4. Encapsulation par TCP ............................................. 97
   6.5. Quelques applications transportées sur la pile TCP/IP ........ 99
   6.6. Les débuts du transport de la voix sur IP ...................... 101

Chapitre 4
Entreprise et communication : intranet

1. Introduction ................................................................. 105
2. Architectures LAN IP : IP Local Area Network .................. 105
   2.1. Communication dans un LAN de type "bus" .................... 106
   2.2. Communication dans un LAN "anneau à jeton"
        ou "Token Ring" .................................................. 112
   2.3. Communication dans un LAN "étoile" .......................... 118
   2.4. De l’utilité d’une protection : le pare-feu ................. 120
3. La voix dans les LAN IP ............................................. 123
4. La séparation des flux : les VLAN ................................. 132

Chapitre 5
La nécessaire convergence des réseaux

1. Introduction ................................................................. 137
2. Les limites des réseaux téléphoniques traditionnels ............ 138
3. Le modèle de convergence : NGN .................................... 139
4. La numérisation de la voix ........................................... 141
   4.1. Le principe ......................................................... 142
   4.2. Les CODEC ......................................................... 143
   4.3. La taille des paquets ........................................... 146
Téléphonie sur IP (ToIP)

Vers la convergence des réseaux dédiés (voix/vidéo/données)

5. L’interconnexion des réseaux                         148
   5.1. Les passerelles : Gateway                     148
   5.2. Les protocoles de contrôle de Media Gateway    153
         5.2.1 MGCP (Media Gateway Control Protocol)   158
         5.2.2 H.248/MEGACO                            176
   5.3. Les protocoles de transport des signaux de contrôle d’appel  187
   5.4. Le transport de la voix sur IP                191
         5.4.1 Communication ordinaire                 192
         5.4.2 Le Mixer (mélangeur) RTP                195
         5.4.3 Le Translator (traducteur) RTP          197
         5.4.4 Le protocole "compagnon" RTCP           198
         5.4.5 Correction des problèmes de transmission 205
         5.4.6 Le traitement de l’écho                 205

6. Les services et la ToIP                               207

7. La connectivité IP                                     209

Chapitre 6
IMS : le multimédia accessible à tous

1. Introduction                                         213
2. L’architecture de réseau IMS                         214
3. SIP, un protocole multimédia                         219
   3.1. Position de SIP dans la pile des protocoles TCP/IP 220
   3.2. Principes de fonctionnement de SIP               220
   3.3. Méthodes et réponses SIP (RFC 3261)              222
   3.4. Exemple de session VoIP simple                   232
   3.5. Accès à un réseau IMS "visité"                  239
   3.6. Ouverture de session VoIP dans les réseaux IMS    247
4. Des services multimédias sécurisés                   260
   4.1. Protection des flux de contrôle (SIP)            260
   4.2. Protection des flux temps-réel                  262
<table>
<thead>
<tr>
<th>Chapitre 7</th>
<th>De l'intranet à l'Internet</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1. Les principes généraux d'interconnexion</td>
<td>265</td>
</tr>
<tr>
<td>1.1. L'équipement téléphonique de l'entreprise</td>
<td>266</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2. Les échanges téléphoniques VoIP</td>
<td>269</td>
</tr>
<tr>
<td>1.3. Le réseau privé virtuel (VPN)</td>
<td>269</td>
</tr>
<tr>
<td>2. Les protocoles de Tunneling</td>
<td>273</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1. Le protocole IPsec</td>
<td>273</td>
</tr>
<tr>
<td>2.2. Le protocole MPLS</td>
<td>276</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Conclusion</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1. Le mot de la fin</td>
</tr>
<tr>
<td>2. Références</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Annexe</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Liste des abréviations</td>
</tr>
<tr>
<td>Index</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Chapitre 5

La nécessaire convergence des réseaux

1. Introduction

À l’évidence, la multiplication des réseaux (fixe et mobile) de transport de voix, données, signalisation, services et de données de gestion, pose un problème aux différents acteurs.

Les usagers de ces réseaux, tout d’abord qui doivent se plier aux nombreuses règles d’accès et donc en posséder un minimum de connaissances techniques matérielles et fonctionnelles.

Les opérateurs de ces réseaux, ensuite, qui doivent acheter, installer, exploiter et maintenir des équipements différents dans leurs conceptions fonctionnelles et matérielles.

Les équipementiers en télécommunications, enfin, qui de leur côté doivent continuer à développer, faire évoluer, maintenir des produits qui tant qu’ils restent (trop) spécialisés dispersent les forces du secteur de la recherche et du développement.

La réduction du coût de gestion de ces équipements ainsi que de leur nombre est une politique aisément compréhensible lors des bilans. Chacun de ces réseaux présentant ses propres limites, leur "convergence" alliée à la plurifonctionnalité des équipements qui les composent est sans doute la solution économiquement nécessaire.
Quelles sont donc les limites techniques et économiques actuelles des réseaux hérités ? C’est ce que ce livre aidera à découvrir dans la section suivante.

2. Les limites des réseaux téléphoniques traditionnels

La téléphonie traditionnelle (voix et services), comme vu dans le premier chapitre, est organisée autour d’un réseau de transport synchrone imposant le débit fixe des informations transportées pour un usager ordinaire à 64 kbits par seconde. Le MIC composé de 31 intervalles de temps (IT) utiles – chacun affecté à une communication à établir – présente le désavantage économique de devoir "transporter" ces intervalles de temps, qu’ils soient réellement engagés ou pas. Il est ainsi aisé de comprendre que, par exemple, si aucun d’eux n’est utilisé, ce transport se fait en pure perte ; pourtant, les équipements et exploitants associés sont mobilisés pour le bon fonctionnement de l’ensemble !

Les opérateurs de tels réseaux s’attendant avant tout à rentabiliser leurs ressources, n’y aurait-il pas mieux à faire ?

En regardant de plus près ces IT à 64 kbits, une deuxième remarque désagréable s’impose : ce débit est-il adapté à des applications gourmandes en bande passante ? Les images vidéo par exemple ?

La technologie RNIS peut le proposer et est même (ou a été) utilisée pour la retransmission d’événements "live". La visiophonie a profité de cette technologie mais avec des restrictions telles que les images transmises ne permettent pas un "rendu" clair et efficace surtout si des personnages ou des objets sont filmés en mouvement. La question se pose à nouveau : n’y aurait-il pas mieux à faire ?

Dernier inconvénient majeur : que fait le réseau pour gérer les silences émaillant les conversations téléphoniques ?

A priori, rien ! La compression des informations transportées, la suppression des informations inutiles sont interdites car il faut penser que ce qui est transmis peut être un facsimilé ou des données informatiques par exemple qui, elles, ne supporteraient pas ces "manipulations".
Est-il possible de faire bénéficier la téléphonie de technologies plus souples et économiques ? La convergence entre les différents types de réseaux spécialisés est sans doute la bonne solution mais il faut pour cela définir le modèle de cette convergence. C'est l'objet du prochain chapitre.

3. Le modèle de convergence : NGN

La convergence des réseaux "Voix" synchrones et "Données" IP est donc nécessaire, comment la réaliser ?

Deux principes de base ont été adoptés :

– D'abord, la convergence doit conduire à un seul réseau de transport à gérer.
– Ensuite une séparation effective doit être envisagée entre le contrôle des communications (établissement, supervision et libération) et le média (la voix, les données par exemple) lui-même.

Remarque

Le schéma ci-dessous explicite cette évolution. Il est à comparer avec la représentation qui a été faite au chapitre La téléphonie "Legacy" (héritée) d’un système de commutation traditionnel où toutes les fonctionnalités figurant dans la partie gauche de la vue suivante étaient (sont encore) supportées par un même organe matériel.
Du commutateur TDM vers la téléphonie NGN

Le traitement du média (la voix en particulier) peut autoriser en mode "paquets" ce que le mode "circuit" TDM (Time Division Multiplexing - multiplexage temporel) interdisait, à savoir, la compression, la suppression des silences et le partage de la bande passante entre voix et données.

À l'interfonctionnement entre réseau traditionnel et réseau IP la technologie de commutation de circuits fait place, d'une part à l'équipement de contrôle des communications, le Call Server (CS - ou SA, serveur d'appels), d'autre part à l'équipement de traitement de la voix, la passerelle de média ou Media Gateway (MGW).

Le Call Server est en charge de l'identification du demandeur, du circuit TDM, de la recherche du chemin vers le demandé ainsi que du choix et de la commande de la passerelle (fonction MGC - Media Gateway Controller - contrôleur de passerelle média).

C'est dans la passerelle où l'accueil des informations, la mise en "paquets", la compression et traitements appliqués aux silences pourront être effectués tout en assurant le passage du monde synchrone vers le monde IP. De ce fait, les MGW sont à la fois des systèmes d'accès, d'adaptation et de commutation des informations.

Une relation de contrôle s'établit donc entre le Call Server et la MGW pour "faire passer" les échantillons de voix extraits des circuits vers les paquets du monde IP et inversement du monde IP vers le réseau TDM.

Du fait de cette nouvelle distribution des fonctions de contrôle et d'adaptation, le nombre de Call Server se trouve diminué drastiquement (dans un rapport de 5) comparé à celui des équipements de commutation classiques.

De plus, les Call Servers, alors qu'ils étaient jusqu'à présent des matériels d'usage hyperspécialisé, sont désormais des équipements basés sur le principe d'une architecture de serveurs informatiques et ainsi gagnent en puissance tout en se concentrant sur leur fonction, le contrôle.

Les MGW, quant à elles, pourront se placer au plus près du lieu nécessaire de passage du monde synchrone traditionnel vers le monde asynchrone IP. Les différents types de MGW seront abordés dans la suite de ce chapitre.
La nécessaire convergence des réseaux

Chapitre 5

Le schéma ci-après offre une vue simplifiée de l'évolution vers une architecture de réseau NGN. Les aspects fonctionnels seront vus en détail dans les paragraphes ultérieurs.

**Exemple d'architecture NGN et d'interconnexion de réseaux**

- **Trait pointillé** : liens (IP et/ou TDM) de contrôle des appels.
- **Trait continu** : cheminement de la voix.
- **Trait discontinu** : relation de contrôle entre MGC/Call Server et MGW.

Ainsi le modèle de convergence conduit à faire de la téléphonie une donnée banale, binaire, compressible dans certains cas et en particulier la voix dont les principes de numérisation doivent évoluer. Cette numérisation est le sujet de la section suivante.

### 4. La numérisation de la voix

Comme vu dans le premier chapitre avec le standard MIC, la numérisation est la capacité à transformer un signal analogique (la vibration de l'air, par exemple) en une suite d'éléments binaires représentant la succession des fréquences vibratoires, fruits de nos cordes vocales. Échantillonnage et codage résument ces opérations qui rapportées au monde IP sont complétées par des fonctionnalités propres au mode "paquets".
4.1. Le principe

Le récepteur du signal analogique où qu’il se situe dans le réseau téléphonique commuté traditionnel, injecte donc les huit bits résultats de la numérisation traditionnelle dans un IT MIC. La MGW aura la possibilité d’en sélectionner moins ou de les remplacer par une suite numérique moins lourde à transporter. L’exemple suivant illustre cette action de la MGW.

Un cuisinier veut transmettre à un confrère les ingrédients d’une recette ; différentes façons de le faire peuvent être envisagées :

- La première méthode consiste à transmettre littéralement tous les composants (caractère par caractère) de la recette, dans ce cas le signal analogique et le signal transporté dans le paquet IP sont strictement équivalents (c’est le cas du circuit TDM 64 kbits/s).
- Une deuxième méthode consiste à utiliser (partager) entre confrères un lexique permettant, par des sigles ou un minimum de caractères, d’identifier chacun des composants de cette recette. Par exemple, le sel peut être codé par la lettre "s", le beurre par "b" et ainsi de suite... Le paquet IP résultant sera moins lourd, la bande passante utilisée sera moindre (inférieure à 64 kbits/s), cette méthode est la "compression sans destruction" avec lexique partagé.
- Troisième possibilité, ayant retenu la solution de la compression des données, il peut s’avérer que certains ingrédients soient optionnels, ainsi pourquoi ne pas les omettre ? A la compression s’ajoute donc la destruction d’une partie du signal, le paquet sera définitivement très léger, la bande passante utilisée réduite au minimum mais en assumant le risque d’une qualité moindre du rendu...

Ces trois méthodes sont à la charge d’équipements nommés CODEC (COdeur / DECodeur). Certains d’entre eux sont présentés dans les paragraphes suivants.